

ESTRATEGIA DE FORTALECIMIENTO A LA COMPETITIVIDAD DEL MAÍZ DESDE SU CALIDAD E INOCUIDAD Enfoque en micotoxinas

Paula L. Bello R.

Colaboración de:
Mateo A. Tunarroso P.



FNC Fondo Nacional
Cerealista

ESTRATEGIA DE FORTALECIMIENTO A LA COMPETITIVIDAD DEL MAÍZ DESDE SU CALIDAD E INOCUIDAD

Enfoque en micotoxinas

Por: Paula L. Bello R.

Colaboraciones de: Mateo A. Tunarrosa P.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES
DE CEREALES, LEGUMINOSAS Y SOYA

FONDO NACIONAL CEREALISTA



Diciembre de 2020

ESTRATEGIA DE FORTALECIMIENTO A LA COMPETITIVIDAD DEL MAÍZ DESDE SU CALIDAD E INOCUIDAD

Enfoque en micotoxinas

Este documento fue preparado por Paula L. Bello R. Profesional del Departamento Económico de Fenalce con el apoyo de Mateo Tunarrosa en el procesamiento de bases y construcción de los acápite 3.3 y 5.1.1.3. Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la organización.

ESTRATEGIA DE FORTALECIMIENTO A LA COMPETITIVIDAD DEL MAÍZ DESDE SU CALIDAD E INOCUIDAD

Enfoque en micotoxinas

©Fenalce

©Fondo Nacional Cerealista

©Autores: Paula Liliana Bello Rodríguez, Mateo Alejandro Tunarrosa Padilla

Federación Nacional de Productores de Cereales, Leguminosas y Soya - Fenalce

Henry Vanegas Angarita -Gerente General

Henry Vargas - Director del Departamento Económico y de Apoyo a la Comercialización

Carmen Julio Duarte - Director Técnico

Revisores técnicos de la publicación total o parcial:

Gonzalo Díaz. Ph.D. Toxicología/Nutrición. Universidad de Guelph. Departamento de Ciencias Animales y Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia.

María del Pilar Agudelo. Esp. Nacional en Gestión Sanidad e Inocuidad. Instituto Interamericano de Agricultura (IICA).

Carla Blanco. Ph. D. Ingeniera de alimentos.

José J. Moreno C. Químico. Experto en inocuidad.

Agradecimientos a:

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - Representación en Colombia

Universidad Nacional de Colombia Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia - Sede Bogotá.

Diseño e Impresión: Brant

Primera Edición 2020

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Bello Rodríguez, Paula Liliana

Estrategia de fortalecimiento a la competitividad del maíz desde su calidad e inocuidad : enfoque en micotoxinas / Paula Liliana Bello Rodríguez, colaboraciones de Mateo Alejandro Tunarrosa Padilla. --

1a. ed. -- Bogotá : Fenalce, 2020.

280 páginas.

Incluye bibliografía.

ISBN 978-958-57618-6-5 -- 978-958-57618-7-2 (digital)

1. Maíz – Producción 2. Contaminación del maíz 3. Micotoxinas
– Toxicología 4. Inocuidad de los alimentos I. Tunarrosa Padilla,
Mateo Alejandro II. Título

CDD: 633.15 ed. 23

CO-BoBN- a1067038

“En búsqueda de condiciones igualitarias para los productores de maíz nacional y del fortalecimiento a su producción destinada a la población e industria colombiana”.

Contenido

	Listado de siglas y abreviaturas	13
	PRESENTACIÓN	18
	INTRODUCCIÓN	20
1	LINEAMIENTOS MULTILATERALES Y ANTECEDENTES NORMATIVOS EN INOCUIDAD ALIMENTARIA	22
	1.1 Lineamientos de organismos multilaterales	23
	1.1.1 Organización Mundial de la Salud (OMS)	23
	1.1.2 Organización Mundial del Comercio (OMC)	25
	1.1.3 Comisión Codex Alimentarius	27
	1.1.4 Otros estándares de referencia: Comisión Europea	30
	1.1.5 Enfoque Alara	32
	1.2 Acuerdos adoptados y negociados	34
	1.2.1 Acuerdo de medidas sanitarias y fitosanitarias	34
	1.2.2 Acuerdo de promoción comercial entre Colombia y Estados Unidos	35
	1.3 Lineamientos nacionales en inocuidad	36
	1.3.1 Constitución política de 1991	36
	1.3.2 Antecedentes normativos	37
	1.3.3 Fomento a la inocuidad	44
	1.3.4 Límites máximos permisibles de residuos y de micotoxinas asociados al maíz y a sus productos	48
	1.3.5 Otras normas de referencia asociadas al maíz	51
2	ESCENARIO GENERAL DEL MAÍZ	54
	2.1 Mercado global	55
	2.2 Contexto productivo y de consumo en Colombia	57
	2.2.1 Producción nacional	58
	2.2.2 Importaciones	60
	2.3 Capacidad de la infraestructura de secado y almacenamiento en algunas regiones del país	63
	2.4 Perspectivas para la producción nacional	65
	2.5 Factores prioritarios: salud pública y seguridad alimentaria	66
3	LAS MICOTOXINAS Y SUS IMPACTOS	70
	3.1 Introducción a la problemática global	71
	3.2 Impactos en la salud y el bienestar general	71
	3.3 Impacto económico contaminación de micotoxinas en la cadena del maíz	76
	3.3.1 Problemática mundial por contaminación de micotoxinas en la cadena pecuaria	76
	3.3.2 Impacto económico de las micotoxinas	77
	3.4 Tipos de micotoxinas	83
	3.4.1 Aflatoxinas	83

3.4.2 Ocratoxina A	91
3.4.3 Fumonisinás	91
3.4.4 Tricotecenos (Deoxinivalenol, Nivalenol, Fusarenona X, T-2 toxina, HT-2 toxina, entre otros)	95
3.4.5 Otras micotoxinas (zearalenona, alcaloides ergot y moniliformina)	98
3.4.5.1 Zearalenona	98
3.4.5.2 Alcaloides ergot	99
3.4.5.3 Moniliformina	99
3.4.5.4 Generalidades	100

4 { DINÁMICA DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA SOBRE MICOTOXINAS EN MAÍZ 102

4.1 Ámbito internacional	103
4.1.1 Principales instituciones, países y autores	105
4.1.2 Temáticas globales de investigación identificadas (<i>Scopus</i>)	109
4.2 Ámbito latinoamericano	112
4.2.1 Principales instituciones y autores	113
4.2.2 Temáticas de investigación identificadas	117
4.3 Ámbito nacional	129
4.3.1 Incidencia de micotoxinas en alimentos para el consumo humano	130
4.3.2 Incidencia de micotoxinas en materias primas y alimentos para el consumo animal	141
4.3.3 Incidencia de micotoxinas en campo	142
4.3.4 Aportes a metodologías de detección	143
4.4 Principales necesidades de investigación identificadas	143

5 { ESQUEMAS DE INSPECCIÓN, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CALIDAD Y DE LA CONTAMINACIÓN 146

5.1 Perspectiva de exportadores	147
5.1.1 Estados Unidos	147
5.1.1.1 Importancia de las exportaciones de maíz	147
5.1.1.2 Principales características del sistema de exportación de maíz	149
5.1.1.3 Análisis de resultados de inspección a las exportaciones de maíz	152
5.1.2 Brasil	163
5.1.2.1 Importancia de las exportaciones de maíz	163
5.1.2.2 Inspección, vigilancia y control de la calidad	164
5.1.2.3 Inspecciones en el flujo comercial	167
5.1.3 Argentina	169
5.1.3.1 Importancia de las exportaciones de maíz	169
5.1.3.2 Esquema de certificación de granos de exportación	170
5.1.3.3 Otros aspectos	171
5.2 Perspectiva importadores	173
5.2.1 Unión Europea (EU)	173
5.2.1.1 <i>MycoKey</i> y <i>MyToolBox</i>	173
5.2.1.2 Modelos de gestión en la agroindustria de la molinería	175
5.2.2 Japón	175
5.2.2.1 Importancia de las importaciones de maíz	175
5.2.2.2 Medidas de vigilancia y control de la inocuidad de los alimentos importados	176
5.2.2.3 Resultados de inspección de alimentos importados en relación a micotoxinas	178
5.2.3 Corea del Sur	182

5.2.3.1	Importancia de las importaciones de maíz	182
5.2.3.2	Características principales del proceso de inspección de alimentos importados	182
5.2.3.3	Límites para contaminantes como micotoxinas en alimentos	188
5.3	Aprendizajes obtenidos de las prácticas en países exportadores e importadores de maíz	189
5.3.1	Esquemas de Inspección Vigilancia y Control en países exportadores	189
5.3.2	Esquemas de Inspección Vigilancia y Control en países importadores	191
5.4	Sistema de IVC para alimentos en Colombia	192
5.4.1	Alimentos, materias primas e ingredientes secundarios destinados al consumo humano	193
5.4.1.1	Análisis del Invima sobre contaminación con micotoxinas en alimentos	196
5.4.2	Alimentos, materias primas e ingredientes secundarios destinados al consumo animal	201
5.4.3	Algunos retos en IVC para la calidad e inocuidad del maíz en el ámbito nacional	203
6	ESTRATEGIA: FORTALECIMIENTO A LA COMPETITIVIDAD DEL MAÍZ DESDE SU CALIDAD E INOCUIDAD CON ÉNFASIS EN MICOTOXINAS	206
6.1	Principios	208
6.1.1	Prevención del riesgo	208
6.1.2	Conocimiento	208
6.1.3	Reconocimiento a las condiciones de producción	209
6.1.4	Inspección, vigilancia y control de la contaminación	209
6.1.5	Participación y articulación	211
6.2	Enfoques de la estrategia de fortalecimiento a la inocuidad y la calidad del maíz	212
6.2.1	Inocuidad y calidad	212
6.2.2	Análisis, gestión y comunicación del riesgo	215
6.2.3	Competitividad	216
6.2.4	Fortalecimiento a la comercialización del producto y a la agregación de valor	217
6.2.5	Articulación de actores e iniciativas	219
6.3	Meta	220
6.4	Objetivo	220
6.5	Líneas estructurales	220
6.5.1	Ciencia tecnología e innovación: generación de capacidades, información y conocimiento	221
6.5.2	Fortalecimiento en BPA y BPM - trazabilidad e inocuidad	225
6.5.3	Fortalecimiento en metrología para la cadena	237
6.5.4	Agregación de valor, mercados y asociatividad	239
6.5.5	Desarrollo normativo y diplomacia sanitaria	241
6.5.6	Sensibilización, comunicación y fortalecimiento de la estrategia	243
6.5.7	Financiamiento	245
7	ANEXOS	246
7.1	Otros antecedentes normativos asociados al maíz en Colombia	247
7.2	Recomendaciones del Instituto Nacional de Salud - ERIA (2015) en materia de micotoxinas en producto terminado (arepa)	248
7.3	Recomendaciones FAO/OMS/Pnuma para el control de micotoxinas en países en desarrollo	249
8	BIBLIOGRAFÍA	254
9	SITIOS WEB CONSULTADOS	278

Listados de tablas y figuras

Tabla 1. Factores de calidad de grano para maíz de acuerdo al <i>Codex alimentarius</i>	27
Tabla 2. Apéndice normativa para el maíz – <i>Codex alimentarius</i>	28
Tabla 3. Niveles máximos de micotoxinas en alimentos de acuerdo al <i>Codex alimentarius</i>	29
Tabla 4. Límites máximos de micotoxinas en alimentos en la Unión Europea	31
Tabla 5. Normatividad asociada a la inocuidad, procesos de IVC y límites máximos de residuos en alimentos en Colombia	40
Tabla 6. Definiciones sobre el riesgo en alimentos través de la normatividad en Colombia	42
Tabla 7. Normativa asociada a límites máximos de residuos relacionados con cereales y maíz	48
Tabla 8. Niveles máximos de micotoxinas en cereales y maíz para consumo humano en Colombia	49
Tabla 9. Niveles máximos de aflatoxinas permitidos en alimentos para animales en Colombia	51
Tabla 10. Normas técnicas colombianas asociadas al maíz	51
Tabla 11. Capacidad estimada de secado y almacenamiento en algunos departamentos productores de maíz en Colombia	64
Tabla 12. Clasificación IARC de micotoxinas cancerígenas	73
Tabla 13. Micotoxinas de mayor importancia y otros efectos nocivos	74
Tabla 14. Cuadro de descuentos en maíz basado en los niveles de acción para aflatoxinas de la FDA	79
Tabla 15. Pérdida económica estimada en Estados Unidos por penalidad en el precio de lotes de maíz contaminados con micotoxinas como AFLA	80
Tabla 16. Penalización en el precio del maíz de acuerdo al nivel de contaminación de micotoxinas (AFLA, DON, FUM) por parte de comercializadoras en Estados Unidos	80
Tabla 17. Niveles máximos de micotoxinas en tipos de maíz permitidos por la Unión Europea	82
Tabla 18. Límites de crecimiento y producción de aflatoxinas de <i>A. flavus</i> y <i>A. parasiticus</i>	89
Tabla 19. Factores de crecimiento y producción de aflatoxinas de <i>A. flavus</i> y <i>A. parasiticus</i>	89
Tabla 20. Factores de crecimiento y producción de aflatoxinas en maíz	90
Tabla 21. Factores de crecimiento y producción de ocratoxina A	91
Tabla 22. Niveles máximos permitidos para fumonisinas por distintos tipos de alimentos (FDA)	95
Tabla 23. Condiciones favorables para la producción de hongos productores de algunas micotoxinas	101
Tabla 24. Comportamiento de la ocurrencia de <i>Fusarium</i> , <i>Aspergillus</i> y <i>Penicillium</i> en Brasil	119
Tabla 25. Detección de contaminación de alimentos para el consumo humano con AFLA (<i>SciELO, Scopus</i> – 2002-2019)	123
Tabla 26. Detección de AFM1 en productos lácteos en países de Latinoamérica	124
Tabla 27. Registros de micotoxinas en alimentos para el consumo humano y animal en Colombia con énfasis en maíz y sus productos	133
Tabla 28. Tamaño de la muestra para la detección de AFLA y DON en las exportaciones estadounidenses de maíz (2012-2018)	153
Tabla 29. Porcentaje de incidencia de micotoxinas sobre el total de las muestras tomadas para su detección en exportaciones estadounidenses de maíz (2012-2018)	157
Tabla 30. Niveles máximos y promedio de concentración de AFLA y DON en las exportaciones de maíz estadounidense (2012-2018)	158
Tabla 31. Determinación de la calidad de grano de maíz en EE.UU	162
Tabla 32. Exportaciones de maíz (t) de EE.UU a Colombia por tipo y grado de calidad (2012-2019)	163
Tabla 33. Violaciones por disposiciones legales en las importaciones alimentarias de Japón (2018)	179
Tabla 34. Grupos alimentarios sometidos a análisis de micotoxinas en las inspecciones de monitoreo en Japón (2018)	180

Tabla 35. Alimentos y países de origen que son sujetos a orden de inspección por micotoxinas en Japón (2018)	181
Tabla 36. Valores estándar de sustancias nocivas en piensos en Japón	181
Tabla 37. Sistema de gestión de importaciones de alimentos en Corea del Sur	183
Tabla 38. Proceso de reconocimiento de ingredientes funcionales en Corea del Sur	184
Tabla 39. Elementos del esquema de Inspección de importaciones en Corea del Sur	185
Tabla 40. Normatividad asociada al maíz como producto e insumo en Corea del Sur	188
Tabla 41. Tipos de análisis realizados a los alimentos importados en Japón	191
Tabla 42. Tipos de inspección en puertos de acuerdo al modelo IVC de Invima en Colombia	195
Tabla 43. Relación entre plan de muestreo de Invima y la magnitud de las importaciones para los tres puertos de entrada de maíz a Colombia durante 2016	198
Tabla 44. Número de muestras analizadas por Invima de los diferentes productos durante 2015 y 2016	199
Tabla 45. Medidas sanitarias y requisitos de importación para el maíz de acuerdo al país de origen y tipo de uso establecidos por el ICA en Colombia	202
Tabla 46. Inspección, vigilancia y control de la contaminación – iniciativas estratégicas	209
Tabla 47. Ciencia, Tecnología e Innovación – iniciativas estratégicas	222
Tabla 48. Buenas prácticas de agricultura asociadas a la prevención y reducción de la contaminación con micotoxinas en cereales	226
Tabla 49. Buenas prácticas de almacenamiento asociadas a la prevención y reducción de la contaminación con micotoxinas en cereales	228
Tabla 50. Otras prácticas para la prevención y reducción de micotoxinas en cereales	230
Tabla 51. Tipos de trazabilidad	232
Tabla 52. Beneficios de la trazabilidad por tipo de actor	234
Tabla 53. Fomento a la implementación de la trazabilidad e inocuidad del maíz con énfasis en micotoxinas – iniciativas estratégicas	236
Tabla 54. Fortalecimiento en metrología para la cadena – iniciativas estratégicas	239
Tabla 55. Agregación de valor en la cadena del maíz – iniciativas estratégicas	240
Tabla 56. Desarrollo normativo – iniciativas estratégicas	242
Tabla 57. Sensibilización, comunicación y fortalecimiento de la estrategia– iniciativas	243

Figura 1. Esquema de la Comisión MSF	47
Figura 2. Producción mundial de maíz (2019/2020)	55
Figura 3. Rendimiento promedio (t/ha) en los principales países productores (2018/2019-2019/2020)	55
Figura 4. Principales exportadores de maíz (2019/2020)	56
Figura 5. Principales importadores de maíz (2019/2020)	56
Figura 6. Inventarios mundiales de maíz (2018-2019/2019-2020)	57
Figura 7. Distribución del área destinada al cultivo de maíz por tipo y departamento (2019)	58
Figura 8. Distribución de la producción nacional de maíz por tipo y departamento (2019)	59
Figura 9. Dinámica de las importaciones de maíz amarillo y blanco (2008-2019)	60
Figura 10. Demanda total nacional por tipo de maíz (2008-2019)	60
Figura 11. Importaciones de maíz amarillo por departamento (2018-2019)	62
Figura 12. Importaciones de maíz blanco por departamento (2018-2019)	63
Figura 13. Comparativo de rendimiento del cultivo de maíz (t)	69
Figura 14. Ocurrencia y riesgo de micotoxinas en diferentes regiones del mundo	77
Figura 15. Ocurrencia de <i>Aspergillus</i> sp. en maíz	84
Figura 16. Número de muertes en ambos sexos, edades entre 0-80 años por cáncer de hígado en Colombia (2016)	87

Figura 17. Número de muertes en ambos sexos, edades entre 0-80 años por cáncer de hígado por rangos de edad, en Colombia (2016)	87
Figura 18. Ocurrencia de <i>F. verticillioides</i> y <i>F. moniliforme</i> en maíz	92
Figura 19. Ocurrencia de <i>F. graminearum</i> / <i>Gibberella zeae</i> en maíz	96
Figura 20. Dinámica de publicaciones sobre micotoxinas en maíz (1966 - 2020)	103
Figura 21. Principales revistas con publicaciones sobre micotoxinas en maíz (1969 - 2020)	104
Figura 22. Principales países con publicaciones sobre micotoxinas en maíz (1966 - 2020)	106
Figura 23. Principales instituciones con trabajos sobre micotoxinas en maíz (1969 - 2020)	106
Figura 24. Principales autores sobre micotoxinas en maíz (1966 - 2020)	107
Figura 25. Principales instituciones patrocinadoras para el desarrollo de trabajos sobre micotoxinas en maíz (1966 - 2020)	108
Figura 26. Dinámica de publicaciones sobre micotoxinas en maíz en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)	113
Figura 27. Principales instituciones con trabajos sobre micotoxinas en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)	114
Figura 28. Principales autores sobre micotoxinas en maíz en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)	115
Figura 29. Principales revistas con publicaciones sobre micotoxinas en maíz en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)	115
Figura 30. Áreas de investigación sobre micotoxinas en maíz en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)	116
Figura 31. Principales instituciones patrocinadoras para el desarrollo de trabajos sobre micotoxinas en maíz en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)	116
Figura 32. Temáticas de investigación identificadas en la literatura nacional y en los países revisados en Latinoamérica	145
Figura 33. Principales compradores de maíz amarillo producido en EE.UU (2019)	147
Figura 34. Principales compradores de maíz blanco producido en EE.UU (2019)	148
Figura 35. Comparativo de la dependencia a las importaciones de maíz (Blanco y Amarillo) en distintos países	148
Figura 36. Valor de las importaciones de EE.UU a Colombia (Millones de dólares) (2018-2019)	148
Figura 37. Principales estados productores de maíz en EE.UU	149
Figura 38. Puertos de salida de maíz producido en EE.UU	150
Figura 39. Agencias para el control de granos en EE.UU	150
Figura 40. Tamaño de la muestra para análisis de aflatoxinas en las exportaciones estadounidenses de maíz por país de destino (2012-2019)	155
Figura 41. Tamaño de la muestra para análisis de deoxinivalenol en las exportaciones estadounidenses de maíz por país de destino (2012-2019)	156
Figura 42. Incidencia y concentración de aflatoxinas en maíz estadounidense por país de destino (2012-2019)	158
Figura 43. Incidencia y concentración de deoxinivalenol en maíz estadounidense por país de destino (2012-2019)	160
Figura 44. Principales destinos de las exportaciones de maíz de Brasil	164
Figura 45. Principales destinos de las exportaciones de maíz producido en Argentina (2019)	169
Figura 46. Sistema para la expedición de cartas de porte y código de trazabilidad de granos en Argentina	172
Figura 47. Esquema de monitoreo de alimentos importados en Japón (2018)	177
Figura 48. Fases de inspección de importaciones en Corea del Sur	183
Figura 49. Sistema de gestión de importaciones de alimentos (OPERA) en Corea del Sur	187
Figura 50. El Sistema de prevención de ventas de alimentos peligrosos en Corea del Sur	187
Figura 51. Algoritmo del modelo IVC en puertos para importaciones y exportaciones para determinar el tipo de inspección en puertos en Colombia	195

Figura 52. Escenario de construcción de la estrategia de fortalecimiento a la calidad e inocuidad del maíz	207
Figura 53. Etapas de construcción de la estrategia de fortalecimiento a la calidad e inocuidad del maíz	208
Figura 54. Enfoques de la estrategia de fortalecimiento a la calidad e inocuidad del maíz	212
Figura 55. Etapas fundamentales para la evaluación del riesgo	215
Figura 56. Niveles de actuación para la implementación y desarrollo de estrategias de inocuidad	220
Figura 57. Líneas estructurantes de la estrategia de fortalecimiento a la inocuidad y calidad del maíz	221
Figura 58. Tipos de trazabilidad	232
Figura 59. Requerimientos mínimos de información para la trazabilidad hacia atrás	232
Figura 60. Requerimientos de información para la trazabilidad interna	233
Figura 61. Requerimientos de información para la trazabilidad hacia adelante	233
Figura 62. Niveles de trazabilidad metrológica	238

Listado de siglas y abreviaturas

AOAC International	<i>Association of Official Analytical Chemicals</i>
AAC	Aseguramiento Analítico de la Calidad
Asohofrucol	Asociación Hortifrutícola de Colombia
AFIP	Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP) de Argentina
AFLA	Aflatoxina (s)
AMA	Ley de Mercadeo Agrícola de Estados Unidos
ALARA	<i>As Low As Reasonably Achievable</i> . Tan bajo como sea posible. Enfoque de reducción del riesgo aplicado a sustancias genotóxicas y carcinogénicas
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BPA	Buenas Prácticas Agrícolas
BPAL	Buenas Prácticas de Almacenamiento
BPH	Buenas Prácticas de Higiene
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura
CAC	<i>Comisión Codex Alimentarius</i>
CCI	Corporación Colombia Internacional
CCFAC	Comité <i>Codex</i> para Aditivos Alimentarios y Contaminantes de los Alimentos
CCOHS	Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional
CEN	Comité Europeo de Normalización
CGQV	Coordinación General de Calidad Vegetal (Brasil)
CHC	Carcinoma Hepatocelular
CIPF	Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (<i>International Plant Protection Convention - IPPC</i>). Tratado multilateral de 1951 supervisado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación
CIS	Certificado de Inspección Sanitaria. Expedido por Invima en Colombia
CNPJ	Registro Nacional de Personas Jurídicas (Brasil)
ColombiaGAP	Sello de calidad de CCI, sobre responsabilidad de la producción con el consumidor nacional e internacional, con estándares de inocuidad y sostenibilidad. También garantiza la implementación de BPA
CPA	Ácido ciclopiazónico
CPF	Registro de Personas Físicas (Brasil)
CTG	Código de Trazabilidad de Granos (Argentina)
CS	Cadena de suministro
DAT	Declaración Agrícola de Tránsito Internacional (Brasil)
DDGS	Granos de destilería de maíz desecados con solubles. Subproducto en la elaboración de etanol empleado en la alimentación animal
DIAN	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales
Dipov	Departamento de Inspección de Productos de Origen Vegetal (Brasil)
DON	Deoxinivalenol

DOP	Denominación de Origen Protegida
Embrapa	Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria
Empres	Sistema de Prevención de Emergencias para la Inocuidad de los Alimentos
EUA	Estados Unidos de América
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FDA	<i>Food and Drug Administration</i> . Administración de Alimentos y Medicamentos (EE.UU)
FGIS	<i>Federal Grain Inspection Service</i> . Servicio Federal de Inspección de Granos (EE.UU)
FSIS	<i>The Food Safety and Inspection Service</i> (EE.UU)
Fenalce	Federación Nacional de Productores de Cereales y Leguminosas
FUM	Fumonisina
GATT	<i>General Agreement on Tariffs and Trade</i> . Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio de 1994
GIPSA	Agencia Federal de Servicio para la Inspección de Granos (<i>Federal Grain Inspection Service</i>) para el muestreo, inspección, verificación de procesos de los productos comercializables. (EE.UU)
GlobalGAP	Norma con reconocimiento internacional para la producción agropecuaria. Cubre: Inocuidad alimentaria y trazabilidad, Medio ambiente (incluyendo biodiversidad), Salud, seguridad y bienestar del trabajador, El bienestar animal, Incluye el Manejo Integrado del Cultivo (MIC), Manejo Integrado de Plagas (MIP), Sistemas de Gestión de Calidad (SGC) y Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP)
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
ICMSF	<i>International Commission on Microbiological Specifications for Foods</i> . Comisión internacional de especificaciones microbiológicas para alimentos
IDT	Ingesta Diaria Tolerable
IDPM	Ingesta Daria Promedio Probable
IFCS	Foro Intergubernamental sobre Seguridad Química
IGP	Identificación geográfica protegida
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
IN	Instrucción Normativa (Brasil)
INFOSAN	Red Internacional de Autoridades en materia de Inocuidad de los Alimentos
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones
INVIMA	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos
INMETRO	Instituto Nacional de Metrología, Qualidade e Tecnologia (Brasil)
IPPC	<i>International Plant Protection Convention</i>
IPCS	Programa Internacional de Seguridad Química
IRP	Índice de Riesgo en Puerto. En el modelo de riesgos IVC – SOA de Invima
ISO	Organización Internacional de Normalización
JAUKE	Registro Único de Operadores de la Cadena Comercial Agropecuaria Alimentaria de Argentina

JECFA	Comité Mixto FAO - OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios
JETRO	<i>Japan External Trade Organization</i>
LANIP	Laboratorio Nacional de Insumos Pecuarios
LANIA	Laboratorio Nacional de Insumos Agrícolas
LBSA	Ley Básica de Seguridad Alimentaria de Japón. <i>The Food Safety Basic Law</i>
LMT	Límite máximo tolerable
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MAPA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (Brasil)
MHLW	<i>Ministry of Health, Labour and Welfare</i> . Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar (Japón)
MFDS	<i>Ministry of Food & Drug Safety</i> . Ministerio de Seguridad Alimentaria y Farmacéutica (Corea del Sur)
MinTIC	Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
MSF	Medidas Sanitarias y Fitosanitarias
NTC	Norma Técnica Colombiana
NM	Niveles Máximos
OCA	Ocratoxina A
OCDE	Organización para la cooperación y el desarrollo económicos
OGM	Organismos Genéticamente Modificados
OIE	Organización Mundial de Salud Animal
OPERA	Sistema de Inspección de Importación de Predicción Preliminar (Corea)
OMS	Organización Mundial de la Salud
OMC / WTO	Organización Mundial del Comercio. <i>World Trade Organization</i>
ONCCA	Oficina Nacional de Control Comercial Agropecuario (Argentina)
OTC	Obstáculos técnicos al comercio
OVM	Organismos vivos modificados
RASFF	Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos (U.E)
REP	Perfiles Electroquímicos en tiempo Real
PAT	Patulina
PBC	Protocolo de Bioseguridad de Cartagena
PSAN	Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional
PTDI	Ingesta Provisional Tolerable Diaria
PTWI	Ingesta Provisional Tolerable Semanal
RASFF	Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos (UE)
SAGyP	Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca (Argentina)
SDA	Secretaría de Defensa Agropecuaria (Brasil)
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
SFA	Superintendencias Federales de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (Brasil)

SIEX	Sistema Estadístico de Comercio Exterior
Sigma	Sistema de información para guías de movilización animal en Colombia a cargo del ICA
Senasa	Servicio Nacional de Calidad Agroalimentaria (Argentina)
Sispap	Sistema de información sanitario para la importación y exportación de material agrícola desde y hacia Colombia
SNIA	Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria
SUNIR	Sistema Único Nacional de Información y Rastreo. Administrado por la DIAN
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
UE	Unión Europea
UTR	Unidad Terminal Remota
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
USGSA	<i>The United States Grain Standards Act</i> . Ley de Normas de Granos de los Estados Unidos
VHB	Virus de la hepatitis B
ZEA	Zearalenona

Unidades

ha	Hectárea
t	Tonelada
µg	Microgramo
kg	Kilogramo
ppb	Parte por billón = µg/kg
ppm	Parte por millón = mg/kg

Agradecimientos

A los cultivadores de cereales, especialmente de maíz, que con su labor contribuyen a salvaguardar la seguridad alimentaria nacional y promueven las actividades de investigación, transferencia y extensión ejecutadas por Fenalce a partir de los Fondos Nacionales Cerealista, Leguminosas y de Soya.

También se quiere ofrecer un agradecimiento especial a María del Pilar Agudelo - Instituto Interamericano de Agricultura (IICA), por brindar conocimiento sobre la inocuidad alimentaria, por propiciar los escenarios de aprendizaje y transferencia con otros investigadores en Latinoamérica y por su siempre amable disposición. Al Ph. D. Gonzalo Díaz - Universidad Nacional de Colombia (UNAL) quien ha venido generando conocimiento sobre esta problemática y contribuyó con información relevante, a Ph.D. Carla Blanco - Universidad Agraria de Colombia, por su amable colaboración y disposición para resolver dudas en la construcción de este documento. También se quiere reconocer los aportes de José Moreno - Exfuncionario del Instituto Nacional Agropecuario (ICA), a la Zootenista, M.Sc Seguridad Alimentaria, Control de la Calidad y Toxicología Norma Perilla por sus comentarios atentos y aportes para el fortalecimiento de esta estrategia a nivel gremial.

The background of the entire page is a teal color. Overlaid on this background are several white line drawings of hands. At the top, three hands are shown holding a large quantity of small, oval-shaped seeds. On the left side, another hand holds a similar quantity of seeds. At the bottom, three more hands are shown, each holding a smaller portion of the same seeds. The hands are drawn in a simple, sketchy style, with lines indicating fingers and palms. The seeds are represented as small, light-colored ovals with a darker outline.

Presentación

La inocuidad de los alimentos es un tema de salud pública, nutrición y seguridad alimentaria, por lo que debe entenderse como un proceso conjunto de condiciones y medidas durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación para garantizar la seguridad del alimento. Ello es un postulado reconocido por distintas organizaciones de índole global como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

La importancia de garantizar la inocuidad en el Maíz radica en que es un alimento básico para la población colombiana, bien sea a partir de su consumo directo del grano o productos derivados o, lo que se podría enunciar como una vía secundaria, al hacer parte de hasta el 60% de los componentes de las dietas destinadas a la producción pecuaria. Sin embargo, el trabajo orientado a establecer alternativas para asegurar la calidad e inocuidad del maíz en el territorio nacional, tiene un factor que aumenta su complejidad: el incremento sustancial de las importaciones de maíz amarillo como resultado de la apertura económica y fundamentalmente del Acuerdo de promoción comercial entre Colombia y EE.UU del cual fueron importadas en 2019, 5.376.975 toneladas (t) de maíz amarillo y 435.642 t de maíz blanco¹.

Este proceso se relaciona con aumentos en la demanda en el sector pecuario. En la última década, el consumo per cápita de proteína animal tuvo un incremento constante.

En el caso de pollo, creció el 14% y huevos del 12% entre el año 2016 y 2019²; en esta misma ventana de tiempo, el consumo de carne de cerdo (kg/hab) registró un incremento del 28%³. Además, se estima que para 2050, países como Colombia, incrementarían el consumo per cápita de todas las carnes de aproximadamente en un 36% de acuerdo con la FAO.

En este escenario, plantear una estrategia integral de inocuidad y calidad, enfocada en las micotoxinas, es una postura responsable. Estos compuestos tóxicos son metabolitos secundarios producidos por hongos como *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. entre otros, que pueden representar un riesgo para la salud en general.

En consonancia con postulados internacionales y nacionales, se han abierto espacios de construcción como la Mesa Nacional de Inocuidad de Maíz coordinada por la Dirección de Innovación, Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce), integran a su vez, esfuerzos para la puesta en marcha del Sistema Nacional de Trazabilidad Vegetal (Decreto 931 de 2018) en la cadena de Cereales.

Este documento consolida una primera apuesta hacia el fortalecimiento de la inocuidad en sistemas productivos como el maíz, que hace énfasis en micotoxinas. Parte de la identificación de la problemática, dinámica de generación de conocimiento en el mundo, el reconocimiento a las características de los esquemas de exportación e importación de maíz en lo referente a mecanismos de vigilancia y control de importaciones, así como de certificación de exportaciones. Como resultado de esta revisión, se establecen líneas de trabajo para el fortalecimiento a la cadena.

¹ Fenalce. Importaciones de cereales y leguminosas. (2020).

² A partir de datos estadísticos de Fenavi. Consulta en febrero 2019 en: <https://fenavi.org/estadisticas/informacion-estadistica-publica/>

³ A partir de datos estadísticos de Fedegán. Consulta en febrero 2019 en: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/consumo-0>

Introducción

El concepto de inocuidad en la cadena alimentaria hace referencia al reconocimiento de los peligros que puedan existir para la salud y su control. Desde organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS), FAO e incluso la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) por medio de distintas conferencias internacionales, se ha reiterado la importancia de la inocuidad de los alimentos al ser una prioridad para la salud pública y al tener relación directa con la seguridad alimentaria y nutricional, cuyo principal enfoque de abordaje es la prevención.

Por supuesto, mantener la inocuidad de los alimentos depende de la articulación de los actores durante las distintas fases de producción, almacenamiento, distribución, procesamiento, comercialización así como de prácticas que deben atender los mismos consumidores. En Colombia, el Ministerio de Salud y Protección Social también reconoce que la inocuidad debe abordarse de manera integral, desde un conjunto de condiciones y medidas que deben adoptarse en las distintas fases de la cadena para que sea posible asegurar la inocuidad de los alimentos y con ello, que no representen un riesgo para la salud.

La inocuidad, al ser un aspecto de la calidad y un derecho del consumidor, consiste en asegurar que los alimentos no contengan agentes físicos, químicos o biológicos en niveles o en una forma en la que representen un riesgo. La inocuidad inicia en la producción primaria y se transfiere a través de los eslabones; para mantenerla, es fundamental establecer medidas conjuntas entre el gobierno, la industria y los consumidores. Los planes que contribuyen a mantener la seguridad de los alimentos incluyen procesos de intervención, prevención y manejo de emergencias alimentarias^{4,5}, donde la trazabilidad a lo largo de las cadenas cumple un papel fundamental.

En el marco de la Estrategia Nacional de Inocuidad, derivada de la Mesa Nacional Fitosanitaria (MSF), ha tomado relevancia la problemática por micotoxinas, atendiendo a los resultados nacionales de inspección y estudios realizados por Instituto Nacional de Vigilancia de Alimentos y Medicamentos (Invima), el Instituto Nacional de Salud (INS) y trabajos desarrollados en el ámbito académico por la Universidad Nacional de Colombia, que evidencian la ocurrencia y el riesgo de micotoxinas para la población en el ámbito nacional.

Este documento representa uno de los primeros avances hacia la consolidación de información de referencia que sirva de soporte a la construcción de una estrategia nacional de inocuidad para la prevención y control de micotoxinas, que desde una perspectiva integral, contribuirá al fortalecimiento de la producción primaria para su control.

A la vez, se espera que pueda conllevar a definir elementos de trabajo en torno a la articulación institucional desde otros eslabones de ésta cadena agroalimentaria, a partir de la comprensión adecuada de los flujos de este producto en el territorio nacional y sus relaciones.

De esta manera el documento aborda una revisión de los principales lineamientos y antecedentes normativos que se han generado en torno a la inocuidad, prevención y control de micotoxinas en cereales y específicamente en maíz en el ámbito internacional como los ofrecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión Códex Alimentarius (Capítulo 1: Lineamientos internacionales

⁴ Guía de la FAO/OMS para desarrollar y mejorar sistemas nacionales de retiro de alimentos. Consulta en marzo de 2019 en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78039/9789243504797_spa.pdf?sequence=1.

⁵ Marco FAO/OMS para desarrollar planes nacionales de intervención en situaciones de emergencia relativas a la inocuidad de los alimentos. Consulta en marzo de 2019 en: https://www.who.int/foodsafety/publications/fs_management/Er1_S_101018_L.pdf?ua=1

y antecedentes normativos frente a la inocuidad alimentaria y el comercio internacional); este mismo capítulo, contiene los principales lineamientos del ámbito nacional. Posteriormente, se realiza una revisión sobre los indicadores más relevantes sobre el escenario productivo global del maíz y de Colombia (*Capítulo 2: Escenario general del maíz*) y se evidencian los principales retos por afrontar.

Como parte de un proceso de reconocimiento sobre la dimensión que la problemática de las micotoxinas en el ámbito global, se realiza una revisión general sobre la ocurrencia, efectos a la salud humana y animal e impacto económico (*Capítulo 3: Las micotoxinas y sus impactos*). Por su parte, el documento hace un esfuerzo por generar una aproximación sobre la investigación relacionada a las micotoxinas en maíz.

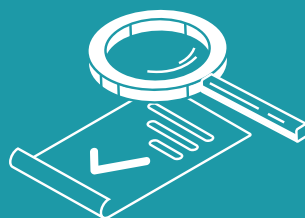
En el ámbito internacional, se realizó por medio de la identificación de la dinámica de producción científica en plataformas como *Scopus* y *Scielo* y el ámbito nacional, a partir de la búsqueda en la plataforma *Scienti* de Colciencias y el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia. Se logró identificar: investigadores, temáticas de investigación y alternativas de solución.

En el caso nacional, se realizó una revisión más detallada con el fin de reconocer los registros de ocurrencia de micotoxinas en alimentos relacionados con el maíz y se identificaron necesidades de investigación (*Capítulo 4: Dinámica de la producción científica sobre micotoxinas en maíz*).

En consideración a que el tamaño del mercado mundial del maíz se encuentra en el orden de 1.119 millones de t anuales en la campaña 2018/2019 (USDA, 2019), en donde el principal exportador mundial es Estados Unidos y Colombia el cuarto importador de este maíz, se realizó una revisión sobre las medidas de control establecidas por los principales países importadores como Japón y Corea del Sur, en conjunto con aspectos relevantes de control de la calidad e inocuidad de exportadores: EE.UU, Brasil y Argentina.

Por otra parte, se revisaron algunas iniciativas de control de micotoxinas desarrolladas por la Unión Europea como *MycKey* y *MyToolBox* (*Capítulo 5: Referenciación de esquemas de vigilancia, inspección y control de la contaminación*).

Este proceso de revisión, contribuyó a identificar esquemas de gestión del riesgo, prácticas y lineamientos. Desde la integración de estos aspectos y en un esfuerzo decidido por incidir en la competitividad de la cadena de maíz, se realizan una serie de propuestas basadas en la generación de conocimiento y la innovación en la producción primaria, el desarrollo de mercados, procesos de agregación de valor y de asociatividad a partir de mejoramiento de prácticas y el fomento a la infraestructura, entre otras relacionadas con el fortalecimiento de la oferta y del reconocimiento de la producción nacional como una de calidad, en función de salvaguardar la salud y las necesidades de la población colombiana (*Capítulo 6: Estrategia de fortalecimiento a la competitividad del maíz desde su calidad e inocuidad*).



01

LINEAMIENTOS MULTILATERALES Y ANTECEDENTES NORMATIVOS EN INOCUIDAD ALIMENTARIA

En primer lugar, se presenta una breve revisión conceptual sobre la inocuidad en donde se identifica como atributo de la calidad, fundamental para la salud y el desarrollo económico. La inocuidad es determinante en la admisibilidad de los alimentos en los mercados internacionales, que deben dar garantías al cumplimiento de estándares y requerimientos definidos por los países importadores de acuerdo a sus niveles de protección. A lo largo de este capítulo se realiza un esfuerzo por identificar los principales lineamientos desde la OMS, FAO y OMC - *Codex alimentarius*, se recopilan aspectos fundamentales sobre la calidad del maíz en relación a niveles máximos de algunos contaminantes como las micotoxinas para alimentos de consumo humano y piensos.

1.1 Lineamientos de organismos multilaterales

El escenario de intercambio mundial de maíz, está caracterizado por la consolidación de grandes productores cuyos excedentes tienen la posibilidad de llegar a distintas economías y regiones. Dada su magnitud e importancia alimentaria, se señala la necesidad de establecer mecanismos de aseguramiento sanitario y a la inocuidad, ya que, por lo menos en el ámbito nacional, se ha propiciado la disminución de barreras arancelarias para el maíz, en favor del aumento del flujo comercial para este producto.

Como bien lo ha definido el Codex alimentarius:

“Todas las personas tienen derecho a que los alimentos que consumen sean inocuos, es decir, que no les causen daño a la salud cuando son ingeridos a causa de contaminantes físicos (metales, piedras, entre otros), microbiológicos (bacterias, virus, parásitos) o sustancias químicas nocivas”. (CAC/40 CRD/23, 2017. p.1)

De manera general, los alimentos pueden representar riesgos para la salud y el bienestar afectando a miles de millones de personas en el mundo. La Organización Mundial de la Salud reconoce la existencia de más de 200 Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA) cuyos efectos nocivos incluyen afecciones que van desde diarrea hasta la generación de cáncer y mortalidad (OMS, 2020), y define la inocuidad como:

“...la ausencia, o niveles seguros y aceptables, de peligro en los alimentos que pueden dañar la salud de los consumidores. Los peligros transmitidos por los alimentos pueden ser de naturaleza microbiológica, química o física y con frecuencia son invisibles a simple vista, bacterias, virus o residuos de pesticidas...” (OMS – FAO, 2019).

Por lo anterior, la preocupación sobre la inocuidad incluye los alimentos agropecuarios y sus productos. La seguridad sobre su consumo debe estar garantizada hasta los productos finales obtenidos de los diferentes procesos de transformación. Mantener la inocuidad del alimento es responsabilidad de múltiples actores para salvaguardar la salud pública.

Globalmente, frente a la inocuidad se ha dado conformación distintas agencias como la FDA (*Food and Drug Administration*), el FSIS (*The Food Safety and Inspection Service*), el USDA (*United States Department of Agriculture*) e incluso específicas para granos como FGIS (*Federal Grain Inspection Service*), y sistemas como el Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos (RASFF) de la Unión Europea, por mencionar algunos.



En Colombia, “La inocuidad de los alimentos es la garantía de que los alimentos no causaran daño al consumidor cuando se preparen y consuman de acuerdo con el uso al que se destinan (Resolución 2674 de 2013), y los principales actores involucrados son el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Instituto

Colombiano Agropecuario (ICA), Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS), Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) y entidades Territoriales de Salud, que en materia de inocuidad son responsables de generar la reglamentación y gestionar la política de medidas sanitarias; realizar la inspección, vigilancia y control; fortalecer el sistema de vigilancia en salud pública y desarrollar capacidades técnicas, analíticas y de fortalecimiento de los laboratorios de análisis de alimentos.

1.1.1 Organización Mundial de la Salud (OMS)

Desde el año 2000, la 53ª Asamblea Mundial de Salud señaló la necesidad de conceder una mayor importancia a la inocuidad de los alimentos por parte de los países miembros y la colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y otras organizaciones internacionales (Resolución. WHA53.15).

Desde este llamado, se evidenció la necesidad de establecer estrategias mundiales de vigilancia de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAS) y riesgos asociados a la presencia de microorganismos como toxinas, con medidas que contribuyan al intercambio comercial entre países y regiones. En adelante se han brindado estrategias de intervención, conformación de redes internacionales e iniciativas de fomento (OMS, 2010).

Atendiendo a que existen más de 200 ETAS y que los efectos varían en gravedad, se planteó desde el 2001 en Ginebra la consolidación de la “Estrategia mundial de la OMS para la inocuidad de alimentos” (2002), que contó con tres principales vías de acción:

- **Promover y apoyar** el establecimiento de sistemas de inocuidad de los alimentos sostenibles, integrados y basados en riesgos.
- **Definir** medidas fundamentadas científicamente para impedir la exposición a niveles inadmisibles de microorganismos o sustancias químicas⁶ a lo largo de toda la cadena de producción de alimentos.
- **Evaluar y gestionar** los riesgos desde la difusión de información, en colaboración con otros sectores y asociados.

Para poner en marcha estas acciones se estableció la «Red Internacional de Autoridades en materia de Inocuidad de los Alimentos (Infosan)» (gestionada por OMS-FAO), como foro para articulación de autoridades nacionales, intercambio de conocimiento e información, integrado por 177 organismos nacionales. El «Sistema mundial FAO/OIE/OMS de alerta anticipada ante las principales enfermedades de los animales, incluidas las zoonosis», con funcionamiento desde 2006, que hace posible, en casos de emergencia, el intercambio de información entre los sectores de la salud animal y la salud humana a escala internacional. A su vez, se estableció el «Grupo de Referencia de la OMS sobre Epidemiología de la Carga de Morbilidad de Transmisión Alimentaria» (2006) que contribuye con estimaciones de la carga de morbilidad por enfermedades de transmisión alimentaria a partir de indicadores sintéticos de la salud de la población.

Estas acciones se implementan a través del fortalecimiento a sistemas de vigilancia de enfermedades de transmisión alimentaria, el perfeccionamiento a evaluación de riesgo, en conjunto con la formulación de métodos de evaluación de inocuidad de productos elaborados, el refuerzo de la comunicación de riesgo y sensibilización, y el fomento a la cooperación internacional (Infosan, 2009).

La inocuidad ha sido tema de abordaje central en distintas asambleas mundiales de la salud, en donde se han adoptado la Res. EB126.R7 «Fomento de las iniciativas en materia de inocuidad de los alimentos». La OMS en (2010) planteó que las enfermedades transmitidas por alimentos son un problema de salud pública cada vez más importante, no solo desde el potencial de los alimentos para transmitir enfermedades a partir de las zoonosis emergentes, sino también desde la generación de enfermedades como el cáncer, que están relacionadas con productos químicos y toxinas presentes en la cadena alimentaria. A su vez, en la 63ª Asamblea Mundial de Salud se reconocieron los posibles efectos del cambio climático en la incidencia de estas problemáticas, por lo que se señaló la necesidad de contar con estimaciones fiables y reconoció que el aseguramiento de la inocuidad es fundamental para mantener la seguridad sanitaria a escala mundial en un contexto de intercambio.

Entre las necesidades se enunció el dar seguimiento sistemático y válido estadísticamente sobre aspectos de contaminación química y microbiológica para detectar la exposición y establecer relaciones puntuales con causas concretas sobre enfermedades. Para ello, es evidente la necesidad de colaboración multisectorial, tanto en los ámbitos internacional y nacional, que desde una base científica se conjuguen en la adopción de medidas integradas para mantener la salud humana y animal, desde un enfoque de prevención y respuesta rápida.

⁶Orientaciones para predecir la ingestión alimentaria de residuos de plaguicidas. Consultado en mayo de 2019 en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/63788/WHO_FSF_FOS_97.7_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Entre los lineamientos se enunciaron (OMS, 2010):



Fortalecimiento de la vigilancia de las enfermedades zoonóticas.



Creación de mecanismos de previsión, alerta y respuesta.



Adopción de instrumentos de evaluación.



Gestión y comunicación de los riesgos de zoonosis.



Refuerzo de la creación de capacidades.



Trabajo en red a escala nacional e internacional y de la cooperación intersectorial.

Estos procesos se basan en el asesoramiento científico sobre riesgos y beneficios de alimentos⁷, a través del Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente - Programa de Vigilancia y Evaluación de la Contaminación de los Alimentos (Simuvima)⁸, en el cual se logran consolidar datos de contaminación por país, identificar el riesgo a la exposición, tendencias e importancia de contaminantes en alimentos, con el objetivo de generar políticas públicas.

1.1.2 Organización Mundial del Comercio (OMC)

Por medio del «Acuerdo sobre aplicación de medidas sanitarias y fitosanitarias» (Acuerdo MSF), se estableció un marco multilateral normativo y de disciplinas para su elaboración, adopción y para la reducción de efectos negativos al comercio desde una perspectiva sanitaria y fitosanitaria, frente a la necesidad de armonización, y para dar respuesta a las preocupaciones sobre la salud humana y animal. Las

normas, directrices y recomendaciones se elaboran por el *Codex alimentarius* en el marco de la Convención Internacional de Protección Sanitaria, de acuerdo a las directrices del «Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio» (GATT del inglés *General Agreement on Tariffs and Trade*) de 1994.

Existen distintas circunstancias para el cumplimiento de las medidas sanitarias y fitosanitarias exigidas, lo que limita el acceso a mercados para países exportadores por la dificultad para dar cumplimiento, incluso en el mercado interno, por lo que este acuerdo evidencia la preocupación sobre la imposición de medidas que puedan afectar el comercio. En él, los miembros pueden adoptar las medidas, así como asegurarse de su base en principios científicos y que estas no sean discriminatorias de manera arbitraria o injustificable, de modo que no constituyan una restricción encubierta del comercio internacional (Art. 2. Num. 3). Sin embargo, el acuerdo contempla que los países pueden establecer medidas para un nivel de protección fitosanitaria más elevado a lo dispuesto en recomendaciones internacionales cuando exista justificación científica o si ello es consecuencia del nivel de protección sanitaria o fitosanitaria que el miembro determine adecuado (Art. 3. Num. 3).

Medidas sanitarias o fitosanitarias

Tienen el objetivo de proteger la salud de animales, humana y de vegetales en el territorio miembro, de los riesgos resultantes de⁹:

- **La entrada**, radicación o propagación de plagas, enfermedades y organismos patógenos o portadores de enfermedades.
- **La presencia de aditivos**, contaminantes, toxinas u organismos patógenos en los productos alimenticios, las bebidas o los piensos.
- **Enfermedades propagadas por animales**, vegetales o productos de ellos derivados, o de la entrada, radicación o propagación de plagas. Para prevenir, revertir o limitar otros perjuicios en el Miembro resultantes de la entrada, radicación o propagación de plagas.

⁷Desde la sensibilización a múltiples actores para mantener la inocuidad. Como esta guía: Cinco claves para la inocuidad de alimentos. Consultado en mayo de 2019 en: https://www.who.int/foodsafety/publications/consumer/manual_keys_es.pdf

⁸Sitio web: <https://www.who.int/health-topics/food-safety/>

⁹Hacen referencia a todas las leyes, decretos, reglamentos, prescripciones y procedimientos pertinentes, con inclusión, entre otras cosas, de: criterios relativos al producto final; procesos y métodos de producción; procedimientos de prueba, inspección, certificación y aprobación; regímenes de cuarentena, incluidas las prescripciones pertinentes asociadas al transporte de animales o vegetales, o a los materiales necesarios para su subsistencia en el curso de tal transporte; disposiciones relativas a los métodos estadísticos, procedimientos de muestreo y métodos de evaluación del riesgo pertinentes; y prescripciones en materia de embalaje y etiquetado directamente relacionadas con la inocuidad de los alimentos. (Acuerdo MSF. Anexo A.).

Evaluación del riesgo

Dichas medidas deben basarse en una *evaluación del riesgo* existente para la vida (animales o personas) o para la preservación de los vegetales de acuerdo a técnicas de organizaciones internacionales competentes. (Art.5). Dicha evaluación de riesgos hace referencia a:

- *Evaluación de la probabilidad de entrada, radicación o propagación de plagas o enfermedades en el territorio de un Miembro importador según las medidas sanitarias o fitosanitarias que pudieran aplicarse, así como de las posibles consecuencias biológicas y económicas conexas; o evaluación de los posibles efectos perjudiciales para la salud de las personas y de los animales de la presencia de aditivos, contaminantes, toxinas u organismos patógenos en los productos alimenticios, las bebidas o los piensos. (Anexo B).*

Entre los aspectos que debe considerar dicha evaluación se encuentran:

- 
- Testimonios científicos existentes.
 - Procesos y métodos de producción pertinentes.
 - Métodos de inspección, muestreo y prueba.
 - Prevalencia de enfermedades o plagas concretas.
 - Existencia de zonas libres de plagas o enfermedades.
 - Condiciones ecológicas y ambientales pertinentes.
 - Regímenes de cuarentena y otros.

La evaluación de riesgo busca determinar qué aplicar para lograr un *nivel adecuado de protección sanitaria o fitosanitaria* contra ese riesgo o *nivel de riesgo aceptable*. Este nivel es estimado por el país miembro que establezca la medida sanitaria o fitosanitaria para proteger la vida o la salud en su territorio de personas, animales y vegetales. Sin embargo, debe considerar factores económicos como los que se mencionan a continuación (Art. 5):

- El posible perjuicio por pérdida de producción o de ventas en caso de entrada, radicación o propagación de una plaga o enfermedad.

- Los costos de control o erradicación en el territorio del miembro importador.
- La relación costo-eficacia de otros posibles métodos para limitar los riesgos.
- Reducir al mínimo los efectos negativos sobre el comercio.

El acuerdo señala la necesidad de evitar medidas arbitrarias e injustificables que deriven en discriminación o una restricción encubierta del comercio internacional. Para la elaboración de directrices, se conforma un Comité con inclusión de representantes de los países miembros, quienes aseguran que las medidas no sean restrictivas al comercio de acuerdo a la viabilidad técnica y económica. Las medidas que representen un nivel de protección sanitaria o fitosanitaria diferente del que se lograría mediante medidas basadas en normas, directrices o recomendaciones internacionales no habrán de ser incompatibles con ninguna otra disposición.

Además, el acuerdo promulga el hecho de garantizar que dichas medidas se adapten a las características sanitarias de las zonas de origen, el nivel de prevalencia de enfermedades o plagas, la existencia de programas de erradicación o de control entre otros.

Los procedimientos de control, inspección y aprobación en sistemas nacionales de aprobación del uso de aditivos o determinación de tolerancias de contaminantes en los productos alimenticios, bebidas o piensos deben asegurarse de que los procedimientos no vayan en contravía de las disposiciones del acuerdo (Art.8).

Además, por medio del acuerdo, se reiteran procesos de asistencia técnica entre miembros de manera bilateral o por organizaciones a través de tecnología, investigación e infraestructura, asesoramiento, créditos, donaciones, ayudas para la adaptación con el fin de alcanzar el nivel adecuado de protección en los mercados de exportación así como el establecimiento gradual de medidas para su cumplimiento (Art. 9).

Por supuesto, establece la conformación del Comité como ente para la vigilancia en procesos de armonización internacional y utilización de normas y directrices, sobre el cual establece mecanismos de consulta y solución de diferencias, y tiene una estrecha relación con organizaciones internacionales como el *Codex Alimentarius*, la Oficina Internacional de Epizootias, organizaciones internacionales y regionales competentes que operan en el marco de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (Art. 3. Num. 4).

1.1.3 Comisión *Codex Alimentarius*

Como comisión auspiciada por FAO y la OMS se encarga del desarrollo normativo en materia de la calidad e inocuidad de alimentos ("Safety"); es el referente internacional a través de normas, directrices y códigos de prácticas alimentarias internacionales sobre inocuidad, calidad y equidad en el comercio internacional de alimentos, desde antecedentes como el Acuerdo MSF y el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio.

La norma *Codex Stan* (153-1985) está enfocada en el maíz de consumo humano que va a ser usado como alimento, que puede estar envasado o vendido suelto directamente del envase al consumidor. En esta se especifican los requisitos para el maíz en grano entero

desgranado de tipo dentado (*Zea mays indentata* L.), y/o el maíz desgranado de grano duro (*Zea mays indurata* L.), o para sus híbridos. Sin embargo, no aplica al maíz elaborado. En esta norma se determinan factores de calidad generales a partir de los siguientes principios (Tabla 1):



- > El maíz deberá ser inocuo y apropiado para el consumo humano.
- > El maíz deberá estar exento de sabores y olores extraños y de insectos vivos.
- > El maíz deberá estar exento de suciedad en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana.

Tabla 1. Factores de calidad de grano para maíz de acuerdo al *Codex alimentarius*

Factor	Descripción
Contenido de humedad	15,5 % m/m (% masa-masa) máximo para determinados destinos, por razones de clima, duración del transporte y almacenamiento, deberían requerirse límites de humedad más bajos. Se pide a los gobiernos que acepten esta Norma que indiquen y justifiquen los requisitos vigentes en su país.
Materias extrañas	Son los componentes orgánicos e inorgánicos que no sean maíz; granos rotos, otros granos y suciedad.
Suciedad	Son las impurezas de origen animal (incluidos insectos muertos) 0,1 % m/m máximo.
Semillas tóxicas o nocivas	Deben estar exentos de las siguientes semillas tóxicas o nocivas, en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana. La crotalaria (<i>Crotalaria</i> spp.), la neguilla (<i>Agrostemma githago</i> L.), el ricino (<i>Ricinus communis</i> L.), el estramonio (<i>Datura</i> spp.) y otras semillas, son comúnmente reconocidas como nocivas para la salud.
Otras materias orgánicas extrañas	Componentes orgánicos que no sean granos de cereales comestibles (semillas extrañas, tallos, etc.) (1,5 % m/m máx.).
Materias inorgánicas extrañas	Como componentes inorgánicos como piedras, polvo, etc. (0,5 % m/m máx.).

Fuente: Norma *Codex Stan* (153-1985).

El *Codex alimentarius* establece criterios de calidad y de límites máximos de contaminantes como metales pesados, plaguicidas y micotoxinas desde la perspectiva de que bajo el cumplimiento de estos, el alimento no representa un peligro. Esta normativa establece parámetros de higiene de los alimentos, en donde define:



Cuando se analice mediante métodos apropiados de muestreo y análisis, el producto: – deberá estar exento de microorganismos en cantidades que puedan representar un peligro para la salud; – deberá estar exento de parásitos que puedan representar un peligro para la salud y – no deberá contener ninguna sustancia procedente de microorganismos en cantidades que puedan representar un peligro para la salud” (*Codex Stan 153-1985*. Numeral 5.3).

A la vez, establece otros métodos de análisis para características del grano en cuanto a la determinación de su color, forma y defectos (Tabla 2):

Tabla 2. Apéndice normativa para el maíz – *Codex alimentarius*

Factor/descripción	Límite	Método de análisis
Granos de otros colores		
Maíz amarillo. El maíz cuyos granos son de color amarillo y/o rojo claro se considera maíz amarillo. El maíz cuyos granos son de color amarillo y rojo oscuro también se considera maíz amarillo, a condición de que el color rojo oscuro cubra menos del 50 % de la superficie del grano.	Máx.: 5,0 % en peso de maíz de otros colores	Examen visual
Maíz blanco. El maíz cuyos granos son de color blanco y/o rosa claro se considera maíz blanco. Se considera también maíz blanco aquel cuyos granos son de color blanco o rosa, a condición de que el color rosa cubra menos del 50 % de la superficie del grano.	Máx.: 2,0 % en peso de maíz de otros colores	
Maíz rojo. El maíz cuyos granos son de color rosa y blanco o rojo oscuro y amarillo se considera maíz rojo, a condición de que el color rosa o rojo oscuro cubra el 50 % o más de la superficie del grano.	Máx.: 5,0 % en peso de maíz de otros colores	
Granos de otras formas		
 Grano duro	Máx.: 5,0 % en peso de maíz de otras formas	Examen visual
 Dentado	Máx.: 5,0 % en peso de maíz de otras formas	
 Maíz de grano duro y de tipo dentado	Escala: 5,0 % a 95 % en peso de maíz de grano duro	
Defectos		
Granos defectuosos: granos dañados por insectos o gusanos, granos manchados, infectados, descoloridos, germinados, afectados por las heladas o dañados materialmente de otra manera	Granos defectuosos: granos dañados por insectos o gusanos, granos manchados, infectados, descoloridos, germinados, afectados por las heladas o dañados materialmente de otra manera	Examen visual
Granos rotos	Máx.: 6,0 %	ISO 5223-1983 (tamiz de metal de 4,50 mm)
Otros granos	Máx.: 2,0 %	Examen visual

Fuente: Norma *Codex Stan* (153-1985).

Desde el *Comité Codex para Aditivos Alimentarios y Contaminantes de los Alimentos (CCFAC)* se han definido límites máximos desde principios de análisis de riesgos y los métodos establecidos para micotoxinas por medio del reglamento *Codex Stan 193-1995*. En esta norma, se señala que límites máximos (Tabla 4) se determinan de acuerdo a la posibilidad de hallar el contaminante en cantidades importantes en alimentos y la exposición total del consumidor¹⁰, de modo que el consumidor resulte “suficientemente protegido” (p.4), a partir de criterios específicos en donde se incluye la información toxicológica, datos de análisis, datos de ingestión y consideraciones tecnológicas. No obstante, a los niveles máximos, la directriz señala que al mismo tiempo deben tomarse en consideración otros factores legítimos de acuerdo a los “Principios de aplicación práctica para el análisis de riesgos para la inocuidad de los alimentos aplicables por los Gobiernos” (p.3).

En este sentido, los niveles máximos se basan en principios científicos para establecer niveles aceptables en todo el mundo, con el fin de que no exista ningún obstáculo injustificado al comercio internacional.



Atendiendo a la capacidad cancerígena de contaminantes como aflatoxinas, la concentración debe reducirse a los niveles razonablemente más bajos posibles.

En caso de existir señales de contaminación de alimentos y peligros para la salud, se debe realizar una evaluación del peligro que, en caso de ser confirmada, requerirá de la aplicación de medidas de gestión de riesgos para combatir el peligro desde una evaluación completa y en consideración de una variedad de opciones de gestión de riesgos.

Desde la evaluación del problema y las soluciones se adopta un nivel máximo u otra medida para controlar la contaminación en alimentos o piensos. Sin embargo, *Codex alimentarius* plantea que desde el asesoramiento científico se pueden complementar las normativas si las medidas no son lo suficientemente adecuadas en la protección de la salud y seguridad públicas. Las medidas nacionales que se adopten contra la contaminación de los alimentos y piensos deben evitar la creación de obstáculos innecesarios al comercio internacional de productos alimenticios o piensos (Tabla 3).

Tabla 3. Niveles máximos de micotoxinas en alimentos de acuerdo al *Codex alimentarius*

Micotoxinas	Producto	Nivel máximo (NM) (µg/kg)	Observación
Deoxinivalenol (DON)	Alimentos a base de cereales para lactantes y niños pequeños	200	Muestreo a los productos en base a la materia seca.
	Harina, sémola, semolina y hojuelas de trigo, maíz o cebada	1000	---
	Cereales en grano (trigo, maíz y cebada) destinados a elaboración posterior	2000	Debe someterse a un tratamiento/ elaboración adicional que se ha demostrado que reduce los niveles de DON antes de que se utilicen como ingredientes de productos alimenticios elaborados u ofrecidos de otra forma para consumo humano.
Fumonisin	Maíz en grano crudo	4000	Para todo el producto. Establece plan de muestreo.
	Harina de maíz y sémola de maíz	2000	Para todo el producto. Establece plan de muestreo.
Ocratoxinas	Trigo, cebada y centeno	5	---
Patulina	Jugo de manzana	50	---
Aflatoxinas	Almendras, pistachos y avellanas Y cacahuates	10-15	---

Fuente: Norma *Codex Stan* (193 -1995).

¹⁰De acuerdo a la Sección IV del Manual de Procedimiento. *Codex Stan* 193-1995.

A su vez, el «Código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación de los cereales por micotoxinas» con anexos sobre la Ocratoxina A, la Zearalenona, las Fumonisin y los Tricocenos (2003) (CAC - RCP 51-2003), identifica al maíz como un cultivo susceptible a sufrir contaminación por aflatoxinas por parte de agentes como *A. flavus*, *A. parasiticus* y otras especies afines; así como deoxinivalenol, nivalenol, zearalenona (*Fusarium graminearum*, *F. culmorum*) y fumonisinas (*F. verticillioides* y *F. proliferatum*)

Este código ofrece pautas específicas para el control y gestión de la contaminación para distintos tipos de micotoxinas, que deben ser retomados en consideración a los cultivos, condiciones climáticas y prácticas agrícolas locales de los países durante las distintas etapas de producción y transformación, a través de la implementación de:

- Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).
- Buenas Prácticas de Fabricación (BPF) durante la manipulación, el almacenamiento y la distribución de los cereales destinados a la alimentación humana y animal.
- Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP).

También reconoce la necesidad de establecer métodos de ensayo rápidos y procedimientos confiables que permitan la separación y retiro en caso de poner en amenaza la salud animal y humana; apoyar la investigación y la prevención sobre la contaminación fúngica en campo, cosecha y almacenamiento.

Los anteriores aspectos son fundamentales para la reducción de micotoxinas en cereales, que deben sancionar las autoridades nacionales, quienes también deben encargarse de educar a productores en cuanto a factores ambientales que favorecen la infección, la proliferación fúngica y la producción de toxinas.

El *Códex alimentarius* sugiere que las estrategias deben aplicarse tanto en plantación como antes y después de la cosecha del cultivo. Sin embargo, señala que las estrategias deben depender de:



Las condiciones climáticas del año.



Cultivos locales.



Condiciones de producción tradicionales en el país o región específicos.



Por otra parte resalta la necesidad de materiales de ensayo rápidos, abordables, precisos, con planes de muestreo para efectuar pruebas en cargamentos de cereales, establecer los procedimientos para manejar de manera apropiada la separación, reacondicionamiento, retiro o desvío de aquellos cultivos de cereales que suponen una amenaza para la salud de las personas (*Codex alimentarius*, CAC - RCP 51-2003).

Las autoridades nacionales deben apoyar la investigación sobre métodos y técnicas para prevenir la contaminación fúngica en el campo y durante la cosecha y el almacenamiento de los cereales (CAC - RCP 51-2003) y la generación de información e investigación sobre métodos y técnicas para prevenir la contaminación fúngica en el campo y durante la cosecha y el almacenamiento de los cereales.

También establece otros estándares como:

- *Codex Stan 154 - 1985*: Norma para la harina integral de maíz.
- *Codex Stan 155 - 1985*: Norma para la harina y la sémola de maíz sin germen.
- *Codex Stan 188 - 1993*: Norma para el maíz enano.

1.1.4 Otros estándares de referencia: Comisión Europea

Esta comisión reconoce, desde 1994, que las aflatoxinas son cancerígenos genotóxicos¹¹ (*Acápita 3.2: Impactos en la salud y el bienestar general*), de acuerdo con el reglamento (CE) No. 1881 de 2006, por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. A su vez, reconoce que la evidencia científica indica que el maíz y sus productos pueden contener fumonisinas y que de acuerdo a la ingesta alimentaria también es conveniente establecer máximos para otras toxinas como DON y ZEA (Tabla 4).

¹¹ Informes del Comité científico de la alimentación humana. Serie No. 35. Dictamen del Comité científico de la alimentación humana sobre las aflatoxinas, la ocratoxina A y la patulina, p. 45-50. Consultado en abril de 2019 en: (http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/reports/scf_reports_35.pdf)

Tabla 4. Límites máximos de micotoxinas en alimentos en la Unión Europea.

Producto	Contaminante	Contenidos máximos (µg/kg)
Aflatoxinas	Maíz y arroz que vayan a someterse a un proceso de selección u otro tratamiento físico antes del consumo humano directo o de su utilización como ingredientes de productos alimenticios.	B1: 5 B1, B2, G1 y G2 (Sumatoria =10)
Ocratoxina	Cereales no elaborados.	5
	Todos los productos derivados de cereales no elaborados, incluidos los productos transformados a base de cereales y los cereales destinados al consumo humano directo a excepción de los productos alimenticios enumerados en los puntos 2.2.9, 2.2.10 y 2.2.13..	3
	Alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad.	0.5
Patulina	Alimentos infantiles distintos de los alimentos elaborados a base de cereales para lactantes y niños de corta edad.	10
Deoxinivalenol	Maíz no elaborado, excepto el destinado a molienda por vía húmeda	1 750
	Cereales destinados al consumo humano directo, harina de cereales, salvado y germen como producto final comercializado para el consumo humano directo, a excepción de los productos alimenticios enumerados en los puntos 2.4.7, 2.4.8 y 2.4.9.	750
	Pan (incluidos pequeños productos de panadería), pasteles, galletas, aperitivos de cereales y cereales para desayuno.	500
	Alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad.	200
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula > 500 micras, clasificadas en los códigos NC 1103 13 u 1103 20 40, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula > 500 micras, no destinados al consumo humano directo, clasificados en el código NC 1904 10 10.	720
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula ≤ 500 micras, clasificadas en el código NC 1102 20, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula ≤ 500 micras, no destinados al consumo humano directo, clasificados en el código NC 1904 10 10.	1250
Zearalenona	Maíz no elaborado, excepto el destinado a molienda por vía húmeda	350
	Cereales destinados al consumo humano directo, harina de cereales, salvado y germen como producto final comercializado para el consumo humano directo, a excepción de los productos alimenticios enumerados en los puntos 2.5.6, 2.5.7, 2.5.8, 2.5.9 y 2.5.10.	75
	Aceite de maíz refinado.	400
	Pan (incluidos pequeños productos de panadería), pasteles, galletas, aperitivos de cereales y cereales para desayuno, excluidos los aperitivos de maíz y los cereales para el desayuno a base de maíz.	50
	Maíz destinado al consumo humano directo, aperitivos de maíz y cereales para el desayuno a base de maíz.	100

	Alimentos elaborados a base de cereales (excluidos los alimentos elaborados a base de maíz) y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad.	20
	Alimentos elaborados a base de maíz para lactantes y niños de corta edad.	20
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula > 500 micras, clasificadas en los códigos NC 1103 13 u 1103 20 40, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula > 500 micras, no destinados al consumo humano directo, clasificados en el código NC 1904 10 10.	200
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula ≤ 500 micras, clasificadas en el código NC 1102 20, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula ≤ 500 micras, no destinados al consumo humano directo, clasificados en el código NC 1904 10 10.	300
Fumonisinás	Maíz no elaborado, excepto el destinado a molienda por vía húmeda.	4000
	Maíz y alimentos a base de maíz destinados al consumo humano directo, a excepción de los productos alimenticios enumerados en los puntos 2.6.3 y 2.6.4.	1000
	Cereales para el desayuno a base de maíz y aperitivos de maíz.	800
	Alimentos elaborados a base de maíz y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad.	200
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula > 500 micras, clasificadas en los códigos NC 1103 13 u 1103 20 40, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula > 500 micras, no destinados al consumo humano directo, clasificados en el código NC 1904 10 10.	1400
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula < 500 micras, clasificadas en el código NC 1102 20, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula < 500 micras, no destinados al consumo humano directo, clasificados en el código NC 1904 10 10.	2000
Toxinas T-2 y HT-2	Cereales no elaborados y productos a base de cereales.	--

Fuente: Reglamento (CE) No. 1881 de 2006. Contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios.

1.1.5 Enfoque Alara

Aunque existen reglamentos para compuestos como micotoxinas desde 1960, estos se han considerado diversos en cuanto a procedimientos oficiales de muestreo y analíticos. Los procesos de comercio enfrentan así la necesidad de armonización en zonas comerciales (Ej. UE, Mercosur) o acuerdos; sin embargo, se reconoce que la armonización plantea dificultades en cuanto a propiciar igualdad en la protección de la salud, en cuanto a que el riesgo asociado a micotoxinas depende de factores como la prevalencia de hepatitis B, los niveles de contaminación y hábitos en la dieta, por lo que se señala la necesidad de fomentar la evaluación de la exposición en ámbitos regionales o comunidades por parte de los gobiernos nacionales (FAO, 2004).

Los reglamentos se basan en un enfoque de evaluación de riesgos¹² y análisis de peligros. De acuerdo a evaluaciones de peligros para micotoxinas (AFLA, OTA, FUM, ZEA y patulina y tricotecnos) desarrollados por el Comité Mixto FAO - OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), organismo científico consultivo de la OMS y de la FAO; estas evaluaciones se basan en la determinación de niveles sin efectos adversos observables de estudios toxicológicos y en la aplicación de un factor de incertidumbre¹³. No obstante, **“el enfoque de evaluación de peligros no se aplica a toxinas con carcinogenicidad preocupante como aflatoxinas”** (FAO, 2004. p. 3), debido a que, cualquier dosis por pequeña que sea, tiene probabilidad de inducir un efecto.

En otros compuestos con este nivel de toxicidad se recomendaría la ausencia total, sin embargo, en el caso de micotoxinas que son de ocurrencia natural, JECFA recomienda que el nivel de contaminante debe reducirse de manera que resulte “tan bajo como sea posible” (*As Low As Reasonably Achievable - ALARA*), por lo que no asigna una ingesta provisional tolerable semanal (PTWI) o una Ingesta Provisional Tolerable Diaria (PTDI).

El concepto de Alara, se relaciona con aquel nivel al cual un contaminante no puede reducirse más. Se define como:

“la concentración de una sustancia que ya no puede eliminarse de un alimento sin que ello signifique descartar el alimento o sin comprometer severamente el abastecimiento de alimentos importantes”. (FAO, 2004. p.3).

Derivado de distintas evaluaciones, el comité fijó consideraciones sobre métodos analíticos, el muestreo y temas relacionados con la ingesta y el control. No obstante, en algunos casos las variaciones en cuanto a restricciones mayores sobre el grado de contaminación (ej. AFM1), no

evidenciaron beneficios significativos para la salud al reducir los límites, por lo que se recomendó que el desarrollo posterior por parte de organismos como *Codex alimentarius*, tuviesen en cuenta otros factores que intervienen en el peligro. A saber:



Evaluación de la exposición: desde datos confiables en productos básicos de la ingesta alimentaria, que con una evaluación cuantitativa de la ingestión probable es difícil, sin embargo, se recomendó el empleo de métodos analíticos validados y el aseguramiento de la calidad analítica.



Procedimientos de muestreo: dado que la distribución de la contaminación puede ser heterogénea en granos. Pueden ocurrir situaciones en donde los granos afectados son relativamente bajos pero el nivel de contaminación dentro del grano puede ser muy alto. Por lo que la muestra debe ser representativa del lote inspeccionado¹⁴.



Métodos de análisis: confiables, simples que aporten un volumen de datos. La confiabilidad de los métodos puede demostrarse por estudios interlaboratorios. Existen métodos normalizados de análisis para micotoxinas validados (Ej. Generados por la *Association of Official Analytical Chemicals* (AOAC International) y el Comité Europeo de Normalización (CEN). A su vez, se recomendó la implementación de procedimientos de Aseguramiento Analítico de la Calidad (AAC), como el uso de materiales de referencia certificados, en función de ofrecer precisión y comparabilidad.



Contactos comerciales: armonización de reglamentos con países.

¹²Que depende de disponibilidad de información: toxicológica, de datos de presencia de contaminación en productos básicos, conocimiento de distribución y conocimiento las concentraciones de las micotoxinas en un lote; y disponibilidad de métodos analíticos, legislación de los países con los que existen contactos comerciales y de las necesidades de abastecimiento.

¹³Este factor de incertidumbre implica la división en 100 de la concentración a la cual se identificó el efecto adverso observable más bajo con animales, siendo: un factor de 10 para extrapolar de animales a seres humanos por otro factor de 10 debido a variaciones entre individuos, hasta alcanzar un nivel de ingesta tolerable. Aunque este factor de seguridad puede ser incluso mayor.

¹⁴Los pesos de muestra varían en las regiones del mundo. El documento menciona un tamaño de muestra de 22 kg con 3 repeticiones con un promedio de 15 µg aflatoxinas totales por kg, por parte de USDA. En el caso de UE, la muestra puede ser de 30 kg en maní procesada en tres muestras de 10 kg. Aunque se han desarrollado mecanismos como Programa de Certificación de Origen (PCO) para validar y certificar el cumplimiento de las regulaciones en lotes específicos.

1.2 Acuerdos adoptados y negociados

Para situar el contexto de este documento, se hace a continuación referencia a dos antecedentes fundamentales: las medidas sanitarias y fitosanitarias en el marco del comercio internacional de productos agrícolas y el acuerdo de promoción comercial entre EE.UU y Colombia.

1.2.1 Acuerdo de medidas sanitarias y fitosanitarias

En el acuerdo MSF, planteado desde la Organización Mundial del Comercio (OMC), en conjunto con el Acuerdo sobre Agricultura y de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) (*Acápite 1.1.2: Organización mundial del comercio*), se establecieron las obligaciones de las autoridades y el sector privado en el comercio agrícola internacional, los cuales fueron incorporadas en el ordenamiento jurídico colombiano por medio de la Ley 170 de 1994. Tiene el objetivo de evitar medidas proteccionistas a partir de barreras injustificadas al comercio. Sin embargo, los países miembros pueden aplicar medidas para la protección de la vida, la salud humana, animal y vegetal de modo que establece las leyes, decretos y reglamentos pertinentes, los procedimientos de comprobación, inspección, certificación y aprobación, junto con los requisitos de envasado y etiquetado directamente relacionados con la inocuidad de los alimentos. No obstante, se reafirma que la aplicación de medidas es fundamental para preservar la salud, desde evitar los riesgos a la exposición por parte de agentes químicos, microbiológicos, entre otros.

En él se pide a los Estados Miembros que apliquen únicamente medidas de protección que estén basadas en principios científicos, únicamente cuando sea necesario y no de forma que pueda constituir una restricción camuflada del comercio internacional, con un tratamiento recíproco entre los países. Por ello, el acuerdo fomenta la armonización de normas entre agencias internacionales de países miembros de acuerdo a los lineamientos establecidos por:

- La Organización Mundial de Salud Animal (OIE), en aspectos de sanidad animal.
- *Codex Alimentarius*, en el tema de inocuidad de alimentos y en general de la protección de los alimentos.
- Convención de Protección Fitosanitaria (CIPF), en lo que respecta a la protección de los vegetales.

La normatividad del *Codex alimentarius* está en consonancia con las disposiciones del Acuerdo MSF. Con ello, las normas del *Codex* sirven como punto de referencia para la comparación de las medidas sanitarias y fitosanitarias nacionales, por lo cual se retoman más adelante aspectos relevantes en materia de micotoxinas para productos de consumo humano y animal (*Acápite 1.1.3: Comisión Codex alimentarius*).

A pesar de que el cumplimiento de los lineamientos del *Codex alimentarius* no son una obligación, se considera conveniente la armonización con este organismo internacional ya que es concertado y aceptado por los países miembros. Sin embargo, los países pueden establecer normas propias fundamentadas en el conocimiento científico con aplicabilidad a la preservación de la salud en general, sin que ellas puedan considerarse discriminatorias, arbitrarias injustificables entre miembros en que prevalezcan condiciones idénticas o similares (Tafur, 2009).

Adicionalmente, las medidas sanitarias y fitosanitarias pueden ser reconocidas como *equivalentes para garantizar el flujo comercial*. Este concepto de equivalencia hace referencia al proceso de aceptación de las medidas sanitarias o fitosanitarias de otros miembros, aun cuando difieran de las suyas propias o de las utilizadas por otros miembros que comercien con el mismo producto. Sin embargo, para ello, el miembro exportador debe demostrar objetivamente al miembro importador que sus medidas logran un nivel adecuado de protección sanitaria o fitosanitaria del miembro importador. Con ello se facilita a importadores la solicitud de acceso razonable a inspecciones, pruebas u otros procedimientos pertinentes; así como también hace posible establecer consultas y generar acuerdos bilaterales y multilaterales de reconocimiento de la equivalencia de las medidas sanitarias o fitosanitarias concretas, en los casos en los que se solicite este proceso (Art. 4, Acuerdo MSF).

1.2.2 Acuerdo de promoción comercial entre Colombia y Estados Unidos

Como parte de la reflexión sobre el flujo de alimentos en un mercado globalizado, se ha reconocido que los mecanismos o barreras de acceso, en lo referente a la inocuidad alimentaria, pueden llegar a considerarse de una mayor complejidad para ser superadas que las barreras arancelarias.

Aunque las medias sanitarias y fitosanitarias tienen como objetivo fundamental proteger la salud humana y animal en los territorios de los riesgos en los productos alimenticios, las bebidas o los piensos, se ven relacionadas de manera inevitable con los flujos comerciales y aspectos económicos. Saltan a la vista diferencias relativas a la capacidad técnica y económica para el cumplimiento de estándares o requisitos no arancelarios por parte de pequeñas y medianas empresas en países en desarrollo, lo que reduce su competitividad y las posibilidades de acceso a mercados (Hidalgo, 2015). Incluso, se ha llegado a concluir que la calidad, en sus variadas formas, optativas o voluntarias, será una barrera para arancelaria al comercio en el sector alimentario, en la medida que se avanza en la cadena de especialización, diferenciación y agregado de valor (Secilio, 2005), por lo que existen esfuerzos para que las medidas no interfieran en los asuntos comerciales como lo evidencia el Acuerdo sobre Agricultura y de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC).

Sin embargo, frente a las debilidades o retos para afrontar un TLC con EE.UU por parte de Colombia se enmarcan en distintas dimensiones y asimetrías de negociación. Se reconoce que al momento de establecer el acuerdo, EE.UU era el mayor exportador mundial de productos como carne de aves, carne de res, maíz, sorgo, trigo, fibra de algodón, tabaco y soya [...] y entretanto, Colombia, no era el mayor productor ni exportador mundial de ningún producto agrícola en el comercio mundial. En flores era el segundo exportador; en café, segundo en valor y el tercero en volumen, y en banano el cuarto (Ministerio de Agricultura, 2004a; Yepes, 2014). Otro de los aspectos que evidencia dicha asimetría, fue la ventaja comparativa innegable que tuvo Estados Unidos al mantener los aranceles para la cadena del azúcar, cuando de otro lado, si se eliminó desde el inicio el 99% de todos los aranceles agropecuarios en el mercado de los Estados Unidos; ello a pesar de los postulados iniciales de la negociación: que la agricultura fuese ganadora neta, la gradualidad e instrumentos de protección razonables, y el acceso real mediante la eliminación de aranceles y barreras no arancelarias (Espinosa y Pasculli, 2013).

Es evidente el escenario en el que el país se encuentra: de un lado, existen debilidades estructurales por resolver frente a los requerimientos fitosanitarios y sanitarios establecidos para tener acceso a los mercados externos y mantener una oferta sostenida en el tiempo para distintos productos agropecuarios, pese a la disminución arancelaria en la exportación actual; por el otro, un esquema productivo altamente tecnificado y subsidiado que se enfrenta a un esquema de inspección, vigilancia y control en fortalecimiento.

En el caso de límites de contaminantes, ya se ha señalado que los límites propuestos por países desarrollados, aplican fundamentalmente como barrera en la importación de alimentos, dejando de lado estos parámetros para la exportación de sus productos (Marasas, Gelderblom, Shephard y Vismer, 2008). Se ha señalado que en el TLC entre Colombia y Estados Unidos en materia de medidas sanitarias y fitosanitarias, enfrenta la necesidad de mejorar la capacidad técnica y científica del sistema MSF del país, así como el estatus fitosanitario, además de que no se recogieron los intereses específicos de Colombia en el capítulo 6 del acuerdo sobre el Sistema MSF, aunque sí estableció el Comité permanente sobre estos asuntos (Espinosa *et al.*, 2013).

Este comité está dirigido a partir de foro busca mejorar la comprensión de las partes sobre asuntos específicos, impulsar el entendimiento mutuo de las medidas sanitarias y fitosanitarias y de los procesos regulatorios; consultar e intentar resolver asuntos relacionados con el desarrollo o aplicación de las medidas sanitarias o fitosanitarias que afectan, o puedan afectar, el comercio; coordinar y hacer recomendaciones sobre programas de ayuda y asistencia técnica sobre materias sanitarias y fitosanitarias al Comité de Fortalecimiento de Capacidades Comerciales; y consultar sobre los asuntos, posiciones y agendas para las reuniones del Comité de MSF de la OMC, los diferentes comités del *Codex* (incluyendo la *Comisión del Codex Alimentarius*), la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria, la Organización Mundial de Sanidad Animal, y otros foros internacionales y regionales sobre la inocuidad de los alimentos, la salud de las personas y de los animales y la preservación de los vegetales (Acuerdo de promoción comercial entre Colombia y los Estados Unidos. Capítulo 6. Art. 6.3) (Mincomercio, 2006a).

El funcionamiento del comité depende de los términos de referencia establecidos para su operación, se reúne por lo menos una vez al año. Para aspectos especiales, tiene la opción de establecer grupos de trabajo *ad hoc*, los cuales incluyen personas calificadas y que cuentan con un nivel adecuado de responsabilidad en el desarrollo, implementación y ejecución de las medidas sanitarias y fitosanitarias en sus agencias o ministerios. Las decisiones deberán ser consensuadas, a menos que se decida en el comité otra cosa (Capítulo 6. Art. 6.3).

Sin embargo, el Comité MSF no puede recurrir a mecanismos de solución de controversias del TLC, lo que deja la solución de controversias al ámbito multilateral, de acuerdo a las disposiciones del Acuerdo MSF de la OMC, a pesar de ser una negociación bilateral en la que se fortalece el acuerdo entre las partes. No obstante, el comité es el escenario para la consultas y resolver asuntos relacionados con el desarrollo y la aplicación de las MSF en el comercio bilateral, ante cualquier situación en el tiempo (Espinosa *et al.*, 2013).

En la “Carta adjunta No.1” del Acuerdo de promoción comercial, se estipuló el compromiso de cooperación entre las partes en el marco del Comité MSF, para el desarrollo técnico y científico en relación a la protección de la salud y de la vida humana, animal y vegetal, hacer esfuerzos para el acceso sanitario a los mercados, la cooperación mutua a través de actividades para la implementación del Acuerdo MSF de la OMC. A la vez y de manera fundamental, se señala el apoyo al desarrollo del Sistema MSF de Colombia para fortalecer el comercio bilateral.

Adicionalmente ambos países acordaron abordar asuntos MSF de manera oportuna en el marco de la legislación y por medio de las autoridades competentes por medio de la remisión al comité; así como el envío de evidencia científica para apoyar el proceso de análisis de riesgo del país importador (Mincomercio, 2006b).

1.3 Lineamientos nacionales en inocuidad

A continuación se examinan las principales directrices nacionales en materia de inocuidad, desde el ámbito constitucional, normativo y de promoción, así como los correspondientes a normas específicas identificadas para el maíz en relación a la inocuidad y micotoxinas.



1.3.1 Constitución política de 1991

Como compendio de los lineamientos sociales, económicos y ambientales fundamentales para la población colombiana, la Constitución de 1991, advierte que es prioridad del estado el proteger la producción nacional de alimentos, por lo que el Estado debe otorgar prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras, forestales y agroindustriales, así como la construcción de obras de infraestructura física y adecuación de tierras (Art. 65). Para dicha obligación, el Estado promoverá la investigación y la transferencia de tecnología para la producción de alimentos y materias primas de origen agropecuario, con el propósito de incrementar la productividad. De esta manera, el fortalecimiento de la producción nacional es una medida contundente para disminuir los riesgos asociados a la volatilidad e incertidumbre de mercados internacionales de *commodities* de acuerdo con la constitución.

Otros aspectos de la seguridad alimentaria que se incluyen en los lineamientos constitucionales, son el derecho a la salud y a una alimentación equilibrada por parte de la población infantil (Art. 44), y la obligación del Estado en el control de la calidad de bienes y servicios ofrecidos, así como de la información que debe suministrarse al público en su comercialización, como parte de los derechos colectivos y ambientales.

Adicionalmente, se señala que serán responsables, de acuerdo con la ley, quienes en la producción y en la comercialización de bienes y servicios, atenten contra la salud, la seguridad y el adecuado aprovisionamiento a consumidores y usuarios. También se brindan garantías para la participación de las organizaciones de consumidores y usuarios en el estudio de las disposiciones que les conciernen, cuando estas sean representativas (Art. 78).

1.3.2 Antecedentes normativos

El marco legislativo colombiano sobre condiciones sanitarias para preservar, restaurar y mejorar la salud de la población está consignado fundamentalmente en la Ley 9 de 1979. En esta ley se observa un enfoque en que la salud de los individuos y su bienestar dependen sustancialmente de las formas de relacionamiento con lo ambiental. Por ello, hace parte de este marco, el control sanitario de los usos dados al recurso hídrico, se ofrecen lineamientos en cuanto a la disposición y manejo de residuos (líquidos y sólidos y de excretas), y de las emisiones atmosféricas. También se establecen normas tendientes a eliminar y evitar la contaminación en el recurso hídrico; preservar y mejorar la salud en lo ocupacional; junto con la prevención y el control de los agentes biológicos, físicos o químicos que alteran las características del ambiente exterior.

Específicamente, en materia de alimentos, el Título V estableció lineamientos de diversa naturaleza, en cuanto a: instalaciones y funcionamiento de establecimientos comerciales e industriales, así como los relativos a empaques, protección, equipos, suministro de agua u otros relacionados.

Determinó el requerimiento de una licencia sanitaria para la elaboración, producción, transformación u otras actividades relacionadas con el comercio de alimentos, bebidas, o materias primas, con el fin de evitar problemas higiénicos y sanitarios desde aspectos como el uso de materiales, diseños de equipos, utensilios y materias primas.

En cuanto al eslabón de transporte para estos productos, dió la responsabilidad a Ministerio de Salud para reglamentar las condiciones higiénico-sanitarias en función de protegerlos de contaminaciones y asegurar la conservación; sin embargo, se prohibió de manera expresa el transporte de alimentos sobre superficies directas del vehículo y con sustancias peligrosas o contaminantes.

En el marco de este título, se consideraron como productos no aptos para el consumo humano aquellos que pueden afectar la salud del consumidor, como los adulterados, falsificados o contaminados (Art. 304) por lo que prohíbe también su expendio o tenencia (Art. 305); por lo cual se prohibió el uso de aditivos riesgosos para la salud, que causaran adulteraciones o falsificaciones. A su vez, determinó como responsabilidad del Ministerio de Salud, el fijar los límites máximos de residuos de plaguicidas permitidos en el agua, alimentos y bebidas (Art. 299). También se prohíben aquellos alimentos con contenido de antibióticos y otras sustancias no permitidas, e incluso con procesos de conservación no autorizados como radiaciones ionizantes (Art. 427).

En caso de que los alimentos contengan residuos, permite la exigencia de la modificación, remoción o disminución de una sustancia específica; sin embargo, es posible el prohibir su fabricación, la importación y el consumo de cualquier sustancia en razón a su peligrosidad para la salud y el ambiente (Art. 20). No obstante, en este marco las sustancias peligrosas hacen referencia a residuos de plaguicidas u otras sustancias tóxicas derivadas en los procesos, sobre las que deben tomarse medidas como su prohibición o restricciones para la importación, fabricación, transporte, almacenamiento, comercio y empleo por razones de salud pública (Art. 131).

En lo referente a las importaciones alimentarias, determinó la necesidad de contar con un certificado de país de origen, expedido por la autoridad sanitaria autenticado ante el Consulado de Colombia o del país amigo, en el cual, se certificará la aptitud para el consumo humano (Art. 300), y estableció la necesidad de contar con condiciones sanitarias de almacenamiento en puertos de manera que se garantice su conservación (Art. 303).

También brindó lineamientos para la industria cárnica, pesquera y láctea; en conjunto con frutas, hortalizas y bebidas, los cuales requieren de reglamentos específicos para su conservación y almacenamiento. En el eslabón industrial, determinó la necesidad de contar o acceder a servicios de laboratorio para el control de calidad de los productos (Art. 284, 285, 286).

A manera de revisión, ya que no hace parte de la normativa vigente en la actualidad, la reglamentación de la Ley 9 de 1979 se dió a través de Decreto 3075 de 1997¹⁵. En este se determinaron los requisitos específicos de comercialización, importación y nacionalización de alimentos, materias primas para el consumo humano (Art. 55-58, 61). Entre ellos, se estableció la necesidad de contar con análisis de laboratorio en el caso de los alimentos que pudiesen representar riesgo a la salud pública¹⁶, un costo que es asumido por los importadores. También es parte de los requerimientos, la autorización por parte de Invima (Art. 64).

En lo referente a la inspección de la mercancía, como parte del proceso la verificación de la existencia, se debe describir la conformidad de las condiciones sanitarias señaladas en el certificado sanitario del país de origen y registro sanitario, así como de las condiciones de almacenamiento, conservación, rotulación y empaque u otras y del levantamiento de la respectiva acta (Art. 58. Decreto 3075 de 1997).

En términos de funcionamiento del sistema de IVC en el ámbito nacional, por medio de este decreto se definieron las competencias del Ministerio de Salud como institución responsable de la generación de política para la vigilancia sanitaria, al Invima como institución ejecutora de estas políticas y del control de la calidad. El ejercer la inspección, la vigilancia y el control sanitario recayó en la competencia de las Direcciones Seccionales, Distritales o Municipales de Salud (Art. 67).

Adicionalmente, se ofrecieron definiciones para los tipos de medidas sanitarias (Ley 09 de 1979, Art. 576; 3075 de 1997 Art. 83, 84, 85, 90), que ameritan ser retomadas. Entre ellas:

➤ **Medidas sanitarias de seguridad:** entre estas se encuentran la clausura temporal (parcial o total) de un establecimiento (fábrica, depósito, expendio o establecimiento de consumo de alimentos) que impide su funcionamiento. También se encuentra la suspensión parcial o total de trabajos; el decomiso de objetos y productos, la destrucción o desnaturalización de artículos o productos si es el caso y la congelación o suspensión temporal de la venta o empleo de productos y objetos, mientras se toma una decisión al respecto, en relación a acciones como el decomiso de productos contaminados, adulterados o con fechas de vencimiento expiradas, alterados o falsificados que puedan ocasionar daños al consumidor o inducir a engaño o viole normas sanitarias vigentes.

➤ **Medidas sanitarias preventivas:** como el aislamiento de personas del proceso de elaboración de alimentos por presentar alguna afección cutánea, enfermedades infectocontagiosas durante el tiempo necesario para que desaparezca el peligro de contagio. Otra medida preventiva es la vacunación al personal de una fábrica, depósito, expendio, o establecimiento de consumo de alimentos, para inmunizar contra las enfermedades infectocontagiosas en caso de epidemia. Ejercer control sobre insectos o fauna nociva o transmisora de enfermedades a partir de medios físicos, químicos o biológicos. Puede aplicarse por las autoridades sanitarias competentes, a partir de diligencias el decomiso de productos para su destrucción o desnaturalización.

INSPECCIÓN VIGILANCIA CONTROL
SANITARIO



¹⁵Derogado por el Decreto 539 de 2014; que a su vez fue derogado por el Decreto 2478 de 2018.

¹⁶Sin embargo, abrió la posibilidad de eximir de este requisito a aquellos no considerados de mayor riesgo en salud y que pudiesen demostrar repetidamente un comportamiento de calidad sanitaria aceptable. Así como la aceptación por parte de la autoridad sanitaria, de los certificados expedidos por laboratorios autorizados o reconocidos por la autoridad sanitaria del país de origen (Decreto 3075 de 1997. Art.57).

Además de estas medidas se plantean procesos sancionatorios (Art. 92) y se considera una obligación brindar información a la justicia ordinaria ante un delito (Art. 94). Si bien el proceso sancionatorio incluye que se lleven a cabo acciones para la investigación y verificación de los hechos, se realicen notificaciones de cargos, se presenten descargos y otras etapas como el decreto y práctica de pruebas, el proceso se dirige a realizar una calificación de faltas cometidas y la imposición de sanciones en donde se examinan las circunstancias atenuantes o agravantes. Entre los tipos de sanciones posibles de acuerdo a esta reglamentación (Art. 107, 577 Ley 09 de 1979) se encuentran las amonestaciones, las multas de hasta diez mil SMLV (Art. 111), el decomiso de productos o artículos, la suspensión o cancelación del registro (Art. 115, 116) y el cierre temporal o definitivo del establecimiento, edificación o servicio. Sin embargo, en caso de que se sancione con una cancelación del registro, los titulares no pueden volver a solicitar el registro sanitario para dicho alimento por los siguientes 5 años (Art. 117). Estas sanciones pueden ser impuestas por Invima, Entidades Territoriales de Salud o quienes hagan sus veces.

Posteriormente, con el Decreto 539 de 2014¹⁷ se estableció el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios para los importadores y exportadores de alimentos, materias primas e insumos para alimentos destinados al consumo humano. Entre los principales requisitos en sitios de ingreso para importadores se pueden enunciar: la necesidad de contar con el visto bueno de importación definido por Invima; el registro, permiso o notificación sanitaria; presentar el certificado sanitario del país de origen y el certificado de venta libre del país de origen para productos de menor riesgo (Art. 4). Por otra parte, determinó el procedimiento para la expedición del certificado de inspección sanitaria por medio de la verificación documental, la inspección física, la toma de muestras y análisis de laboratorio de acuerdo con el modelo de IVC establecido por MinSalud (Art. 5) en la misma línea de la normativa previa. También determinó la responsabilidad de los importadores o exportadores del cumplimiento de los requisitos sanitarios contemplados en la reglamentación vigente (Art. 18).

Entre otros elementos que componen este antecedente, se encuentra la promoción de procesos de inspección simultánea con otras entidades con el objetivo de fomentar la eficiencia y disminuir los trámites administrativos.

Un componente adicional en este decreto, es la inclusión del procedimiento para la habilitación de fábricas de alimentos de mayor riesgo en salud pública de origen animal ubicadas en el exterior. Aunque este procedimiento no es aplicable en los tratados y acuerdos comerciales suscritos y ratificados por Colombia, cuando ya se hayan pactado requisitos y existan disposiciones en el tema (alimentos de origen animal). Sin embargo, hubo modificaciones en el Decreto 2478 de 2018¹⁸ en cuanto a las exigencias y aspectos de procedimiento específicos, así como a procedimientos sanitarios para la importación y exportación de alimentos, materias primas e ingredientes secundarios para alimentos destinados al consumo humano.

Teniendo en cuenta que solo se hizo mención de los decretos más relevantes en cuanto a inspección, vigilancia y control (IVC) para alimentos y aspectos de importación y transformación en el ámbito nacional, es relevante señalar que el marco normativo en el país asociado a la inocuidad alimentaria identificado (Tabla 5), ha propiciado su desarrollo en términos de:



➤ **Definir** reglamentos para la transformación y comercialización de alimentos.



➤ **Establecer** requisitos en procedimientos de importación y exportación de alimentos, materias primas e ingredientes secundarios para el consumo humano.



➤ **Reglamentar** aspectos como empaques, esquemas de conservación, entre otros.



➤ **Organizar** el sistema a través de definición de objetivos, competencias, estructura interna y administrativa de las instituciones a cargo, así como la conformación de redes nacionales en el caso de laboratorios de análisis y sistemas de gestión.



➤ **Definir** del modelo de IVC así como proponer planes de seguimiento específicos.



➤ **Propiciar** la articulación de las instituciones en las actividades de IVC.

¹⁷Derogó el decreto 3075 de 1997.

¹⁸Derogó el Decreto 539 de 2014.

Tabla 5. Normatividad asociada a la inocuidad, procesos de IVC y límites máximos de residuos en alimentos en Colombia.

ACTO	DESCRIPCIÓN
Marco general en inocuidad	
Ley 9 de 1979 (Congreso de la república)	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Título V. Alimentos. Establece lineamientos para la comercialización y transformación de alimentos de acuerdo al carácter deseable de instalaciones, mantenimiento de equipos y utensilios, operaciones de procesamiento.
Decreto 3075 de 1997 (Presidencia de la República)	Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979 y se dictan otras disposiciones. Comercialización y transformación de alimentos. Requisitos de importación y exportación.
Importación y exportación	
Decreto 2478 de 2018 (Minsalud)	Por el cual se establecen los procedimientos sanitarios para la importación y exportación de alimentos, materias primas e ingredientes secundarios para alimentos destinados al consumo humano, para la certificación y habilitación de fábricas de alimentos ubicadas en el exterior o del sistema de inspección, vigilancia y control del país exportado.
Decreto 590 de 2014 (Minsalud)	Por el cual se modifica el artículo 21 del Decreto número 539 de 2014.
Decreto 539 de 2014 (Congreso de la República)	Por el cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los importadores y exportadores de alimentos para el consumo humano, materias primas e insumos para alimentos destinados al consumo humano y se establece el procedimiento para habilitar fábricas de alimentos ubicadas en el exterior. Establece procedimiento de negación de la habilitación y prohibición de la comercialización en el territorio nacional, vigencia y renovación para habilitación. En este decreto se adopta el procedimiento sancionatorio de acuerdo a la Ley 9 de 1979 (Art. 576).
Decreto 4149 de 2004	Por el cual se racionalizan algunos trámites y procedimientos de comercio exterior, se crea la Ventanilla Única de Comercio Exterior y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.
Resolución 116 de 2010 (ICA)	Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro y control de personas que se dediquen a la comercialización de insumos agropecuarios y/o semillas para siembra a través de establecimientos de comercio.
Resolución 1558 de 2010 (ICA)	Por medio de la cual se dictan disposiciones para la importación y exportación de plantas, productos vegetales, artículos reglamentados, animales y sus productos.
Inspección vigilancia y control	
Decreto 2478 de 2018 (Minsalud)	Por el cual se establecen los procedimientos sanitarios para la importación y exportación de alimentos, materias primas e ingredientes secundarios para alimentos destinados al consumo humano, para la certificación y habilitación de fábricas de alimentos ubicadas en el exterior o del sistema de inspección, vigilancia y control del país exportador.





Resolución 770 de 2014 (Minsalud)	Por la cual se establecen las directrices para la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de los Planes Nacionales Subsectoriales de Vigilancia y Control de Residuos en Alimentos y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1229 de 2013 (Minsalud)	Por el cual se establece el modelo de inspección, vigilancia y control sanitario para los productos de uso y consumo humano.
Resolución 2674 de 2013 (Minsalud)	Por la cual se reglamenta el art. 126 del decreto ley 19 de 012. Por el cual el Invima debe expedir el los requisitos, permisos o notificaciones sanitarias para alimentos que se fabriquen envasen o importen para comercialización en el territorio nacional. Se ciñe a los principios de buenas prácticas de manufactura para la adecuación de los lugares de procesamiento, almacenamiento, envase y distribución.
Resolución 5296 de 2013 (Minsalud)	Crea la lista de establecimientos y o predios con hallazgos de excesos de residuos o contaminantes en los productos alimenticios destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones. Lista LERCON.
Circular 31 - 2015 (Minsalud)	Directrices para la aplicación de la normatividad sanitaria de alimentos de consumo humano.
Circular 46 - 2014 (Minsalud)	Lineamientos para la articulación y coordinación de las actividades de inspección, vigilancia y control relacionadas con alimentos destinados al consumo humano.
Circular 46 - 2016 (Minsalud)	Lineamientos complementarios para la articulación y coordinación de las actividades de inspección, vigilancia y control relacionadas con alimentos y bebidas destinados al consumo humano.
Desarrollo de la institucionalidad	
Decreto 1071 de 2015 (MADR)	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural.
Decreto 4765 de 2008 (MADR)	Por el cual se modifica la estructura del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, y se dictan otras disposiciones.
Ley 1122 de 2007 (Congreso)	Por la cual se hacen algunas modificaciones en el Sistema General de Seguridad Social en Salud y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2078 de 2012. (Minsalud)	Por el cual se establece la estructura del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), y se determinan las funciones de sus dependencias
Laboratorios inspección de alimentos	
Resolución 1619 de 2015 (Minsalud)	Por la cual se establece el Sistema de Gestión de la Red Nacional de Laboratorios en los ejes estratégicos de vigilancia en salud pública y de gestión de calidad
Resolución 2078 de 2012 (Minsalud)	Por el cual se establece la estructura del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA y se determinan las funciones de sus dependencias.
Resolución 2079 de 2012 (Minsalud)	Por el cual se establece la planta del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA- y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2323 de 2006 (Presidencia de la república)	Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 9 de 1979 en relación con la Red Nacional de Laboratorios y se dictan otras disposiciones.
NTC- ISO -IEC 17025 2005	Por la cual se estandarizan los mecanismos y procedimientos de medición.



A manera de revisión, la Tabla 6 consigna distintas definiciones ofrecidas por algunos antecedentes normativos determinantes en los procesos de IVC entre los años 1997 y 2018.

Se resalta especialmente las modificaciones que ha tenido la definición sobre “alimento de mayor riesgo en salud pública”, el cual es finalmente relegado a los productos de la cadena pecuaria.

Tabla 6. Definiciones sobre el riesgo en alimentos través de la normatividad en Colombia.

Definición	Decreto 3075 de 1997 (Art. 2)	Resolución 2674 de 2013 (Art. 3)	Decreto 2478 de 2018 (Art. 3)
Alimento de mayor riesgo para la salud pública	Alimento que, en razón a sus características de composición especialmente en sus contenidos de nutrientes, Aw actividad acuosa y pH, favorece el crecimiento microbiano y por consiguiente, cualquier deficiencia en su proceso, manipulación, conservación, transporte, distribución y comercialización, puede ocasionar trastornos a la salud del consumidor.	Contiene microorganismos patógenos, favorece la formación de toxinas o contiene productos químicos nocivos.	Son los productos derivados de la producción pecuaria, que se encuentren dentro del grupo de la leche y derivados lácteos, derivados cárnicos; pescado y productos de la pesca, y los ovoproductos, conforme con lo previsto en el artículo 3 de la Resolución 2674 de 2013 o norma que la modifique o sustituya, siendo clasificados como alimento de mayor riesgo en salud pública.
Alimento de menor riesgo para la salud pública	--	Poca probabilidad de presencia de patógenos, no favorece el crecimiento de patógenos y no contiene productos químicos nocivos.	--
Alimento de riesgo medio para la salud pública	--	No favorece el desarrollo de microorganismos.	--
Alimento adulterado	a) Al cual se le ha sustraído parte de los elementos constituyentes, reemplazándolos o no por otras sustancias. b) Que haya sido adicionado con sustancias no autorizadas. c) Que haya sido sometido a tratamientos que disimulen u oculten sus condiciones originales. d) Que por deficiencias en su calidad normal hayan sido disimuladas u ocultadas en forma fraudulenta, sus condiciones originales.		--

Alimento Alterado	Que sufre modificación o degradación, parcial o total, de los constituyentes que le son propios, por agentes físicos, químicos o biológicos.	Que sufre modificación o degradación, parcial o total, de los constituyentes que le son propios, por agentes físicos, químicos o biológicos. Se incluye pero no se limita a: a) El cual se encuentre por fuera de su vida útil. b) No esté siendo almacenado bajo las condiciones necesarias para evitar su alteración.	--
Alimento fraudulento	--	Requiere registro y no lo tiene, se expende con otro nombre o mal etiquetado o no procede del verdadero fabricante declarado.	--
Alimento falsificado	a) Se le designe o expendan con nombre o calificativo distinto al que le corresponde; b) Su envase, rótulo o etiqueta contenga diseño o declaración ambigua, falsa o que pueda inducir o producir engaño o confusión respecto de su composición intrínseca y uso. c) No proceda de sus verdaderos fabricantes o que tenga la apariencia y caracteres generales de un producto legítimo, protegido o no por marca registrada, y que se denomine como éste, sin serlo.	--	--
Alimento contaminado	Alimento que contiene agentes y/o sustancias extrañas de cualquier naturaleza en cantidades superiores a las permitidas en las normas nacionales, o en su defecto en normas reconocidas internacionalmente.		--
Sustancia peligrosa	Es toda forma de material que durante la fabricación, manejo, transporte, almacenamiento o uso pueda generar polvos, humos, gases, vapores, radiaciones o causar explosión, corrosión, incendio, irritación, toxicidad, u otra afección que constituya riesgo para la salud de las personas o causar daños materiales o deterioro del ambiente.	--	--

Fuente: elaboración propia.

El ICA es otra de las instituciones encargadas de ejecutar actividades de IVC. A partir del Decreto 1167 de 2010 se determinaron los requisitos para el control de la comercialización de insumos agropecuarios o semillas a través de establecimientos comerciales, se determinó la necesidad de registro ante esta entidad y se establecieron prohibiciones de procedimientos específicos en el marco de la comercialización de insumos. Sin embargo, la inocuidad para la producción primaria de especies vegetales ha sido abordada desde el ICA principalmente desde el enfoque de buenas prácticas de agricultura, desde la prevención y el establecimiento de un sistema de certificación de las mismas. Se ha logrado establecer la regulación (Resolución 30021 de 2017) y todo un esquema de certificación a la producción apoyado en normas específicas para productos de destinación a la alimentación humana, principalmente de frutas y hortalizas.

No se identificaron otros aspectos relacionados con la inocuidad en la protección fronteriza, dado que en esta área el control técnico se basa fundamentalmente en la prevención del ingreso de plagas cuarentenarias y enfermedades, y en el mantenimiento del estatus sanitario y fitosanitario del país. Sin embargo, en materia de micotoxinas el ICA y el Invima han desarrollado procesos de vigilancia en la cadena pecuaria y de transformación como en la industria de molinería.

Por último, el acápite 5.4 *Sistema de IVC para alimentos importados en Colombia*, se examinan otros los avances y se retoman aprendizajes de otros países importadores de materias primas como el maíz (Capítulo 5: *Esquemas de vigilancia, inspección y control de la contaminación*).

1.3.3 Fomento a la inocuidad

Política nacional y planes de fomento a las BPAs

La inocuidad, la protección sanitaria, la sostenibilidad y la salud son ejes fundamentales de las BPAs, las cuales fueron promovidas con la puesta en marcha del «*Plan Nacional de Implementación de BPA*» (MADR, 2004b). En este plan se buscó generar avances desde la defi-

nición de una normatividad para el sector, promover su implementación en distintas cadenas, para posicionar productos en el mercado; caracterizar, ordenar y valorar las especificaciones técnicas para programas de transferencia.

Entre las estrategias de implementación de BPA en el sector se enuncian la articulación institucional, la difusión y fomento de estas prácticas, la formación y capacitación, la investigación y transferencia tecnológica, el apoyo a mercados y la diferenciación, así financiación y cooperación internacional.



En la actualidad, estas acciones continúan siendo de una necesidad vigente para propiciar mejores impactos productivos, pues las BPA no son de cumplimiento obligatorio y suelen tener una mayor acogida por parte de cadenas con mercados externos o que tengan que enfrentarse a su cumplimiento a partir de las exigencias en mercados específicos.

De otro lado, en 2005 se promulgó la «*Política Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de Alimentos para el Sistema de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (MSF)*» (Conpes 3375) en la que se adoptaron los lineamientos para la inocuidad de alimentos de la OMC (Acápito 1.1.2 *Organización Mundial del Comercio*) incorporados en el marco legal colombiano desde la Ley 170 de 1994. La política incluyó todas las MSF y propuso una serie de estrategias como el fortalecimiento institucional a las autoridades nacionales de los distintos sectores para IVC y la admisibilidad sanitaria internacional.

Hasta la actualidad, han sido desarrollados diversos Conpes en función de la inocuidad en la cadena pecuaria como:

- Conpes 3676 de 2010: consolidación de la política sanitaria y de inocuidad para las cadenas láctea y cárnica.
- Conpes 3446 de 2006: lineamientos para una política nacional de la calidad.
- Conpes 3376 de 2005: política sanitaria y de inocuidad para las cadenas de la carne bovina y de la leche.
- Conpes 3458 de 2007: política nacional de sanidad e inocuidad para la cadena porcícola.
- Conpes 3514 de 2008: política nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y otros vegetales.

Posteriormente, la «Política Nacional de Seguridad alimentaria y Nutricional» (Conpes 113 de 2007) confirmó la importancia de la inocuidad al incluirla entre sus dimensiones, en conjunto con la suficiencia y estabilidad de la disponibilidad de alimentos, el acceso, el consumo oportuno y permanente de los mismos en cantidades suficientes para la población en general.

Adicionalmente, la inocuidad es imprescindible al examinar la calidad; la inspección, vigilancia y control; los riesgos biológicos, físicos y químicos, y la manipulación, conservación y preparación de los alimentos. Se considera que la inocuidad y calidad de un producto alimenticio terminado dependen de la calidad de las materias primas, la presencia de microorganismos patógenos y sustancias contaminantes de riesgo para la salud humana, el cumplimiento de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y de Manufactura (BPM) en los diferentes eslabones de la cadena agroalimentaria, el deterioro del medio ambiente y técnicas de manipulación.

De igual manera, reconoce el efecto de la calidad sobre la salud pública y los riesgos asociados a ETA, siendo menester de las entidades de salud municipales, distritales y departamentales, el vigilar y controlar en su jurisdicción la calidad, producción, distribución y comercialización de los alimentos para el consumo humano; establecer marcos regulatorios, generar capacidades e infraestructura, así como fortalecer la institucionalidad en la materia y en las regiones desde la coordinación central.

En este mismo año (2007), el Instituto Colombiano Agropecuario ICA promovió el «Sistema de Supervisión y Certificación de la Inocuidad en la producción primaria» para el diseño de referentes normativos y los procedimientos de inspección y certificación de BPA para especies prioritarias como frutas y hortalizas, con requisitos de implementación y sistemas de trazabilidad¹⁹. Así, desde el enfoque de inocuidad, se realizó la calificación de proveedores para las acciones de vigilancia y control por parte de las autoridades²⁰.

Para ello, se definió la Norma Técnica Colombiana NTC 5522, «Buenas Prácticas Agrícolas. Trazabilidad en la Cadena Alimentaria para Frutas, Hierbas Aromáticas Culinarias y Hortalizas Frescas».

Para 2008, la «Política nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y otros vegetales» (Conpes 3514) reconoció las dificultades nacionales para asegurar el estatus sanitario de su producción e industria agroalimentaria, tanto en fresco como procesada, por lo que buscó generar una respuesta desde Asohfrucol y el SENA (Cámara de Comercio de Bogotá – CCB, Gobernación de Cundinamarca y la Asociación Nacional de Comercio Exterior – Analdex), con un enfoque de capacitación e implementación de prácticas para el mejoramiento de la inocuidad alimentaria, el fomento a las exportaciones y el desarrollo de modelos piloto en BPA y trazabilidad, con certificación de GlobalGAP, la cual fue posteriormente implementada y ampliada bajo estándares ColombiaGAP.



Reconocimiento a los derechos del consumidor

La Ley 1480 de 2011 conocida como el «Estatuto del consumidor» señala el derecho del consumidor a recibir productos de calidad, la cual se define de acuerdo al cumplimiento de las características inherentes y las atribuidas por la información que se suministre sobre producto; así como a su seguridad e indemnidad, como productos que no causen daño en condiciones normales de uso y protección contra consecuencias nocivas para la salud, la vida o la integridad de los consumidores. Señala el derecho a la información (veraz, oportuna, transparente, etc.) así como la relacionada con los riesgos y condiciones de utilización teniendo en cuenta la duración. En este estatuto se considera como inseguro un producto que no cumpla con requisitos de seguridad establecidos en reglamentos técnicos o medidas sanitarias.

¹⁹Además, desde la Norma Técnica Colombiana NTC 5522, «Buenas Prácticas Agrícolas. Trazabilidad en la Cadena Alimentaria para Frutas, Hierbas Aromáticas Culinarias y Hortalizas Frescas» se establecieron elementos para la inocuidad desde la trazabilidad como elemento para la vigilancia y control.

²⁰Plan Diamante (2016-2022). Contiene planteamientos y estrategias del ICA a futuro.

Estipula la responsabilidad de los productores y proveedores sobre el aseguramiento de la calidad; su idoneidad, entendida como la aptitud para satisfacer la necesidad para las cuales ha sido producido o comercializado y la seguridad sobre el bien/servicio que ofrezca o ponga en el mercado, por lo que estas características no pueden ser inferiores a los reglamentos técnicos y medidas sanitarias y fitosanitarias definidas (Art. 7). El Invima figura aquí como la entidad responsable de garantizar la calidad, idoneidad y seguridad de productos o servicios comercializados a partir de la expedición de los registros sanitarios (de acuerdo con Ley 100 de 1993. Art.245). Son objeto de esta resolución todos los productores, proveedores y consumidores de todos los sectores de la economía de los cuales no exista regulación especial y aplicable a los productos nacionales e importados.

Planes Subsectoriales de vigilancia y control de residuos en alimentos

Desde la Resolución 770 de 2014 el MADR se delegó al Invima y al ICA la responsabilidad de su formulación, ejecución, seguimiento y evaluación. Los planes de vigilancia y control se basan en la probabilidad de los contaminantes, las prioridades de riesgo, la articulación de los actores responsables y los peligros para la salud humana o sobre piensos y alimentos, para finalmente adoptar buenas prácticas en todos los niveles del sistema de control, el desarrollo de controles de trazabilidad de la industria y de la autoridad sanitaria.

Para los fines de este documento se revisó el «Plan subsectorial de vigilancia y control de micotoxinas en alimentos procesados (2018-2019)» de Invima, el cual planteó el análisis de aflatoxinas para muestras de productos como maíz, arepa y harina de maíz, entre otros (maní, harina de trigo) y su relación con límites máximos permitidos en las Resoluciones 4506 de 2013 y 2671 de 2014 en donde se establecieron los máximos para aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 en maíz para consumo humano directo o como ingrediente, cuya sumatoria máxima es de 20 µg/kg. El método implementado para la determinación fue de prueba rápida cuantitativa (*screening*) validada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (Invima, 2017).

Aunque este ejercicio capturó muestras en distintos departamentos, sus resultados presentan varias debilidades. En primer lugar, no puede considerarse como un ejercicio sistemático ni representativo en términos muestrales. A pesar de que se logre evidenciar la problemática es fundamental reconocer una gran limitación al poder ejecutar este tipo de prácticas sobre el espectro legal, en los establecimientos registrados. Por otra parte, no contó con información adicional sobre la trazabilidad de las muestras para tratar de identificar el origen del maíz con que se realizaron los productos, se tomaron muestras en producto terminado, sin reconocer las posibilidades de contaminación en distintas fases de transformación. Fundamentalmente, manifestó un trato no igualitario para el maíz nacional, en relación con el maíz de importación al no responder a un muestreo y un método que reconozca las características de ambos flujos.

Sistema MSF

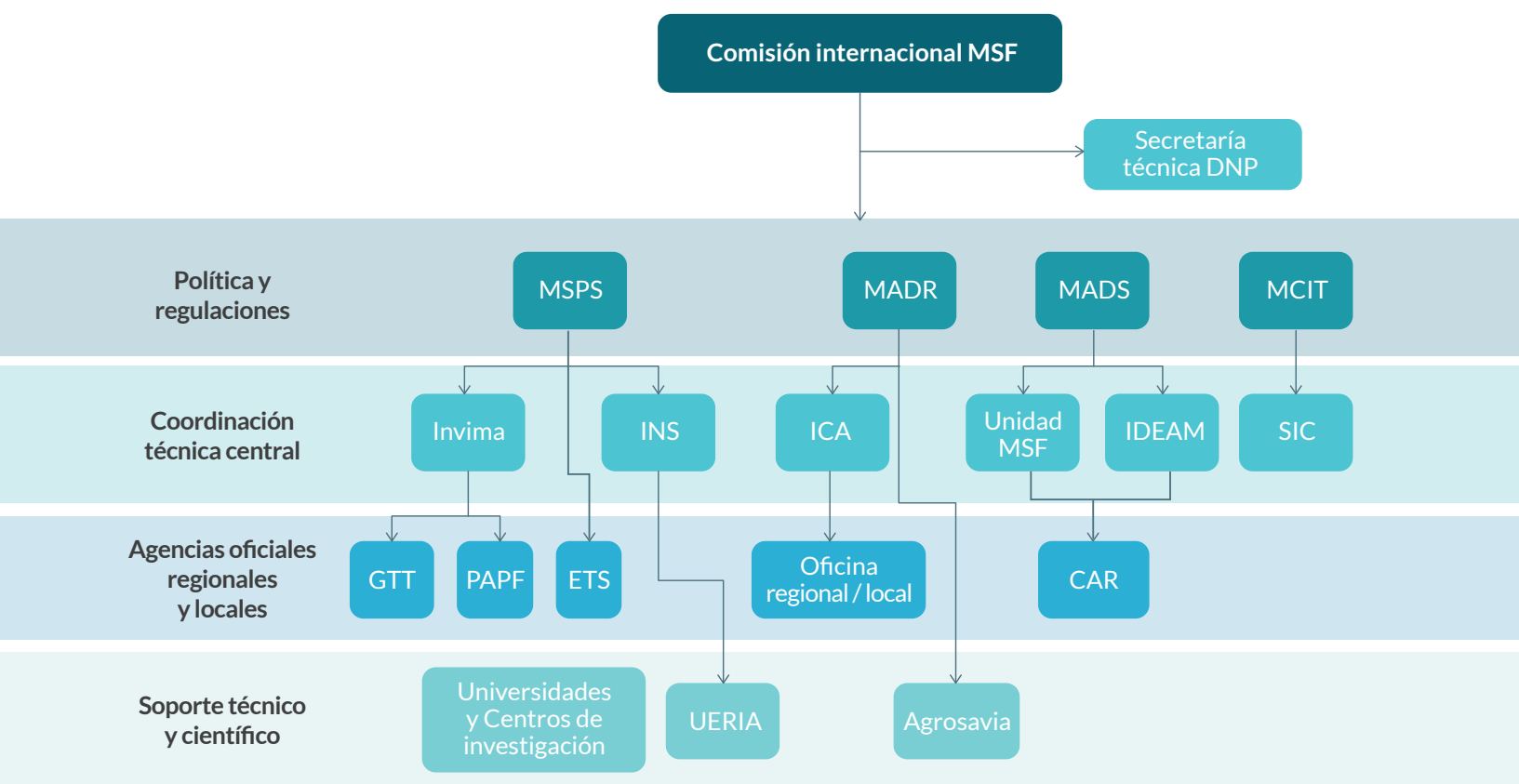
Antecedentes como el Acuerdo MSF, adoptado a partir de la ley 170 de 1994 y el Conpes 3375 de 2005, establecen que el Sistema MSF debe tener un enfoque del “campo a la mesa” en términos de inocuidad alimentaria. A la vez, debe soportarse en el análisis del riesgo (AR) y encargarse de:

- Tener en cuenta que la admisibilidad de los productos exige, no solo el cumplimiento de requisitos en los productos, sino también la calidad y credibilidad de los sistemas nacionales MSF del país exportador.
- La ampliación y fortalecimiento de los sistemas de vigilancia y control.
- Mayor importancia de los sistemas preventivos, como las BPA (Buenas Prácticas Agrícolas), el Sistema HACCP (Análisis de peligros y puntos de control crítico) y la trazabilidad.
- La mayor exigencia de una base científica para la determinación de MSF.
- El fortalecimiento y desarrollo de las instituciones sanitarias.

> Los Sistemas MSF, tienen el propósito de garantizar la protección de la salud de las personas, animales y plantas y asegurar las condiciones del comercio a través de la adopción de estrategias de control y prevención basadas en el riesgo, con un sustento científico y técnico para evitar distensiones al comercio (Minsalud, s.f.) (Figura 1).

En este sentido, la política buscó establecer tres estrategias principales: la adecuación y el fortalecimiento institucional del sistema, el mejoramiento de su estructura operativa y conceptual y la gestión de la admisibilidad. Se estructuraron 7 programas principales: Coordinación Intersectorial, Adecuación de la Estructura Institucional, Fortalecimiento institucional MSF, Evaluación del Riesgo, Gestión del Riesgo, Acciones Preventivas y Comunicación del riesgo, con recursos públicos y destinación por actor.

Figura 1. Esquema de la Comisión MSF



Siglas: MADR: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; MSPS: Ministerio de Salud y Protección Social; MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; MCIT: Ministerio de Comercio Industria y Turismo; INS: Instituto Nacional de Salud; Instituto Colombiano Agropecuario, Ideam: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; SIC: Superintendencia de Industria y Comercio; CAR: Corporación Autónoma Regional; GTT: Grupos de trabajo territorial; PAPP: Puertos, Aeropuertos y Pasos de Frontera ; UERIA: Unidad de Riesgos Para la Inocuidad de los Alimentos del Instituto nacional de salud; ETS.

Fuente: MinSalud (s.f).

Fomento a la trazabilidad

Desde la Ley 1450 de 2011 se resaltó la necesidad de implementar de Sistemas de trazabilidad en función de mejorar la sanidad agropecuaria e inocuidad de los alimentos (Art. 65. Sistemas de Trazabilidad. Art. 227. Obligatoriedad de suministro de información. Parágrafo 4º). En esta, se otorgó la responsabilidad de coordinar y reglamentar, junto con el gobierno nacional, al Instituto Colombiano agropecuario (ICA) y el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), la implementación de sistemas de trazabilidad tanto en el sector privado y primario como en el de transformación y distribución de alimentos. Además se abrió la puerta a entidades idóneas en plataformas funcionales para tal fin.

Este reglamento permitía el acceso a la información de los sistemas de trazabilidad a las autoridades para cumplir funciones de inspección, vigilancia y control. Sin embargo, este artículo sobre sistemas fue derogado por el Art. 267 de la Ley 1753 de 2015 y se da finalmente un decreto específico para la trazabilidad vegetal, el Decreto 931 de 2018.

Por último y a modo de ofrecer una perspectiva muy general, la Ley 1876 de 2017 creó el «*Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria*» (SNIA), compuesto por subsistemas, planes estratégicos, instrumentos de planificación y participación, plataformas de gestión, procedimientos para su implementación, así como mecanismos para su financiación, seguimiento y evaluación, la creación de este sistema representa otra herramienta para resolver las necesidades de inocuidad desde sistemas de trazabilidad, la innovación y la gestión del conocimiento.

1.3.4. Límites máximos permisibles de residuos y de micotoxinas asociados al maíz y a sus productos

En el ámbito nacional existen diversos antecedentes en lo referente a límites establecidos para contenidos de micotoxinas en distintos tipos de alimentos, tamaño final de partícula del producto y edad del consumidor (Tabla 7).

Tabla 7. Normativa asociada a límites máximos de residuos relacionados con cereales y maíz

Límites máximos de residuos	
Resolución 3709 de 2015 (Minsalud)	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 4506 de 2013 modificada por la Resolución 2671 de 2014.
Resolución 2671 de 2014 (Minsalud)	Por la cual modifica la tabla 1 de la Resolución 4506 de 2013. Establece que la suma de aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 en maíz para consumo humano directo o como ingrediente, es de 20 µg/kg.
Resolución 4506 de 2013 (Minsalud)	Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones. Se establecen los máximos para aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 en maíz para consumo humano directo o como ingrediente, el cual es de 20 µg/kg. Establece niveles máximos permitidos por contaminantes y grupos alimentarios.
Resolución 2906 de 2007 (Minsalud)	Por la cual se establecen los límites máximos de residuos de plaguicidas – LMR en alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes.

En las resoluciones No. 4506 del 2013 y 3709 de 2015 del Ministerio de Salud y Protección Social se definieron los niveles máximos de contaminación para micotoxinas como: Aflatoxinas (AFLA), Deoxinivalenol (DON) 100-1750 µg/kg, ii) Fumonisinas (FUM) 200-4000 µg/kg y iii) Zearalenona (ZEA) 20 - 350 µg/kg, para alimentos destinados al consumo humano. Dichos rangos establecidos son comparables a la UE y Mercosur que también se basan en FAO 2003.

De acuerdo al desarrollo normativo, a continuación se retoman con el objetivo único de suministrar información de referencia, los niveles de contaminantes permitidos para el maíz y otros productos relacionados (Tabla 8). Es relevante mencionar que los niveles máximos nacionales se encuentran alineados con los definidos en el *Codex Alimentarius*.

Tabla 8. Niveles máximos de micotoxinas en cereales y maíz para consumo humano en Colombia

Contaminante	Producto	Nivel máximo
Suma de aflatoxinas B1, B2, G1 y G2	Cereales y productos a base de cereales incluidos en productos cereales transformados.	4µg/kg
	Maíz y arroz para transformación o tratamiento físico antes del consumo humano directo, o de su utilización como ingredientes de productos.	10,0 µg/kg
Aflatoxina M1	Leche.	0,5 µg/kg
Ocratoxina A	Cereales no elaborados, productos transformados a base de cereales y los destinados al consumo humano directo a excepción de los productos alimenticios 4.7 y 4.8.	3,0 µg/kg
	Alimentos a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños.	0,5 µg/kg
Deoxinivalenol	Maíz no elaborado, excepto destinado a la molienda por vía húmeda.	2000 µg/kg
	Pan, productos de panadería, pasteles, galletas, pasabocas de cereales y cereales para el desayuno.	500 µg/kg
	Cereales en grano destinado al consumo humano directo, harina de cereales, salvado y germen como producto final comercializado para el consumo humano directo a excepción de productos enumerados en 6.4.2, 6.7, 6.8 y 6.9.	750 µg/kg
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula menor o igual a 500 micras, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula menor o igual a 500 micras, no destinadas al consumo humano directo.	1250 µg/kg
	Cereales en grano destinados al consumo humano directo, harina de cereales, salvado y germen como producto final comercializado para el consumo humano directo con algunas excepciones.	750 µg/kg
	Harina, sémola, semolina y hojuelas de trigo, maíz o cebada.	1000 µg/kg
	Pan, pasteles, galletas, pasabocas de cereales y cereales para el desayuno.	500 µg/kg
	Alimentos a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad.	200 µg/kg
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula mayor a 500 micras, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula mayor a 500 micras, no destinadas al consumo humano directo.	750 µg/kg
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula menor o igual a 500 micras, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula menor o igual a 500 micras, no destinados al consumo humano directo.	1250µg/kg
Zearalenona	Maíz no elaborado excepto el destinado a molienda por vía húmeda.	350 µg/kg
	Cereales destinados al consumo humano directo, harina de cereales, salvado y germen como producto final comercializado para el consumo humano directo y germen, a excepción de los productos alimenticios enumerados en los puntos 7.7 7.8 y 7.9 de la norma.	75 µg/kg

	Pan (incluidos pequeños productos de panadería) pasteles, galletas, pasabocas de cereales y cereales para desayuno, excluidos pasabocas de maíz y los cereales para el desayuno a base de maíz.	50 µg/kg
	Maíz destinado al consumo humano directo, pasabocas de maíz y los cereales para el desayuno a base de maíz.	100 µg/kg
	Alimentos elaborados a base de cereales (excluidos los alimentos a base de maíz) y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad.	20 µg/kg
	Alimentos elaborados a base de maíz para lactantes y niños de corta edad.	20 µg/kg
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula superior a 500 micras, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula mayor que 500 micras, no destinados al consumo humano directo.	200 µg/kg
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula menor o igual a 500 micras, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula menor o igual a 500 micras, no destinadas al consumo humano directo.	300 µg/kg
Fumonisin (B1+B2)	Maíz no elaborado excepto el destinado a molienda por vía húmeda.	4000 µg/kg
	Maíz y alimentos a base de maíz destinados al consumo humano directo, a excepción de los productos alimenticios enumerados en 8.3 y 8.4 de la norma.	1000 µg/kg
	Cereales para el desayuno a base de maíz y pasabocas de maíz.	800 µg/kg
	Alimentos elaborados a base de maíz y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad.	200 µg/kg
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula con un tamaño mayor a 500 micras, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula mayor a 500 micras, no destinados al consumo humano directo.	1400 µg/kg
	Fracciones de la molienda del maíz con un tamaño de partícula con un tamaño menor o igual a 500 micras, y otros productos de la molienda del maíz con un tamaño de partícula menores o iguales a 500 micras, no destinados al consumo humano directo.	2000 µg/kg

Fuente: Minsalud. Resolución 4506 de 2013 y Resolución 3709 de 2015.

Otro antecedente fundamental, es la directiva del ICA sobre “Alimentos para animales niveles máximos permisibles de micotoxinas DIP- 30 - 100 - 002”, en la que se establecieron los parámetros microbiológicos en alimentos para las especies:

- > Avícola.
- > Bovina.
- > Canina.
- > Cunícola.
- > Felina.
- > Porcícola.
- > Piscícola.

Y fundamentalmente se determinaron los niveles máximos permitidos de contaminantes como micotoxinas, sin embargo, ésta solo hace referencia a LMP para aflatoxinas en los alimentos de estas especies (Tabla 9), a pesar de los hallazgos en este tipo de alimentos y la diversidad de micotoxinas que pueden afectar la salud animal (Ver Acápites: 3.3.1: *Problemática mundial por contaminación con micotoxinas en la cadena pecuaria* y 4.3.2: *Incidencia de micotoxinas y materias primas para alimentos de consumo animal*).

Tabla 9. Niveles máximos de aflatoxinas permitidos en alimentos para animales en Colombia.

Especie	Nivel permitido de aflatoxinas
Avícola	20 ppb o µg/kg
Bovina	50 ppb o µg/kg
Canina	20 ppb o µg/kg
Cunícola	10 ppb o µg/kg
Felina	20 ppb o µg/kg
Piscícola - truchas	10 ppb o µg/kg
Piscícola	20 ppb o µg/kg
Porcina	50 ppb o µg/kg

Fuente: ICA- Directivas técnicas de alimentos para animales y sales mineralizadas (Dip – 30 - 100 – 002).

> Vale la pena señalar para escenarios futuros relacionados con inocuidad para el maíz, que la Resolución 2907 de 2007 determinó los límites máximos de residuos de plaguicidas para alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes.

1.3.5 Otras normas de referencia asociadas al maíz

Las Normas Técnicas Colombianas (NTC) desarrolladas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones (Icontec), representante de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), son el producto del consenso de las partes interesadas frente a lineamientos para satisfacer necesidades del mercado en lo relativo a la calidad y seguridad para proteger la salud, el medio ambiente y evitar el fraude. Sin embargo, son libre aplicación aunque, en algunos casos, pueden ser de cumplimiento obligatorio.

Vale la pena reconocer que en NTC 366 de 2015 establece requisitos generales, específicos, los procedimientos para la toma de muestra y criterios de aceptación y rechazo, así como los métodos de ensayo para la determinación de la humedad, contenido de proteína, masa por helectrolito, requisitos microbiológicos y contaminantes, entre otros procesos para la determinación del grado de calidad (impurezas, granos partidos, dañados, etc.). Por su parte, en las NTC 535 -1 y NTC 535 – 2 se establecen los requisitos que debe cumplir el maíz destinado a la producción de alimen-

to para animales con niveles de contaminación reducidos para impurezas, olores extraños y bajo su sistema de clasificación de grado de 1 a 3 para la elaboración de estos alimentos, en donde el tercer grado corresponde a un peso específico de 67kg/Hl, porcentaje de maíz partido e impurezas y material extraño de 4% y un número de granos dañados máximo de 7. Por otra parte el maíz debe tener un contenido de humedad que no excede el 15% y nivel máximo de aflatoxinas totales de 20 µg/kg. En el caso de FUM, este valor llega a 30 µg/kg aunque está discriminado para distintas especies, y está en relación con el porcentaje de participación de maíz en la composición del alimento. También define concentraciones permitidas para DON y ZEA, T-2 y HT-2.

A manera de revisión sobre los instrumentos disponibles para el fomento a la inocuidad como lo son los recursos técnicos y normativos, a continuación se presentan las NTC identificadas con aspectos de la transformación de maíz, el etiquetado, métodos de determinación de micotoxinas y características especiales, así como aspectos fitosanitarios y muestreo y equipos existentes (Tabla 10).

Tabla 10. Normas técnicas colombianas asociadas al maíz

Almacenamiento de maíz o cereales		
Nombre	Año	Descripción
GTC 69-1	2000	Almacenamiento de cereales y leguminosas. Parte 1. Recomendaciones generales para el almacenamiento de cereales.
GTC 69-2	2000	Almacenamiento de cereales y leguminosas. Parte 2. Recomendaciones prácticas.
GTC 69-3	2000	Almacenamiento de cereales y leguminosas. Parte 3. Control de ataques de plagas.
NTC 4599	1999	Cereales y leguminosas. Guía para medir la temperatura de los granos almacenados a granel.

Micotoxinas			
Nombre	Año	Descripción	
NTC 3581	2017	Industrias alimentarias. nivel máximo permitido de aflatoxinas en los alimentos.	
NTC 6027	2013	Determinación de toxinas t-2 y ht-2 en granos de cereal mediante limpieza por inmunoafinidad y cromatografía líquida con detección de fluorescencia.	
NTC 1232	1996	Método de análisis de aflatoxinas de ocurrencia natural - B1, B2, G1 Y G2 -.	
NTC 5472	2007	Determinación de ocratoxina en cereales y sus derivados por cromatografía líquida de alta eficiencia, HPLC.	
NTC 4881	2000	Método de análisis de zearalenona de ocurrencia natural.	
Procesamiento			
Nombre	Año	Descripción	
NTC 3977	2018	Productos de molinería, Grits de maíz crudo.	
NTC 6277	2018	Vegetales congelados rápidamente (zanahoria, mazorca de maíz dulce, puerros y maíz en grano entero).	
NTC 6173	2016	Productos de molinería. Tortilla de maíz.	
NTC 926	2016	Productos de molinería. Almidón de maíz no modificado (fécula de maíz).	
NTC 535-1	2014	Alimento para animales. Maíz.	
NTC 535-2	2015	Alimento para animales. Coproductos derivados de maíz.	
NTC 366	2015	Industrias alimentarias. Maíz en grano para consumo humano. Contiene los principales requisitos y métodos para la toma de muestras, criterios de aceptación y rechazo, así como los principales métodos de ensayo para la determinación de componentes del grano (humedad, proteína, masa por electrolitro, micotoxinas, contaminantes) así como preparación de muestra para análisis en aspectos de calidad (impurezas, granos partidos, determinación de grado, así como elementos para el empaque y rotulado.	
NTC 5232-2	2015	Alimento para animales. Co - productos derivados del maíz.	
NTC 3594	2014	Productos de molinería. Harina precocida de maíz para consumo humano.	
NTC 1055	2014	Productos de molinería. Pastas alimenticias.	
NTC 255	2010	Grasas y aceites comestibles vegetales y animales. Aceite de maíz.	
NTC 1201	2009	Maíz dulce en conserva.	
NTC 5372	2007	Arepas de maíz refrigeradas. Especificaciones de producto.	
NTC 5148	2003	Productos elaborados con base en cereales para alimentación a partir de los 6 meses de edad.	
NTC 3749	1997	Industrias alimentarias. Productos de molinería. Cereales listos para el desayuno.	
NTC 3659	1996	Industrias alimentarias. Expandidos extruidos a base de cereales.	
Etiquetado			
Nombre	Año	Descripción	
NTC 512-1	2007	Industrias alimentarias. Rotulado o etiquetado. Parte 1: norma general.	
NTC 512-2	2006	Industrias alimentarias. Rotulado o etiquetado. Parte 2: roturado nutricional de alimentos envasados.	
Determinación de características en maíz – cereales			
Nombre	Año	Descripción	
NTC 6375	2019	Cereales y productos cereales. Determinación del contenido de humedad.	Humedad de grano

NTC 852 -1	2017	Cereales. Determinación de la densidad en masa, denominada "masa por hectolitro". Parte 1: método de rutina.	Densidad
NTC 852-2	2016	Cereales. Determinación de la densidad en masa denominada "masa por hectolitro". Parte 2: método de referencia.	Densidad
NTC 271	2012	Cereales y productos cereales muestreo. Establece los requisitos principales, mecanismos e instrumentos para productos a granel, así como el manejo y roturado de muestras en laboratorio.	Muestreo
NTC 2227	1986	Granos y cereales. Determinación del contenido de humedad, en granos enteros y en granos molidos.	Humedad
NTC 3806	1995	Cereales y productos de cereales molidos. Determinación de la ceniza total.	Ceniza total
NTC-ISO 5529	1995	Granos, cereales y legumbres secas. Trigo. Determinación del índice de sedimentación. Ensayo de zeleny.	Índice de sedimentación
NTC-ISO 605	1995	Granos, cereales y legumbres secas. Determinación de impurezas, tamaño, olores extraños, insectos y variedad de método de ensayo.	Impurezas, olores e insectos
Aspectos fitosanitarios			
Nombre	Año	Descripción	
NTC 166	2007	Cereales en granos y leguminosas almacenadas. Guía para la detección de infestación de invertebrados vivos, mediante captura con trampas.	Insectos
NTC 134	2006	Plaguicidas agrícolas. Definiciones y clasificación.	Plaguicidas
NTC 4410-1	1998	Cereales y leguminosas. Determinación de la infestación oculta de insectos. Parte 1. Principios generales.	Insectos
NTC 4410-2	1998	Cereales y leguminosas. Determinación de la infestación oculta de insectos. Parte 2: muestreo.	Insectos
NTC 4410-3	1998	Cereales y leguminosas. Determinación de la infestación oculta de insectos. Parte 3: método de referencia.	Insectos
NTC 4410-4	1998	Cereales y leguminosas. Determinación de la infestación oculta de insectos. Parte 4: métodos rápidos.	Insectos
NTC 745	1980	Industrias alimentarias. Granos almacenados, clasificación de insectos y ácaros.	
NTC 774	1974	Granos y cereales. Determinación de la infestación oculta por insectos.	Insectos
Muestreo y equipos			
Nombre	Año	Descripción	
NTC 4234	2006	Tamices para ensayo para cereales.	
NTC 5082	2002	Cereales y productos de cereales molidos en circulación -o en movimiento-. Muestreo automático por medios mecánicos.	
NTC 5010	2001	Verificación del desempeño de los determinadores de humedad en uso. Parte 1: determinadores de humedad para cereales.	
NTC 4126	1997	Cereales. Legumbres y otros granos alimenticios. Nomenclatura.	
NTC 4127	1997	Cereales. Vocabulario.	

Fuente: elaboración propia.

ESCENARIO GENERAL DEL MAÍZ



El maíz es uno de los granos domesticados más antiguos debido a su alta capacidad productiva y a la diversidad de usos. Es conocido que, derivado del largo proceso de domesticación, es uno de los cultivos con mayores grados de transformación tecnológica. Para el 2019, fue uno de los cultivos de mayor importancia en el mundo en términos de área cultivada, en conjunto con otros cereales como el trigo, por lo que representa uno de los renglones más importantes de la economía y de la alimentación mundial.

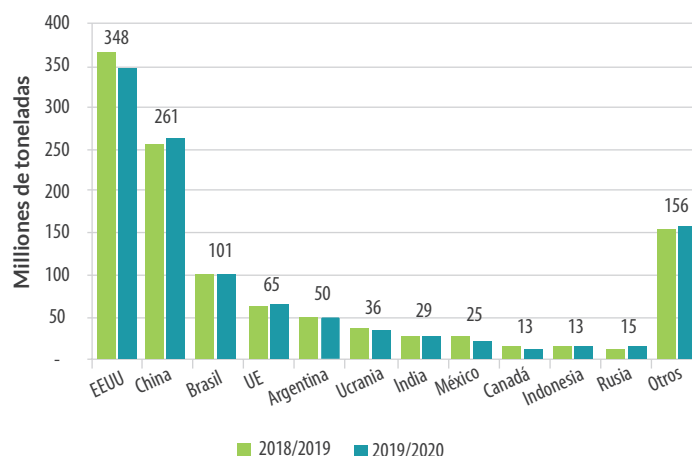
Se presentan los indicadores más relevantes en torno a la producción mundial, principales países productores, exportadores e importadores. A su vez, se enuncian los indicadores de la producción nacional, la cual se ha visto influida por distintos procesos como la modificación en hábitos de consumo, la apertura económica, la firma del tratado de libre comercio con Estados Unidos, los cuales han contribuido a establecer un escenario profundamente dependiente de las importaciones para este producto, dejando de lado la consideración de aspectos como la seguridad alimentaria nacional.

2.1 Mercado global

En los últimos sesenta años, el maíz ha incrementado sus áreas en el mundo de manera significativa (más de 80%). Para 1961 se registraban 105 millones de hectáreas (ha) en todo el mundo y ésta cifra estuvo cerca de ser del doble de su magnitud para 2019, con un rendimiento global promedio de 5,87 t/ha.

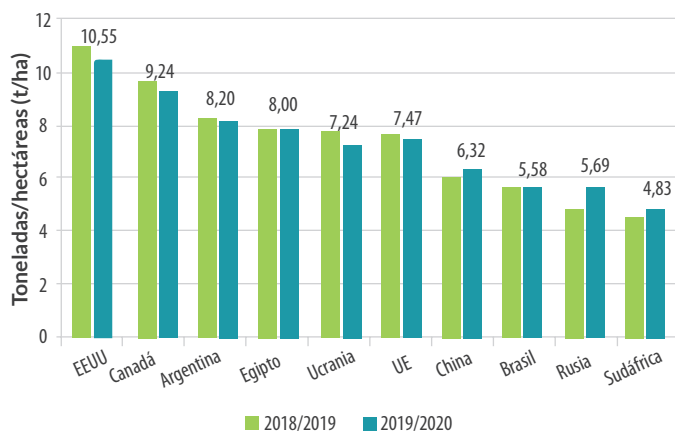
Para la campaña 2019-2020, la producción registró 1.111 millones de toneladas con una ligera variación con respecto a la campaña anterior. El principal productor mundial fue Estados Unidos con 348 millones de toneladas que representaron el 31% del total de la producción, seguido de países como China (24%), Brasil (9%), la Unión Europea (6%), Argentina (5%); Ucrania (3%), India (3%) y México (2%), Canadá, Indonesia y Rusia (cada uno con el 1%) (Figura 2).

Figura 2. Producción mundial de maíz (2019/2020).



Fuente: USDA (campaña 2019/2020).

Figura 3. Rendimiento promedio (t/ha) en los principales países productores (2018/2019-2019/2020)



Fuente: USDA. Elaboración propia.

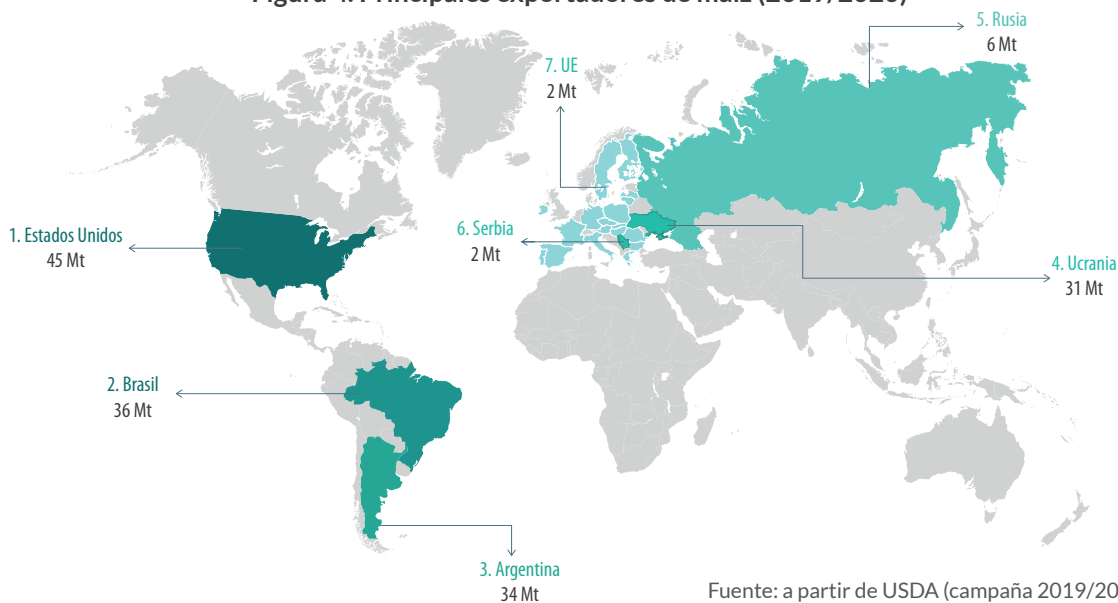
Para este mismo periodo se establecieron mundialmente 192,7 millones de hectáreas. China fue el país con mayor destinación de área al cultivo de maíz con el 21% del total del área sembrada del mundo (41 millones de ha). Aunque esta destinación fue un 25% mayor a la reportada en Estados Unidos, el rendimiento promedio de la producción de China fue de 6,32 t/ha, en comparación con el registro de 11,2 t/ha de Estados Unidos gracias al nivel de tecnificación, lo que lo ubicó en el primer lugar en productividad para el maíz.

Otros países que exhiben rendimientos de referencia importantes son: Canadá (9,24 t/ha), Argentina (8,2 t/ha), Egipto (8 t/ha), la Unión Europea (7,47 t/ha) y Ucrania (7,24 t/ha) (Figura 3).

Estados Unidos es el principal oferente en los mercados mundiales de maíz con más de 45 millones de toneladas de grano para exportación, sin embargo, se evidenció una importante disminución respecto a la campaña anterior en la que la cifra alcanzó las 64 millones de toneladas exportadas. Aunque China es uno de los países con mayor área destinada a la producción de maíz, ésta se destina al consumo interno y no genera excedentes para exportación importantes,

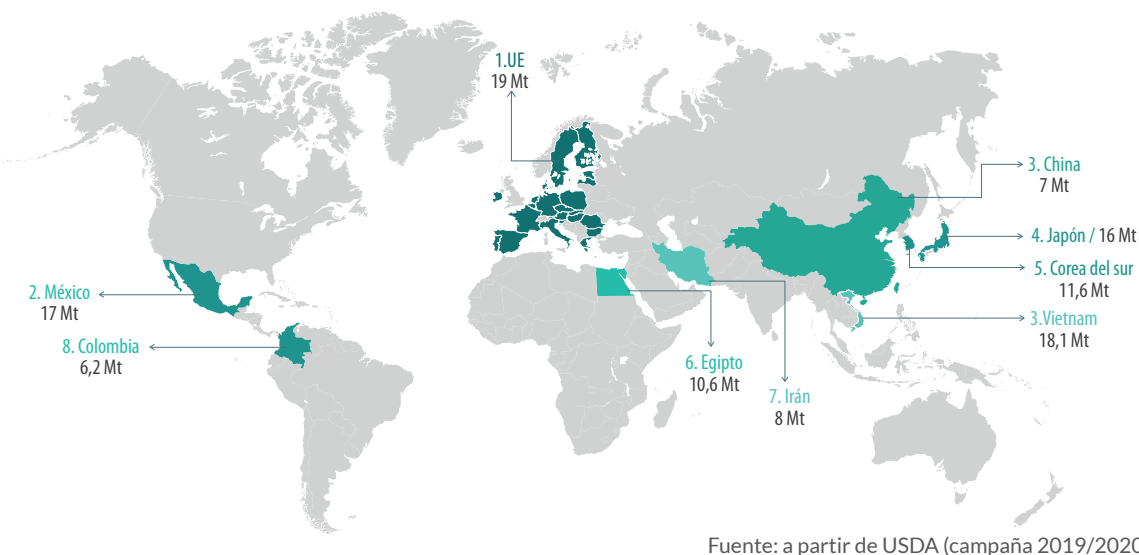
incluso debe importar para salvaguardar su demanda nacional (5 millones de toneladas en 2019/2020), por lo que el segundo mayor exportador mundial fue Brasil con 36 millones de toneladas. Sin embargo, debido a la guerra comercial entre China y Estados Unidos, hubo una mayor demanda por parte de China en 2019 del maíz originario de Brasil, lo que produjo que éste país se posicionara en los mercados externos con un 64% adicional a las exportaciones registradas el año anterior (Figura 4).

Figura 4. Principales exportadores de maíz (2019/2020)



De otro lado, los principales importadores de maíz en el ámbito mundial (2019/2020) correspondieron a la Unión Europea (13% de las importaciones mundiales) con 19 millones de toneladas. Otros importadores importantes fueron Vietnam, México, Japón y Corea del Sur (Figura 5).

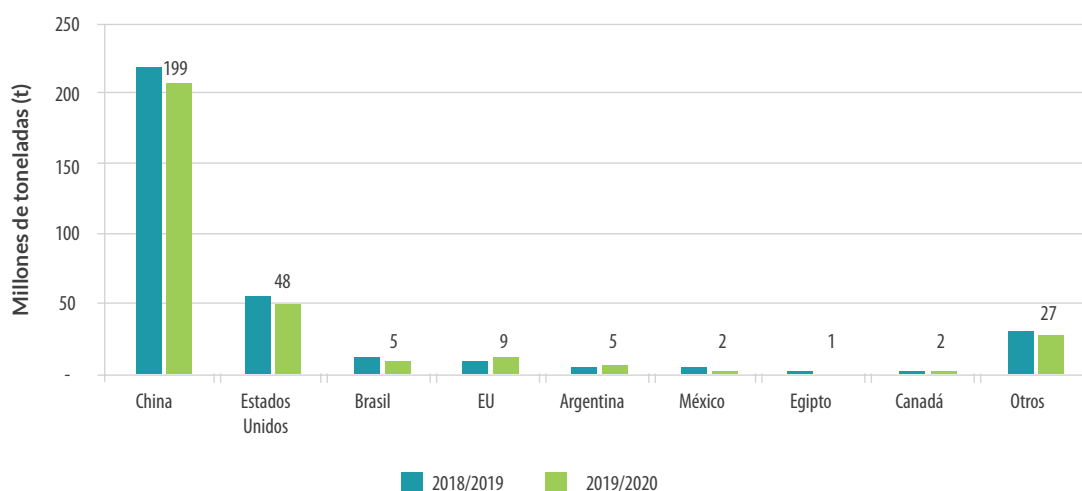
Figura 5. Principales importadores de maíz (2019/2020)



A pesar de la coyuntura generada por la guerra comercial, el consumo mundial de maíz creció en un 1%, en concordancia con el comportamiento creciente de los últimos años. En el ciclo 2019/20 excedió los 1,13 millones de toneladas, debido principalmente a los diversos usos industriales que tiene el maíz. Por ejemplo, la producción de etanol, que en Estados Unidos abarcó el 44,6% del consumo interno, incidió directamente sobre la demanda mundial y en la conformación del precio en el mercado. La demanda para este fin, se ha generalizado mundialmente; en el caso Colombiano, se registraron importaciones de 64,6 millones de galones de etanol en la campaña 2018/2019, cifra que representó un crecimiento del 58% con respecto a la campaña inmediatamente anterior.

Finalmente, los cambios en la producción, el consumo y el flujo comercial se reflejan en el nivel de reservas en cada país y determina el producto disponible para el comercio mundial. China cuenta con las mayores reservas de maíz en el mundo con el 67% de los inventarios existentes de grano, seguido por Estados Unidos con el 16%. Atendiendo a la disminución de la producción en la campaña, e incrementos en el consumo, los países debieron acudir a sus existencias para suplir la demanda de grano. Ante la coyuntura de la guerra comercial, China se vio obligado a disminuir en 5% (11 millones de toneladas), así como Brasil en 53% (5 millones de toneladas) y México en 54% (2,5 millones de toneladas), por nombrar los más afectados. Desde esta perspectiva, 8 países en el mundo conservan el 91% del total de los inventarios de maíz disponibles (Figura 6).

Figura 6. Inventarios mundiales de maíz (2018-2019/2019-2020)



Fuente: USDA. Elaboración propia.

2.2 Contexto productivo y de consumo en Colombia

A continuación se presentan indicadores de la producción nacional y de importaciones de maíz en 2019. Se identifican los principales centros de producción y su desempeño en área y rendimiento.

En el caso del maíz de importación se identificaron montos totales, puertos de ingreso, costos y agentes importadores principales desde el análisis del comportamiento con respecto al año anterior y dinámicas previas.



2.2.1 Producción nacional

Área de siembra maíz blanco y amarillo

El maíz es un alimento esencial tanto por su valor cultural, importancia económica y posibilidades de transformación. Este cultivo es uno de los más importantes en Colombia ya que abarcó el 11,6% del área destinada a la producción agrícola²¹ con 395.919 ha de maíz para el año 2019²², de estas hectáreas, el 54% tuvieron un esquema productivo de tipo tecnificado y el 46% fueron producidas tradicionalmente para una oferta total de 1.596.834 t.

El cultivo estuvo establecido de manera tecnificada principalmente en los departamentos de Meta (Altiplanura y Piedemonte) con 42.230 hectáreas (ha), Tolima (26.090 hectáreas ha), Córdoba (26.000 ha), Sucre (19.487 ha) y Valle del Cauca (19.180 ha) ha para 2019²³. Este cultivo lo desarrollan en un 60% por pequeños productores (hasta 10 hectáreas), seguido de medianos productores (30% con hasta 30 hectáreas) y en menor medida (10%) por grandes productores²⁴.

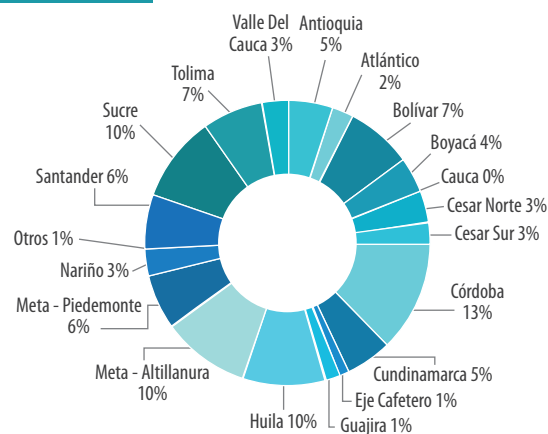
Al desagregar estos datos por tipo de maíz, se identificó que el área destinada a la producción de maíz amarillo (tecnificado y tradicional) se encuentra principalmente en Meta (Altiplanura y piedemonte), Córdoba, Tolima, Huila y Sucre quienes en conjunto representaron el 50% del área total sembrada, la cual correspondió a 249.685 ha en 2019 (Figura 7).

El maíz blanco tuvo una distribución distinta en el país. Para el año de referencia se sembraron 146.234 ha, 54% sembrado bajo un esquema tecnificado y un 46% de manera tradicional. Los departamentos o regiones con mayor destinación de área, fueron: Córdoba, Antioquia, Bolívar y Huila.

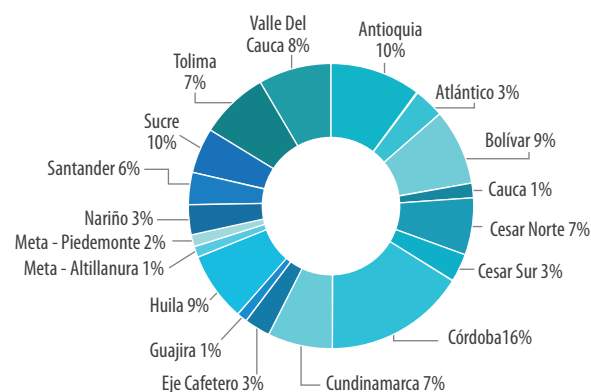
El maíz blanco tuvo una distribución distinta en el país. Para el año de referencia se sembraron 146.234 ha, 54% sembrado bajo un esquema tecnificado y un 46% de manera tradicional. Los departamentos o regiones con mayor destinación de área a la producción de este cultivo fueron: Córdoba, Antioquia, Bolívar y Huila.

Figura 7. Distribución del área destinada al cultivo de maíz por tipo y departamento (2019)

Amarillo



Blanco



Fuente: Fenalce. Ingenieros regionales.

Producción de maíz amarillo y blanco

La producción nacional de maíz amarillo (tradicional y tecnificado) fue en 2019 de 1.009.687 toneladas, lo que evidenció un crecimiento con respecto al año anterior. Ésta se concentró en la región de Meta-Altiplanura (177.500 t) y se destina por lo general a suplir el suministro de la cadena de alimentos balanceados en la región. Otros departamentos y regiones importantes en la producción nacional de maíz amarillo fueron Tolima (112.362 t), Córdoba (97.350 t), Meta-Piedemonte (94.850 t) y Huila (73.955t).

²¹ Sobre la base de 4.617.116 ha en producción agrícola para 2019. DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria. ENA. Y Datos de Fenalce de maíz amarillo y blanco, tecnificado y tradicional.

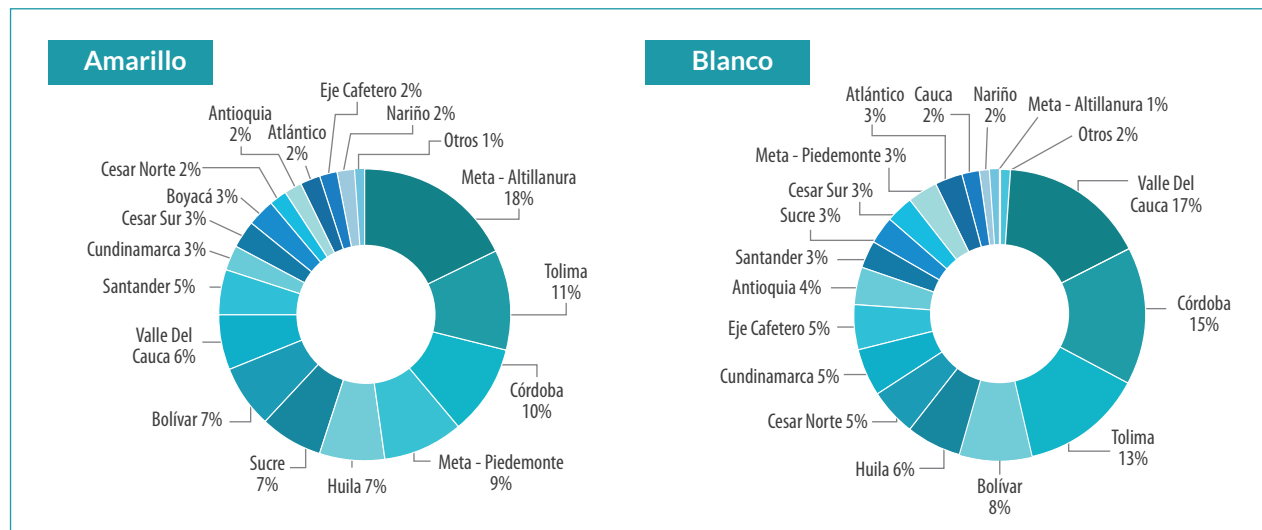
²² Fenalce. (2019). Coyuntura No. 61. El Cerealista. Se incluye en esta cifra maíz amarillo y blanco de tipo tecnificado y artesanal.

²³ Área sembrada en maíz blanco y amarillo tecnificado. Fenalce, 2019.

²⁴ Dato Fenalce 2018.

En el caso de maíz blanco se registró una producción total de 587.148 t, con un incremento con respecto al año anterior del 8%. La producción de este tipo de maíz, cuya destinación es el consumo humano, se realizó principalmente en el Valle del Cauca (98.730 t), seguido de Córdoba (90.700 t), Tolima (73.830 t) y Bolívar (47.300 t). Debido al proceso de tecnificación del cultivo, Valle del Cauca es el principal productor sin abarcar la mayor destinación de área al cultivo (Figura 8).

Figura 8. Distribución de la producción nacional de maíz por tipo y departamento (2019)



Fuente: Fenalce. Ingenieros regionales.

Rendimiento de cultivos de maíz blanco y amarillo

En el caso de maíz tecnificado, se registraron en variaciones de rendimiento de acuerdo a los sistemas productivos y el nivel de adopción de tecnología en las regiones productoras. En el caso del Valle del Cauca el rendimiento promedio se ubicó en 8,5 t/ha, seguido de Meta - Altillanura (7,2t/ha), Tolima (7 t/ha), Córdoba (6,7 t/ha), Meta - Pie de monte (6,7 t/ha), Eje cafetero (6,4 t/ha), sin embargo, existen regiones del país que pueden llegar a obtener rendimientos de 3 t/ha, por lo que se disminuyen los promedios nacionales de producción. Especialmente para el maíz amarillo tecnificado se registró un incremento en el promedio nacional, al pasar de 5,2 t/ha en 2018 a 5,8 t/ha en 2019. En el caso del maíz blanco tecnificado se obtuvieron resultados similares.

Para Colombia, es importante establecer mecanismos y definir acciones concretas para el fomento del cultivo en área y productividad (UPRA, 2020), en donde se contribuya a fortalecer aspectos que componen la seguridad alimentaria y nutricional atendiendo a registros de inseguridad alimentaria considerables (54,2%) de acuerdo con la Encuesta Nacional de Situación Nutricional (Minsalud, 2018)²⁵. Éstas deben considerar tanto el mejoramiento de los sistemas de producción nacional así como asegurar la calidad del material importado, de modo que los esfuerzos estén en consonancia con la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (Conpes 113)²⁶ así como con el cumplir con las exigencias propias de un mercado pecuario creciente.

²⁵Para 2019 el país ocupó el puesto 43 entre 113 países en el ranking global del Índice de Seguridad Alimentaria 2019. Fuente: *The Economist Group*. Consulta en junio de 2020 en: <https://foodsecurityindex.eiu.com/Index>

²⁶De acuerdo al Conpes 113 de 2008 - Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional. El concepto de seguridad alimentaria es multidimensional. Incluye aspectos de disponibilidad suficiente y estable de alimentos, el acceso y el consumo oportuno y permanente de los mismos en cantidad, calidad e inocuidad por parte de todas las personas, bajo condiciones que permitan su adecuada utilización biológica, para llevar una vida saludable y activa.

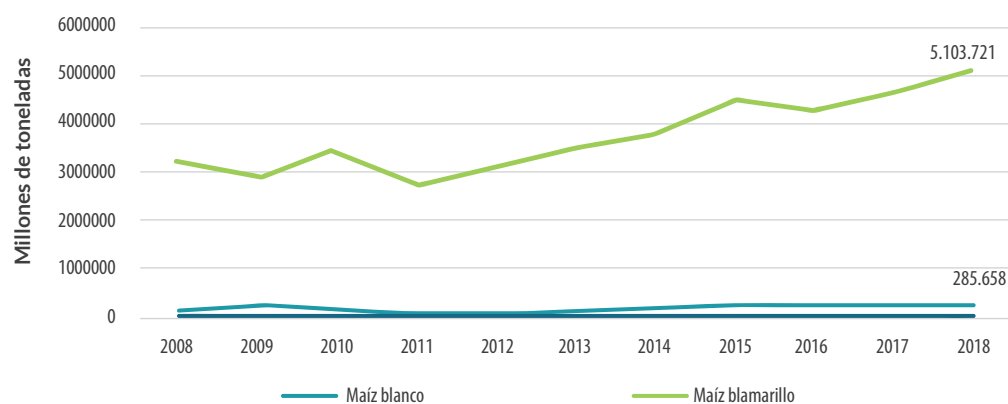
2.2.2 Importaciones



Aunque la producción de maíz en Colombia ha aumentado, esto responde al incremento del área en cultivos tecnificados y a sus rendimientos, no al aumento general en el área cultivada, ya que el área incluso ha disminuido en los últimos cuarenta años hasta en un 30% de acuerdo con FAO y Fenalce. Sin embargo, en los últimos años ha ocurrido un aumento considerable en los volúmenes de importación de maíz, luego de la apertura económica y el acuerdo de promoción comercial establecido con Estados Unidos (Figuras 9 y 10).

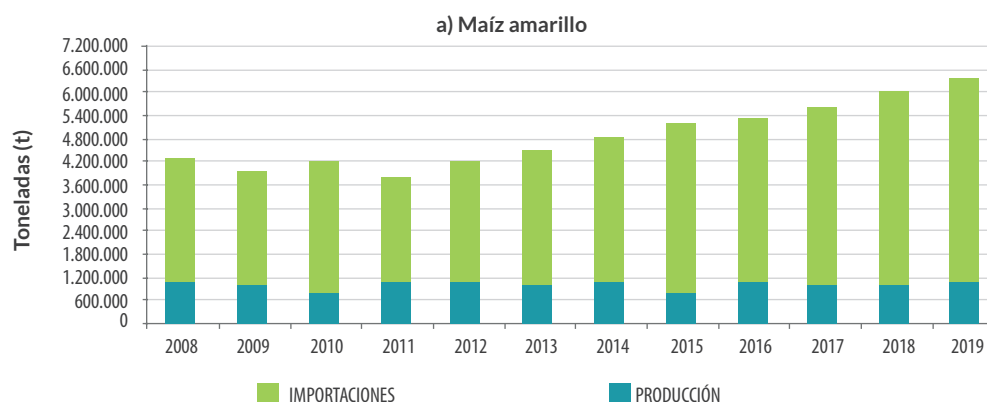
El maíz amarillo es principal producto agrícola importado en el país. Para 2019 se reportaron 5.376.795 t importadas provenientes de Estados Unidos (63,3%), Argentina (20,8%), Brasil (15,8%) y Ecuador (0,1%). Lo cual evidencia un aumento con respecto a la cifra de importaciones del año 2018 (5.103.721 t en 2018). La entrada del grano se dio principalmente por el puerto de Buenaventura (44%), Santa Marta (26%), Barranquilla (18%), Cartagena (10%) con un valor CIF promedio de \$627.694 / t²⁷.

Figura 9. Dinámica de las importaciones de maíz amarillo y blanco (2008-2019)

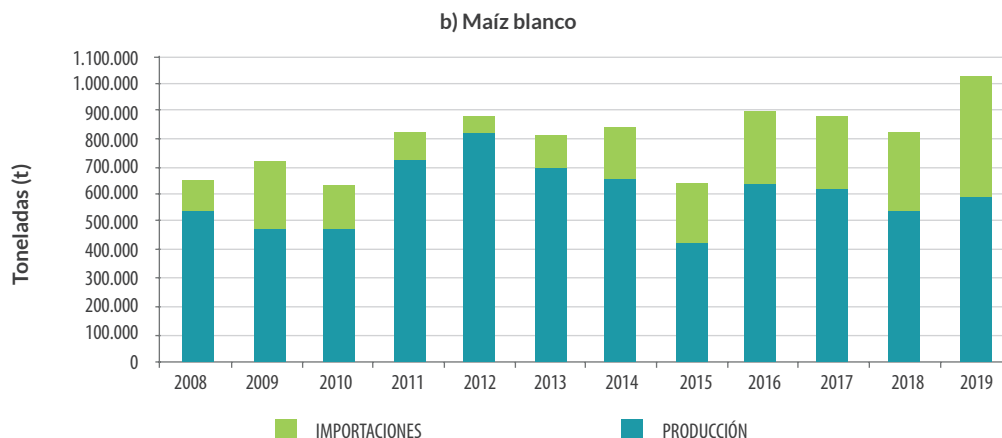


Fuente: a partir de Fenalce. Índice Cerealista. Informe 2019.

Figura 10. Demanda total nacional por tipo de maíz (2008-2019)



²⁷Fenalce. Departamento económico y de Apoyo a la Comercialización. Importaciones de Cereales y Leguminosas. 2019. Disponible en: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojMTAwM2FmNDAtY2JmOS00ZDM1LWE2MTMtYTU4NGM2YTg1IiwidCI6IjU2MmQ1YjJlTBMzEtNDdmOC1iZTk4LTNmMjI4Nzc4MDBhOCJ9>



Fuente: Fenalce. Índice Cerealista. Informe 2019.

De acuerdo con la ANDI, gran parte del maíz importado es empleado en la producción de balanceados para seis grandes sectores:



Aves (64,3%)



Porcinos (15,5%)



Vacunos (11%)

Comidas para perros, gatos, peces, equinos, conejos y preparaciones especiales (9,2%) (Lesgicomex, 2016).

En este escenario existen diversos factores que inciden en la estabilidad de la oferta y que pueden distorsionar el mercado e influir en la seguridad y soberanía alimentaria nacional, como lo son: el aumento en el precio de los granos, de la energía, la volatilidad de los precios, el riesgo climático, la influencia de grandes mercados e incluso el direccionamiento de granos hacia la producción de etanol, el cual puede captar hasta 25-30% de la producción de maíz en Estados Unidos (USDA, 2015), además de situaciones coyunturales como la ocurrida en 2015 cuando se presentó un descenso en los precios del crudo (- 47%), unido a la devaluación del peso, tuvo efecto sobre los precios internacionales de los *commodities* que, a pesar de encontrarse en una tendencia a la baja, representó un aumento en el precio del alimento balanceado comercializado en Colombia del 17% (Fenavi, 2016).

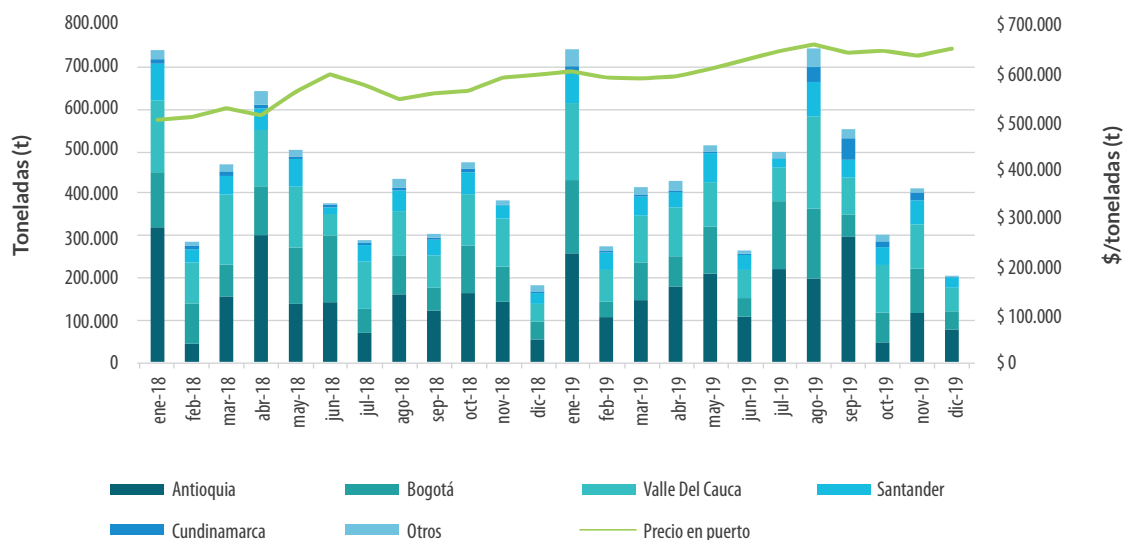
Es fundamental precisar algunos aspectos relacionados con la dinámica de estas importaciones identificadas por Fenalce (2019), en el caso del maíz amarillo:

- Es insumo imprescindible para alimentos balanceados: el maíz proporciona la más alta tasa de conversión a carne, leche y huevos comparado con otros granos. Existe una creciente demanda de proteínas para consumo humano (avicultura, porcicultura y ganadería). Sin embargo, la producción nacional suple solo el 20% de la misma demanda.
- Las importaciones masivas de maíz amarillo para consumo animal, reúne elementos para su análisis desde conceptos como seguridad alimentaria, autosuficiencia y calidad dado que existe riesgo de que éste maíz sea desviado en la cadena alimentaria humana.
- Corresponde al producto de mayor importación en peso para Colombia y tercero por su valor CIF luego de celulares y lubricantes para automóviles.



El maíz amarillo importado se dirigió principalmente al departamento de Antioquia, seguido del Valle del Cauca, Bogotá y Santander, estos cuatro grandes centros de producción avícola y porcícolas que capturan la mayoría de las importaciones, aunque Cundinamarca, Atlántico y Córdoba también fueron el destino de estas importaciones (Figura 11).

Figura 11. Importaciones de maíz amarillo por departamento (2018-2019)



Fuente: DIAN. Cálculos Fenalce. Coyuntura Cerealista y de leguminosas No.65. (2020).

Las principales industrias importadoras de maíz amarillo durante el último quinquenio (2015-2020²⁸) han sido: Grupo Itacol con 3.786.441 t; Solla S. A 2.558.645, Fábrica de Alimentos Concentrados para Animales “CONTEGRAL” (2.118.256 t) y Alimentos Finca S.A. (1.428.158 t).

> A partir del análisis de las importaciones de maíz amarillo, se observó que una vez implementado el sistema de contingentes en 2012 en el marco del Tratado de Libre Comercio (TLC) con Estados Unidos, es hasta 2014, cuando la baja de aranceles fue significativa, y se inició el aumento de las importaciones.

Por ejemplo, la principal empresa importadora pasó de comprar 561.170 t en 2013 a más de 955 mil toneladas para 2019.

En el caso del maíz blanco (Figura 12) el cual es principalmente usado en la transformación con fines en la alimentación humana, se estima que el país demanda aproximadamente a las 900.000 t/año que son suplidas fundamentalmente por

la producción interna. Para 2019, las importaciones de maíz blanco alcanzaron las 435.642 t, con un aumento del 53% con respecto al año anterior, lo que evidenció la aceleración de la importación de este producto, cuyos orígenes fueron principalmente: Estados Unidos (94%) y México (6%).

Los puertos de ingreso para este tipo de maíz fueron:

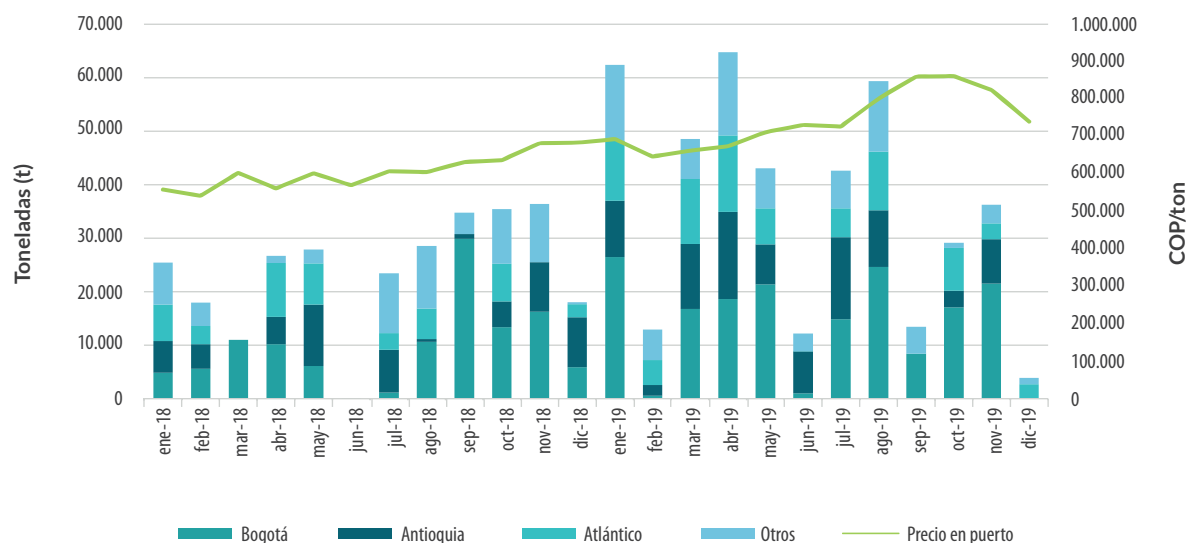
- Barranquilla (42%)
- Santa Marta (24%)
- Cartagena (16%)
- Buenaventura (16%)

A un valor CIF promedio por tonelada de \$734.947, lo cual excedió el precio promedio de \$614.496 que se tuvo en 2018, por lo que se presume que las importaciones incrementaron por presiones de demanda y no fueron sensibles ante la variación del precio.



²⁸A junio de 2020. Fuente Dian, procesamiento Fenalce.

Figura 12. Importaciones de maíz blanco por departamento (2018-2019)



Fuente: DIAN. Cálculos Fenalce. Coyuntura Cerealista y de leguminosas No.65. (2020).

El maíz blanco importado fue llevado principalmente a Bogotá (40%), Antioquia (21%), Atlántico (18%) y Santander (10%), entre otros. Las principales empresas importadoras de maíz blanco se dedican en su mayoría a la generación de harinas precocidas, estas fueron: Polar Colombia S.A.S (82.668 t en 2019), Soberana S.A.S (73.645 t) y Precocidos del Oriente (57.852 t), Organización Solarte (53.034 t), entre otras.

2.3 Capacidad de la infraestructura de secado y almacenamiento en algunas regiones del país

Distintas iniciativas de fortalecimiento a la competitividad de la producción agropecuaria señalan las grandes necesidades de infraestructura y adopción de tecnología en el sector. En el caso del maíz, se considera que el acceso a infraestructura de secado y almacenamiento es un limitante para expandir la producción, por lo que distintos lineamientos sectoriales han incluido este componente entre sus prioridades, tal es el caso de la Misión para la transformación del campo (2014), Plan maíz (2017) y Maíz para Colombia 2030 (2019). En el mercado de maíz, la infraestructura de almacenamiento y secado juega un papel estratégico en los ámbitos locales al incidir directamente en la calidad e inocuidad del grano y en el poder de negociación de productores.

De acuerdo con Martínez (2014), la infraestructura de secamiento y almacenamiento observada para maíz departamentos como Córdoba, Meta, Valle del Cauca, Tolima, Huila y Santander evidencian

aspectos como obsolescencia de la tecnología, e insuficiencia en relación con la producción local. Pueden darse condiciones en las que una tecnología no adecuada o limitada en su oferta puede jugar un papel en contra del proceso de aseguramiento de la calidad del grano.

La Tabla 11, corresponde a información disponible sobre secamiento en las principales regiones productoras, teniendo en cuenta la estacionalidad de las cosechas, los montos estimados y la capacidad de almacenamiento y secado para el 2014. Por supuesto, se espera contar con información más actualizada a través de procesos gremiales y gubernamentales.

Llama la atención el porcentaje de secamiento con respecto al total estimado de producción que puede darse en los principales departamentos en donde se establece el cultivo. Por ejemplo, en el caso de Meta, se estimó una capacidad de secamiento del 30 - 35% en 2014 de acuerdo a la información disponible. Sin embargo, es uno de los departamentos con mayor perspectiva de

expansión del cultivo de maíz por su aptitud agroecológica, socioeconómica y sociocultural. Este departamento tiene más de 2.700.000 ha aptas para el desarrollo del cultivo de maíz tecnificado de acuerdo con UPRA-Fenalce (2017), de las que 876.412 ha están clasificadas como de aptitud alta; sin embargo, para 2019 se registró una siembra tecnificada de maíz blanco y amarillo de 42.230 ha, cifras a partir de las cuales se puede hacer una estimación de uso del 4,8% del área con alto potencial.

En el caso de Córdoba, otra de las regiones con gran proyección para el cultivo tecnificado de maíz, cuenta con más de 1.360.000 ha aptas y tampoco cuenta con una capacidad de infraestructura acorde a las necesidades regionales. Para el Valle del Cauca se estimó un porcentaje de secamiento de la producción del 37% y otros departamentos como Tolima, Huila o Santander pueden tener un porcentaje de secamiento incluso menor al 25% de acuerdo a la información disponible.

Esta circunstancia refleja las necesidades de fortalecer este aspecto atendiendo a que el país tiene una aptitud del 16% del territorio nacional para el cultivo (más de 18 millones de ha) de las cuales 4.484.808 ha son de alta aptitud.

> Por otra parte, condiciones ambientales como la humedad relativa, días con lluvia y temperatura al momento de cosecha también son factores determinantes en la ino-cuidad.

Los niveles de humedad relativa que se presentaron en estas regiones pueden llegar a estar incluso por encima del 80%, en el caso de Córdoba, durante los meses de cosecha se observó humedad relativa superior al 80% (agosto-octubre), registro que presenta la misma tendencia para el Meta en la cosecha de julio y agosto.

Tabla 11. Capacidad estimada de secado y almacenamiento en algunos departamentos productores de maíz en Colombia.

Factor	Córdoba	Meta	Valle del Cauca	Tolima	Huila	Santander
Capacidad de la Infraestructura de secado	135 mil toneladas (t)	56 mil toneladas ²⁹	- 8000 t/ semestre ³⁰ - 8.000 t/ semestre ³¹ - 10.000 t/ semestre (secado) y 35.000 t/semestre ³² (almacenamiento)	19.000 t/ sem. ³³ Secamiento de torres y en patios.	No hay secadoras para maíz. Secamiento en plancha patios y parabólico.	20.000 t ³⁴
Capacidad de la Infraestructura de almacenamiento	85 mil toneladas			44.500 ton/ sem ³⁵		
Porcentaje de secamiento de la producción (*año 2014)	75%	30 - 35%	37%	15 - 22%	12-15%	25%

²⁹ Almaviva, Inversiones Galeano, Coomeagro, Coagropuerto

³⁰ Caicedonia

³¹ Norte

³² Centro

³³ Almagrario, Almaviva

³⁴ Coalcesar y Almagrario

³⁵ Almagrario, Transportadores del Huila – Comercializadores, Almadeco, Molino en Saldaña

Estacionalidad de la cosecha						
Semestre A	*Se realizan rotaciones	Enero	Febrero – Abril	Enero - Febrero	Febrero – Abril	Enero – Marzo
Porcentaje de cosecha	--	49%	(83%)	(89%)	(83%)	(90%)
Semestre B	20 agosto -05 de octubre	Julio – Agosto	Agosto – Octubre	Agosto - Septiembre	Julio – Septiembre	Septiembre – Octubre
Porcentaje de cosecha	(90%)	(84%)	(85%)	(90%)	(100%)	(81%)
Variables climáticas al momento de la cosecha						
Humedad relativa (semestre a)	--	Enero ↳ 67,79%	Febrero ↳ 75,31% Marzo ↳ 75,91% Abril ↳ 79,70%	Enero ↳ 68,57% Febrero ↳ 68,22%	Febrero ↳ 66,25% Marzo ↳ 68,01% Abril ↳ 69,61%	Enero ↳ 81,03% Febrero ↳ 78,06% Marzo ↳ 78,90%
Humedad relativa (semestra b)	Agosto ↳ 82,62% Septiembre ↳ 83,75% Octubre ↳ 84,05%	Julio ↳ 82,05% Agosto ↳ 79,35%	Agosto ↳ 74,20% Septiembre ↳ 75,31% Octubre ↳ 77,61%	Agosto ↳ 58,33% Septiembre ↳ 63,96% Octubre ↳ 71,35%	Julio ↳ 60,62% Agosto ↳ 57,41% Septiembre ↳ 59,12% Octubre ↳ 66,59%	Septiembre ↳ 84,41% Octubre ↳ 85,73%
Rango de temperaturas máxima y mínima en los meses de cosecha*	32,6°C - 23,3°C	34,4°C - 20,3°C	34,6°C - 18,9°C	34,6°C - 22,4°C	35,1°C - 23,3°C	39,1 - 22,4

*se retoman en esta tabla los valores mayores y menores únicamente para los meses de referencia por semestre, de acuerdo a los valores promedio entre 1979-2014 del Histórico Estaciones Agroclimáticas Proyecto Cambio Climático FENALCE. Fuente: modificado de Martínez (2014).

2.4 Perspectivas para la producción nacional

En cuanto a las perspectivas de incremento en la demanda de maíz por parte del sector pecuario, aspectos como el crecimiento de la población, el aumento en los requerimientos energéticos y nutricionales, el aumento del ingreso, entre otros, han propiciado el incremento de productos de la cadena pecuaria y en menor medida, de productos básicos como cereales (FAO, 2017; Regmi *et al.*, 2001).

En ciudades de Colombia, en la última década el consumo *per cápita* de proteína animal tuvo un incremento constante, el consumo de carne de pollo aumentó el 14% y de huevos el 12% entre los años 2016 y 2019³⁶; en esta misma ventana de tiempo, el consumo de carne de cerdo (kg/habitante) registró un incremento del 28%, aunque el consumo de carne vacuna se ha mantenido estable en los últimos años (18 kg/habitante)³⁷. Se estima que para el año 2050, países como Colombia incrementen el consumo *per cápita* de todas las carnes en un 36% (FAO, 2009).

³⁶A partir de datos estadísticos de Fenavi. Consulta en febrero 2019 en: <https://fenavi.org/estadisticas/informacion-estadistica-publica/>

³⁷De acuerdo a datos estadísticos de Fedegán. Consulta en febrero de 2019 en: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/consumo-0>

➤ Bajo este escenario, existe un mercado creciente jalonado desde la cadena pecuaria, que puede ser abastecido con el fortalecimiento e integración de la producción agrícola nacional.

A su vez, en el mercado interno también existen posibilidades de crecimiento debido a la demanda de productos provenientes de cereales y a la modificación de hábitos de consumo, que pueden ser de carácter específico para las regiones e industrias. Por ejemplo, para 2016, un estudio de mercado señaló que en Colombia el 73% de las personas incluye una arepa de maíz en el desayuno. El 69% de las harinas precocidas de maíz son consumidas por la población de estratos 1, 2, y 3 y distribuidas principalmente en supermercados, tiendas de barrio o ventas ambulantes (Molina, Chaparro y Linares, 2019).

El 16% del territorio nacional tiene aptitud para el cultivo de maíz un área potencial con aptitud para el cultivo de más de 18 millones de hectáreas. De éstas, más de 12 millones de hectáreas presentan excelentes condiciones físicas, socioeconómicas y socioecosistémicas para el cultivo por lo que se consideran de alta y media aptitud (UPRA – Fenalce, 2017). No obstante, la siembra tecnificada de este cultivo para 2019 fue de 212.337 ha, lo que permite estimar un uso de sólo el 4,7% del área con alto potencial (4.484.808 ha). Por supuesto, esta estimación no indica que el área en cuestión no sea actualmente productiva, pero permite visualizar el potencial de expansión del cultivo en el país. Por otra parte, se han generado incrementos considerables en rendimiento en la última década en regiones productoras como Meta, Valle del Cauca y otras zonas con oferta ambiental, que hacen que los rendimientos se consideren en un umbral competitivo en comparación con otros países productores y con rentabilidades hasta del 41%³⁸.

2.5 Factores prioritarios: salud pública y seguridad alimentaria



Existen vacíos técnicos que dificultan el seguimiento del maíz importado de acuerdo al uso y a lo largo de la cadena, lo cual puede tener implicaciones en la inocuidad y la salud pública, junto con casionar problemas de tipo fiscal (contrabando técnico). Como se presentó anteriormente, Colombia importa más de 5 millones de toneladas de maíz amarillo provenientes fundamentalmente de Estados Unidos. La magnitud e importancia de este producto alimentario para el país y la industria nacional es indiscutible, por lo que resulta prudente examinar el grano que llega a nuestro país en términos de calidad e inocuidad con miras a garantizar la seguridad del consumo colombiano y los peligros probables frente a la admisibilidad de los productos derivados producidos en Colombia, que tengan como fin otros mercados externos.

Al examinar el acuerdo de promoción comercial suscrito entre Estados Unidos y Colombia en lo referente a requerimientos que debe cumplir el maíz importado, si bien no se identifican elementos que puedan llegar a definir de manera normativa el grado de calidad del maíz que se encuentra

³⁸Cálculos Fenalce. Departamento económico y de apoyo a la comercialización. ¿Por qué es negocio sembrar Maíz? Presentación, julio de 2020.

³⁹“(…) (b) Los aranceles sobre mercancías ingresadas en cantidades acumuladas en exceso de las cantidades enumeradas en el subpárrafo (a) deberán ser eliminados de acuerdo con las disposiciones de la categoría de desgravación N en el párrafo 3(e) de las notas generales de Colombia al anexo 2.3. (c) Los subpárrafos (a) y (b) aplican a la siguiente posición arancelaria del AACOL: 10059011.”

Donde los subpárrafos (a) y (b) corresponden al cronograma de desgravación y los cupos contingentes fijados con libre arancel. No obstante, no hay evidencia de una clasificación adicional a maíz amarillo duro, que permita distinguir los requerimientos de calidad del maíz importado.

libre de arancel, de acuerdo a las disposiciones para la partida arancelaria 10059011 (Anexo 2.3, apéndice I, punto 14 párrafo b - TLC Colombia 097 - Estados Unidos)³⁹, desde la implantación y puesta en marcha de contingentes en 2013, se encuentran inconsistencias en la discriminación de las calidades y tipos de maíz que actualmente conforman los volúmenes de importación, de acuerdo al documento de revisión sobre mecanismos de control técnico para el TLC con Estados Unidos (Fenalce, 2017).

De un lado, los reportes de volúmenes y calidad de maíz exportado por Estados Unidos hacia Colombia dados a conocer por instituciones como: *United States International Trade Commission* y la *Federal Grain Inspection Service* respectivamente, se basan en una clasificación arancelaria a la cual no es posible dar seguimiento sobre su calidad y uso en Colombia (Acápites. 5.1.1.3 Análisis de resultados de inspección a las exportaciones de maíz (2012-2018)). Las instituciones norteamericanas toman como referencia la nomenclatura arancelaria armonizada de los Estados Unidos (*Harmonized Tariff Schedule*) “HTS”. Esta estructura para la descripción de bienes involucrados en el comercio internacional que se caracteriza por estar conformada por 10 dígitos en donde se llega a especificar el tipo de maíz comercializado⁴⁰, en contraste con la nomenclatura común NANDINA empleada por Colombia que se encuentra armonizada a 8 dígitos. Esta última nomenclatura, no permite determinar la calidad del maíz que ingresa al país y además genera confusión sobre los tipos de maíz *Dent* y *Flint* al incluir en la partida “1005.90”⁴¹ tanto las variedades: *Vulgaris*, *Induranta*, e *Indentata*, las cuales comercialmente cuentan con usos diversos de acuerdo a sus propiedades (consumo animal y humano).

La anterior situación fue evidenciada en 2017 por Fenace a partir de la solicitud de intervención al Gobierno Nacional – MADR, en la que se promovía el desdoblamiento de la posición arancelaria para el maíz amarillo importado, en función de lograr una diferenciación técnica que discriminara los tipos de uso del maíz importado, para consumo humano o animal, conforme a la siguiente diferenciación: Maíz *Dent* Grado 2 para consumo animal y maíz *Flint* grado 1 y 2 para el consumo humano. Esto con el fin de:



i) Proteger los intereses del fisco nacional.



ii) Asegurar el cumplimiento a los atributos de las materias primas negociadas de acuerdo a las fichas técnicas y calidades establecidas en el acuerdo.



iii) Proteger la competitividad de la producción nacional.

⁴⁰Harmonized Tariff Schedule (HTS) (2020): (1005) Corn (maize): (10.05.10.00) Seed, (1005.10.00.10) Yellow corn, (1005.10.00.90) Other, (1005.90) Other, (1005.90.20) Yellow dent corn, (1005.90.20.15) Certified Organic, (1005.90.20.25) Other, (1005.90.40) Other, (1005.90.40.40) Popcorn, (1005.90.40.60) Other.

⁴¹DECISIÓN 812 Aprobación de la Nomenclatura Común – NANDINA. En el capítulo 10.05: Maíz se discriminan los siguientes tipos: 1005.10.00 – Para siembra, 1005.90 – Los demás Maíz duro (*Zea mays convar. Vulgaris*, *Zea mays var. Indurata* y demás variedades y convariedades): Códigos: 1005.90.11 – Amarillo, 1005.90.12 – Blanco, 1005.90.19 – Los demás, 1005.90.20 – Maíz reventón (*Zea mays convar. microsperma* o *Zea mays var. everta*), 1005.90.30 – Blanco gigante (*Zea mays amilacea* cv. gigante), 1005.90.40 – Morado (*Zea mays amilacea* cv. morado), 1005.90.90 – Los demás.

> El cumplimiento de esta solicitud requiere a su vez de un esquema de mejoramiento en los procesos aduaneros en términos de la vigilancia y control sanitario de la calidad del maíz importado, que parte de un sistema eficaz a partir de la implementación de metodologías confiables y que integre las organizaciones respectivas como el ICA, Invima, DIAN y Polfa, entre otros agentes pertinentes en cumplimiento de sus deberes misionales.

Además, se requiere de manera urgente la integración de acciones e instituciones para dar un salto cualitativo a la productividad del maíz. La población colombiana depende en gran medida de este producto y por lo tanto, se encuentra expuesta o es susceptible a condiciones del mercado externo como coyunturas internacionales que representen una problemática de acceso al producto, en términos de disponibilidad, devaluación del peso, subida de precios de materias primas o del petróleo entre otras adversidades, por lo que el fomento a la producción nacional es importante para la estabilidad de la alimentación.

Como se observa en la Figura 13, existe una gran brecha en los rendimientos de maíz en comparación con otros países. Entre los factores que pueden contribuir a cerrar dicha brecha desde la perspectiva de la productividad, se encuentran:



La adopción de medidas como el mejoramiento de los materiales.



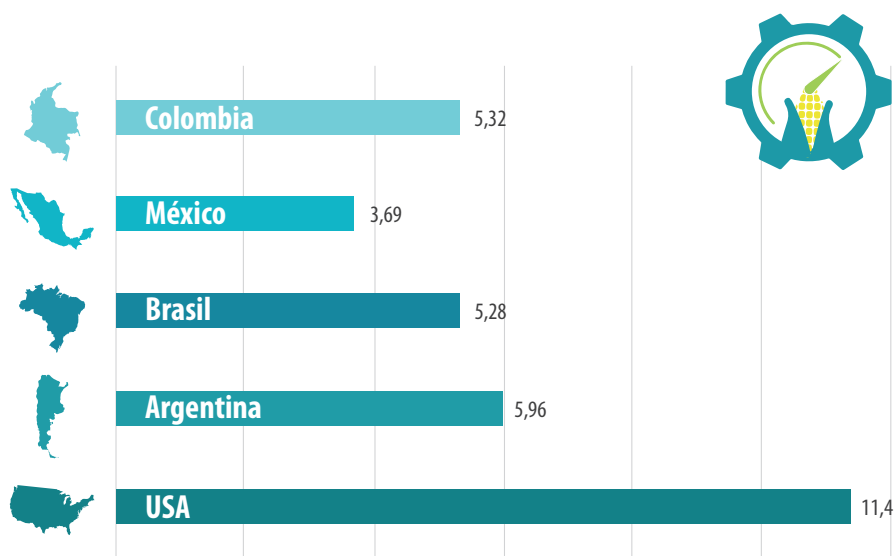
El uso de híbridos de mayor productividad y semilla certificada, teniendo en cuenta condiciones específicas de la zona.



El mejoramiento de las prácticas de cultivo en lo ambiental, el mejoramiento de la infraestructura de transporte y secado en las regiones.

Otros de los elementos determinantes para este incremento son la inversión decidida en el sector, así como el fortalecimiento a procesos de investigación, extensión, asistencia técnica y financiamiento, el programa de incentivos de coberturas al precio y tasa de cambio, seguros productivos y el fortalecimiento a la infraestructura de almacenamiento, secado y transformación de grano disponible local y regionalmente.

Figura 13. Comparativo de rendimiento del cultivo de maíz (t)



Fuente: Fenalce (2019) a partir de los departamentos de estadística de cada país.

Entre las perspectivas de fomento a la producción nacional se encuentran:

- > **La especialización** de mercados (maíz amarillo duro para consumo humano y maíz dentado para consumo animal).
- > **La inversión** en estructuras de poscosecha como de secamiento y almacenamiento para el mejoramiento a las posibilidades de comercialización y agregación de valor en las regiones productoras, desde la conformación de alianzas.
- > **El fortalecimiento** asociativo y la articulación de la producción primaria con la agroindustria desde contratos de proveeduría de mediano y largo plazo.

Adicionalmente, desde la disminución de pérdidas de material y de calidad, de modo que se eviten y se beneficien los ingresos de los productores. La implementación de instrumentos de manejo del riesgo (cobertura de precios, cobertura cambiaria y seguros de cosecha ante el cambio climático) así como la implementación de la política de seguridad alimentaria son otros de los aspectos de trabajo.

Según el Banco Mundial (2019), Colombia ha mejorado su Índice de Desempeño Logístico (LPI) con 2,94⁴² al ser el 135 entre 205 países. En él se considera: proceso de despacho de aduana, calidad de infraestructura, facilidad de embarques a precios competitivos, calidad de servicio de logística, trazabilidad de despachos y frecuencia de cumplimiento de tiempos.

⁴²Índice de desempeño logístico: Total (De 1= bajo a 5= alto). Consultado en marzo de 2019 en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/lp.lpi.ovrl.xq?end=2018&start=2018&view=bar>

03

LAS MICOTOXINAS Y SUS IMPACTOS

En este capítulo se recopilan aspectos de referencia sobre la problemática global de micotoxinas a través de la evidencia de los efectos en la salud, en general, así como de la estimación de los impactos económicos. En este sentido, se retoman aquellos que constituyen el esquema de comercialización del maíz norteamericano que, llega a ofrecer una diferenciación por precio de acuerdo a factores determinantes de la calidad, como la incidencia de micotoxinas, grado y humedad del grano.

A la vez, se describen con mayor profundidad las características de las principales micotoxinas que afectan el grano de maíz, se identifican los principales hongos micotoxigénicos, su grado de toxicidad y efectos puntuales sobre la salud. En algunos casos, se retoman las condiciones óptimas para la producción del hongo como factor asociado al riesgo de contaminación.



3.1 Introducción a la problemática global

Las micotoxinas se consideran un problema global al afectar de manera crónica y aguda la salud humana y animal (Marasas *et al.*, 2008). La amenaza se relaciona con el aumento permanente de la demanda de alimentos y el crecimiento poblacional. Adicionalmente se deben considerar aspectos como:

- i) La disponibilidad de alimentos y su suministro puede estar limitado, lo que conlleva a que se consuman alimentos contaminados.
- ii) La desnutrición puede incrementar la susceptibilidad a los efectos de las micotoxinas.

Aunque la ocurrencia de micotoxicosis se registra en distintas zonas del globo, existe exposición debido a los flujos comerciales de alimentos contaminados. Una región no productora, que no cuente con factores ecológicos favorables para la incidencia del hongo y la producción de la contaminación, puede presentar problemas de riesgo. Por otra parte, existe una gran dificultad para establecer medidas de control atendiendo al carácter crónico que tienen los efectos como el retraso en el crecimiento, la supresión inmunológica o el cáncer, contrario a lo ocurrido con los brotes agudos de micotoxicosis que sí pueden identificarse rápidamente.

Adicionalmente, diversos países y bloques económicos han establecido niveles máximos tolerables a la contaminación para algunas micotoxinas en distintos productos con el objetivo de controlar el riesgo que aplican fundamentalmente como barrera en la importación de alimentos, dejando de lado estos parámetros para la exportación de sus productos (Marasas *et al.*, 2008). Para determinar estos niveles de tolerancia (LMP), se evalúa la exposición y riesgo⁴³ (Gelderblom *et al.*, 1996; Marasas, 1997 en Marasas *et al.*, 2008) desde sus hábitos de consumo, sin atender a los hábitos de consumo en los países receptores de los productos. Así, la ingesta diaria probable (IDP) de maíz puede variar en distintas regiones, junto con los niveles de contaminación. Por ejemplo: de ~ 5 g / persona / día en Europa a ~ 500 g / persona / día en África rural, lo que constituye una condición en donde la evaluación de riesgos convencional no ayuda a los países en desarrollo que importan alimentos (o reciben ayuda alimentaria).

Sin embargo, como se presentó en el acápite 1.1.5 (*Enfoque Alara*) en el caso de contaminantes carcinogénicos como AFLA, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) recomendó la no aplicabilidad del enfoque basado en límites permisibles, debido a que cualquier dosis por pequeña que sea tiene probabilidad de inducir un efecto nocivo, por lo que se recomendó que el nivel de contaminante debe reducirse de manera que resulte “tan bajo como sea posible” (Alara) (FAO, 2004).

3.2 Impactos en la salud y el bienestar general

Desde la década de 1960 se comenzó a reconocer la problemática de micotoxinas en granos, cuando estos metabolitos secundarios producidos por distintos grupos de hongos causaron la muerte de 100.000 pavos en Inglaterra. Las micotoxinas pueden repercutir en la salud en general, son producidas por distintos tipos de hongos, géneros y especies, tanto en campo como durante el almacenamiento, mezcla y entrega del grano (CAST, 2003; Martos, Thompson y Díaz, 2010). Dado que las micotoxinas contaminan principalmente cereales, los cuales se infestan con el hongo antes y durante la cosecha o el almacenamiento, requiere que se tomen medidas para que ello no represente un riesgo para la salud pública, de acuerdo al contexto.



⁴³La exposición se calcula de la ingesta de alimentos y los niveles naturales de una micotoxina, expresados como Ingesta Diaria Probable (PDI). El peligro se calcula a partir de estudios toxicológicos en experimentos en animales y se expresa como la Ingesta Diaria Tolerable (TDI). Los datos PDI y TDI se utilizan para evaluar el riesgo de una micotoxina y establecer MTL.

La exposición a este riesgo puede darse a través del consumo directo de alimentos contaminados o cuando son empleados como insumo, o provenientes de alimentos de la cadena pecuaria como leche, carne o huevos.

> En el caso de la ocurrencia en alimentos como maíz, esta contaminante toma relevancia al ser un producto para la alimentación humana e insumo en la producción de alimentos balanceados para animales.

En la actualidad, se han identificado más de 350 tipos de hongos que llegan a producir 400 tipos de toxinas distintas (Brase, Encinas, Keck y Nising, 2009 en Mendoza *et al.*, 2017) y se caracterizan por ser moléculas de bajo peso ($PM < 700$). Sin embargo, pueden ser específicas de acuerdo a especies del mismo género, aunque en algunos casos, un compuesto puede ser sintetizado por hongos de otros géneros dependiendo de la complejidad de la ruta de biosíntesis (Moss, 1991; Dejardins y Hohn, 1997; Geiser *et al.*, 2004; Marín, 2010; Aoki *et al.*, 2012; Menke, 2012 Chakrabarti., 2013; Daren *et al.*, 2013; Bruns, *et al.*, 2013; Zhang, 2013 en Salazar, 2016).

Para 1984, se reportó por parte de FAO/OMS que al menos las 25% de las reservas de granos en el mundo estaban contaminadas con micotoxinas, lo que genera enormes pérdidas agrícolas e industriales en miles de millones de dólares (WHO - FAO, 2008). Debido a su impacto en la salud pública y efectos económicos, los grupos más importantes son: i) aflatoxinas, ii) tricotecenos, iii) fumonisinas, iv) ocratoxinas y v) zearalenona (Abrunhosa *et al.*, 2014; Vasanthi y Bhat, 1998 en Mendoza *et al.*, 2017).

Entre los factores que propician la incidencia de micotoxinas recopilados por Salazar (2016), se encuentran:

- > Afectaciones por insectos
- > Equipos de cosecha o depósitos sin adecuado mantenimiento
- > Condiciones ambientales favorables para la ocurrencia de hongos micotoxigénicos
- > Susceptibilidad de hospederos
- > Capacidad genética del patógeno

La contaminación puede generarse en producción, cosecha, transporte y almacenamiento. En los últimos 20 años, esta problemática ha tomado relevancia debido a factores como:

- La pérdida en la productividad de cultivos y animales.
- Efectos mortales por intoxicación.
- Alteraciones y cuadros patológicos en la salud cuando hay contaminación o micotoxicosis aguda o crónica.
- Afectaciones al sistema nervioso, digestivo, cardiovascular, pulmonar, enfermedades cancerígenas, mutagenicidad, teratogénicos, e incluso inmunodepresores.
- Comercio mundial de alimentos y los riesgos fitosanitarios para los países participantes.

En el caso de hongos de género *Fusarium* spp. (patógeno de campo), es posible la síntesis de micotoxinas y su acumulación en distintas fases como en la producción, la cosecha y el almacenamiento. A su vez, los hongos de este género pueden producir distintos tipos de micotoxinas, y el perfil de toxicidad puede variar a nivel inter e intra-específico. Entre ellas se incluyen las fumonisinas y tricotecenos, aunque existen otros tipos.

En condiciones de estrés como sequía, puede ser frecuente la ocurrencia de hongos *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus* en granos, el hongo puede encontrarse en el suelo, residuos de cosecha o vegetación en descomposición, e invadir granos que presenten daños y dispersarse de acuerdo a factores como humedad y temperatura. Aunque existen varios tipos de micotoxinas en la naturaleza, la aflatoxina B1 se considera la más tóxica y es producida por este tipo de hongos. Sin embargo, es fundamental señalar que la presencia de *A. flavus* no indica necesariamente contar con niveles dañinos de aflatoxina, aunque ello sí significa que existe un potencial de toxicidad (OMS, 2018).

La Agencia Internacional para la Investigación para el Cáncer (IARC) categoriza compuestos en cuatro grupos de acuerdo a la evidencia científica disponible para asociarlos como agentes que pueden aumentar el riesgo de cáncer para seres humanos y animales. Como se observa en la Tabla 12, varias de las micotoxinas que tienen ocurrencia en el maíz, se clasifican como agentes asociados al riesgo de cáncer en: Grupo 1: “Cancerígeno para seres humanos”, G2B: “Posiblemente cancerígeno para seres humanos” y G3: “aun no clasificado”, aunque en las micotoxinas clasificadas en este grupo pueden tener distintos efectos nocivos en animales.

Tabla 12. Clasificación IARC de micotoxinas cancerígenas

Grupo	Descripción		Agentes	Micotoxinas
Grupo 1	Cancerígeno para seres humanos	La evidencia ha probado que es un agente que se asocia con el cáncer en seres humanos.	120	Aflatoxinas (B1, B2, G1, G2, M1) ⁴⁴
Grupo 2A	Probablemente Cancerígeno para los seres humanos	Existe evidencia limitada de una asociación con el cáncer en seres humanos, pero pruebas suficientes de asociación con el cáncer en animales de experimentación.	82	---
Grupo 2B	Grupo 2B Posiblemente Cancerígeno para los seres humanos	Existe evidencia limitada de una asociación con el cáncer en seres humanos, pero pruebas insuficientes asociadas con el cáncer en animales de experimentación.	311	Toxinas derivadas de <i>Fusarium moniliforme</i> , (fumonisina B1, fumonisina B2 y fusarina C). ⁴⁵ Ocratoxina A ⁴⁶
Grupo 3	No se clasifica	La evidencia indica que no es posible clasificarlo como un agente cancerígeno, basado en la información científica disponible.	500	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , y <i>F. crookwellense</i> , toxins derived from (zearalenona, deoxinivalenol, nivalenol y fusarenona X) ⁴⁷ . <i>Fusarium sporotrichioides</i> , toxinas derivadas de (T-2 toxina)
Grupo 4	Probablemente no Cancerígeno para los seres humanos	Existen pruebas para demostrar que el agente “no está asociado” con el cáncer en seres humanos.	-	---

Fuente: a partir de IARC - WHO. En: <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications> (Consultado en junio de 2019).

⁴⁴IARC, 2012. Sub 7, 56, 82, 100 F. CAST No. 1402-68-2.

⁴⁵IARC, 1993. CAST No. 116355-83-0. Vol 56.

⁴⁶IARC, 1993. Sub 7, 56. Consultado en Agosto de 2019 en: <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications>.

⁴⁷IARC, 1993. 56.

La siguiente tabla ofrece un resumen general sobre los efectos de las principales micotoxinas (Tabla 13).

Tabla 13. Micotoxinas de mayor importancia y otros efectos nocivos

Micotoxina / Agente	Alimentos implicados	Efectos adversos en la salud	Concentración permitida
Aflatoxinas (<i>Aspergillus flavus</i> y <i>A. parasiticus</i>):	Generadas por organismos que crecen en el suelo, la vegetación en descomposición, el heno y los cereales. Son las micotoxinas más tóxicas. Entre los cultivos más afectados por <i>Aspergillus</i> spp se encuentran: maíz, sorgo, trigo y arroz, las semillas oleaginosas: soja, cacahuete, girasol y algodón, las especias (chile, pimienta negra, coriandro, cúrcuma y jengibre) y nueces de árbol (pistacho, almendra, nuez, coco y nuez del Brasil). Asimismo pueden encontrarse en forma de aflatoxina M1 en la leche de animales alimentados con comida contaminada.	Toxicidad aguda (aflatoxicosis), que puede ser mortal, generalmente por lesiones hepáticas. También se ha demostrado que las aflatoxinas dañan el DNA (genotóxicas) y causan cáncer en diferentes especies animales. Hay pruebas de que pueden causar cáncer hepático en el ser humano.	B1: Menos 20 ppb (Caca-huates, nueces brasileiras y maíz)
Ocratoxina A (OTA) ⁴⁸ <i>Aspergillus ochraceus</i> y <i>Penicillium verrucosum</i>	En: cereales y sus productos, los granos de café, las pasas, el vino y el jugo de uva, las especias. Se forma durante el almacenamiento de los cultivos. > Organismos pueden crecer con una actividad de agua de sólo 0,79. > Crecimiento del hongo: (8-37°C)/ óptimos de 25 a 31°C. > Producción de la toxina: 15 a 37°C, con una producción entre 25 y 28°C. <i>P. verrucosum</i> : > Temperatura para crecimiento: 0 a 31°C, $a_w = 0.8$. > Temperatura de producción de toxina: todas, cantidades considerables a los 4°C y de sólo $a_w = 0.886$. > El Comité Mixto > Tipos de ocratoxinas: A, B, C, α y β , siendo la más tóxica la ocratoxina A. OTA: (<i>Aspergillus ochraceus</i> y <i>A. nigri</i>).	> Se sospecha como agente causal de la nefropatía endémica de los Balcanes (Bulgaria, la ex Yugoslavia y Rumania). > Toxicidad renal, nefropatía. > Inmunodepresión en varias especies de animales. > Cancerígena en animales de experimentación.	Menos 5 ppb OTA en granos de cereales crudos y sus derivados 1 a 50 mg/kg en alimentos y de 100 a 1 000 mg/kg en piensos. FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios: recomiendan una ingesta semanal tolerable provisional de 100 ng/kg de peso corporal, correspondiente a aproximadamente 14 ng diarios por kg de peso corporal
Patulina <i>Aspergillus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp. y <i>Byssochlamys</i> sp.	Manzanas podridas y productos de manzana, pero también puede aparecer en varias frutas enmohecidas, granos y otros alimentos.	Síntomas agudos en animales: daño al hígado, bazo y riñón, y toxicidad para el sistema inmunitario. En el ser humano se han descrito náuseas, trastornos gastrointestinales y vómitos. Es genotóxica, pero aún no se ha demostrado su potencial cancerígeno. > Neurotóxica	

⁴⁸ Inchem. Consultado en abril de 2019 en: <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol56/13-ochra.html>

		> Lesiones anatomopatológicas en vísceras. > Inductor de sarcomas localizados. > Actividad mutagénica con afecciones en el corto plazo.	
Tricotecenos (Nivalenol y Deoxinivalenol – DON, Fumonisin) <i>Fusarium</i> sp.	<i>F. tricinatum</i>, <i>F. nivale</i>, <i>F. roseum</i>, <i>F. graminearum</i>, <i>F. solani</i>, <i>F. culmorum</i> y <i>F. poae</i>. <i>F. graminearum</i>: temperatura de crecimiento óptima 24 a 26°C. aw= 0,90, con límite máximo de 0,99. <i>F. sporotrichioide</i>: aw mínima = 0,88 y el límite máximo superior a 0,99. Las temperaturas mínima, óptima y máxima para el crecimiento son -2,0, 22,5 a 27,5 y 35,0°C, respectivamente. El deoxinivalenol (DON): frecuente en maíz y trigo.	> Toxicidad aguda en el ser humano (irritación rápida de la piel o la mucosa intestinal y diarrea). > Animales (anteriores)+ inmunodepresión. > FB1: toxina asociada a cáncer de esófago en el sur de África. > DON: micotoxicosis agudas en India, China y zonas rurales de Japón. Acción rápida de 35 minutos para presentar síntomas náuseas, vómitos, dolores abdominales, diarrea, mareos y cefaleas. > Nivalenol en arroz y cereales en Japón: Los síntomas comprenden anorexia, náuseas, vómitos, cefalea, dolor abdominal, diarrea y convulsiones (Marasas et al., 1984).	Menos 1 ppm en maíz, trigo, arroz y avena.
Zearalenona (<i>Fusarium</i> sp.)	Trigo, maíz Efectos en cerdos. <i>F. graminearum</i>: que también produce DON	> Efectos hormonales: hiperestrogénismo y puede causar infertilidad. > Carcinogenicidad.	
Fumonisin (<i>Fusarium</i> sp.)	<i>F. moniliforme</i>: afecta el maíz (B1) y sus productos en diversas regiones agroclimáticas de países como los Estados Unidos, Canadá, Uruguay, Brasil, Sudáfrica, Austria, Italia y Francia. Aw mínimo para crecimiento = 0,87 hasta 0,99 Temperaturas de crecimiento mínima, óptima y máxima son 2,5 a 5,0, 22,5 a 27,5 y 32,0 a 37,0°C.	> Cáncer de esófago en el ser humano (África austral y China). > Efectos en el sistema nervioso central. > Páncreas, pulmones y riñones. > Toxicidad hepática. > Toxicidad renal en animales. > Leucoencefalomalacia (LEM) en equinos y edema pulmonar en porcino.	Menos 3 ppm FB1 en productos de maíz seco. Menos 60 ppm OTA en carne rumiantes y visón.
T-2 Toxina HT-2 Toxina (<i>Fusarium</i> sp.)	<i>Fusarium</i> sp.	> Aleucia tóxica alimentaria (ATA) (Siberia): fiebre, vómitos, inflamación aguda del aparato digestivo y diversas alteraciones sanguíneas. > Enfermedad hemorrágica en animales, lesiones bucales y efectos neurotóxicos en aves de corral. > Inmunodepresora en animales.	

Fuente: a partir de OMS (2018) y FAO (2003).

3.3 Impacto económico contaminación de micotoxinas en la cadena del maíz

3.3.1 Problemática mundial por contaminación de micotoxinas en la cadena pecuaria

La *Encuesta de Micotoxinas 2018* de Biomin⁴⁹, realizada en distintos países productores de proteínas y cereales, contó con 18.242 muestras de productos terminados y materias primas como maíz, soya, arroz, trigo, cebada, ensilaje de maíz y DDGS (Granos de destilería de maíz desecados con solubles). A partir del análisis de 81.936 muestras en 79 países en 6 regiones del mundo: Europa, Asia, Norteamérica, Sudamérica, Medio Este y África para la detección de la incidencia y los niveles de las principales micotoxinas (aflatoxinas, zearalenona, deoxinivalenol, toxina T-2, fumonisinas y ocratoxina A).

➤ Como resultado de la encuesta (Biomin, 2019a), para 2018 el 68% de las muestras analizadas en todo el mundo mostraron incidencia de FUM, y el producto más contaminado con esta micotoxina fue el maíz, especialmente en las zonas más cálidas. Las regiones con riesgos más elevados de contaminación fueron el extremo sur de Asia y China, mientras que Oceanía presentó un riesgo moderado.

La incidencia de las diferentes micotoxinas varió dependiendo de la zona productora. En Norteamérica la más encontrada fue DON, presente en el 67% de las muestras con un promedio de 735 µg/kg. Sin embargo, para el cultivo del maíz, el 70% de las muestras analizadas mostraron contaminación por FUM, en una alta medida de 3.497 µg/kg, lo cual posiciona a esta región en un riesgo severo de contaminación. Por supuesto, Sudamérica no es la excepción, los FUM fueron el principal contaminante encontrado en esta región, presente en el 86% de las muestras de maíz, 100% de DDGS y 89% de los alimentos terminados (Biomin, 2019a). En contraste, en regiones como el sur de Asia y China se encontró que el 97% y el 96% de las muestras de maíz presentaban incidencia de FUM respectivamente (Figura 14).

Las micotoxinas son una seria problemática para la producción agrícola, cuya aparición se ha generalizado. Por su parte, la contaminación múltiple es un grave problema para la producción pecuaria, pues ciertas combinaciones de micotoxinas generan efectos sinérgicos que agravan las consecuencias negativas en la salud animal. Además, se encontró que el 70% de la muestra a nivel mundial presentaba contaminación múltiple.

Sin embargo, estos resultados contrastan con lo reportado en el *Corn Harvest Quality Report* del *US Grain Council*, el cual estudia muestras de maíz en campo para la detección de micotoxinas, especialmente de AFLA y DON. Para el ciclo 2018/2019 se analizaron 181 muestras de maíz, de las cuales el 98,9% no se encontraron con niveles de aflatoxinas superiores a 500 µg/kg mientras que para DON, el 100% de las muestras obtuvo niveles de incidencia menor o iguales a 500 µg/kg, el cual es el umbral establecido por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos (*US Grain Council*, 2019a). Igualmente, el *Corn Export Cargo Quality Report*, el cual estudia muestras de maíz en puerto de exportación, evidencia que ninguna muestra analizada presentó niveles superiores a los establecidos por la FDA de AFLA y DON (*US Grain Council*, 2019b).

El contraste entre el resultado que evidencia Biomin (2019b) y el *US Grain Council* (2019a) radica en diferencias metodológicas. En el primero detecta la incidencia de una aflatoxina en maíz cuando ésta tiene niveles superiores a 1,3 µg/kg, y de DON por encima de 100 µg/kg; mientras que el segundo tiene un nivel de detección de 5 µg/kg para AFLA y de 500 µg/kg para DON. Sin embargo, la encuesta realizada por BIOMIN (2019) especialmente para maíz mostró que, de 352 muestras analizadas en 30 estados, el 10% tenía incidencia de AFLA, el 43% de ZEN, el 78% de FUM y el 74% de DON; con niveles promedio (entre los detectados positivos) de 89 µg/kg, 298 µg/kg, 3.760 µg/kg y 1.132 µg/kg respectivamente. De manera que, a pesar del posible sesgo metodológico entre el laboratorio Biomin y el *US Grain Council*, los resultados de contaminación por micotoxinas en maíz son importantes.

⁴⁹Biomin es un laboratorio austriaco dedicado a la producción de aditivos y premezclas para la nutrición y salud animal.

Figura 14. Ocurrencia y riesgo de micotoxinas en diferentes regiones del mundo

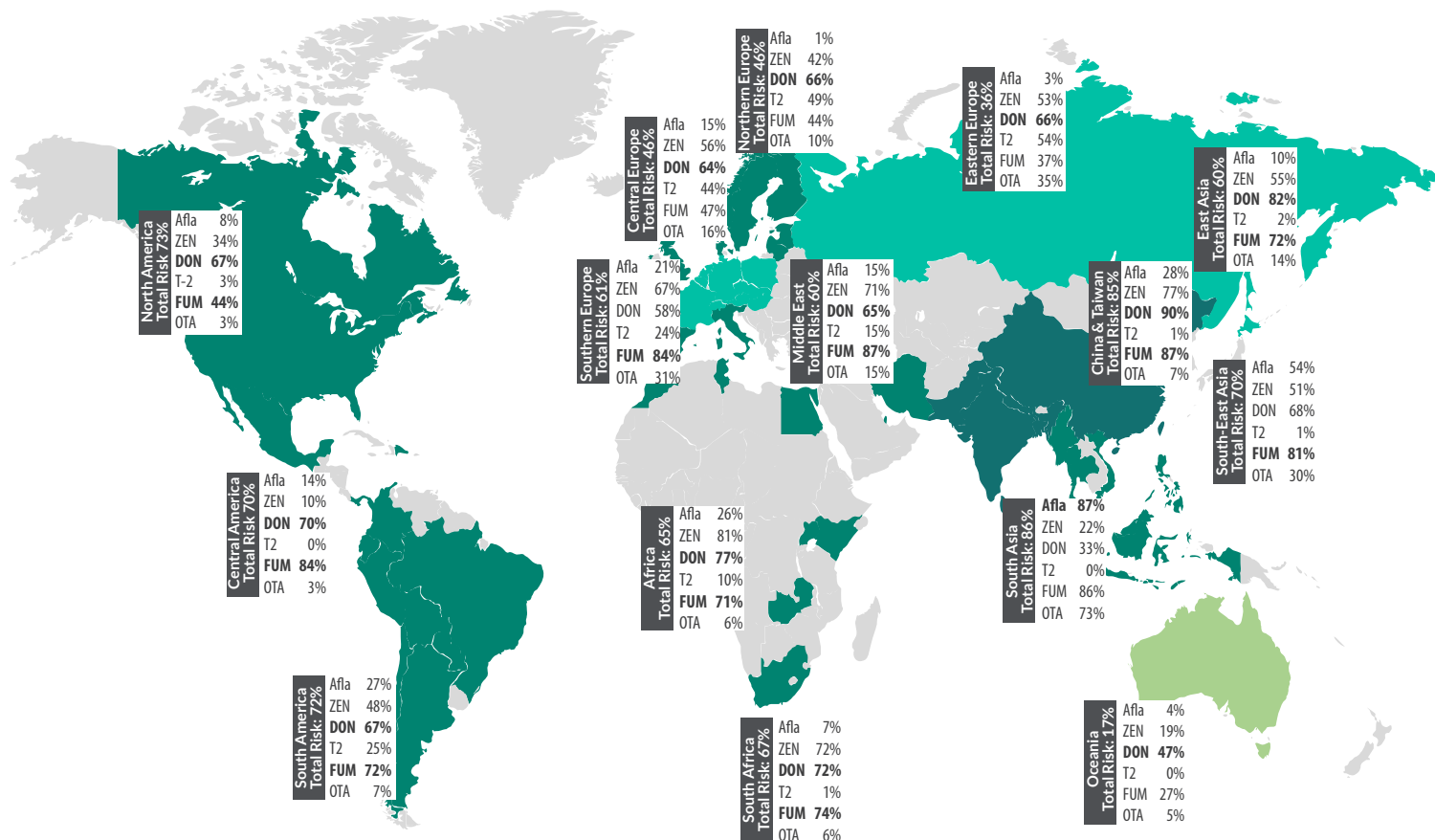


Figure 1. Global map of mycotoxin occurrence and risk different regions.

Legend

- Moderate risk: 0 - 25 of samples above risk threshold
- High risk: 26 - 50% of samples above risk threshold
- Severe risk: 51 - 75% of samples above risk threshold
- Extreme risk: 76 - 100% of samples above risk threshold
- No samples tested



Fuente: Biomin. (2019). Mycotoxin Survey Results 2018.

3.3.2 Impacto económico de las micotoxinas

La contaminación por micotoxinas en granos, puede tener repercusiones económicas desde la etapa de cultivo, comercialización y durante su encadenamiento productivo en la industria pecuaria. Un análisis de este impacto puede considerar causas como: pérdidas en el rendimiento por afectaciones en cultivo, pérdidas por la contaminación del producto, pérdidas en la productividad animal asociadas a afectaciones en la salud, costos en la salud humana y costos adicionales relacionados con la prevención, muestreo, mitigación e investigación.

Los estudios de impacto económico por micotoxinas son variables y pueden incluir o no las distintas causas a la hora de determinar el impacto económico total, de acuerdo con la disponibilidad de información; además, la información es limitada de acuerdo al nivel de desarrollo y producción de los países.

> A nivel general, se considera que el impacto económico de las micotoxinas es muy importante, dado que los hongos toxigénicos pueden llegar a afectar anualmente hasta el 25% de las cosechas a escala mundial y generar problemas al reducir la capacidad nutritiva del cereal en los alimentos, aumentar los costos de producción y la mortalidad e incrementar la susceptibilidad a las enfermedades infecciosas (Gómez, 2007).

Un estimado para maíz con relación a aflatoxinas en EE.UU, en años como el 2012, llegó a establecer pérdidas a la industria entre los \$ 52,1 millones a \$ 1,68 mil millones de dólares anuales (Mitchell, Bowers, Hurburgh y Wu, 2016). Sin embargo, el costo de los impactos en la salud humana, cuantificados a través de costos de atención médica, pérdidas en productividad y en vidas humanas son de difícil cuantificación.

A pesar de la complejidad que representa dicha evaluación, se han identificado diferentes aspectos en los que estos contaminantes generan costos adicionales o pérdidas económicas en la cadena productiva del maíz (Mitchell *et al.*, 2016), los cuales se enuncian a continuación:

Gastos de laboratorio

Relacionados con la toma y análisis de muestras de productos destinados a la alimentación humana directa o indirecta (a través de la alimentación animal), que se realizan para determinar si hay cumplimiento de los niveles de contaminación considerados como inocuos



para la salud. El estudio de Robens y Cardwell (2003) reveló que los costos de detección de micotoxinas no son menores. En Estados Unidos existen laboratorios privados y de agencias gubernamentales que participan en la realización de estos análisis, y que propician una dinámica económica alrededor del cumplimiento de la regulación establecida para esta problemática. Los costos asociados a estos análisis pueden variar anualmente y son más altos cuando hay ocurrencia de brotes en los cultivos.

Para la producción y comercialización del maíz, la entidad encargada de los análisis de AFLA y DON en EEUU, es la *Grain Inspection Packers and Stockyards Administration* (GIPSA), la cual realizó en el año 2018 un total de 3.328.909 inspecciones, 141.876 fueron para la detección de AFLA, 92.106 para DON y 33.613 para FUM. Estas inspecciones fueron realizadas entre la *Federal Grain Inspection Service* (FGIS) y otras agencias privadas autorizadas por la GIPSA, las cuales generaron ingresos por USD 36.996.610 en el año 2018 por cuenta de dichos análisis (FGIS-USDA, 2019).



Disminución del precio de maíz comercializado

Para el maíz, se ha consolidado un esquema de mercado en el que es posible penalizar el precio al momento de su comercialización, el cual depende del nivel de contaminación por micotoxinas.

Este esquema se basa en la clasificación de usos del maíz para consumo animal de acuerdo al nivel de contaminación por micotoxinas generado por la FDA (SEC. 683.100), lo cual tiene efectos para productores y almacenadores de grano. Por tal motivo, los compradores de grano realizan un descuento en el precio del maíz contaminado de acuerdo a la Tabla 14 (Mitchell *et al.*, 2016). La SEC 638.100 establece la clasificación de usos mas no avala la penalización.

Tabla 14. Cuadro de descuentos en maíz basado en los niveles de acción para aflatoxinas de la FDA

Rangos de Micotoxinas	Descuento en US\$/Bushel		Estándar FDA
Aflatoxinas (AFB1+AFB2+AFG1+AFG2)	Tabla Kansas	Tabla Texas	
20 µg/kg o menos	Precio completo	Precio completo	Para productos de maíz destinados a humanos, animales lecheros u otras especies no especificadas a continuación, o cuando se desconoce el uso previsto.
>20-100 µg/kg	-0,05	-0,3	Para los productos de maíz destinados a la cría de ganado de carne, la cría de cerdos o aves de corral maduras.
>100-200 µg/kg	-0,45	-0,6	Para productos de maíz destinados al acabado de cerdos (100 lb o más).
>200-300 µg/kg	-0,55	-0,9	Para los productos de maíz destinados al acabado del ganado de carne (ganado de engorde).
>300-500 µg/kg	-0,65	-1,65	Para maíz destinado a usos no animales (es decir, producción de etanol).
>500 µg/kg	No comercializable	No comercializable	Considerado no rescatable.

Fuente: Mitchell *et al.* (2016).

Estos descuentos representan grandes pérdidas económicas si se dimensiona la producción en el cinturón maicero estadounidense. El descuento autorizado en la comercialización incluye otros aspectos además del contenido de aflatoxinas, a saber: la calidad del grano, porcentaje de granos rotos, grado de humedad, daños causados por el calor, porcentaje de material externo, etc., además algunas industrias realizan análisis para DON y aplican descuentos por bushel de acuerdo a su nivel de contaminación.

De acuerdo con Mitchell *et al.* (2016) la pérdida potencial en la producción del maíz en Estados Unidos debido a la penalidad en el precio y el rechazo del grano contaminado al momento de la comercialización, llegó hasta los US\$1.683,2 millones de dólares, cuando se rechazaron lotes que contenían niveles de micotoxinas como aflatoxinas

superiores a 200 µg/kg y de US\$734,4 millones de dólares si el lote superaba una contaminación de 500 µg/kg en el año 2011. En la Tabla 15, se observa cómo este monto disminuyó para los años 2012 y 2013. Esta estimación se realizó en consideración de la producción de maíz, su precio promedio por *bushel* en cada estado, el descuento aplicado para cada nivel de contaminación de acuerdo a la Tabla 14 (Texas), y una estimación del porcentaje de *bushels* contaminados con aflatoxinas en cada uno de los rangos. Sin embargo, no se tomó en cuenta la producción de Iowa debido a la falta de disponibilidad de datos sobre aflatoxinas. Otro factor determinante es el clima, ya que en años con veranos más calurosos y sequías prolongadas es posible que se genere un mayor estrés biológico y ambientes propicios para la aparición de hongos y producir toxinas.

Tabla 15. Pérdida económica estimada en Estados Unidos por penalidad en el precio de lotes de maíz contaminados con micotoxinas como AFLA.

Año	Pérdida en millones de US\$	
	Rechazo a partir de 500 µg/kg	Rechazo a partir de 200 µg/kg
2011	734,4	1.683,2
2012	421,5	815,6
2013	166,3	166,3

Fuente: Mitchell et al. (2016).

Penalización en precio por contaminación

Las grandes comercializadoras de maíz en Estados Unidos, como parte de sus estándares de calidad, establecen criterios de descuento propios para la compra del grano, a partir de la evaluación de factores que inciden en la calidad del grano como:

- El contenido de humedad.
- Peso.
- Daños.
- Niveles de micotoxinas.

Los contaminantes más evaluados entre las compañías revisadas son AFLA y DON, y algunas FUM, y su penalidad en el precio, así como el nivel máximo permitido dependen especialmente de la destinación industrial del maíz. Como se presenta en la Tabla 16, los usos industriales como la producción de etanol, al no estar relacionados con la cadena de producción alimentaria, reciben maíz con los más altos niveles de contaminación.

Tabla 16. Penalización en el precio del maíz de acuerdo al nivel de contaminación de micotoxinas (AFLA, DON, FUM) por parte de comercializadoras en Estados Unidos

Compañía	Uso del maíz	Micotoxina evaluada	Máximo nivel permitido (µg/kg)	Rango de descuento en precio
Archer Daniels Midland Company (ADM) ⁵⁰	Alimentación animal	DON	14	0,025 - 0,45 US\$/Bushel
		AFLA	300	10% - 40%
Louis Dreyfus Company (LDC) ⁵¹	Comercialización y alimentación humana	AFLA	10	No especificado
Three Rivers Energy, LLC ⁵²	Comercialización y Etanol	DON	7.100	0,05 - 0,15 US\$/Bushel
		AFLA	10,1	No especificado
		FUM	2.100	No especificado

⁵⁰ADM Grain Company. Logansport, in corn discounts. Consultado en agosto de 2019 en: https://www.e-adm.com/DistStorSched/51_Yellow_Corn_DiscountSchedule.pdf

⁵¹Grand Junction, IA. Consultado en agosto de 2019 en: <http://www.ldcgrandjunction.com/images/E0300204/DiscountSchedule3.pdf>

⁵²Lakeview grains. Corn Discount Schedule. Consultado en agosto de 2019 en: <http://www.threeriversenergyllc.com/images/E0361201/CornDiscSched92418.pdf>

Adams Land & Cattle ⁵³	Alimentación animal	AFLA	300,1	10% - 40%
One Earth Energy ⁵⁴	Etanol	AFLA	7	No especificado
Tate & Lyle ⁵⁵	Alimentación animal	DON	500	No especificado
		AFLA	20	No especificado
Cooper Farms, Inc ⁵⁶	Alimentación animal	DON	10.000	0,03 - 0,21 US\$/Bushel
Valero Renewables ⁵⁷	Comercialización y Etanol	AFLA	10	No especificado
		FUM	5	No especificado
		DON	3.000	No especificado
Ingredion US ⁵⁸	Alimentación animal	AFLA	10	No especificado
		FUM	5.000	No especificado
		DON	1.000	No especificado
Premier Cooperative, Inc. ⁵⁹	Comercialización	AFLA	150	0,75 - 2,00 US\$/Bushel

En la Unión Europea, se estableció en el Reglamento (CE) No. 1881 de 2006, la cantidad máxima de micotoxinas en productos alimenticios. Para el maíz, en caso de exceder los niveles de contaminantes relacionados en la Tabla 17, no podrá usarse para el consumo humano y deberá someterse a un tratamiento físico que reduzca dichos niveles. Por otra parte, el maíz debe llevar una etiqueta en su empaque que indique su uso y una leyenda especificando:



este producto será sometido a un proceso de selección u otro tratamiento físico para reducir la contaminación por aflatoxinas antes del consumo humano directo o de su utilización como ingrediente de productos alimenticios". (CE NO. 1881 de 2006. Art. 4. d.)

De esta manera, se dificulta la comercialización de los productos contaminados con fines de consumo humano y se diferencia el uso dependiendo de su calidad, lo cual tiene implicaciones económicas para la industria.

⁵³Adams Land & Cattle. Corn Discount sheet. Consultado en agosto de 2019 en https://adamslandandcattle.com/uploads/ALCC-Corn-Discount-Policy_08-02-18.pdf

⁵⁴One Earth Energy. OEE Corn Discount Schedule. Consultado en agosto de 2019 en: <http://www.oneearthenergy.com/Grains/OEECornDiscountSchedule.aspx>

⁵⁵Tate & Lyle. Corn discount Schedule for truck corn delivered to Decatur, Il processing plant. Consultado en agosto de 2019 en: https://tateandlylegrain.com/file/40/Decatur_truck_corn.pdf

⁵⁶Cooper Farm Inc. Corn Discount Schedule. Consultado en agosto de 2019 en: <http://www.cooperfarmsgrain.com/images/E0191301/CornDiscount2016.pdf>

⁵⁷Valero renewables. Corn Discount Schedule 8. Consultado en agosto de 2019 en: https://valero-jefferson.aghostportal.com/images/E0383406/Jefferson_DiscountSchedule.pdf

⁵⁸Ingredion. Corn Discount Schedule for Argo. Consultado en agosto de 2019 en: https://sellyourcorn.ingredion.com/DocLib_US/ARGO_RAIL_DISCOUNT_092914.pdf

⁵⁹Premier Cooperative. Corn Discount Schedule. Consultado en agosto 2019 en: http://www.premiercooperative.net/media/cms/Corn_Discount_Schedule_150901_17B508553B5EB.pdf

Tabla 17. Niveles máximos de micotoxinas en tipos de maíz permitidos por la Unión Europea.

Producto alimenticio	Contenido Máximo				
	AFLA B1	AFLA B1+B2+G1+G2	DON	ZEN	FUM
Maíz y arroz que vayan a someterse a un proceso de selección u otro tratamiento físico antes del consumo humano directo o de su utilización como ingredientes de productos alimenticios.	5	10	-	-	-
Maíz no elaborado, excepto el destinado a molienda por vía húmeda.	-	-	1.750	350	4.000
Maíz destinado al consumo humano directo, aperitivos de maíz y cereales para el desayuno a base de maíz.	-	-	-	100	-
Maíz y alimentos a base de maíz destinados al consumo humano directo.	-	-	-	-	1.000

Fuente: Reglamento (CE) No. 1881 de 2006.

Gastos jurídicos

Pueden existir posibles demandas por parte de consumidores afectados por los efectos adversos de las micotoxinas en la salud humana y animal, sobre los cuales no se identificaron registros.

Costos por mitigación

Los esfuerzos por prevenir la aparición de micotoxinas desde la etapa de cultivo también pueden representar costos; sin embargo, este aspecto es difícil de cuantificar debido a que algunas prácticas sirven para mitigar distintos riesgos y no exclusivamente los causados por micotoxinas. Por ejemplo, un agricultor puede regar intensivamente en épocas de sequía, sin embargo, el costo adicional de un riego intensivo no puede ser atribuible a la mitigación de micotoxinas, aunque dicha práctica pueda tener efectos positivos para el cultivo en este aspecto (Vardon, McLaughlin y Nardinelli, 2003).

Entre las alternativas adicionales asociadas a la mitigación de estos contaminantes pueden estar relacionados con: el desarrollo de nuevos híbridos resistentes a hongos, prácticas agrícolas, aplicaciones (fungicidas, fertilizantes e insecticidas), manejo de poscosecha a partir de

instalaciones, procedimientos de control de la humedad y de detección de la contaminación, o la incorporación de sustancias para mitigar la contaminación.

Pérdida de eficiencia en la alimentación animal

Además de los efectos adversos en la salud animal, la contaminación por micotoxinas tiene consecuencias negativas en la productividad pecuaria, de manera diferencial de acuerdo a las especies, siendo importante su efecto en los cerdos. Sarantis (2019), encontró que la contaminación múltiple con DON y ZEN tiene un efecto negativo en la productividad de las cerdas y, en consecuencia, en la rentabilidad de las unidades de producción. Esto se ve reflejado en un aumento en la mortalidad de los cerdos previa al destete, y de lechones nacidos bajos de peso; así como un descenso en la tasa de parición. Estos indicadores reproductivos se ven afectados por la presencia de estas micotoxinas en los alimentos. En el caso de la industria pecuaria y de alimentos balanceados pueden darse pérdidas por disminución en la productividad e incremento de costos de producción al establecer medidas de control.

Pierron, Alassane y Oswald (2016) encontraron que el tracto intestinal de los cerdos es el primer afectado al consumir alimento contaminado con micotoxinas, en mayor medida para lechones y machos. Las micotoxinas que tienen un efecto directo en este aspecto son el DON y las FUM (FB1). El consumo de estos contaminantes produce reducciones en la ingesta de alimentos y por consiguiente una reducción del peso de cerdos (26% con DON y 16% para FB1), lo cual tiene consecuencias económicas en cuanto a la productividad de la granja y la eficiencia de la alimentación. Adicionalmente, la ingesta de estas micotoxinas causa infecciones intestinales, diarrea, dolor abdominal, dificulta la absorción de nutrientes, entre otros efectos (Pierron *et al.*, 2016), tal como se recopiló en la Tabla 13.

En cuanto al daño causado en aves, las aflatoxinas son el tipo de micotoxina más dañina, especialmente la AFB1. Este contaminante afecta el crecimiento a partir de una baja conversión alimenticia, incrementa la mortalidad, disminuye la producción de huevos, causa toxicidad embrionaria, problemas de calcificación y pigmentación deficiente. Por su parte, las ocratoxinas afectan el incremento de peso, la eficiencia alimenticia y la producción de huevos.

Las micotoxinas T-2 y diacetoxiscerpenol (DAS) pueden generar intoxicaciones crónicas en aves como la enfermedad hemorrágica, relacionada con lesiones bucales, generar inflamaciones e irritaciones en el tejido que inducen a una disminución en el consumo de alimento y su ganancia en peso e incluso pueden generar trastornos nerviosos (FAO, 2003). También es conocido el efecto en la reducción del espesor de la cáscara de los huevos (Mallman, Dilkin, Giacomini, Rauber y Pereira, 2007).

En la actualidad hay suficientes estudios en donde se ha estimado la pérdida económica por las afectaciones a la salud animal dentro de la industria pecuaria. Sin embargo, Vardon *et al.* (2003) estimaron las pérdidas para la industria pecuaria en Estados Unidos, para lo cual se asumió una pérdida total para el porcentaje de animales que consumieron alimento contaminado de micotoxinas por encima de los niveles de acción de cada una⁶⁰. El resultado de su análisis fue una pérdida de USD 6 millones al año. Las aflatoxinas son las más perjudiciales, causando pérdidas anuales de hasta USD 4 millones. Es claro que estas estimaciones están sujetas al nivel de producción pecuaria estadounidense, los niveles de contaminación en los alimentos balanceados, así como la disponibilidad de datos en cuanto a análisis de micotoxinas.

3.4 Tipos de micotoxinas

3.4.1 Aflatoxinas

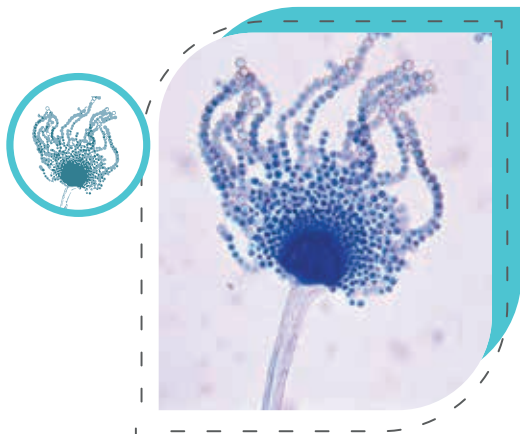
Son compuestos hepatotóxicos producidos por algunas cepas de hongos del género *Aspergillus*, principalmente *A. flavus* (Link) y *A. parasiticus* (Speare) son comunes aunque, otros tipos de hongos como *Aspergillus bombycis*, *Aspergillus ochraceoroseus*, *Aspergillus nomius* y *Aspergillus pseudotamari* también pueden producirlas en menor frecuencia (Peterson, Ito, Horn y Goto, 2001; Acuña, Díaz y Espitia, 2005), este grupo se considera como el de mayor importancia dada su alta toxicidad y la carga económica que genera. Estos hongos producen diversos tipos de compuestos como lo son AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2. Otros compuestos como la esterigmatocistina (STE) y el ácido ciclopiazónico (CPA), también se asocian a este grupo de toxinas, dado que también son producidos por *A. Flavus* y son compuestos precursores de la AFB1, que se reconoce como la más común y tóxica (Céspedes y Díaz, 1997; Díaz *et al.*, 2001, OMS, 2018).

⁶⁰El nivel de acción para la alimentación animal es de 300 µg/kg para aflatoxinas. Para FUM es de 5.000 µg/kg en caballos, 10.000 µg/kg para cerdos y 50.000 µg/kg para ganado y 5.000. Para DON es de 10.000 µg/kg para ganado y aves de corral y 5.000 µg/kg para cerdos y otros animales.

Aunque la presencia de estos hongos, no necesariamente implica la formación de aflatoxinas, es el principal factor de riesgo (Figura 15). Adicionalmente, se presenta en una gran diversidad de productos agrícolas, cereales y nueces, así como granos almacenados tanto en campo como en áreas de almacenamiento, plantas de procesamiento y distribución (Urrego y Díaz, 2006, OMS, 2018).

Figura 15. Ocurrencia de *Aspergillus* sp. en maíz.

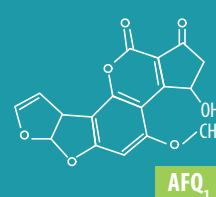
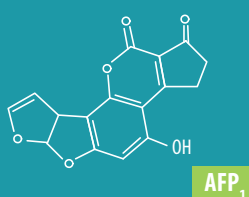
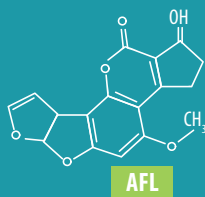
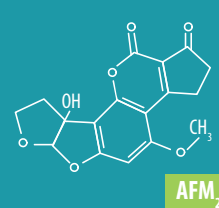
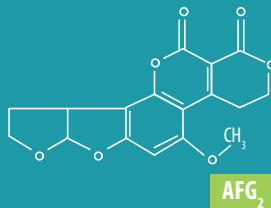
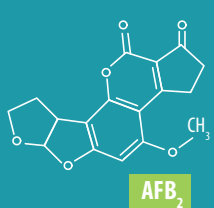
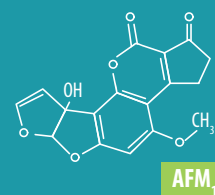
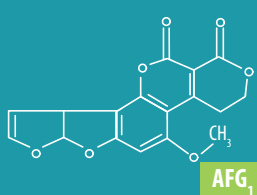
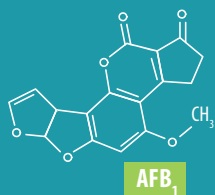
a) Morfología de *Aspergillus flavus*



b) Pudrición de la mazorca por *Aspergillus* spp.



c) Estructura molecular de aflatoxinas: tienen una estructura básica conformada por un anillo dihidrodifurano o tetrahidrodifurano unido a una cumarina con un anillo de cinco o seis átomos de carbono.



Fuente: a) Fungal Research Trust. G Kaminski. D Ellis y R Hermanis. Unidad de Micología Hospital de Mujeres y Niños, Adelaida, Australia del Sur 5006, consultado en mayo de 2020 en: <https://www.aspergillus.org.uk/content/aspergillus-flavus-30> b) Tomada de Cimmyt 2004, c) Soriano del Castillo J.M., et al. (2007), p.3-16.

En Estados Unidos y en la Unión Europea representan la mayor preocupación económica en la producción de granos, de otro lado, para países en desarrollo de Asia y África, donde las aflatoxinas contribuyen a cientos de casos de carcinoma hepatocelular cada año, representan una preocupación para la salud humana. Se estima que las pérdidas anuales en maíz norteamericano por esta causa puede estar entre los US \$ 52,1 millones a US \$ 1,68 mil millones (Mitchell *et al.*, 2016). Además, las micotoxinas son el principal peligro citado en las notificaciones de rechazo en la frontera de la UE según el Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos (RASFF), siendo las aflatoxinas las más comúnmente asociadas con las notificaciones (Marin, Ramos, Cano-Sancho y Sanchis, 2013; Alshannaq y Yu, 2017).

Existen distintos reportes para varios productos en Colombia (Céspedes *et al.*, 1997, Díaz, *et al.*, 2001; Acuña, Díaz y Espitia, 2005; Morris, 2011 entre otros autores), los niveles máximos permitidos en Colombia para aflatoxinas totales (B1+B2+G1+G2) para alimentos humanos y animales deben encontrarse entre los 10-50 µg/kg, dependiendo del sustrato específico. Sin embargo, en distintas muestras y trabajos existen registros fuera de este marco, tanto a nivel de la producción nacional como de productos balanceados para animales (Tabla 27).

Mecanismos de distribución y contaminación

Las esporas producidas por estos hongos, al ser parte de la microflora del suelo en áreas tropicales, subtropicales y templadas, pueden transportarse por el aire. Desde distintas revisiones de literatura en donde se señala que la contaminación ocurre, por lo general, en pre y pos cosecha, debido a condiciones de estrés de la planta o daños producidos por insectos quienes permiten la entrada física del hongo y dan lugar a la contaminación de toxinas (FAO, 2003). Otros autores resaltan como fases vulnerables para la contaminación el manejo durante la cosecha en campo, el almacenamiento, transporte y procesamiento para el consumo humano o animal (Martínez, Hadassa, Hernández, Reyes y Vázquez, 2013).

Mecanismo de riesgo

En el caso de la AFB1, luego de ser ingerida, es metabolizada por un tipo de enzimas llamadas citocromo P450 (CYP450), de este proceso de biotransformación se genera como producto una molécula altamente reactiva conocida como AFB1-8,9-epóxido (AFBO), la cual puede reaccionar con proteínas y ADN produciendo efectos citotóxicos y mutagénicos respectivamente por lo que se considera riesgosa para la salud animal en general (Murcia - Gutierrez, 2010).

Efectos en la salud humana

Las aflatoxinas B1 y M1 han sido clasificadas por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC, 2002) en el Grupo I como carcinógenos para humanos (Acápita 3.2. *Impactos en la salud y el bienestar general. Tabla 12*). Este tipo de toxinas han generado alarmas de seguridad en alimentos a nivel mundial. Aunque se han creado regulaciones, en países donde hay mayor exposición a estas micotoxinas, existe poco o ningún control de calidad. Por ello, es importante generar mecanismos de vigilancia pertinentes para disminuir el riesgo de contaminación fúngica y alimentos con aflatoxinas (Londoño - Cifuentes y Martínez-Miranda, 2017).

Las aflatoxinas son frecuentes en los granos de consumo humano, en los países tropicales como Colombia, desde 2006 se ha planteado la necesidad de determinar de la presencia en alimentos de consumo humano y la de sus biomarcadores con el fin de ofrecer elementos para la políticas de salud pública y el control de carcinógenos (Urrego y Díaz, 2006).

AFB1 es considerada como cancerígena para seres humanos (IARC, 1993) y es un agente de cáncer de hígado muy potente. Debido a este factor, se conocen casos de intoxicación aguda con víctimas mortales, como el evento ocurrido en India para 1984 (FAO, 2003) cuando con la llegada de lluvias inesperadas y escasez de alimentos, hubo un mayor consumo de maíz contaminado. Sánchez (2014), señala que AFB1 es el carcinógeno hepático de ocurrencia natural más potente que se conoce y cuya exposición crónica causa carcinoma hepatocelular.

En el ámbito internacional, entre el 4,6 y el 26% de los casos reportados de esta afectación, se deben a la exposición a aflatoxinas. A su vez, se reconoce el efecto sinérgico de la exposición crónica a aflatoxinas y la prevalencia de hepatitis B para que se presente con mayor frecuencia carcinoma hepatocelular (CHC). Estas afecciones tienen ocurrencia principalmente en África subsahariana, el sudeste asiático y China y se registra un mayor riesgo de ocurrencia en poblaciones rurales y en países en desarrollo (Liu y Wu, 2010). De acuerdo con Sánchez (2014), se estima que la prevalencia de estas afectaciones puede ser entre 16 y 32 veces mayor en países en desarrollo, donde la presencia de la toxina puede ser mayor que en países industrializados.

Desde distintos trabajos, investigadores e instituciones es reiterativa la necesidad de implementar programas de vigilancia y control que incluyan el análisis de este tipo de micotoxinas en alimentos como granos y cereales de mayor consumo orientados a la disminución del riesgo por afectación de estas enfermedades crónicas (Díaz, Perilla y Rojas, 2001; Urrego *et al.*, 2006; Liu y Wu, 2010; Morris, 2011; Sánchez, 2014).

De acuerdo con la Asociación Americana de Cáncer (2019), las aflatoxinas son uno de los factores de riesgo para sufrir esta enfermedad⁶¹. A partir de la dinámica que la misma ha tenido, para 2019 se proyectan 42,030 nuevos casos (29,480 en hombres y 12,550 en mujeres) de cáncer primario de hígado y cáncer de las vías biliares intrahepáticas y una mortalidad de 31,780 muertes (21,600 hombres y 10,180 mujeres)

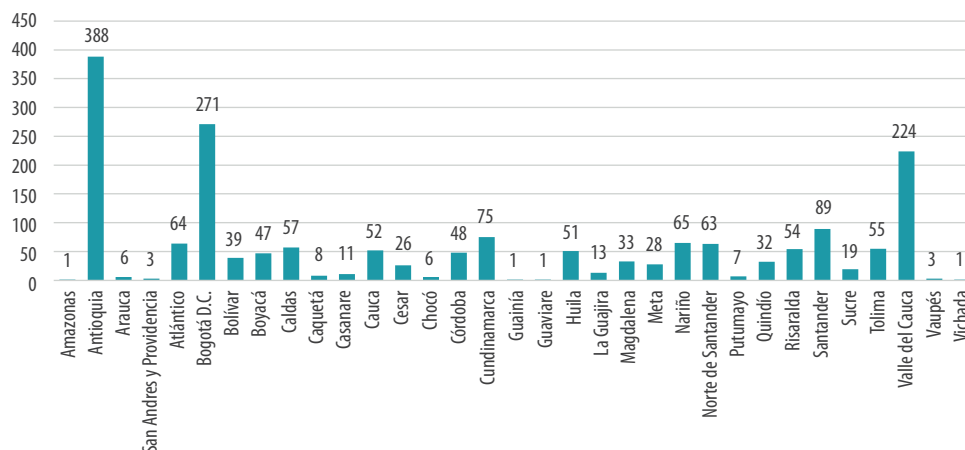
en Estados Unidos. Además, la incidencia de este tipo de cáncer se ha triplicado desde 1980, es 3 veces más frecuente en hombres que en mujeres y se ha incrementado un 2% por año desde 2007. Sin embargo, en el ámbito global, se reconoce que anualmente hay mayor incidencia de esta afectación en África subsahariana y el sureste de Asia que en países desarrollados y es el tipo de cáncer más común pues más de 800,000 personas son diagnosticadas con este cáncer cada año.

En América Latina, el cáncer de hígado es la cuarta causa de muerte por cáncer, sin que esto se asocie a altas tasas de hepatitis B, cirrosis u otras enfermedades hepáticas. A pesar de que más del 60% se codifica como cáncer de hígado no especificado como primario ni como secundario, con frecuencia el cáncer secundario por metástasis se diagnostica y luego se codifica como primario, cuando en realidad se trata de lesiones malignas producto de una lesión de origen no determinado o de diagnóstico tardío (Urrego *et al.*, 2006). En Colombia, de acuerdo con los registros del Instituto Nacional De Cancerología se registraron 1841 muertes por esta causa en el reporte de 2016 (Figuras 16 y 17), que afectan en mayor medida a adultos y ancianos, aunque existen registros de muertes en niños.

Es fundamental reconocer que existen diversas causas para la ocurrencia de cáncer hepático y con los datos existentes no es posible correlacionar directamente estos casos con efectos por exposición a la contaminación con micotoxinas en productos alimentarios específicos.

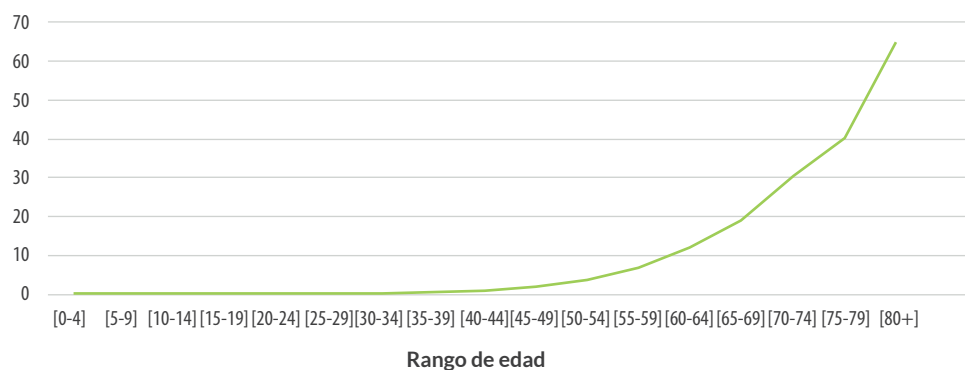
⁶¹El cáncer hepático puede ser primario o secundario. En el grupo de cáncer primario, el Carcinoma hepatocelular (CHC) es la forma más común de cáncer de hígado en adultos, aunque puede subdividirse en otros tipos: colangiocarcinoma intrahepático o de conducto biliar, angiosarcoma y hemangiosarcoma, hepatoblastoma. El Cáncer secundario del hígado (cáncer del hígado metastásico), puede ser a partir de tumores benignos del hígado, hemangioma, adenoma hepático, hiperplasia nodular focal.

Figura 16. Número de muertes en ambos sexos, edades entre 0-80 años por cáncer de hígado en Colombia (2016)



Fuente: Instituto Nacional de Cancerología (2017).

Figura 17. Número de muertes en ambos sexos, edades entre 0-80 años por cáncer de hígado por rangos de edad, en Colombia (2016)



*Número de muertes en ambos sexos, edades [0 - 80+], cáncer de hígado, Amazonas, Antioquia, Arauca, Archipiélago de San Andrés, Providencia, Atlántico, Bogotá D.C., Bolívar, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Chocó, Cundinamarca, Córdoba, Guainía, Guaviare, Huila, La Guajira, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca, Vaupés, Vichada, años (2016).

Fuente: Instituto Nacional de Cancerología (<http://infocancer.co>)

Efectos en la salud animal

Desde 1960, se conocen los efectos nocivos de las aflatoxinas, cuando se les atribuyó la muerte de miles de pavos, patos y animales domésticos por la presencia *A. flavus* en harina de maní importada de Sudamérica. También se conocen los efectos crónicos en la salud de ganado debido a la administración de concentraciones bajas en alimentos así como la disminución de la productividad y susceptibilidad de enfermedades (FAO, 2003) como lo son la hepatotóxicos, mutagénesis, cáncer y efectos adversos para la salud. Existen reportes de mortalidad causada por aflatoxinas en distintos animales debido al consumo de alimentos contaminados, tanto a nivel productivo como de animales domésticos (Acuña *et al.*, 2005).

La incidencia reportada de aflatoxinas en Colombia oscila normalmente entre el 9 y el 30%, con niveles promedio cercanos a 20 µg/kg y niveles máximos alrededor de 100 µg/kg en muestras aisladas (Céspedes *et al.*, 1997; Díaz *et al.*, 2001). Los niveles máximos de aflatoxinas totales (B1 +B2 +G1 +G2) permisibles en Colombia en alimentos para humanos como cereales y productos transformados corresponde a 4 µg/kg, aunque llega a aceptarse 10 µg/kg en el caso de maíz y arroz para transformación o tratamiento físico antes del consumo directo; sin embargo, en el caso de AFB1 en productos como leche para consumo humano, el límite se hace mucho más restrictivo al ser de 0,5 µg/kg de acuerdo a la Resolución 4506 de 2013 (Ver Tabla 8). En el caso de alimentos para animales, los límites permisibles para aflatoxinas oscilan entre los 10 y 50 µg/kg dependiendo de la especie (ICA, Directiva 30 - 100 - 002; Ver Tabla 9).

Condiciones para la generación de aflatoxinas

Las aflatoxinas, al ser originadas por hongos saprófitos del género *Aspergillus*, pueden generarse durante el transporte y el almacenamiento de granos (Díaz *et al.*, 1996).

La distribución de la contaminación puede ser heterogénea ya que depende de condiciones como los efectos de condensación de agua generados por variaciones de temperatura al interior de bultos u otros materiales de almacenamiento. Esta condición aumentó la incidencia en 18% de AFB1 en granos de sorgo durante el trayecto hacia la Sabana de Bogotá (Díaz, 1996; Abadía, Afanador, Céspedes y Díaz., 1997).

Condiciones óptimas para proliferación de *A. flavus*



Actividad del agua (a_w)⁶² : alrededor de 0,99, el valor máximo es al menos 0,998 y el mínimo no se ha determinado aún con precisión, aunque hay registros de 0,82 (Pitt y Mischamble, 1995 en FAO, 2003)



Temperatura: 10 a 43°C. óptima de crecimiento 30°C donde puede crecer hasta 25 mm al día. Produce toxinas bajo temperaturas de al menos, 15 a 37°C, sin contar con una temperatura óptima para la producción de la toxina. Sin embargo, se ha notificado que, entre 20 y 30°C, es mayor que en rangos de temperaturas mayores o menores.

Condiciones óptimas para la proliferación de *A. parasiticus*

Los efectos de la actividad de agua y la temperatura sobre el comportamiento de *A. parasiticus* son similares a los presentados anteriormente para *A. flavus*. Se han reportado valores de actividad del agua de 0,83 aproximadamente para el crecimiento y de 0,87 aproximadamente para la producción de aflatoxinas. Hay pocos datos acerca de los efectos de la temperatura sobre el crecimiento y la producción de aflatoxinas de *A. parasiticus*. Se reportan valores óptimos para el crecimiento y para la producción de toxinas de aproximadamente 30 y 28°C respectivamente (FAO, 2003) (Tabla 18 y 19).

⁶²Es un concepto que relaciona el contenido de agua y las propiedades del alimento, también se relaciona con su calidad. Es un factor clave para el crecimiento microbiano, producción de toxinas y resistencia al calor de microorganismos, la estabilidad química y en la calidad de los alimentos. Se puede definir como la fracción de contenido de agua libre y disponible de un producto, para el crecimiento de microorganismos y para llevar a cabo diversas reacciones químicas que afectan a su estabilidad (Labuza, 1971; Ramirez- Miranda, 2014).

Tabla 18. Límites de crecimiento y producción de aflatoxinas de *A. flavus* y *A. parasiticus*

Factores de crecimiento		<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Aspergillus parasiticus</i>
Temperatura (°C)	Mínimo	10-12	12
	Óptimo	33	32
	Máximo	43	42
Actividad del agua	Mínimo	0.8	0.8-0.83
	Óptimo	0.98	0.99
	Máximo	>0.99	>0.99
Valor de pH	Mínimo	2	2
	Óptimo	5-8	5-8
	Máximo	>11	>11
Producción de aflatoxina			
Temperatura (°C)	Mínimo	13	12
	Óptimo	16-31	25
	Máximo	31-37	40
Actividad del agua	Mínimo	0.82	0,86-0,87
	Óptimo	0,95-0,99	0,95
	Máximo	>0,99	>0,99
Valor de pH	Mínimo	ND*	2
	Óptimo	ND	6
	Máximo	ND	>8

*ND: no disponible. Fuente: ICMSF 1996 (20) en INS (2015).

Tabla 19. Factores de crecimiento y producción de aflatoxinas de *A. flavus* y *A. parasiticus*

Factores de crecimiento		<i>A. flavus</i>	<i>A. parasiticus</i>
Temperatura (°C)	15	55	ND
	25	1.020	ND
Actividad del agua a_w	0,87	ND	3.760
	0,90	ND	62.500
Producción (µ/kg)	0,91	100 - 400	--
	0,95	600 - 900	--
	0,97	--	--

Fuente: ICMSF 1996 en INS (2015).

Otros de los factores ambientales que favorecen el crecimiento y la producción de aflatoxinas⁶³ son la disponibilidad de monosacáridos y disacáridos (glucosa, fructosa, sacarosa) como fuentes de carbono, favorecen el crecimiento, esporulación y formación de aflatoxinas, mientras que azúcares más complejos o peptonas no soportan bien la producción de aflatoxinas; el contenido de amonio como fuente de nitrógeno.

Se reporta que los efectos de pH pueden ser complejos y contradictorios. Sin embargo, algunos componentes en las semillas como el ácido linoleico y otros ácidos grasos se han reportado como factores inhibidores o estimulantes en la formación de aflatoxinas dependiendo de la ubicación de los grupos funcionales de tales ácidos grasos (ICMSF, 1996 en INS 2015).

Factores ambientales de crecimiento y producción de aflatoxinas

Por su parte, algunos factores que inciden en la contaminación por hongos aflatoxigénicos del maíz durante la producción primaria son (Tabla 20):

Tabla 20. Factores de crecimiento y producción de aflatoxinas en maíz

Cultivo	
 Temperatura	El maíz requiere diferentes rangos de temperatura según la etapa de crecimiento en que se encuentra. Se debe cultivar entre 20-30°C, para que se produzca la germinación de la semilla se necesita entre 15 - 20°C, y para la fructificación se requieren temperaturas entre 20-32°C.
 Agua	El maíz es un cultivo exigente en cuanto a su requerimiento de agua, del orden de aproximadamente 5 mm/día.
 Suelo	Se adapta a todo tipo de suelo, crece preferiblemente con valores de pH entre 6 a 7, requiere suelos profundos, ricos en materia orgánica y con buena circulación del drenaje.
 Altitud	Se cultiva en todos los pisos térmicos, entre 0 y 2.800 m.s.n.m. y en todas las regiones del país.
Recolección y Almacenamiento	
En los países en desarrollo la recolección aún se hace manualmente. El sistema mecanizado no sólo arranca la mazorca de la planta, sino también el grano de la Panoja-olote, conocido en Colombia como mazorca, mientras que la recolección a mano requiere arrancar primero la mazorca y posteriormente desgranada.	
 Humedad	Recolección: con humedad del 18 al 24%. Almacenamiento: secarse a niveles de aproximadamente 12% a 30°C y 14% a 10°C para almacenamiento. Aunque las técnicas de almacenamiento varían, estas deben controlarse para evitar el daño de granos por hongos, insectos y roedores.
 Calidad física	Puede modificarse por causa de la recolección mecánica, el descascaramiento y el secado; los dos primeros procesos dan lugar en ocasiones a daños externos, como la ruptura del pericarpio y de partes en torno al germen, lo cual facilita el ataque de los insectos y hongos (Ej. % de granos partidos).
 Tamaño de partícula de maíz	Con menores tamaños de partícula de maíz puede haber un nivel más elevado de toxinas. Las fracciones se clasifican por tamiz de malla de 500 micras. Se debe establecer diferentes límites máximos para las fracciones de molienda mayores y menores de 500 micras con el fin de reflejar los niveles de contaminación de las diferentes fracciones. Es recomendable utilizar maíz para consumo humano con valores menores a 2 µg/kg de AFB1.
 Factor crítico	Humedad relativa mayor de 70%. Humedad de grano: a 14%. Temperaturas de almacenamiento entre 26-30°C por tiempos prolongados.

Fuente: tomado de INS (2015).

⁶³Para ver otras características de las aflatoxinas: Aflatoxina B1: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3598>; Aflatoxina B2: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3669>; Aflatoxina G1: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3670>; Aflatoxina M1: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3666>

3.4.2 Ocratoxina A

Producida por hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, entre ellos: *Aspergillus alutaceus* o *A. ochraceus*, *A. alliaceus*, *A. carbonarius*, *A. melleus*, *A. niger*, *A. sclerotiorum*, *A. sulphureus* y *Penicillium verrucosum*, *P. viricatum* (Bayman, Baker Doster, Michailides, Mahoney, 2002; Larsen, Gareis, Frisvad, 2002). La exposición humana ocurre principalmente a través del consumo de granos contaminados y productos de carne de cerdo, según lo confirmado por la detección de ocratoxina A en sangre y leche humana (IARC, 1993). Existen registros en trigo, cebada, avena y maíz, además de otros productos como café, harina de yuca, maní, frutas secas, vino, huevos y leche.

La ocratoxina A (OTA) se encuentra en el grupo 2B de la IARC catalogado como posiblemente cancerígeno para humanos (IARC, 1993). Se cree que el consumo de alimentos contaminados con ésta toxina está asociado a la nefropatía endémica de los Balcanes, una enfermedad renal

en los humanos similar a la nefropatía porcina, ya que el órgano diana es el riñón, así como a una alta incidencia y mortalidad por tumores del tracto urinario urotelial en humanos.

En animales, se ha probado la carcinogenicidad de la ocratoxina A mediante administración oral en ratones y ratas, en el primer caso aumentó la incidencia de tumores hepatocelulares en ratones de ambos sexos, produjo adenomas y carcinomas de células renales; a su vez, se asocia con inmunosupresión en varias especies animales. Estas evidencias han sido suficientes como para señalar que es una toxina carcinogénica en animales experimentales.

A su vez, se reconoce que es una molécula resistente al calor con un amplio rango de temperaturas para el crecimiento del agente causal⁶⁴, tal como se observa en la siguiente tabla (CAST, 2003; Martos, Thompson y Díaz, 2010) (Tabla 21).

Tabla 21. Factores de crecimiento y producción de ocratoxina A

Organismo	Temperatura de crecimiento	Actividad del agua
<i>A. ochraceus</i>	8-37°C (crecimiento). 25-31°C (óptimo). 15-37°C (producción de OTA).	0,79
<i>P. verrucosum</i>	0-31°C (crecimiento). Todo intervalo (producción de OTA).	0,86

3.4.3 Fumonisin

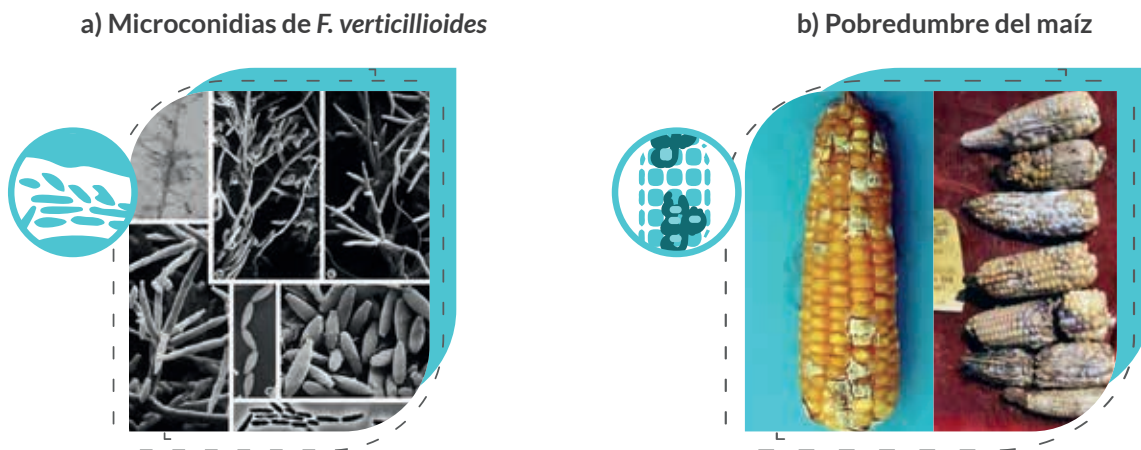
Producidas por especies de *Fusarium* como *F. verticillioides*, *F. moniliforme* y *F. proliferatum* otras pertenecientes al género *Alternaria* spp. (Cimmyt, 2004; Acuña et al., 2005), entre otros agentes. A su vez, se han aislado y caracterizado diversos tipos de fumonisin como: FB1, FB2 y FB3 (Tabla 8), aunque en el maíz, el tipo más común es la FB1, la cual tiene un alto riesgo de toxicidad. Se asocia con el clima cálido y seco seguido de periodos de alta humedad y condiciones de almacenamiento inadecuadas (FDA, 2001).

De acuerdo a la revisión de De la Torre – Hernández, Sánchez – Rangel, Galeana – Sánchez, Plasencia - de la Parra (2014), *F. verticillioides* se considera una de las especies que puede producir mayores pérdidas para el maíz en el mundo. Si bien tiene varias rutas con las que puede infectar a la planta, producir toxinas y disminuir la calidad de granos, la producción de toxinas es variable entre cepas del hongo. Dicha producción de toxinas es considerada un factor de virulencia al asociarse con una mayor capacidad de infección; sin embargo, su establecimiento en el hospedero depende de factores como condiciones ambientales favorables y etapas de desarrollo del hospedero.

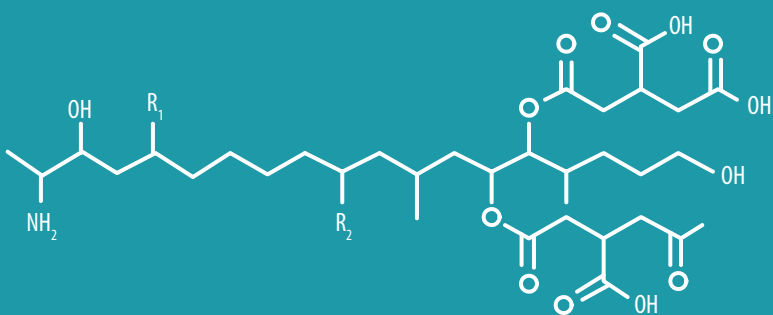
⁶⁴Otras características de la Ocratoxina en: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3605>

Se considera que este patógeno puede tener una fase biotrofa en periodos tempranos de la infección; así mismo, sobrevivir como endófito en la semilla y el tallo sin causar graves daños. También se le considera un patógeno necrótrofo, al causar la muerte del tejido hospedero, y de sobrevivir como saprófito en el rastrojo (Kedera, Leslie y Claflin, 1994; Desjardins Plattner, Nelson y Leslie, 1995; Duncan y Howard, 2010). En caso de que cuente con condiciones favorables puede provocar pudriciones en raíz, tallo y mazorca, como alta temperatura y humedad, favoreciendo la pudrición de la mazorca durante el periodo de llenado de grano (Bacon, Yates, Hinton y Meredith, 2001; Torres, Ramos, Soler, Sanchis y Marín, 2003; Samapundo De Meulenaer, Atukwase, Debevere y Devlieghere, 2007).

Figura 18. Ocurrencia de *F. verticillioides* y *F. moniliforme* en maíz.



c) Estructura molecular de fumonisinas: tienen una estructura lineal de 20 carbones, con un amino en el C-2 y residuos de ácido tricarboxílico esterificados en C-14 y C-15



	R1	R2
Fumonisin B1	OH	OH
Fumonisin B2	OH	H
Fumonisin B3	H	OH

Fuente: a) Tomada de <http://www.mycobank.org>, b) Cimmyt (2004) y c) De la Torre – Hernández et al., (2014).

Por parte de *Fusarium moniliforme*, patógeno común productor de micotoxinas y generador de la pudrición de la mazorca de maíz (Figura 18), tiene una ocurrencia que se caracteriza por el desarrollo de moho algodonoso o rayas blancas en el pericarpio del grano y germinan estando aún en tuza u olote. Ello puede estar influenciado por el daño en las mazorcas a partir de insectos barrenadores (Cimmyt, 2004). A la vez, este patógeno puede producir otros tipos de toxinas (DON, ZEA, HT-2 toxina, que se examinan más adelante, dado que pertenecen a otros grupos de micotoxinas).

Mecanismos de distribución y contaminación

En el caso de *F. verticillioides*, la contaminación puede darse a través de varias rutas en maíz. Una primera vía de contaminación la realiza el hongo a través de la infección sistémica de plántulas, cuando el hongo sobrevive en el suelo y logra el acceso a las células de la raíz; aunque es rara este tipo de infección, pueden evidenciarse síntomas de pudrición hasta en 30 días de acuerdo a la cantidad de inóculo y condiciones ambientales. Una segunda vía, se da a través del inóculo aéreo y el flujo a través del agua de conidias que llegan al estigma, infectan el pericarpio, y con el crecimiento de hifas en la superficie de la cutícula pueden acceder al grano a través de la parte inferior del canal estilar, incluso en ausencia de lesiones mecánicas; de esta manera se produce infección en la mazorca. Y una tercera vía, es la infección del tallo y la mazorca a partir de daños mecánicos producidos por insectos (De la Torre – Hernández *et al.*, 2014).

La contaminación con fumonisinas⁶⁵ puede darse en campo o durante el almacenamiento. La ocurrencia de contaminación con estas toxinas está relacionada a condiciones cálidas y secas. La exposición a esta contaminación ocurre a través del consumo de maíz contaminado. Por lo tanto, las poblaciones que comen maíz molido como alimento básico pueden estar expuestas a cantidades significativas de fumonisinas y a cantidades menores de fusarina C (IARC, 1993)⁶⁶.

Efectos para la salud humana

Existen evidencias que vinculan las toxinas producidas por *F. moniliforme* como *posiblemente cancerígenas para los humanos (Grupo 2B)* (IARC, 1993). Las fumonisinas se producen principalmente en maíz, obtienen relevancia toxicológica en este grano al ser transformado en alimentos para animales y alimentos para humanos (CAST, 2003; Perilla y Díaz, 1998; Visconti *et al.*, 1995, en Martos *et al.*, 2010).

Efectos para la salud animal

De acuerdo con la FDA (2001) existen evidencias sustanciales sobre los efectos adversos de estas toxinas en animales al generar lesiones renales y hepáticas. El consumo de piensos mohosos y alimentos de maíz contaminados con *F. moniliforme* se ha asociado a muertes de equinos y porcinos. Cuando los alimentos se encuentran contaminados con FB1 en altos niveles, pueden generar brotes de leucoencefalomalacia en caballos, trastorno caracterizado por signos neurotóxicos como ceguera, ataxia, delirio, postración y convulsiones antes de morir. Los efectos de este tipo de contaminación también se han relacionado con alteraciones en el sistema nervioso central, hígado, páncreas, riñones y pulmones de la función vascular en varias especies de animales (FAO, 2003).

Sobre este tipo de toxinas (FB1 y FB2) existe *suficiente evidencia* de los efectos carcinogénicos en animales experimentales, entre los efectos se encuentran la generación de nódulos neoplásicos, carcinomas hepatocelulares y carcinomas colangiocelulares. En el caso de la fumonisina B1, existen evidencias de producción de carcinomas hepatocelulares y focos de hepatocitos alterados en ratas macho (IARC, 1993 en IPCS - INCHEM); a la vez existe evidencia de que FB1 se asocia con la insuficiencia cardíaca en bovinos y porcinos e hipertrofia en arterias pulmonares en cerdos, entre otros (Kriek *et al.*, 1981 y Smith *et al.* 1999).

Algunos estudios han correlacionado el consumo de maíz con alta incidencia de *F. verticillioides* y fumonisinas y la alta incidencia de carcinoma esofágico humano en ciertas partes de Sudáfrica, sin embargo, se han registrado casos en África, América Central y Asia, y entre la población negra en Charleston, Carolina del Sur, EE.UU. La FB1 reduce la absorción de ácido fólico en diferentes líneas celulares, el consumo de fumonisina se ha implicado en defectos del tubo neural en bebés humanos (Marasas *et al.*, 2004; Zain, 2010).

⁶⁵Otras características de Fumonisin B1 en: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3603> y Fumonisin B2: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3697>

⁶⁶Inchem. Consultado en mayo de 2020 en: <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol56/11-monil.html>

En el caso de fumonisina B2, no hay pruebas suficientes en animales de experimentación de la carcinogenicidad de la fumonisina B2 (IARC, 1993 en IPCS - INCHEM), sin embargo, se encuentra en grupo IARC G2B. En cuanto a fusarina C se ha evidenciado que con la administración oral en ratas hembra se indujo la generación de papilomas y carcinomas de esófago y estómago; sin embargo, la evidencia sobre su efecto carcinogénico es limitada (IARC, 1993 en IPCS - INCHEM).

Factores ambientales para el crecimiento y producción de fumonisinas

De acuerdo con FDA (2001), en maíz la ocurrencia de fumonisinas se encuentra relacionada con factores como la temperatura, la humedad, el estrés por sequía y las precipitaciones durante los períodos de pre cosecha y cosecha. Específicamente, en maíz en etapa de llenado de grano (Bacon *et al.*, 2001) o recién cosechado, se ha encontrado relación con el clima cálido y seco, seguidos por períodos de alta humedad con altos niveles de contaminación (Shelby *et al.*, 1994; FAO, 2003). Sin embargo, durante almacenamiento pueden incidir en esta contaminación una humedad en grano entre 18-23 % (Bacon y Nelson, 1994), así como la infestación de insectos y el consecuente daño de los granos, así como periodos de cultivo con condiciones climáticas adversas.

La actividad de agua mínima para el crecimiento de *F. moniliforme* es 0,87; el límite máximo registrado es superior a 0,99. Las temperaturas de crecimiento mínima, óptima y máxima son 2,5 a 5,0, 22,5 a 27,5 y 32,0 a 37,0°C respectivamente (FAO, 2003). Adicionalmente, en el caso de productos procesados a base de maíz, la FDA (2001) menciona las siguientes diferencias de acuerdo al tipo de molienda a la que se somete el maíz:

En la *molienda seca*, proceso a partir del cual se obtiene salvado, sémola y harina, se obtienen fracciones con diferentes niveles de concentración de fumonisinas, ya que estas se concentran en el germen y en el casco del grano de maíz entero (FDA, 2001; Bordini, Ono, García, Fazani, Vizoni, Rodrigues, 2017). Por ejemplo, las fracciones molidas en seco (excepto la fracción de salvado) obtenidas a partir de granos de maíz desgerminados contienen niveles más bajos de fumonisinas que las fracciones molidas en seco obtenidas de maíz no desgerminados o parcialmente desgerminados.

La información de la industria indica que la molienda en seco da como resultado fracciones que contienen fumonisina en orden descendente de mayor a menor nivel de fumonisina: salvado, harina y sémola. En consecuencia, el pan de maíz, sémola de maíz y los *muffins* de maíz hechos de sémola y fracciones de harina pueden contener niveles bajos de fumonisinas Patel *et al.*, 1997, Trucksess, *et al.*, 1995 y FDA, 1999 en *Codex Alimentarius*, 2000). Los cereales para el desayuno listos para comer hechos de sémola, como hojuelas de maíz y cereales inflados, contienen niveles bajos (no detectables a 10 partes por billón (ppb)) de fumonisinas (Stack y Eppley, 1992)

En el caso de la *molienda húmeda*, en donde se generan productos como almidón, germen y fibra, se han indicado resultados diferenciales en las fracciones así: fibra, germen y almidón (Bennett y Richard, 1996). No se han detectado fumonisinas en la fracción de almidón obtenida de la molienda húmeda de maíz contaminado con fumonisinas. El almidón se usa frecuentemente en la producción de jarabes de maíz con alto contenido de fructosa y otros edulcorantes de maíz (Bennett y Richard, 1996). Por lo tanto, estos tipos de productos no contienen niveles detectables de fumonisinas. El aceite de maíz, extraído de germen de maíz y refinado, no ha presentado niveles detectables de fumonisinas (Patel *et al.*, 1997). Sin embargo, las fracciones de gluten y fibra del proceso de molienda húmeda sí contienen fumonisinas; sin embargo, estas fracciones se utilizan para producir alimentos para animales.

Otro proceso al que se puede someter el maíz entero es la nixtamalización, que consiste en hervir los granos de maíz crudos en una solución acuosa de hidróxido de calcio (lejía), enfriar y lavar para eliminar el pericarpio y el exceso de hidróxido de calcio. Posteriormente se muelen los granos lavados para producir la masa, a partir de la cual se hacen los *chips* de maíz y las tortillas. Se ha demostrado que este proceso reduce los niveles de fumonisinas que pueden estar presentes en los granos de maíz crudos (Dombrink-Kurtzman y Dvorak, 1999). Sin embargo, debido a la falta de información sobre el grado de reducción de fumonisina que se produce, se necesitan estudios adicionales.

Las fumonisinas también se pueden encontrar en niveles bajos (0,1 - 0,6 ppm) en granos enteros de palomitas de maíz sin explotar (Bullerman y Tsai, 1994). Sin embargo, los datos recientes proporcionados por *The Popcorn Institute* indican que los niveles de fumonisina en granos enteros y limpios de palomitas de maíz sin explotar oscilaron entre no detectables y 2,8 ppm.

Los datos disponibles indican la presencia de niveles bajos (4 - 82 ppb) de fumonisinas en el maíz dulce (Trucksess *et al.*, 1995). Además, los datos actuales sobre la cerveza muestran que las fumonisinas pueden estar presentes, pero a niveles muy bajos (0.3 a 12.7 ppb), y los alcoholes destilados hechos de maíz no contienen fumonisinas (Hlywka y Bullerman, 1999; Bennett y Richard, 1996). Además, la FDA reconoce que el aditivo de color púrpura, preparado ya sea mediante la extracción del jugo de maíz morado maduro o mediante infusión en agua del maíz morado seco según lo dispuesto en la § 73.260 del Título 21 del Código de Regulaciones Federales (21 CFR 73.260), puede esperarse que contengan

niveles de fumonisinas similares a los presentes en el maíz morado. Sin embargo, actualmente falta información sobre la presencia de fumonisinas en el maíz morado comestible.

Los granos de maíz rotos que se han analizado en lotes de maíz a granel antes de cualquier proceso de molienda son más altos en fumonisinas que en granos enteros, y se usan a menudo en alimentos para animales. Se ha encontrado que las fumonisinas en los alimentos para animales son poco absorbidas por los animales de granja después de la ingestión. Residuos de fumonisina en la leche (Richard *et al.*, 1996, Scott *et al.*, 1994, Maragos y Richard, 1994, Becker *et al.*, 1995), huevos (Vudathala *et al.*, 1994) y carne (Prelusky *et al.*, 1994, Prelusky *et al.*, 1996, Smith y Thakur, 1996) son, por lo tanto, indetectables o detectados a niveles extremadamente bajos. Por lo que las principales recomendaciones se concentran en la implementación de BPAs y BPMs. En la Tabla 22 se presentan los niveles máximos para las fumonisinas en maíz y productos de maíz destinados al consumo humano:

Tabla 22. Niveles máximos permitidos para fumonisinas por distintos tipos de alimentos (FDA)

Producto	Fumonisinas totales (FB 1 + FB 2 + FB 3) partes por millón (ppm).
Productos de maíz molido seco desgermado (por ejemplo, sémola de granos, sémola de maíz, harina de maíz, harina de maíz con un contenido de grasa de <2.25%, base en peso seco).	2 ppm
Productos de maíz molido seco total o parcialmente degradado (por ejemplo, sémola de granos, sémola de maíz, harina de maíz, harina de maíz con un contenido de grasa de > 2.25%, base en peso seco).	4 ppm
Salvado de maíz molido en seco.	4 ppm
Maíz limpio destinado a la producción de masa.	4 ppm
Maíz limpiado destinado a las palomitas de maíz.	3 ppm

Fuente: FDA (2001).

3.4.4 Tricotecenos (Deoxinivalenol, Nivalenol, Fusarenona X, T-2 toxina, HT-2 toxina, entre otros)

Es un grupo de más de 200 compuestos de sesquiterpenoides, producidos por algunas especies de *Fusarium* sp. como *F. tricinatum*, *F. nivale*, *F. roseum*, *F. graminearum*, *F. solani*, *F. culmorum* y *F. poae* (Serrano – Coll y Cardona – Castro, 2015) que contaminan cereales como avena, trigo, cebada y maíz; entre otros tricotecenos, el deoxinivalenol (DON) es uno de los que frecuentemente se detecta en granos y tiene efectos en la salud humana y animal (Roscoe, Lombaert, Huzel, Neumann, Melietio, Kitchen, Kotello, Krakalovich, Trelka y Scott, 2008).

En el caso del maíz, *Gibberella zeae*, estado perfecto de *Fusarium graminearum* puede causar pudrición de la mazorca y afectar otros órganos como el tallo y las plántulas, siendo común en zonas frías y húmedas. Se caracteriza por formación de micelio blanco que desciende desde la punta de la mazorca y toma una coloración rojiza y rosada. A partir de este tipo de contaminación con el agente patógeno puede darse eventualmente la ocurrencia de DON (Cimmyt, 2004) (Figura 19). Cuando se genera en trigo, se asocia a una alta humedad en la floración (antesis) y a la presencia de lluvias. Sin embargo, factores como la susceptibilidad varietal ante especies de *Fusarium*, historia del lote de siembra, uso de fungicidas y prácticas de labranza pueden ser determinantes (T3TB, 2019) tanto en la incidencia del hongo y en la probabilidad de presencia de la toxina.

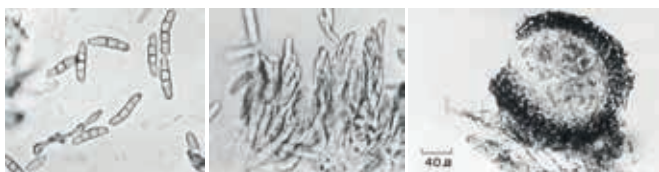
Figura 19. Ocurrencia de *F. graminearum* / *Gibberella zeae* en maíz.

a) *Fusarium graminearum*



A= Macroconidia, B = Monofiliades, C= Clamidiosporas.

b) *Gibberella zeae*

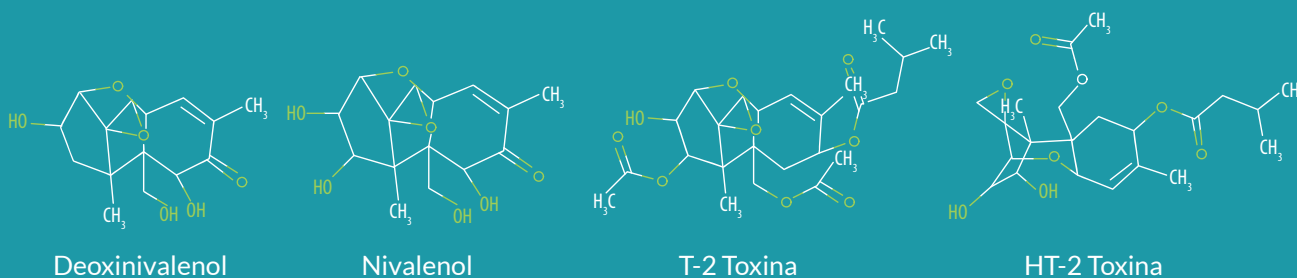


A= Ascosporas, B = Ascas y C= Peritesio.

c) Maíz infectado por *Gibberella zeae* (Telomorfo), estado perfecto de *Fusarium graminearum* (pudrición de la oreja).



d) Estructura molecular de algunos tricotecenos, producidos por distintas especies de *Fusarium*. Son sesquiterpenos de peso poseen el esqueleto tetracíclico, 12,13-epoxitricotec-9-eno, cuentan con grupos hidroxilos o acetilos en ciertas posiciones en núcleo de la molécula y cadenas laterales de estructura variada.



Fuente: a y b tomadas de BCRC⁶⁷, c) Cimmyt (2004) y d) Toxin and Toxin Target Database (T3DB, 2020).

⁶⁷Consultado en enero de 2020 en: https://www.bcrc.firdi.org.tw/fungi/fungal_detail.jsp?id=FU201505260896

Otros tricotecenos conocidos son el nivalenol (NIV) y fusarenona - X (FUS-X) que son formas acetiladas de DON (ADON; 3-acetildeoxinivalenol) (3-ADON) y 15-acetildeoxinivalenol (15-ADON)); otros son el Neosolaniol (NEO), diacetoxyscirpenol (DAS), toxina HT-2 (HT-2)⁶⁸ y T-2 toxina (T-2), diacetoxyscirpenol (DAS) (FAO, 2004; Martos *et al.*, 2010).

Entre los efectos de estos compuestos (TCT) a nivel celular afectan procesos de elongación y la activación de proteínas inactivadoras de ribosomas (RIPs), provocando de esta manera estrés ribotóxico y daños en el rRNA, lo que inhibe la traducción y la síntesis de proteínas, generando de esta manera toxicidad, inhibición de la síntesis de ADN y ARN, alteración en la división celular, en la estructura de la membrana. Además, compromete la integridad y la función de la mitocondria (Serrano-Coll y Cardona-Castro, 2015). En tejidos, puede ocasionar lesiones en el tracto gastrointestinal, piel, células linfoides y eritroides, a partir de una necrosis extensa en la mucosa oral y la piel en contacto con la toxina, generar efectos agudos en el tracto digestivo y una disminución de la médula ósea y la función inmune (Schwarzer, 2009). Puede causar neurotoxicidad, disminución de la absorción de nutrientes (Eriksen y Petterson, 2004).

> Estos compuestos pueden encontrarse en diversos tipos de granos, especialmente en condiciones de temperatura entre los 6 y 24°C con una alta humedad. Existen reportes de ocurrencia natural en distintas regiones del mundo y variedad de especies maíz, trigo, cebada, avena, arroz, centeno, verduras y otros cultivos, por lo que representan un factor de preocupación para la salud humana y animal, al estar presentes en alimentos y piensos (Zain, 2010).

La toxina T-2 se produce en cereales en muchas partes del mundo y está relacionada en particular con períodos prolongados de tiempo lluvioso durante la cosecha.

Efectos para la salud humana

Los tricotecenos pueden producir toxicidad aguda en el ser humano, causando irritación rápida de la piel o la mucosa intestinal y diarrea (OMS, 2018). En el caso de intoxicación alimentaria con DON, han ocurrido brotes de micotoxicosis agudas en India, China y zonas rurales de Japón por la ingestión de maíz y trigo mohosos, provocando síntomas como náuseas, vómitos, dolores abdominales, diarrea, mareos y cefaleas (FAO, 2003) y considerados como graves efectos (IARC, 1993). Además, se considera que DON puede ser la causa de “aleucia tóxica alimentaria” (ATA) (IARC, 1993), enfermedad que afectó a miles de personas en Siberia durante la segunda guerra mundial, ocasionando la aniquilación de pueblos enteros; entre los síntomas de ATA se encuentran la fiebre, vómitos, inflamación aguda del aparato digestivo y diversas alteraciones sanguíneas (FAO, 2003), y en situaciones agudas puede generar necrosis en la cavidad oral, sangrados de nariz, boca y vagina (Serrano-Coll y Cardona-Castro, 2015). Sin embargo, no se han identificado efectos genéticos del deoxinivalenol, nivalenol o fusarenona X en humanos.

Efectos para la salud animal

Pueden generar efectos crónicos para animales como la inmunodepresión (OMS, 2018). Los piensos contaminados con DON, han provocado brotes de síndromes eméticos en ganado, en donde se genera rechazo al alimento y vómito; síntomas también observados en cerdos, además pueden provocar inmunosupresión en ratones. Se cuenta con evidencia sobre su potencial carcinogénico en animales experimentales (IARC, 1993).

Los tricotecenos tienen efectos que incluyen anorexia y pérdida de peso, retraso del crecimiento, trastornos nerviosos, alteraciones cardiovasculares, inmunodepresión, trastornos hemostáticos, toxicidad de la piel, disminución de la capacidad reproductiva, daño de la médula ósea y aleuquemia tóxica alimentaria⁶⁹.

⁶⁸Otras características de HT-2 toxina en: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3673>

⁶⁹Otras características de DON en: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3668>

De acuerdo con IARC (1993), el nivalenol es un compuesto cancerígeno, tras su administración oral en ratones hembra, además de encontrarse efectos nocivos en la médula ósea⁷⁰. En el caso de fusarenona x también hay pruebas sobre su efecto carcinogénico, además se considera que puede generar inmunosupresión en ratones.

A su vez, la T-2 toxina ha causado brotes de enfermedad hemorrágica en animales, se relaciona con lesiones bucales y efectos neurotóxicos en aves de corral. En este caso y en otros TCT, también se reconoce su efecto inmunosupresor. Hay escasas pruebas de la carcinogenicidad de la toxina T-2⁷¹ en estudios con animales de experimentación (FAO, 2003).

3.4.5 Otras micotoxinas (zearalenona, alcaloides ergot y moniliformina)

3.4.5.1 Zearalenona

En la literatura se enuncia que es producida por hongos del género *Fusarium* como *F. roseum*, *F. graminearum*, *F. tricinctum*, *F. oxysporum*, *F. sporotrichioides* y *F. moniliforme*, entre otros (Agrios, 1998; Zhang, Feng, Song, Zhou, 2018). Es una toxina de tipo lactona fenólica del ácido resorcílico, presente en maíz, trigo, cebada, avena, sorgo y piensos, ampliamente distribuida a nivel mundial (Kuiper-Goodman, Scott, Watanabe, 1987; Perusia y Rodríguez, 2001; FAO, 2003).

Es un compuesto genotóxico al fragmentar el ADN y causar aberraciones cromosómicas y formación de aductos de ADN. También puede generar efectos citotóxicos al mejorar la peroxidación lipídica, aumentar el estrés oxidativo e inducir la muerte celular o apoptosis. También se reconocen sus efectos estrogénicos, que pueden generar afectaciones reproductivas en animales, hasta el inicio temprano de la pubertad en niños. Otros efectos son la generación de adenocarcinomas endometriales, hiperplasia y cáncer de seno en las mujeres. Dado que las micotoxinas a menudo pueden ingresar al hígado y al riñón desde transportadores de aniones orgánicos humanos (hOAT) y transportadores de cationes orgánicos humanos (hOCT), pueden inhibir la absorción de aniones y cationes por estos transportadores, interfiriendo con la

secreción de metabolitos endógenos, fármacos y xenobióticos, incluidos ellos mismos. Esto da como resultado una mayor acumulación celular de compuestos tóxicos que causan nefro y hepatotoxicidad (T3DB, 2019).

Efectos para la salud humana

De acuerdo con IARC (1993) no hay evidencia suficiente para considerarlo como agente cancerígeno, aunque se ha observado su efecto, no ha logrado identificarse una correlación con la incidencia de enfermedades como el cáncer de esófago. Sin embargo, se han observado efectos en humanos expuestos al consumo de ZEA, como pubertad precoz en niñas y aumento del tamaño de los órganos reproductores en niños (Abid-Esefi, Baudrimont, Hassen, Ovanes, Mobio, Anane, Crppy y Bacha, 2003). A su vez, tiene una posible participación en otros efectos como la ocurrencia de adenocarcinomas endometriales, hiperplasia, cáncer de seno y cervical en mujeres. La zearalenona también es inmunotóxica, genotóxica y puede causar daño renal y hepático (Ben Salah-Abbes, Abbès, Abdel-Wahhab y Oueslati, 2009).

Es un contaminante en maíz y en menor medida en avena, cebada, trigo y sorgo también se le atribuyen desordenes reproductivos, prolapsos rectales, pseudo embarazo, disminución de la fertilidad, malformaciones, reabsorción del feto (Díaz y Céspedes, 1997).

⁷⁰Otras características de Nivalenol en: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3674>

⁷¹Otras características de T-2 toxina en: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3664>

Efectos para la salud animal

Aunque no está clasificado como agente cancerígeno, si se ha identificado mayor incidencia de adenomas hepatocelulares en ratones hembras y de adenomas pituitarios en ratones, sin aumentar la incidencia de tumores en ratas. La zearalenona induce anomalías cromosómicas en células de roedores cultivadas. No induce recombinación en levaduras o mutaciones genéticas o daños en el ADN de las bacterias (IARC, 1993).

ZEA⁷² tiene efectos estrogénicos por lo que puede inducir infertilidad, aborto u otros problemas reproductivos en ganado cuando la ingesta es elevada (FAO, 2003, T3DB, 2019), sin embargo, se considera que el cerdo es más sensible a estos efectos (Agrios, 1998; OMS, 2001; Perusia y Rodriguez, 2001).

Se produce comúnmente en alimentos cuando existen bajas condiciones de alta temperatura y humedad, aunque el hongo puede estar presente en condiciones diferentes (FDA, 2001). A su vez, se ha encontrado que ZEA puede aparecer simultáneamente con otras toxinas como DON, OTA y AFLA (Aflatoxinas) en cultivos de cereales (Muthomi *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2014 en Salazar, 2016). Sin embargo, el efecto sinérgico asociado es poco conocido.

3.4.5.2 Alcaloides ergot

Generadores de la enfermedad conocida como ergotismo en humanos y otros animales, es la micotoxicosis más antigua conocida (CAST, 2003). Son micotoxinas naturales derivadas del triptófano. Se producen principalmente por el hongo *Claviceps purpurea* en varias plantas de la familia *Poaceae* (Krska *et al.*, 2008; Leeson *et al.*, 1995), aunque otros géneros también pueden producir este tipo de compuestos. Ya que *Claviceps* sp. invade el ovario de la planta huésped y conforma una masa de tejido llamada esclerocio, puede afectar desde el campo. Entre los grupos que conforman estos compuestos se encuentran:

- i) Clavinas
- ii) Ácidos lisérgicos
- iii) Amidas de ácido lisérgico
- iv) Ergopeptinas: ergotamina⁷³ (ERGA), ergocornina (ERGC), ergometrina, ergosina, ergocriptina y ergocristina (CAST, 2003).

Estos compuestos están involucrados en efectos sobre el sistema nervioso o síndromes gangrenosos en humanos y animales que consuman productos contaminados con los esclerocios del hongo. El ergotismo es de las micotoxicosis más antiguas conocidas, aunque su ocurrencia ha disminuido con el tiempo.

3.4.5.3 Moniliformina

Su ocurrencia se ha informado en varias partes del mundo, en África, EE.UU, Suramérica y Europa. Se produce por varias especies de *Fusarium* como *F. proliferatum*, *F. subglutinans*, entre otros como *F. moniliforme* (*F. verticillioides*) de acuerdo a la revisión de Leoni y Valente - Soares (2003). Este género se encuentra en el grano de maíz, por lo que se puede transferir a los cultivos de próxima generación y sobrevivir durante años en el suelo.

Se cree que la moniliformina es una causa de la enfermedad de *Kashin-Beck*, que causa la destrucción y la deformidad de las articulaciones, con propiedades inmunosupresoras. La intoxicación aguda por este compuesto genera debilidad muscular, estrés respiratorio, degeneración miocárdica, así como algunos cambios histopatológicos en órganos como los riñones, los pulmones y el páncreas, seguidos del coma y la muerte⁷⁴.

Se han reportado efectos nocivos de la moniliformina en distintos animales. Kriek *et al.* (1977), describió los efectos en patos y ratas, entre ellos, la debilidad muscular, dificultad respiratoria, cianosis, coma y muerte con LD 50 oral de 3,68 mg/kg (para patos de 7 días) y 50,0 y 41,57 mg / kg en ratas macho y hembra. Incluso dosis bajas pueden causar aberración cromosómica en células hepáticas *in vitro* (Leoni *et al.*, 2003).

⁷²Otras características de ZEA en: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3665>

⁷³Ver más características ergotamina en: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D2460>

⁷⁴Moniliformin: <http://www.t3db.ca/toxins/T3D3770#reference-A3077>

En pollos de engorde expuestos a alimentación contaminada con moniliformina y FB1 se ha demostrado un efecto aditivo en la mortalidad; aunque se exhiben efectos menos nocivos en la ocurrencia con DON, que inducen una menor ingesta de alimento y un aumento de peso (Harvey, Kubena, Rottinghaus, Turk, Casper, Buckley, 1997). Aunque FB1 y moniliformina son producidos por las mismas especies fúngicas (*F. proliferatum*), no hay semejanza estructural entre las dos toxinas (Price *et al.*, 1993 en Zain, 2010).

Puede encontrarse en alimentos y piensos a base de cereales junto con otras toxinas como TCT y ZEA. Sin embargo, procesos como la cocción y el horneamiento pueden reducir las concentraciones⁷⁵; aunque se ha determinado que la moniliformina tiene una estabilidad térmica moderada⁷⁶ en donde puede permanecer hasta el 77% en granos de maíz y trigo luego de ser expuesta a temperaturas de 50 °C por 2 horas; así como se ha observado una reducción al 38% con temperaturas entre 100 – 150 °C para el mismo tiempo (Leoni *et al.*, 2003).

3.4.5.4 Generalidades

Es fundamental reconocer que existen factores intrínsecos que condicionan la colonización fúngica y la producción de toxinas durante el almacenamiento de los granos. Entre ellos, se encuentran: la temperatura, la actividad del agua (a_w) y la humedad.

En el caso de empaques de recolección, se ha relacionado la acidez de los granos y de los gases en la atmósfera entre granos como un factor que puede afectar poblaciones de hongos (Tabla 23). Adicionalmente, la conformación de microclimas generados por contacto, a través de ciclos repetidos de condensación y adsorción de agua puede interferir generando gradientes (Ej. humedad y temperatura) al interior de bolsas de almacenamiento. En almacenamiento de éstas características se han encontrado mayores poblaciones en estratos superiores, caracterizados por presentar mayor temperatura, variación de la humedad y procesos de condensación y mayor intercambio de gases con el medio y el interior de la bolsa; de este modo, el almacenamiento en silo también requiere de la inspección previa y vigilancia.

Por último, hay factores que influyen en el grado de toxicidad de las distintas micotoxinas y con ello agudizar los efectos en la salud humana y animal. Algunos de ellos, retomados de Kuiper-Goodman (1994) y planteados desde la gestión de riesgos en alimentos son: la biodisponibilidad; toxicidad de la micotoxina dado que sus efectos pueden ser diversos, como se observó en el presente acápite, y la ocurrencia de posibles sinergias que pudiesen ocurrir entre las distintas micotoxinas. Adicionalmente, el tiempo de exposición a las micotoxinas por parte del organismo que pudiese verse afectado, la cantidad de micotoxina ingerida diariamente en función de la concentración y la cantidad de alimento ingerido, así como la continuidad o intermitencia de la ingestión del alimento contaminado.

⁷⁵Ver más características de toxinas en: <http://www.t3db.ca/toxins>.

⁷⁶Sal de potasio de moniliformina.

Tabla 23. Condiciones favorables para la producción de hongos productores de algunas micotoxinas

Variable	Efecto a los 5 meses	Hongos productores de micotoxinas			
		<i>F. verticillioides</i>	<i>Aspergillus sp.</i>	<i>Penicillium sp.</i>	<i>Eurotium sp.</i>
Extrínsecos (ambientales)	Determinan la composición de poblaciones. - Temperatura: de 8, °C a 22,8°C - Humedad: de 16,4 a 16,7*	- Menor frecuencia al final del almacenamiento - 100% de muestras con incidencia de fumonisinas - fumonisinas en niveles máxima de 5,707 mg/kg.	- Aislado al inicio del almacenamiento. - Incidencia de aflatoxinas en 40% de muestras. - Niveles máximos de: 0,0008 mg/kg.	Mayor frecuencia al final del almacenamiento	Mayor frecuencia al final del almacenamiento, por adaptación a ambientes más ácidos y anóxicos. Existen reportes de producción de OTA en granos almacenados.
Intrínsecos (grano)	- Disminución del pH - Disminución del O ₂ - Aumento de CO ₂		Existen reportes de tolerancia a ambientes alcalinos, y en consecuencia afectación en las poblaciones con mayor tiempo.		
Tecnológicos (ubicación de los granos en el perfil de silo bolsa)	- Mayores recuentos de micobiota en granos de la capa superior del silobag. - Mayor temperatura en el superior. - variaciones de pH por estratos.				

Fuente: Castellari, Cendoya, Marcos Valle, Barrera y Pacin (2015).

Frente a los factores de toxicidad y exposición, se han establecido niveles tolerables de ingesta máxima u otras orientaciones, desde estudios de riesgo por parte de *Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios* y los *grupos especiales de científicos FAO/OMS*.

> Sin embargo, existen otros factores que intervienen y están relacionados con la sensibilidad intrínseca a dicha exposición por parte del organismo; entre ellos su especie, sexo, peso, edad, estado fisiológico y de salud, entre otros, además pueden ser diversos en las distintas poblaciones, por lo que en muchos casos, es preciso evaluar la pertinencia de los valores de referencia.

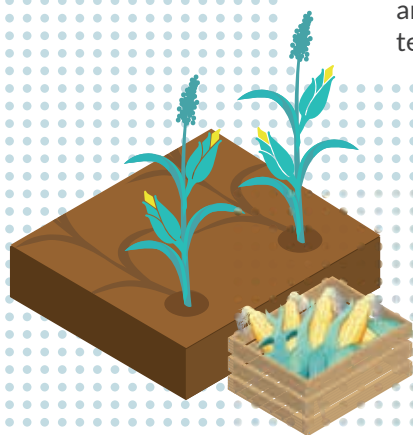
Pese a la existencia y evaluación de estos valores de referencia, la OMS (2019) recomienda que la exposición a las micotoxinas se mantenga tan baja como sea posible para proteger la salud de personas y el bienestar animal. También alienta a las autoridades nacionales a supervisar y garantizar los que los niveles de micotoxinas en los distintos alimentos comercializados sean los más bajos posibles y cumplan los niveles máximos, condiciones y legislaciones nacionales e internacionales. En Colombia, se necesita realizar estudios de detección de micotoxinas en alimentos de consumo directo, materias primas y productos procesados que generen la información para determinar la inocuidad de los alimentos consumidos (Salazar, 2016).

04

DINÁMICA DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA SOBRE MICOTOXINAS EN MAÍZ

Como parte de esta revisión, se examinó la dinámica de generación de conocimiento sobre micotoxinas en maíz desde plataformas como *Scopus* y *Scielo* para abordar el ámbito internacional. En el caso de la producción nacional, se realizó la búsqueda en la plataforma *Scienti* de Colciencias y el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia. En ambos casos, se buscó identificar los principales actores y temáticas sobre los que se ha dado énfasis en la investigación.

Sin embargo, para el caso nacional, se realizó una revisión más detallada con el fin de reconocer los registros de problemáticas de micotoxinas en el territorio nacional, los niveles encontrados y productos en los que se ha realizado detección, así como los aportes institucionales. A partir de esta revisión introductoria se evidencian los vacíos de información y las oportunidades de desarrollo científico.





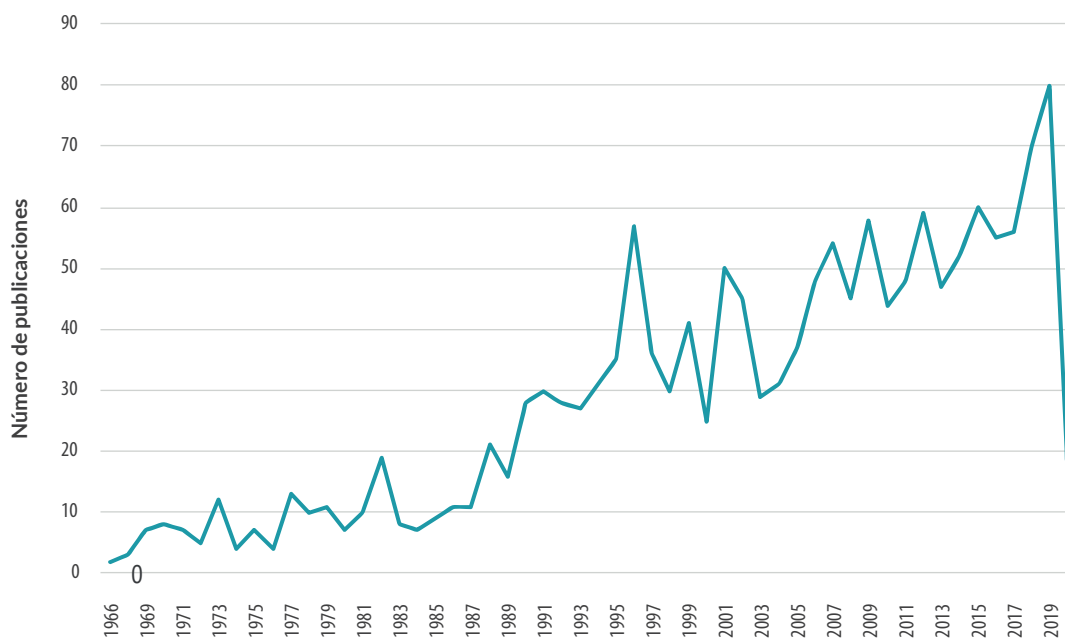
4.1 Ámbito internacional

Desde la revisión en *Scopus*, con la ecuación de búsqueda "TITLE-ABS-KEY (corn+mycotoxins)"⁷⁷ se encontraron 1566 registros que evidencian una dinámica creciente sobre los trabajos de investigación científica sobre micotoxinas y maíz, la cual inició desde 1966 pero presentó un auge en la década de 1980 y 1990; sin embargo, es un tema en continuo crecimiento (Figura 20). El tema se ha consolidado, ya que se identificaron investigadores con trabajos de gran impacto a nivel bibliográfico y a su vez, 154 revistas científicas han presentado de manera reiterada el tema.

Entre estas:

- > "Journal of Agricultural and Food Chemistry".
- > "Mycopathologia".
- > "Food Additives and Contaminants".
- > "Food Additives and Contaminants Part A Chemistry Analysis Control Exposure and Risk Assessment".
- > "Journal of AOAC International".
- > "Applied and Environmental Microbiology".
- > "Food and Chemical Toxicology".
- > "Mycotoxin Research".
- > "Poultry Science".
- > "Toxins".
- > "Food Control" (Figura 21).

Figura 20. Dinámica de publicaciones sobre micotoxinas en maíz (1966 - 2020)



Fuente: a partir de *Scopus* (2019).

⁷⁷Fecha de consulta: abril de 2020.

Figura 21. Principales revistas con publicaciones sobre micotoxinas en maíz (1969 - 2020)



Fuente: a partir de Scopus (2019).

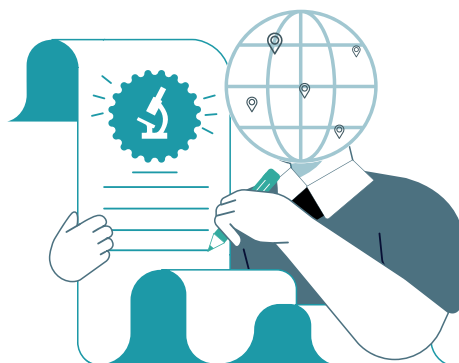
Desde la descripción de los perfiles de catalogación de las revistas mencionadas anteriormente que son recopilados por *Scimago Journal & Country Rank* y *Wageningen Academic publishers*, se encontró que *Journal of Agricultural and Food Chemistry* cuenta con información sobre la composición química y bioquímica de productos de agricultura, alimentos y su seguridad. En el caso de la revista *Mycopathologia* dedicada al estudio del papel de los hongos en la enfermedad y el biodeterioro, en los campos de micología

médica y veterinaria, micotoxiosis y micotoxinas, la micología molecular, la aeromicrología ambiental, la entomopatogénica, hongos y micología industrial aplicada y de sistemática y taxonomía. Por su parte, *Journal Of AOAC International* publica trabajos originales, enfocados a contribuciones en nuevos métodos; revisiones, composiciones, entre otros, como instrumentos, comunicaciones técnicas y de precaución con impacto en el análisis agronómico y de cultivos, medioambiente, química, alimentación y farmacología.

Las áreas de alcance de revistas como *Mycotoxin Research*, publicación oficial de la *Society for Mycotoxin Research* incluyen las líneas de: ecología y genética de la formación de micotoxinas, modo de acción de las micotoxinas, metabolismo y toxicología, producción agrícola y micotoxinas, aspectos de salud humana y animal, incluida la exposición estudios y evaluación de riesgos.

En el caso de la revista *Toxins* se especializa en toxicología y *World Mycotoxin Journal* incluye la toxicología, evaluación de riesgos, la ocurrencia mundial, la modelación y predicción de la formación de toxinas; genómica, biología molecular para el control de hongos micotoxigénicos, prevención antes y después de la cosecha y control, muestreo, metodología analítica y aseguramiento de la calidad, tecnología alimentaria, economía y aspectos regulatorios. En términos generales algunas de las temáticas que se han desarrollado en el tema corresponden a:

- Desarrollos internacionales y cuestiones regulatorias.
- El impacto económico de las micotoxinas.
- La información más reciente sobre las principales micotoxinas y los problemas emergentes en la cadena de alimentos y piensos.
- Nutrición humana y animal y efectos en la salud.
- Últimos descubrimientos en toxicología de micotoxinas y toxicocinética.
- Tendencias en el modelado y predicción de la formación de micotoxinas.
- Estrategias de prevención y control pre y postcosecha. Aplicación de la genómica en la investigación de micotoxinas.
- Biología molecular para el control de hongos micotoxigénicos.
- Soluciones de descontaminación y desintoxicación.
- Nuevos desarrollos en el análisis de muestreo de micotoxinas y la garantía de calidad analítica, incluidos los materiales de referencia.
- Casos de ocurrencia y exposición a micotoxinas en todo el mundo.

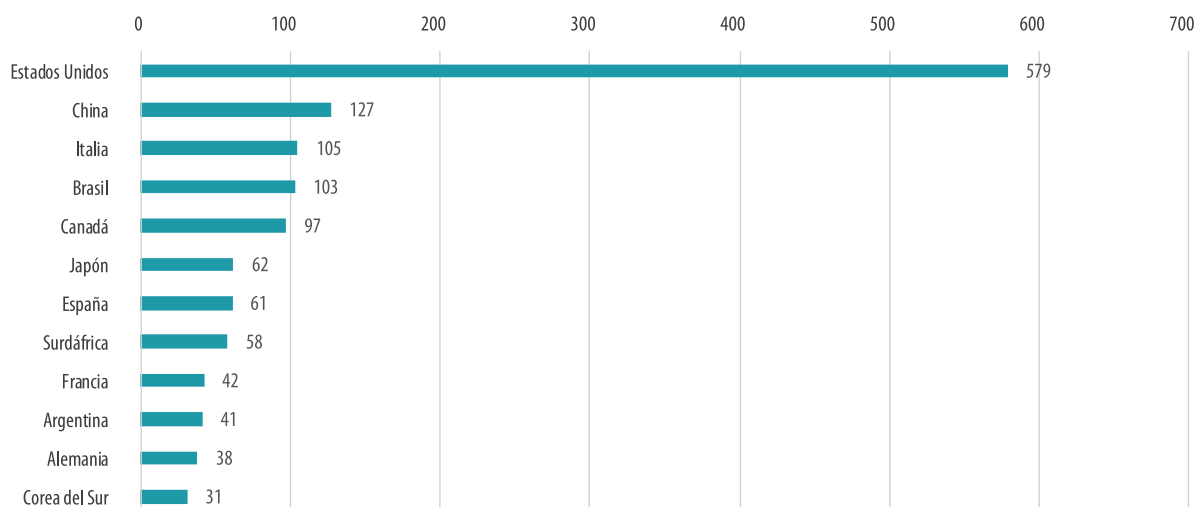


4.1.1 Principales instituciones, países y autores

En materia de investigación científica, Estados Unidos se ha posicionado como el principal país con más de 579 trabajos en el tema. Otros países que se destacan por destinar esfuerzos en la investigación para esta temática son: China (127 publicaciones), Italia (105), Brasil (103), Canadá (97), Japón (62), España (61), entre otros como Sudáfrica (58), Francia (42) y Argentina (41) (Figura 22).

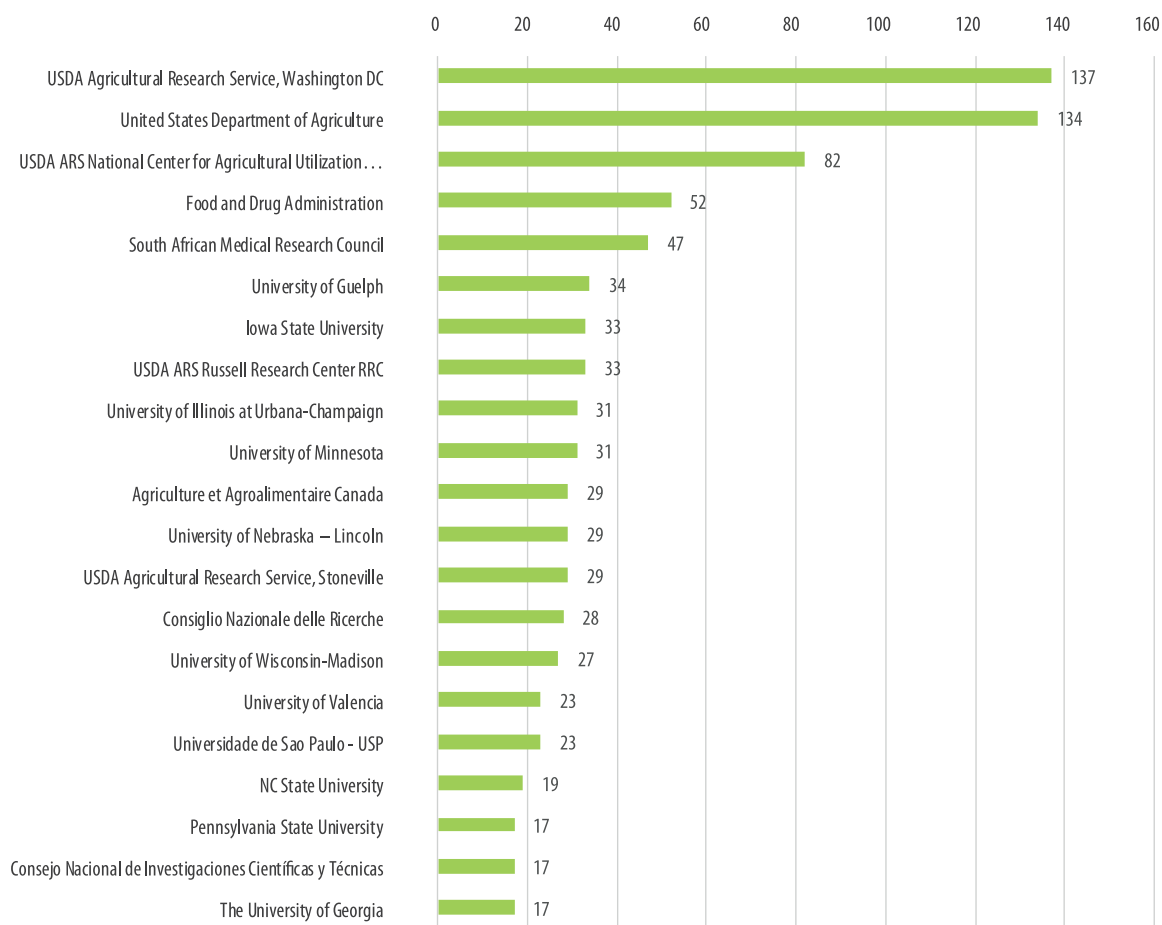
La investigación realizada por EE.UU se ha generado desde instituciones de carácter oficial como: *USDA Agricultural Research Service, Washington DC, United States Department of Agriculture, USDA ARS National Center for Agricultural Utilization Research, Food and Drug Administration, USDA ARS Russell Research Center RRC, University of Minnesota Twin Cities, USDA Agricultural Research Service, Stoneville, e instituciones académicas como Iowa State University, University of Nebraska - Lincoln, University of Illinois at Urbana-Champaign*, entre otros (Figura 23). Aunque es importante el papel de otras instituciones de otros países como el *South African Medical Research Council* que es una organización de investigación médica paraestatal en Sudáfrica; instituciones canadienses como la Universidad de Guelph y el Departamento de Agricultura y Agroalimentación de éste país, la Universidad de Sao Pablo en Brasil, la Universidad de Valencia en España, entre otras.

Figura 22. Principales países con publicaciones sobre micotoxinas en maíz (1966 - 2020)



Fuente: a partir de Scopus (2019).

Figura 23. Principales instituciones con trabajos sobre micotoxinas en maíz (1969 - 2020)



Fuente: a partir de Scopus (2019).

Aunque se identificaron más de 150 autores con publicaciones sobre micotoxinas en maíz, la Figura 24, tan solo señala los principales autores con trabajos reiterados en el ámbito global en esta materia, quienes dieron un enfoque al estudio de las fumonisinas y sus efectos. Tal es el caso de Marasas, W. quien se identificó como el investigador de mayor relevancia en el tema, especialmente vinculado al *South African Medical Research Council* y con afiliaciones a universidades sudafricanas como *Universiteit van Pretoria*, *University of Cape Town*, *Stellenbosch University* y la *University of Mazandaran* en Iran; cuyos trabajos se desarrollaron en los ámbitos de la Agricultura, la Química y la Inmunología desde la década de 1960, aunque su producción tuvo un auge durante la década de 1990 a 2000; especialmente relacionados con la toxicidad y los efectos carcinogénicos de las fumonisinas como la FB1.

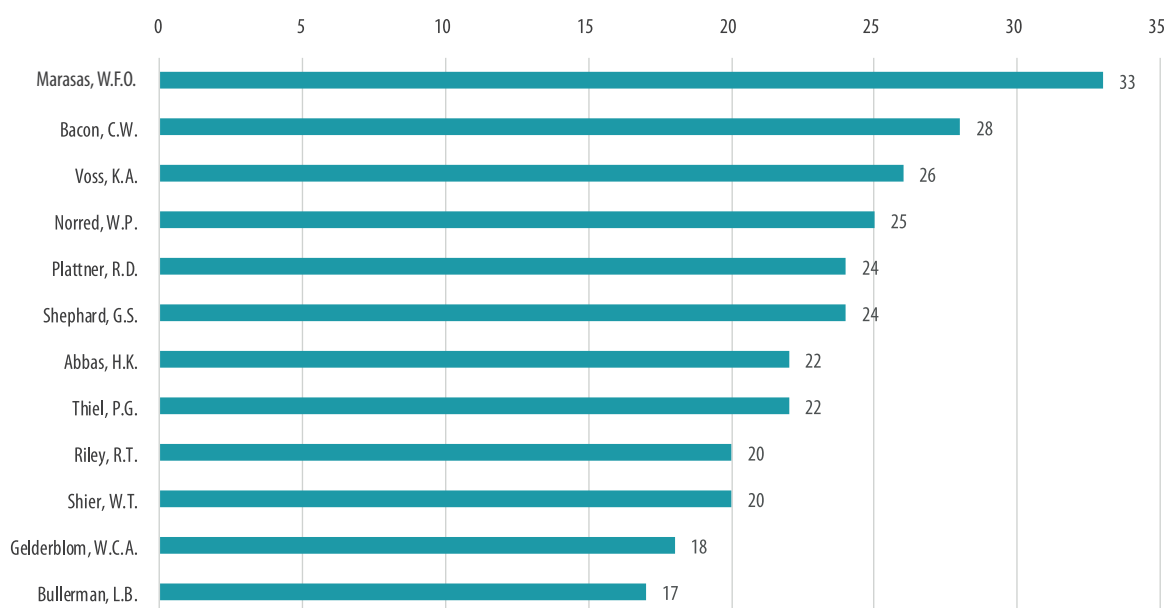
Desde otra parte del mundo, otro autor relevante para el desarrollo de conocimiento sobre este grupo de micotoxinas fué Bacon, C. W. cuyos trabajos se vinculan principalmente

con distintas instituciones de Estados Unidos como: *USDA Agricultural Research Service*, *WashingtonDC*; *USDAARS Russell Research Center RRC*; *United States Department of Agriculture*, *USDA ARS National Center for Agricultural Utilization Research*, desde la perspectiva de la Agricultura y Ciencias Biológicas, Farmacología, Toxicología y Farmacéutica, también con estudios sobre otras toxinas de *Fusarium* como el ácido fusárico.

Voss, K. Plattner, R., Norred, W., Shepard, G., Riley, R., entre otros, son autores posteriores que han trabajado tanto en Estados Unidos como en Institutos Sudafricanos sobre fumonisinas, y desde 1982 se inició el aná co-ocurrencia natural de fumonisinas con otras micotoxinas como ZEA y DON (Thiel, Meyer y Masas, 1982).

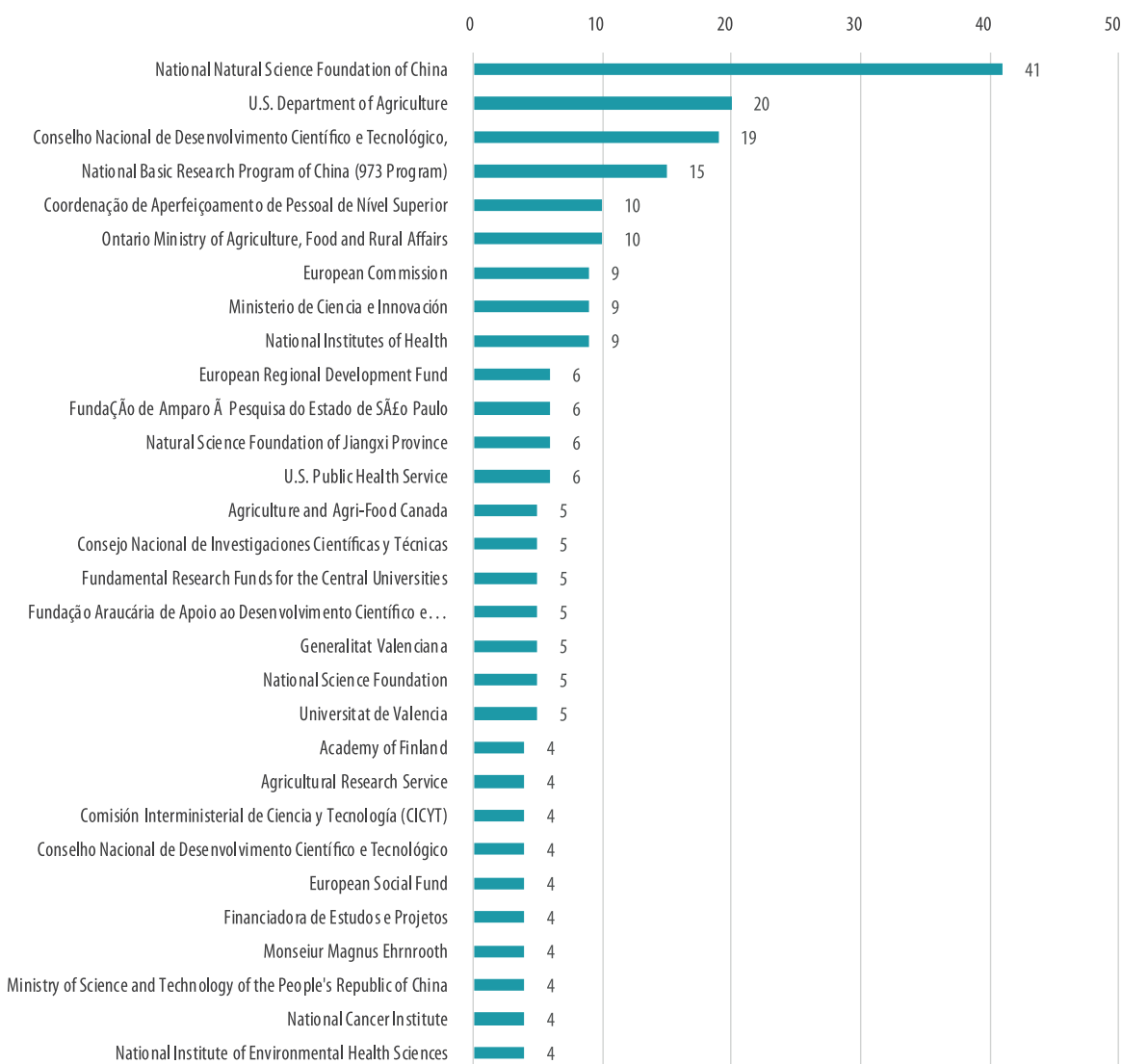
Por su parte, de acuerdo con los resultados encontrados en las bases, se observó que los estudios sobre Aflatoxinas pueden considerarse posteriores. Principalmente a partir de los trabajos de Abbas, H. quien desde finales de 1986 inició su trabajo en relación a estas micotoxinas desde el ámbito de las ciencias medioambientales y la agricultura.

Figura 24. Principales autores sobre micotoxinas en maíz (1966 - 2020)



Fuente: a partir de Scopus (2019).

Figura 25. Principales instituciones patrocinadoras para el desarrollo de trabajos sobre micotoxinas en maíz (1966 - 2020)



Fuente: a partir de Scopus (2019).

En cuanto a instituciones patrocinadoras de estos trabajos a nivel internacional se encontraron 169, sin embargo, la Figura 25 presentó las 30 primeras. Se destacan: el “*National Natural Science Foundation of China*” una organización directamente afiliada al Consejo de Estado de China para la gestión del Fondo Nacional de Ciencias Naturales, con trabajos desde 2006 a la actualidad, en este país también se han desarrollado investigaciones gracias al “*National Basic Research Program of China (973 Program)*” desde 2012”.

En Norteamérica, por parte de Estados Unidos está el “*U.S. Department of Agriculture*” quienes anualmente han apoyado un trabajo desde 1977 en EEUU, China, Guatemala, Japón y Taiwan; el “*National Institutes of Health*” desde 1975 con investigadores de distintas partes del mundo, “*National Institute of Environmental Health Sciences*”, entre otros; en el caso de Canadá se identificaron principalmente: el *Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs en Guelph* y *Agriculture and Agri-Food Canada*.

En Latinoamérica, se ha dado gran apoyo por parte de varias instituciones de Brasil como lo son el *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq) desde 2014, órgano del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil para promover la investigación y “*Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*” CAPES, un organismo brasileño bajo la autoridad del Ministerio de Educación, que ha apoyado trabajos desde 2011 y que han sido desarrollados por varias universidades Brasileñas. También se identificó en Argentina al “*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas*”

ente dependiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva del país.

En Europa, se encontraron organismos como la Comisión Europea que han financiado proyectos desde 2004 hasta la fecha de búsqueda (2019), y desde 2014 el Fondo de Desarrollo Regional Europeo y La Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), antes llamada Comisión Interministerial de Investigación Científica y Técnica, en España, también se identificaron como instituciones relevantes, entre otros organismos y universidades.

4.1.2 Temáticas globales de investigación identificadas (Scopus)

Por parte de los principales autores como Marasas, W y Voss, K.A., vinculados a Institutos Sudafricanos, existe un componente importante aporte sobre fumonisinas, debido a sus efectos nocivos en la salud humana como el cáncer de esófago, hígado y el desarrollo de defectos del tubo neural (*Acápito 4.1.1: Principales instituciones, países y autores*). Sin embargo, los estudios reconocen las limitaciones metodológicas para establecer relaciones causales con la generación de cáncer, dado que intervienen otros factores como: la frecuencia del consumo, estilo de vida, tipo de alimentos consumidos. Faltan métodos específicos y biomarcadores para el monitoreo de la exposición individual. No obstante, se reconoció la importancia global de la problemática de otras micotoxinas para la salud como lo son las aflatoxinas, la ocratoxina, el deoxinivalenol, la zearalenona y las fumonisinas.

Pese a esta situación, predomina un enfoque preventivo basado en niveles máximos tolerables (MTL) que pueden ser trazado desde lo económico (mayor permisibilidad) o desde el conocimiento científico y su importancia sobre la salud (menor permisibilidad y muy limitante) (Gelderblom y Marasas, 2012). Tanto los lineamientos internacionales como los trabajos de investigación se basan en la *identificación y la evaluación del riesgo* como eje central, desde la evaluación de la exposición y la evaluación de peligros, de acuerdo a normativas específicas que pueden diferir por región y tipo de productos.

Sin embargo, se ha reconocido que en los países desarrollados estos criterios suelen aplicarse a los productos que importan y a los alimentos que se consumen dentro de sus fronteras, pero no a los productos agrícolas que exportan. Por lo tanto, la evaluación de riesgos convencional ha ayudado a manejar el riesgo de las micotoxinas en los países desarrollados, pero no ha ayudado en los países en desarrollo que importan alimentos (o reciben ayuda alimentaria), sin embargo, esta dinámica ha venido cambiando en función de ofrecer garantías comerciales.

La mayoría de los países han establecido MTL para el total de aflatoxinas que van desde 4 a 20 ng / g. La Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) propuso un MTL para fumonisinas totales de 4 µg / g en maíz entero y 2 ng / g en productos de maíz para consumo humano. Sin embargo, los niveles de consumo difieren entre poblaciones, en el caso de Europa pueden estar alrededor de ~ 5 g / persona / día, en comparación con regiones rurales de África que pueden tener una ingesta de hasta ~ 500 g / persona / día. De acuerdo a estos rangos diferenciales de consumo entre poblaciones, existen gran cantidad de trabajos en relación a los problemas de micotoxinas en regiones de África, dado el riesgo potencial que sufren agricultores (Marasas, Gelderblom, Shepard, Vismer, 2008).

Por otra parte, los principales métodos de detección corresponden a: cromatografía en capa fina (CCF/ TLC) y cromatografía líquida (LC), espectrometría de masas (MS), cromatografía de gases e inmunoquímica, aunque la mayoría de los estudios se han realizado utilizando el análisis por LC (caso fumonisinas). Entre las principales temáticas, se identificaron:

Niveles de contaminación en productos y biomarcadores de exposición

Existen estudios que determinan la contaminación con micotoxinas en materias primas y sus derivados, como en el caso de granos y en su transformación en harinas. Varios trabajos determinan niveles de contaminación en distintos cereales y subproductos en zonas específicas en donde se superan los límites permisibles. Tal es el caso de estudios en Irán sobre FB1 en maíz, que han determinado contaminación en cerveza casera con niveles como de 281 ± 262 ng / ml y un rango de 38 a 1066 ng / ml de fumonisinas totales (FB 1 + FB 2 + FB 3) osciló entre 43 y 1329 ng / ml, niveles muy superiores a la ingesta diaria máxima tolerable provisional de 2 µg / kg de peso corporal / día establecido por el Comité Mixto FAO / OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (Shephard, Van Der Westhuizen, Gatyeni, Somdyala, Burger, Marasas, 2005).

Otros estudios examinan, en primer lugar, la presencia de los posibles agentes causales de contaminación con micotoxinas a partir de aislamientos en producto, tal es el caso de aislamientos microbiológicos de *F. verticillioides*, *F. oxysporum* y *F. proliferatum* en alimentos como empanadas u otros productos de maíz y de otros cereales con fumonisinas y otras toxinas de ocurrencia simultánea (Sewram, Mshicileli, Shephard, Vismer, Rheeder, Lee y Marasas, 2005). Además de la coexistencia de micotoxinas como fumonisinas y aflatoxinas, también se han examinado efectos sinérgicos en relación al cáncer y en el corto plazo, en órganos como el hígado de ratas expuestas a maíz contaminado con AF1 y FB1. Teniendo en cuenta este riesgo, los estudios resaltan la importancia de ejecutar estrategias y acciones puntuales, en poblaciones donde el cultivo de maíz hace parte de la dieta básica (Gelderblom, Marasas, Lebepe-Mazur, Swanevelde, Vessey, De la M Hall, 2002).

Sin embargo, hay estudios que examinan el nivel de exposición de poblaciones específicas, a partir de biomarcadores. Tal es el caso del análisis de muestras de cabello en poblaciones de Bizana – Sudá-

frica. El análisis de este en cabello, por medio de cromatografía líquida de alto rendimiento acoplada a la espectrometría de masas de ionización electrospray (HPLC-ESI-MS) (Sewram, Mshicileli, Shephard, Marasas, 2003). También, se ha examinado la exposición en muestras de orina y de leche materna, en relación a poblaciones específicas y sus dietas.

Principales alternativas de manejo en maíz

Desde la prevención y la mitigación, existen estrategias para dar respuesta a la contaminación y reducir el riesgo en la salud, que son de diversa índole (físicas, químicas, biológicas o microbiológicas), entre las que se encuentran principalmente:

- **Uso de variedades resistentes:** a insectos y para control de la contaminación del maíz por *Fusarium verticillioides* y evitar el riesgo potencial de contaminación con fumonisinas, que pueden afectar la salud humana y animal (Smalla, Flett, Marasas y Viljoen, 2012). Por otra parte, se ha evaluado la respuesta de líneas endémicas de maíz en África, lo cual ha permitido identificar fuentes potenciales de resistencia a *Fusarium* y la acumulación de fumonisina como lo son: CML 390, CML 444, CML 182, VO 617Y-2 y RO 549 W, materiales que han mostrado de manera consistente una baja incidencia de pudrición por *Fusarium*, menor al 5%, tanto en campo como en invernadero. Dos de estas líneas endogámicas, CML 390 y CML 444, acumulan niveles de fumonisina <5 mg/kg. Estas líneas podrían actuar como fuentes de resistencia para su uso dentro de un programa de mejoramiento de maíz (Smalla, Flett, Marasas, McLeod, Stander, Viljoen, 2012).

De acuerdo con la revisión de James y Zikankuba (2018) existen avances en la identificación de genes generadores de enzimas capaces de hidrolizar fumonisinas *in vivo* (Levadura: *Exophiala spinifera*) (Munkvold, 2003); desarrollo de transgénicos libres de AFLA a partir de codificación de enzimas (gen aflC) (Thakare et al., 2017).

- **Secamiento del maíz:** se ha evidenciado el efecto positivo del secamiento al disminuir la incidencia de patógenos y producción

de toxinas. En África occidental (Benin) se redujo la incidencia de *Fusarium* en un 40% en graneros, cuando se administró una ventilación adecuada, las instalaciones destinadas al almacenamiento y secado contaban con piso, y cuando se realizó un adecuado control de insectos (Fandohan, Gnonlonfin, Infierno, Marasas, Wingfield, 2006; Marques *et al.*, 2009; James *et al.*, 2018).

Adicionalmente, se conocen los rangos óptimos de temperatura de hongos como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (30–40 °C, 25–30 °C y 8–15 °C) (Medina *et al.*, 2017). De acuerdo con Bradford *et al.* (2017) el maíz secado al 12–14% de contenido de humedad no mostró crecimiento de moho ni producción de micotoxinas cuando se almacenó. Por lo tanto, es importante secar el maíz hasta un nivel de humedad inferior al 14% y una actividad del agua <0,7 para un almacenamiento seguro (Tubbs *et al.*, 2016).

Se han desarrollado tecnologías efectivas para el secado y almacenamiento de maíz con energías renovables o solares. Bhadra (2017) reportó un secador solar híbrido de biomasa que utiliza un calentador combinado alimentado con biomasa que puede secar hasta cinco toneladas de maíz del 25% al 12% de humedad en ocho horas. Además de la implementación en bolsas herméticas para almacenamiento que se encuentran en el mercado: bolsas *Purdue Improved Crop Storage* (PICS) y *Grain Pro SuperGrainbags™*, PICS™ que se basan en mantener condiciones anóxicas desfavorables para insectos, mohos o con inyecciones de CO₂.

Por supuesto, entre las prácticas se encuentran el control adecuado de insectos o compuestos sintéticos como el hidroxianisol butilado (BHA) y el hidroxitolueno butilado (BHT) contra *Aspergillus* spp., entre otros (James *et al.*, 2018).

- > **Impacto de sistemas de clasificación, limpieza y tamizado del grano:** se ha reportado una reducción de micotoxinas de hasta el 70–80% en el maíz mediante tamizado y clasificación. La clasificación del maíz contaminado logró reducir las aflatoxinas y las fumonisinas en un 46% y un 57%, respectivamente (Pearson, Wicklow y Brabec, 2009). Otros mecanismos

como la flotación y la segregación de densidad, han contribuido a reducciones importantes. Por ejemplo, el maíz flotante en agua redujo el 60% de aflatoxinas; la solución de sacarosa al 30% redujo el 87% de aflatoxinas y el 53% de DON; la solución de cloruro de sodio logró 74% de aflatoxinas, 86% de fumonisinas y 100% de descontaminación de ZEA (Karlovsky *et al.*, 2016). Este método exige un secado antes de almacenamiento. En el caso de descascamiento del grano es fundamental no generar daño en el grano ya que puede haber riesgo de contaminación. Se ha observado que con el empleo de descascarillado mecánico es posible reducir el nivel de contaminación, por lo que se deben reconocer los métodos más apropiados para disminuir la contaminación con FUM (Fandohan, *et al.* 2006). Otros procesos como el remojo, descascarado y fresado también son efectivos a la hora de descontaminar DON.

La molienda en seco de maíz ha reducido el nivel de fumonisinas en un rango de 60 a 95% en endospermo, harina de maíz y sémola, dejando las fumonisinas de germen y pericarpio (Bordini *et al.*, 2017). Además, Brera *et al.* (2006) informaron una reducción de cuatro veces de las aflatoxinas y ZEA en la harina en comparación con el maíz crudo.

- > **Control biológico:** por medio de hongos atoxigénicos que compiten en el medio y superan las cepas micotoxigénicas como las de *A. flavus* (NRRL-21882) que es el ingrediente activo de productos como A Afla-Guard™ y Aflasafe™ empleados en varios países africanos (Bandyopadhyay *et al.*, 2016 en James *et al.*, 2018) y en Estados Unidos (Weaver, Abbas, Brewer, Pruter, & Little, 2017). Los cuales han evidenciado reducciones importantes de AFLA de hasta el 95% (Ogodo y Ugbogu, 2016). En el caso de Aflasafe KE01 se ha reducido AFLA a 4 ng / g en casi el 99% de los campos de maíz tratados (Bandyopadhyay *et al.*, 2016). Este productivo (Aflasafe SN01) también ha presentado reducciones importantes en maíz cosechado con alto almacenamiento. Aunque se desconocen los efectos del uso de estos productos en el ecosistema.

- **Descontaminación con absorbentes y aglutinantes como:** carbón activado, aceite de canola, arcilla blanqueadora, polímeros orgánicos como la polivinilpolipirrolidona (PVPP), colestiramina, células de levadura y bacterias y productos de aluminosilicatos (bentonitas, montmorillonitas, zeolitas y aluminosilicatos de sodio y calcio hidratados (Chaytor *et al.*, 2011). Productos a base de levadura se estudiaron en condiciones de laboratorio y dieron como resultado una reducción del 68, 29 y 62% de ZEA, AFB1 y OTA, respectivamente (Joannis-Cassan *et al.*, 2011, Yiannikouris *et al.*, 2013). Además, los antioxidantes como la vitamina E se han considerado como un suplemento dietético para contrarrestar los efectos de las micotoxinas (Zaki *et al.*, 2012).
- **Inactivación térmica:** cocción por extrusión reduce las aflatoxinas en un 50-80%, 65-83% de ZEA y 34-95% de fumonisinas en el maíz Jackson *et al.*, 2012, Jackson *et al.*, 2011 en James *et al.*, 2018).
- **Tratamientos químicos:** a partir de reactivos ácidos o alcalinos como amoníaco, amonio o amoníaco gaseoso, oxidantes o reductores u otros compuestos (Hee *et al.*, 2010). El clorhidrato de amonio o amoníaco gaseoso en maíz contaminado ha tenido reducciones de hasta el 75% (Karlovsy *et al.*, 2016); este método puede ser muy efectivo para Ocratoxinas (100%) fumonisinas (FB1) (79%) y aflatoxinas (95%) en maíz contaminado (Karlovsy *et al.*, 2016, Temba *et al.*, 2016), aunque puede tener consecuencias en características sensoriales del grano y en el contenido de aminoácidos en el grano.
- **Tratamiento microbiano y biológico:** a partir de procesos de fermentación o del uso de un cultivo microbiano puro seguro para su aplicación en los alimentos. Existen reportes de degradación bacteriana de micotoxinas (Ciegler, Lillehoj, Peterson y Hall, 1966), citado por Zaki *et al.* (2012) en James *et al.* (2018) como lo es *Flavobacterium aurantiacum* NRRL-B 184 con la capacidad de eliminar aflatoxinas en alimentos contaminados aunque con limitaciones por restricciones debido a la pigmentación generada. En el caso de DON se ha reportado

la degradación enzimática generada por *Eubacterium*. En ZEA por un cultivo mixto de *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Flavobacterium* y *Pseudomonas* spp; Ocratoxinas degradadas por *Aspergillus niger*; fumonisinas degradadas por hongos de levadura *Exophiala spinifera* y *Rhinochadiella atrovirens*; y la aflatoxina B1 puede ser degradada por bacterias del ácido láctico (LAB), *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhizopus* spp, *Flavobacterium aurantiacum* y *Rhodococcus erythropolis* (Aiko y Mehta, 2015, He y Zhou, 2010, Nyamete *et al.*, 2016 en James *et al.*, 2018).



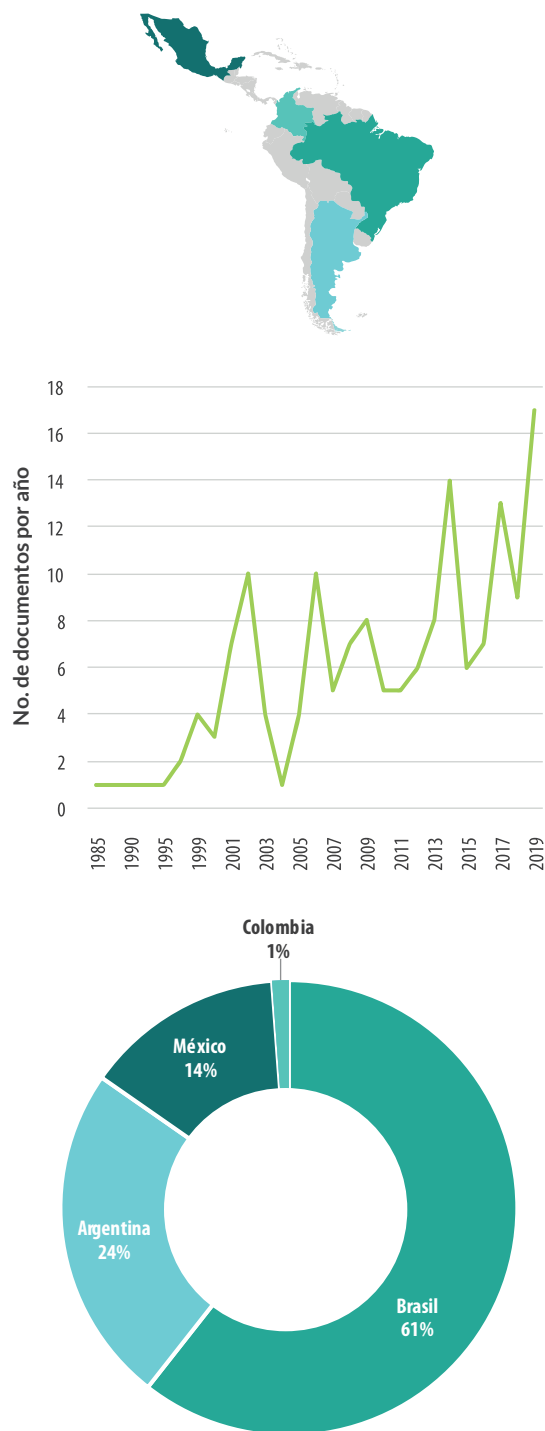
4.2 Ámbito latinoamericano

Con el objetivo de identificar aquellos núcleos en el tema, se consultó la base Scopus⁷⁸, se identificaron 160 trabajos. La búsqueda se limitó en Latinoamérica, a los principales países productores de maíz u otros granos, principalmente de Brasil en un 61%, seguido de Argentina (24%), México (14%) y Colombia (1%) (Figura 26). Sin embargo, Brasil tiene registros desde 1985, un auge en la temática desde el año 2000 a la actualidad, etapa en la cual se encontraron de 10 a 12 trabajos al año; seguido de Argentina cuyo registro data del 1990, Colombia (en 1994) y México desde 2001 en el recurso bibliográfico consultado.

⁷⁸Ecuación de búsqueda: "TITLE-ABS-KEY (mycotoxins AND + corn) AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Brazil") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Mexico") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Argentina") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Colombia")". Fecha: 21-04-2020. Resultados obtenidos: 160.

Figura 26. Dinámica de publicaciones sobre micotoxinas en maíz en:

■ Brasil, ■ Argentina, ■ México y ■ Colombia (1985-2020)



Fuente: a partir de Scopus (2019).

4.2.1 Principales instituciones y autores

Se identificaron más de 150 instituciones vinculadas, principalmente de instituciones de educación superior de Brasil y Argentina, entre las que se encuentran: La Universidad de Sao Paulo – USP (22 trabajos), El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Brasil (17), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Buenos Aires (14), Universidad Estatal de Campinas (13), Universidad Nacional de Rio Cuarto (13), la Universidad Estatal de Londrina (13), Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro (10), Universidad Estatal de Maringá (9), Universidad Federal de Pelotas (7) y la Comisión de Investigaciones Científicas – La Plata (7) y la Universidad Nacional de Buenos Aires (6) entre otras (Figura 27).

Entre los países seleccionados para esta revisión se identificaron más de 160 autores adscritos a las diversas instituciones. Entre ellos, autores como Corrêa, B. cuenta con registros desde 2001 en vinculación a la Universidad de Sao Paulo, frente a la determinación de micotoxinas como DON y FB1 en productos como cerveza, cereales así como estudios relacionados a la identificación de factores determinantes para la ocurrencia de micotoxinas en maíz en zonas de Brasil.

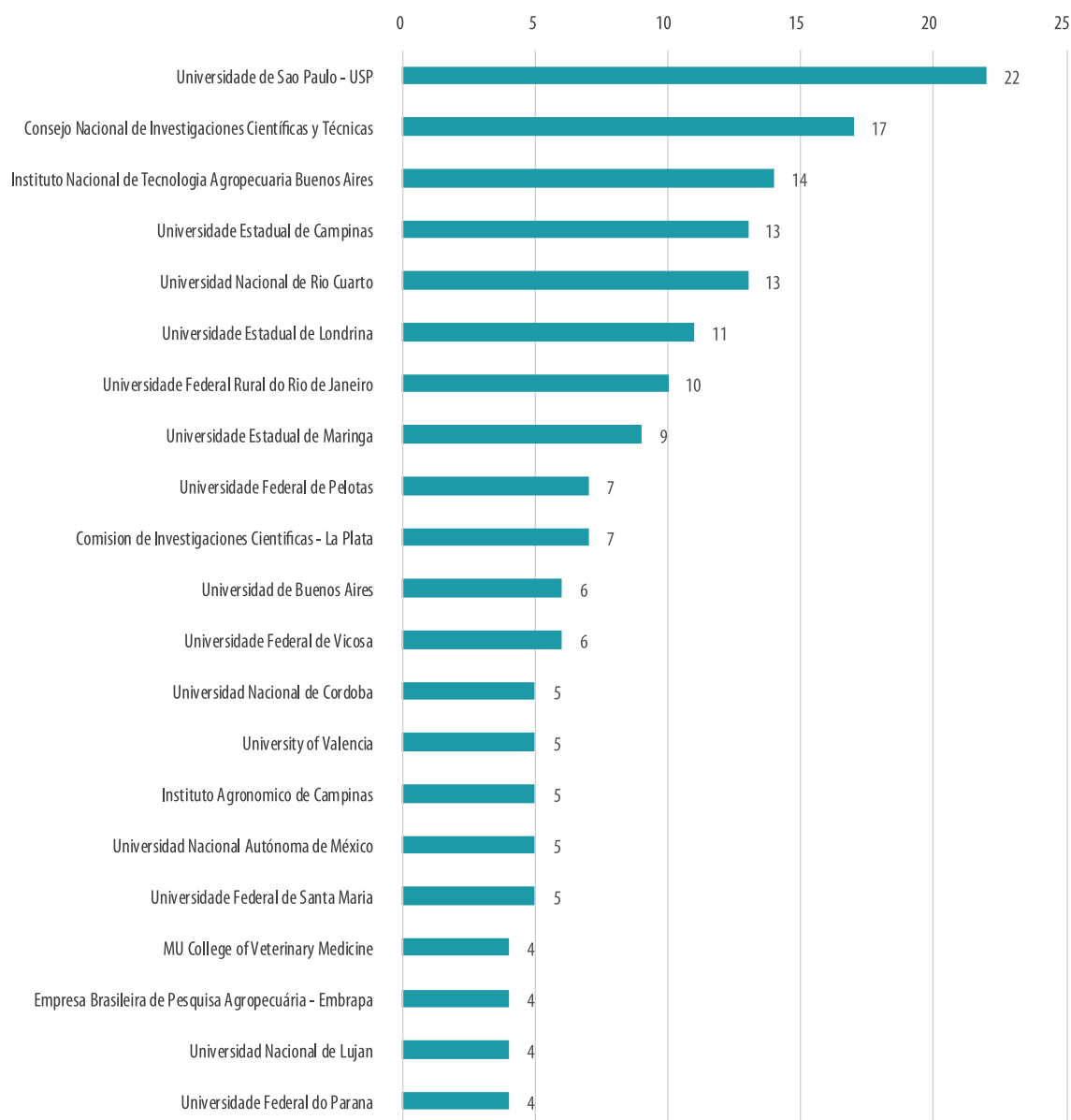
Asu vez, Dalcero, A. M tiene registros desde 1999, desarrolló trabajos en distintas instituciones educativas de Brasil y Argentina, principalmente vinculados a la ocurrencia de micotoxinas en silos y silobolsas, piensos, así como la ocurrencia natural en piensos para porcinos y alimentos destinados al consumo animal.

Por su parte, Hirooka, E.Y, vinculado a la universidad Estatal de Londrina y distintas universidades en Brasil y Japón; ha abordado la investigación frente al impacto de la molienda seca y la distribución de fumonisinas en maíz no transgénico en Brasil, estimaciones de la exposición en poblaciones específicas, ocurrencia en productos como semillas y nueces, comparaciones metodológicas para determinación de FUM en maíz, en conjunto con otros autores.

Por supuesto, estos investigadores solo son algunos de los identificados, que además comparten trabajos o han desarrollado procesos de colaboración con otros como Cavaglieri, L. R., Ono, M. A, García G, Pacín, M., entre otros, en especial en la producción científica de Brasil (Figura 28).

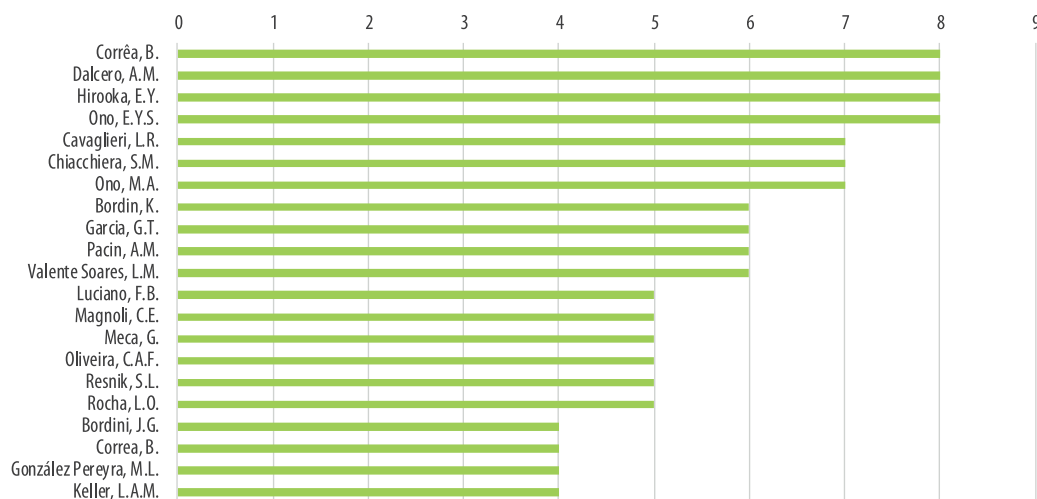
La producción científica identificada está publicada en más de 77 revistas, entre ellas se encuentran: "Food Control", "Micopathologia", "Brazilian Journal of Microbiology", "Food Chemistry", "Mycotoxin Research", "Food and Additives and Contaminants", "Food and Chemical Toxicology", "Pesquisa Veterinaria Brasileira", "Journal of Agricultural and Food Chemistry", "Journal of Applied Microbiology" "Journal of the Science of Food and Agriculture" entre otras (Figura 29).

Figura 27. Principales instituciones con trabajos sobre micotoxinas en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)



Fuente: a partir de Scopus (2020).

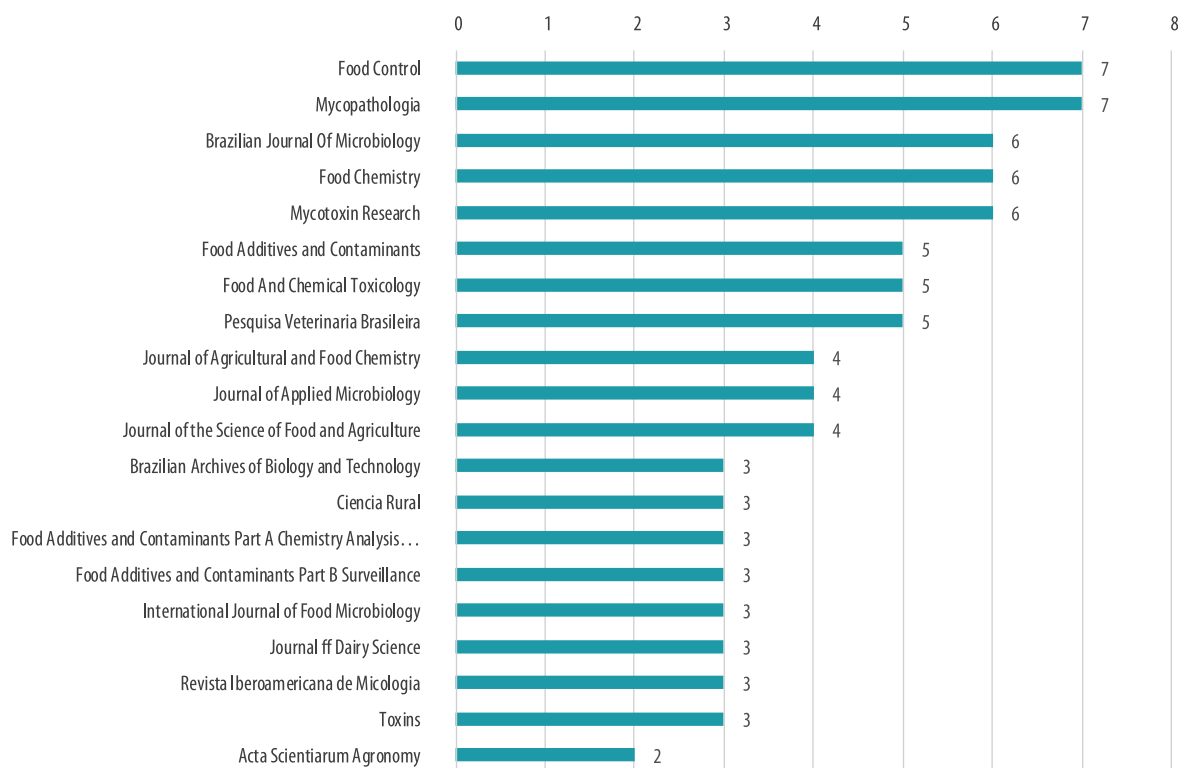
Figura 28. Principales autores sobre micotoxinas en maíz en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)



Fuente: a partir de Scopus (2019).

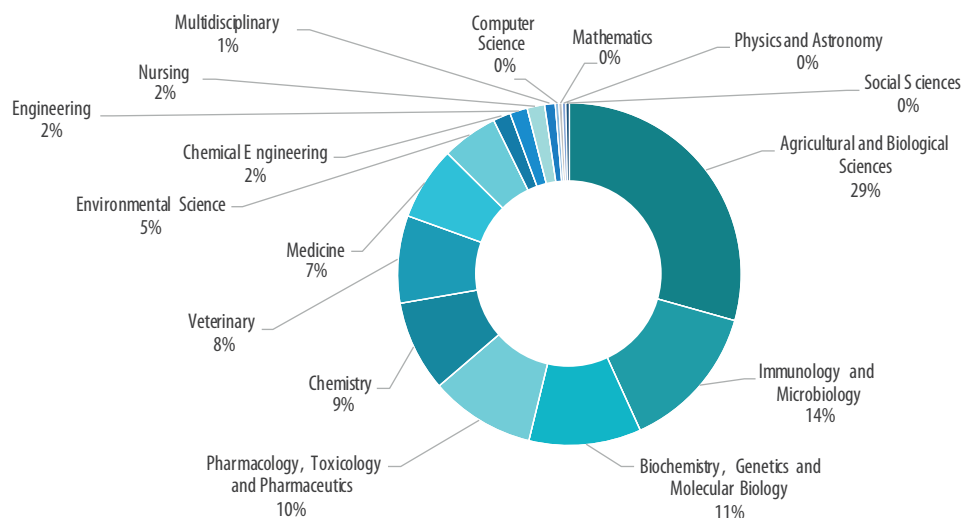
Los trabajos de esta reseña se desarrollan desde distintas áreas de investigación, principalmente vinculadas a Agricultura y Ciencias Biológicas, Inmunología y Microbiología; Bioquímica, Genética y Biología Molecular; Farmacología, Toxicología y Farmacéutica, Química, Veterinaria, Medicina, Ciencias Medioambientales, entre otras (Figura 30).

Figura 29. Principales revistas con publicaciones sobre micotoxinas en maíz en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)



Fuente: a partir de Scopus.

Figura 30. Áreas de investigación sobre micotoxinas en maíz en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)

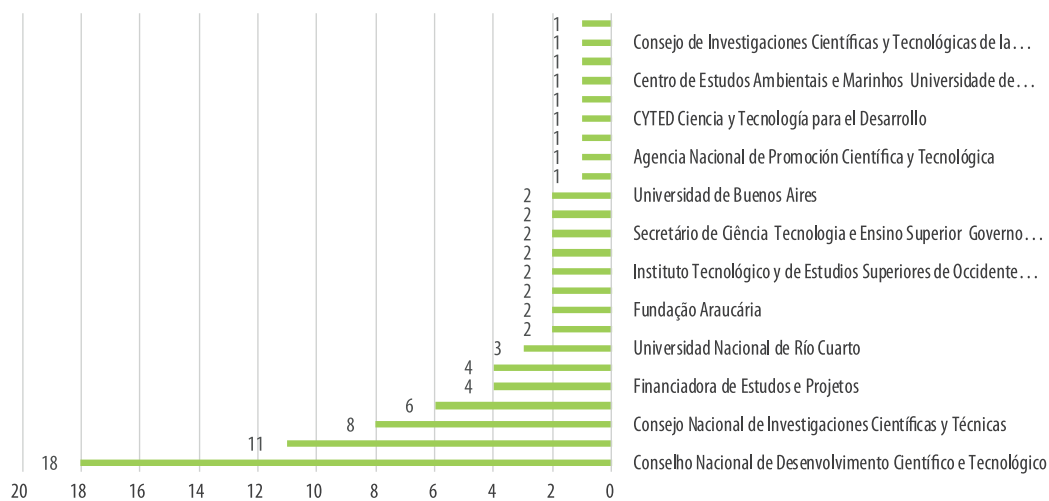


Fuente: a partir de *Scopus* (2019).

La financiación, por lo general, se origina de instituciones públicas. Sobresale como ente patrocinador de estas investigaciones el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) un órgano del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Brasil para promover la investigación que ha apoyado trabajos desde 1999; el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet), institución dependiente de la Secretaría de

Gobierno de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina; la Financiadora de Estudios y Proyectos o Autoridad de Financiación para Estudios y Proyectos, es una organización del gobierno federal brasileño dependiente del Ministerio de Ciencia de la Tecnología. A su vez, existen diversas universidades (Rio Cuarto), fundaciones, secretarías de gobierno y consejos de investigación científica que han promocionado este tipo de investigaciones (Figura 31).

Figura 31. Principales instituciones patrocinadoras para el desarrollo de trabajos sobre micotoxinas en maíz en Brasil, Argentina, México y Colombia (1985-2020)



Fuente: a partir de *Scopus*

4.2.2 Temáticas de investigación identificadas

Desde los resultados de los trabajos en *Scopus* enunciados previamente sobre de los principales autores y los identificados de base científica *Scielo*, que correspondieron a otros 44 trabajos⁷⁹ de países como Brasil (34) México (2) y Colombia (2), Costa Rica (2), Uruguay (2), Venezuela (2) entre 2002-2019, se plantean los siguientes focos de investigación, a saber:

Determinación de la contaminación en alimentos

Las investigaciones en esta línea se enfocan principalmente en la detección fumonisinas y aflatoxinas para distintos tipos de alimentos para su posterior procesamiento como granos de maíz (de Oliveira Rocha, Reis, da Silva, Braghini, Teixeira y Corrêa, 2011; Rocha, Nakai, Braghini, Reis, Kobashiwa y Corrêa, 2011) aunque existen otros en semillas y nueces (Hirooka, Rossi y Ono, 2011) así como maní, sorgo y cebada, entre otros productos alimenticios.

Estos trabajos de detección de la ocurrencia natural de FUM y AFLA se han desarrollado en distintas regiones y tipos de muestras en Latinoamérica. Tal es el caso de muestras de maíz recién cosechado (2003 y 2004) en puntos del Estado de Paraná, Brasil, en donde se encontró una incidencia del 100% para FUM, aunque con un bajo nivel de contaminación del orden de 2-3 µg/kg en las muestras de secado previo (Moreno, García, Ono, Vizoni, Kawamura, Hirooka y Ono, 2009). Dicha ocurrencia de fumonisinas depende de factores como la humedad inicial del grano y aspectos de almacenamiento como: el estado de grano y el contenido de proteínas y lípidos. A la vez, en este estudio se encontró una correlación positiva entre granos dañados y colonias fúngicas, sin relación en los contenidos de lípidos y proteínas, lo que evidencia la necesidad de monitoreo constante en maíz para garantizar la calidad y la seguridad de los productos (Ono, Biazon, Da Silva, Vizoni, Sugiura, Ueno y Hirooka, 2006).

A su vez, se han realizado estudios piloto sobre la determinación de la co-ocurrencia de micotoxinas (AFLA, FUM, DON, ZEA, OTA) en maíz y alimentos derivados en fincas de pequeña escala en Brasil en donde se evidenciaron distintos niveles de riesgo (Franco, Petta, Rottinghaus, Bordin, Gomes, Oliveira, 2019). Por ejemplo, los granos recién cosechados que presentaban algún tipo de daño mecánico registraron mayores recuentos micóticos, próximos al doble de *Fusarium* en comparación con granos sin daño, así como mayores niveles de contaminación con fumonisinas que alcanzaron a ser de 11,5 a 166 veces más altos en granos con daños (Ono, Biozon, Silva, Vizoni, Sugira y Ueno, 2006). Así, esta condición es un factor determinante para la ocurrencia de contaminación, por lo que en finca, se recomienda:

- i) reducir los intervalos entre cosecha y secado
- ii) el monitoreo constante
- iii) disminuir los daños posibles en los granos cosechados a través de distintas estrategias como la calibración adecuada de los equipos de recolección mecanizada.

Otros estudios se han preocupado por determinar comparativamente la incidencia de fumonisinas en materiales transgénicos y convencionales, así como la distribución de la contaminación en las diferentes fracciones de grano de maíz que son resultado de la molienda seca en procesos industriales.

En este ejercicio, se evidenció que la concentración de FUM fue mayor en las fracciones no transgénicas externas e internas en comparación con las fracciones transgénicas y que el destino de las fumonisinas durante la molienda industrial en seco. Así, el nivel de contaminación podría verse afectado por el tipo de materiales empleados, sin embargo, los resultados no son completamente concluyentes frente a la condición transgénica.

⁷⁹Entre 2002-2019. Ecuación de búsqueda empleada: "mycotoxins AND corn". Fecha de búsqueda abril de 2020. En esta búsqueda se identificaron 25 revistas adicionales de publicación, principalmente en las áreas de Ciencias Agrícolas, Biológicas, de la Salud y Multidisciplinarias; principalmente de Ciencias Veterinarias y Agronomía; Ciencia de los Animales, Productos lácteos y Agricultura, y Microbiología (de acuerdo a las áreas temáticas de WoS).

A su vez, se encontró que la distribución de contenidos de FUM son mucho más altos en fracciones como el germen con el 87-76% del total de fumonisinas presentes en el grano de maíz entero de híbridos no transgénicos y transgénicos, respectivamente. En este mismo sentido, la fracción del endospermo retuvo entre el 23% y 13% de la contaminación tras la molienda seca. La harina de maíz, con tamaños de partícula entre 300 y 400 μm ; así como la sémola (590 a 1190 μm) obtuvieron porcentajes menores de fumonisinas con 4% - 2% para maíz transgénico y de 10% a 3% para maíz no transgénico, de modo que sí hay diferencias en los tipos de fracción (Bordini, Ono, Garcia, Vizoni, Amador, Hirozawa y Ono, 2019).

Detección de micotoxinas en alimentos balanceados para la cadena pecuaria

En harinas, alimentos para aves y ganado se identificaron trabajos de detección de AFLA y FUM principalmente. Sus efectos en la cadena pecuaria son conocidos para distintas especies como codornices japonesas, pollos de engorde e incluso se consideran superiores en el caso de los cerdos (González Pereyra, Pereyra, Ramírez, Rosa, Dalcero, Cavaglieri, 2008). Aunque también hay registros de ocurrencia de OTA en estos alimentos o piensos (Rosa, Keller, Keller, González Pereyra, Pereyra, Dalcero, Cavaglieri, Lopes, 2009).

En el caso de maíz ensilado para consumo animal, se han detectado toxinas como DON, ZEA, PAT, FUM, lo que evidencia el riesgo potencial para los animales si no se realiza un buen manejo en la producción de este insumo (González Pereyra, Chiacchiera, Rosa, Sager, Dalcero y Cavaglieri, 2011). El proceso de fermentación puede afectarse por variaciones en las condiciones físicas de las secciones de almacenamiento. Factores como la actividad de agua, la temperatura y los niveles de pH determinan la calidad y preservación del ensilaje al incidir en el desarrollo de hongos como *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium*, todo ellos productores de micotoxinas. El pH es uno de los indicadores de calidad del ensilaje. Por lo general, se considera que valores de pH superiores a 6 son un indicador de mal manejo (Pereyra, Alonso, Sager, Morlaco, Magnoli, Astoreca, Rosa, Chiacchiera, Dalcero y Cavaglieri, 2008). Otros determinantes de la calidad de este insumo son la implementación o no de prácticas de cultivo específicas para evitar el deterioro, el uso de plásticos diferenciales y en términos generales una mayor adopción de tecnología para la producción

de silo, como lo señalaron estudios comparativos en fincas productoras de Paraná y Rio Grande do Sul en Brasil (da Silva, Jobim, Poppi, Tres y Osmari, 2015).

Factores ambientales asociados a la producción de micotoxinas en campo

Existen pruebas de ocurrencia de *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* en híbridos comerciales de maíz que, tras ser cosechados en distintas temporadas, identifican la influencia de la humedad de los granos evaluados en el nivel de contaminación. En el caso de *Fusarium*, se evidenció la preferencia por sustratos con altos contenidos de humedad (Marques, Vidigal, Dalpasquale, Scampin, Pricinotto y Machinski, 2009; Prange y Kramer, 2000; Hashimoto *et al.*, 2003 en Oliveira, Jaccoud-Filho, Henneberg, Michel, Demiate, Teixeira Barbosa, Machinski y Barana Oliveria, 2009), contrario a lo observado con *Aspergillus* y *Penicillium*, cuya ocurrencia se reduce con el aumento de la humedad.

La presencia del hongo no es por sí misma prueba definitiva de contaminación con toxinas. Existen trabajos de revisión sobre los aspectos ambientales asociados tanto a la ocurrencia de hongos como al grado de contaminación. Para la producción de toxinas por *Fusarium*, se considera que hay mayor probabilidad bajo condiciones de humedad superiores al 20% en el grano. Por supuesto, se deben considerar las condiciones climáticas previas a la cosecha como otro de los factores determinantes (Marques *et al.*, 2009).

Apartir de trabajos de modelamiento se identificaron aspectos determinantes para la incidencia de FB1 y FB2 en granos de maíz, con una predicción alta al clasificar correctamente el 93% de los casos estudiados (Martínez, Moschini, Barreto, Bodega, Comerio, Forjan, Piatti, Presello y Valentinuz, 2010). El modelo se basó en el comportamiento de la incidencia a partir de estas tres variables:

- > Susceptibilidad intrínseca del híbrido cultivado.
- > La combinación de lluvia y alta humedad relativa: determinante en la contaminación con FUM. Sin embargo, los modelos futuros deben ajustarse e incluir las evaluaciones de otros materiales.
- > Número de períodos de dos días con registro simultáneo de lluvia y humedad relativa $\geq 81\%$, día 1, y humedad relativa $> 70\%$ en el segundo día.

En el caso de contaminación por AFLA, en condiciones de producción de Brasil, se ha identificado que condiciones de verano favorecen su producción. Esta condición, unida a la presencia de lluvias ocasionales, condiciones de cultivo como la densidad de población de siembra también inciden en la contaminación. En este caso la densidad llegó a 71.500 plantas/ha (5 plantas/m, con una separación de 0,7 m entre las líneas) lo que promovió la generación de microclimas específicos propicios para el desarrollo del hongo. De este modo, entre las medidas propicias para reducir el nivel de contaminación con AFLA incluyen decisiones como la anticipación de cosechas, realizar secamiento y mantener condiciones de almacenamiento a niveles seguros de humedad (Tabla 24) (Marques *et al.*, 2009).

Tabla 24. Comportamiento de la ocurrencia de *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium* en Brasil.

Época de Cosecha	<i>Fusarium</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>
"Safrinha" Segunda cosecha tardía de maíz entre los meses de septiembre y enero	Aumento lineal de la ocurrencia con respecto al aumento en la humedad. Mayor ocurrencia en híbridos (2B587 y 2B710) de 1,14 y 26%, respectivamente conforme al aumento por unidad de humedad; y de manera cuadrática en híbrido 2B688.	Dependen de del híbrido. Baja incidencia con humedades de cosecha del 16%. Ajuste cuadrático, con máximos en humedades superiores al 22% e incidencias máximas estimadas superiores al 70% para 2B587 y 2B688.	Ajuste lineal decreciente, es decir, presentó reducción de la incidencia con aumentos de la humedad, en un coeficiente angular fue de -3,23% para en los granos del híbrido 2B710.
Verano (2007 y 2008)	Ajuste cuadrático (2B710). Punto mínimo ($x = 18,41\%$ de humedad) la incidencia mínima estimada de $y = 6,03\%$. Comportamiento similar en safrinha. Incidencia en aumento relacionada con altos contenidos de humedad en granos. Incidenca menor en 2B707 puntos de máximo ($x = 17.19\%$) y mínimo ($x = 22,47\%$ de humedad), las incidencias estimadas de $y = 2,89\%$ e $y = 2,27\%$, respectivamente. También con ajuste cuadrático.	Mayor incidencia en 2B707 y 2B710, relacionado a lluvias ocasionales durante cosecha, favorecimiento por altas temperaturas. Ajuste cúbico. Puntos mínimos en 15,6% de humedad y máximo a 22,67% (híbridos 2B707 y 2B710), con incidencia estimada en $y = 0,21\%$ e $y = 4,63\%$, respectivamente.	Alta incidencia con comportamiento decreciente debido al aumento del contenido de humedad. Ajuste lineal de la incidencia de acuerdo al aumento por unidad en el contenido de humedad. Reducción de acuerdo al híbrido. Punto mínimo era $x = 21,05\%$ de humedad, en la cual la respuesta mínima era $y = 53,65\%$ incidencia

Fuente: Marques *et al.*, 2009.

Otros aspectos determinantes para la susceptibilidad intrínseca de los materiales de maíz al ataque micótico y de insectos, son las características físicas y mecánicas de los granos de maíz (Oliveira, Jaccoud-Filho, Henneberg, Michel, Demiate, Teixeira Barbosa, Machinski y Barana, 2009). Es conocido que aspectos de resistencia genética del grano a la infección por *Fusarium* sp. se encuentran en relación con: i) la resistencia a la penetración de hifas en el grano y ii) la resistencia al desarrollo fúngico en el endospermo del grano (Buerstmayr *et al.*, 2003 en Oliveira, *et al.*, 2009).

Factores como la fuerza necesaria para la ruptura de granos de maíz (encontrados entre: 267.8 N y 507.4 N), el índice de flotación⁸⁰ (22% y 60%) y la densidad (22 g/ml a 1.31 g/ml) evaluados en distintas variedades, fueron indicadores de susceptibilidad a *Fusarium* (incidencia entre el 5,5% y el 24,7%). La correlación entre estas variables sugirió que en cuanto mayor es la proporción de endospermo duro, mayor será la fuerza necesaria para la ruptura del grano así como también se observó una correlación positiva entre el índice de flotación y el nivel de contaminación. De este modo, variedades locales de maíz con endospermo de textura suave pueden presentar una mayor contaminación por *Fusarium* y ser atacado por insectos lo cual incide también en esta contaminación. Aunque en este estudio se identificó ZEA en el 75% de las muestras (50 a 640 µg/kg) y en el 50% de las muestras superó los niveles internacionales permitidos⁸¹, ésta contaminación no se relacionó estadísticamente con la incidencia de *Fusarium* ni la dureza del endospermo del grano (Oliveira *et al.*, 2009). Sin embargo, otros trabajos han identificado que el porcentaje de granos rotos en muestras de maíz se correlacionan positivamente con la presencia de AFLA producida por especies de *Aspergillus* (Vaccari, Duarte, Russi Rodrigues, Ramos dos Santos y Silva, 2017) lo que resalta la importancia de estas características morfológicas del grano y las condiciones de cosecha y almacenamiento, así como estas características pueden ser factores determinantes para la resistencia que pueden considerarse en las evaluaciones de materiales de maíz (Dilkin, Mallmann, Santurio y Hickmann, 2000).

De los estudios anteriores se infiere que optar por el uso de variedades con una textura predominantemente dura, puede ser una opción para minimizar el problema de contaminación de granos por hongos en pequeños agricultores, además evidencian la necesidad de establecer procesos adecuados de recolección y manipulación del grano, para disminuir los daños y prevenir la contaminación.

a) Detección en alimentos para consumo humano - riesgo de exposición

Los estudios sobre detección de contaminantes son fundamentales para la toma de decisiones desde un esquema de gestión de riesgo. La *evaluación de la exposición dietaria* al contaminante, se determina a partir de información sobre la ingesta de alimentos contaminados, la concentración del contaminante y por aspectos intrínsecos del grupo poblacional (ej. peso, edad, sexo, etc.). Así, existen métodos para identificar el grado de peligro sanitario asociado a la presencia de la sustancia contaminante en una determinada población. Aunque para estos esquemas suelen tomarse como referencia límites permisibles del contaminante, la exposición puede ser relativa y fundamentalmente distinta a los valores de referencia; de modo que algunos autores han recomendado el seguimiento del cumplimiento por grupos particulares como lo son la población infantil y vegetariana, que podrían estar más expuestos a la contaminación (Londoño-Cifuentes y Martínez – Miranda, 2017).

Por lo anterior, los trabajos de investigadores sugieren caracterizar el riesgo en cada país, con datos vigilancia y control desde procesos de muestreo y análisis validados, evaluar la susceptibilidad de acuerdo a los más consumidos que presentan micotoxinas, la probabilidad de la exposición al alimento y la probabilidad de que el alimento contenga la dosis tóxica del contaminante ya que la ingesta tolerable puede ser muy distinta a la contemplada por regulaciones estándar de referencia (Londoño – Cifuentes *et al.*, 2017).

Se identificaron trabajos relacionados con la detección de micotoxinas en múltiples alimentos, sin identificar propiamente la exposición de poblaciones específicas. Existen reportes de contaminación por micotoxinas en cereales como arroz, maíz, trigo; frutas secas (maní y sus subproductos, nueces, pistachos, marañón, avellanas, almendras), especias (paprika, curry, pimienta, chile, canela, anís, hinojo, comino y jengibre) entre otros ingredientes como aceites vegetales destinados al consumo humano (Londoño – Cifuentes *et al.*, 2017; Caldas, Silva y Oliveira, 2002).

⁸⁰Indicador de la proporción entre endospermo duro o blando.

⁸¹Tienen legislación para ZEA, consideran los límites entre 100 y 200 µg / kg para los cereales y sus subproductos.

En el caso de ocurrencia de toxinas en maíz, varían ampliamente en cuanto a estimaciones, tipos de muestra y regiones. En primer lugar, se identificó un riesgo potencial a partir del análisis de la microbiota en maíz y sus productos.

En maíz blanco y amarillo recién cosechado y desgranado en Serdán – Puebla (México), se encontraron hongos micotoxigénicos como: *F. oxysporum*, *F. subglutinans*, *F. moniliforme*, *F. graminearum*, *F. anthophilum*, *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* y *F. proliferatum* (García-Aguirre y Martínez - Flores, 2010).

En el caso de harinas precocidas comerciales se encontró: *Aspergillus* spp., *A. flavus*, *A. niger*, *A. terreus* y *Penicillium* spp. (Coromoto Chavarri, Mazzani Cardinalis, Luzón y Garrido., 2012) que también son productores de toxinas. Aunque la presencia de los hongos no constata por sí misma la contaminación con toxinas y en muchos casos se considera natural al medio, así como muchos registros de contaminación no superan límites establecidos, los resultados son variados y dependen de las condiciones específicas en un conjunto de variables determinantes.

Existen varios registros de detección de toxinas en materiales de maíz en la región, la mayoría de ellos en Brasil, atendiendo a su mayor producción científica (Leoni *et al.*, 2003; Caldas *et al.*, 2002; Peluque, Neres, Michelin, Reis, Rosim, Oliveira, Sousa, Corrêa y Fernandes, 2014; entre muchos otros), así como en otros países como México (Torres-Sánchez *et al.*, 2010), Venezuela, Colombia, Argentina y Paraguay (Tabla 25).



Brasil
En este país, se detectó AFB1 y AFG1 en varios alimentos y en maíz⁸². En esta evaluación comparativa hubo mayor incidencia en maní

crudo y derivados (34,7%) en un rango de concentración considerable entre 1.280 µg/kg de AFB1 + AFG1 y 1.706 µg/kg de aflatoxinas totales, con lo que se excedieron los niveles máximos permitidos por la legislación brasileña, lo que ubica a este producto como uno de los más susceptibles a presentar contaminación por estas toxinas, lo que resalta la idea de generar control también en otros alimentos en función de la prevención a la salud pública. Por su parte, en los granos de maíz y nueces de Brasil la contaminación fue > 2 µg/kg por lo que no se superaron los niveles permisibles (Caldas *et al.*, 2002).

En Maringá, Marialva y Paraná - Brasil también se detectó AFLA en productos a base de maíz aunque su ocurrencia y concentración fueron bajos (0,62 µg/kg - 0,78 µg/kg). Sin embargo, en el nivel de Ingesta Daria Promedio Probable (IDPM) de AFLA estuvo por encima de la Ingesta Diaria Tolerable (IDT), por lo que se consideró como un riesgo de hepatocarcinogenicidad en esta población de sur de Brasil (Amaral, Nascimento, Sekiyama, Janeiro y Machinski, 2006). Otros estudios realizados en Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul - Brasil, así como en Argentina y Paraguay, determinaron la incidencia de AFLA en granos maíz en donde si llegó a superar los niveles tolerables; no obstante, muchos de los reportes no son claros en cuanto al origen de los materiales (variedades locales, materiales importados, etc.) (Kobashigawa, Corassin, Franco, Dutra y Fernandes de Oliveira, 2019). En harinas de maíz se encontró AFB1 en una baja frecuencia (6%) con niveles de hasta 20 µg/kg, sin embargo, se presentó co-ocurrencia de FB1; en el caso de esta última toxina, se presentó con mayor incidencia (94,6%) y en una concentración alta (20 a 8600 µg/kg) (Kawashima y Valente-Soares, 2006).

⁸²Las muestras de maní, nueces, trigo, sorgo y maíz fueron procesadas y las micotoxinas extraídas, detectadas y cuantificadas por fluorescencia después de la separación en cromatografía en capa fina. Caso en Brasil, entre 1998-2001.

Otras toxinas detectadas han sido nivalenol (NIV) y DON con una incidencia del 20% en silos de São Paulo – Brasil, en donde también se observó co-ocurrencia (Milanez y Valente Soares, 2006). Para esta misma región se encontraron registros de contaminación en maíz con FB1 en un rango entre 1,63 µg/kg y 25,69 µg / kg (promedio=5,61 µg/kg) y de 0,38 µg/kg a 8,60 µg/kg (promedio= 1,86 µg/kg) de FB2, sobre distintos tipos de germoplasmas, endospermos y ciclos vegetativos (Camargos, Valente-Soares, Sawazaki, Bolonhezi, Castro y Bortolletto, 2000).

A pesar de que se han detectado toxinas en otros productos como *xerém*, *munguzá*, *chirera*, copos de maíz precocidos, palomitas de maíz y otros productos, los mayores niveles de contaminación con FB1 se dieron en harinas en donde el límite permisible para AFB1 se sobrepasó. El límite máximo de AFLA totales (B1, B2, G1 y G2) es de 20 µg/kg para grano de maíz⁸³ (entero, partido, triturado, molido) y harina de maíz⁸⁴. Sin embargo, son pocos los casos en los que este límite se excede y se sobrepasó para harina de maíz precocida (21,5 µg/kg) y una de arroz partido (23,3 µg/kg) (Kawashima *et al.*, 2006). Dados resultados sobre contaminación en distintas fracciones del grano (Bordini *et al.*, 2019), se induce a la idea de que pueden existir otros factores que determinen la contaminación en los esquemas de procesamiento industrial en molinerías.

Aunque hay trabajos sobre productos de maíz en los que no se ha detectado ZEA a pesar de ser evaluada (Kawashima *et al.*, 2006), se encontraron registros de contaminación en palomitas, sémola y otros productos. Esta micotoxina se reconoce por sus efectos hiperestrogénicos; no obstante, se detectó en niveles relativamente bajos (1 muestra con 64 µg/kg) (Almeida – Ferreira, Barbosa- Tessmann, Segal y Machinski, 2013). Otras toxinas como moniliformina, que es producida por *Fusarium*, se han detectado en muestras de maíz tomadas de silos en distintos distritos de São Paulo y de parcelas experimen-

tales del Instituto de Agronomía de Campinas, así como en productos de maíz comercializados en ésta misma región (harina, palomitas y maíz para *canjica*)⁸⁵; sin embargo, la ocurrencia de esta toxina en maíz se considera poco común (Leoni *et al.*, 2003).

En Brasil, se identificaron otros trabajos en torno a la generación de biomarcadores de exposición en humanos de tipo urinario que evidenciaron la exposición a AFLA de algunas poblaciones en Sao Paulo y Santa Catalina en Brasil (Franco *et al.*, 2019b).



México

Algunos estudios igualmente reconocen la importancia de esta problemática debido al alto consumo de productos de maíz en algunos países. Tal es caso del consumo de tortillas son imprescindibles en la dieta en México (Torres-Sánchez *et al.*, 2010). A su vez, se determinó como constante la exposición a toxinas altamente nocivas como FB1 a partir de mezclas de cereales (Peluque *et al.*, 2014) sin mucha claridad sobre el origen de los insumos empleados para su elaboración.



Venezuela

Se identificaron estudios con evaluaciones de harinas precocidas comerciales con presencia de *Aspergillus* y *Penicillium*, sin embargo, los resultados obtenidos establecieron niveles de contaminación que cumplían los niveles permitidos de estos organismos así como del nivel de AFLA (20 µg/kg) (Coromoto – Chavarri *et al.*, 2012).

⁸³Mercosur (Resolución GMC No. 25/02).

⁸⁴Resolución - RDC No. 274 del 15 de octubre de 2002, publicado en el DOU del 16/10/2002.

⁸⁵Método: cromatografía líquida. Con límite de detección del método analítico de 0,3 mg / kg.

Tabla 25. Detección de contaminación de alimentos para el consumo humano con AFLA
(SciELO, Scopus – 2002-2019)

Lugar	Tipo de muestra	Hongos/ micotoxina	Resultado	Método	Fuente
Maringá, Marialva, Paraná, Brasil. (2003-2004)	Productos a base de maíz	Alfatoxinas	+ 5,7% (0,62 µg/ kg) + 13% (0,78 µg/ kg)	CCD Elisa	Amaral <i>et al.</i> , 2006.
Brasil	Harina precocida de maíz Quirera (xerém)	AFB1 /FB1	20 a 8600 µg/kg 410 - 370 µg/kg	Cromatografía líquida de alta resolución con detección de fluorescencia y las otras toxinas se determinaron por cromatografía en capa fina.	Kawashima, <i>et al.</i> , 2006.
Aragua, Venezuela	Harina precocida de maíz	<i>Aspergillus spp.</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. terreus</i> y <i>Penicillium</i> y aflatoxinas	No se superó el LMP	Elisa	Coromoto - Chavarri <i>et al.</i> 2012.
Recife, Pernambuco -Brasil (1999 a 2001).	Productos procesados de maíz N=74 Harina de maíz, “quirera fina”, “quirera” “munguzá” “fubá” “Flocos de milho pre-cozidos”, “Milho p/ canjica”	FB1 AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 OTA ZEA	FB1: incidencia 94%; 20 y 8600 µg/kg. Promedio en positivas: 615 µg/kg Harinas: FB1 (media = 2700 µg/kg y máxima = 8600 µg/kg)	HCLP (FUM) y CCF (demás toxinas)	Kawashima, <i>et al.</i> , 2012
Paraná, Brasil (2007-2008)	Palomitas de maíz (n=51) Sémola de maíz (n=50)	ZEA	1 muestra positiva en sémola (64 µg/kg). Límite del método detección de 40 µg/kg y límite de cuantificación de 55 µg/kg	Cromatografía de capa fina.	Almeida - Ferreira <i>et al.</i> , 2013.
São Paulo (Paranapanema y Mogiana), Brasil. (2001 - 2002)	Maíz en silos	NIV DON	20% de incidencia	Límites de detección (10 ng /g y 40 ng /g Cromatografía de gases/ espectrometría de masas	Milanez <i>et al.</i> , 2006.

Sobre Aflatoxinas

En esta revisión se identificaron escasos trabajos sobre efectos toxicológicos. La investigación ha prestado una mayor atención a la detección de AFB1 y FB1. No obstante, AFB1 ocupa el primer renglón, debido a los riesgos asociados a su exposición como lo es el carcinoma hepatocelular (CHC), cuya predisposición se acentúa con factores como cirrosis, virus de la hepatitis B y alcoholismo.

En ejercicios de revisión se reporta una incidencia anual de CHC un rango entre 6-15 casos por 100.000 habitantes en países latinoamericanos (Argentina, Brasil y México), inferior a lo identificado en países africanos con una incidencia entre 3 y 54 casos por 100.000 habitantes. Las regiones en el mundo que presentan mayor prevalencia de casos de CHC son: África Subsahariana, el sudeste de Asia y China (Liu y Wu, 2010), que presentan una exposición alta a AFLA por el alto consumo de cereales y frutos secos contaminados (niveles entre 18-480 µg/kg) en maíz en Kenia (0,18-36,1 µg/kg) en cereales para desayuno en Ghana para maíz (13,5 µg/kg) y en maní en China (27,53 µg/kg) (Blankson y Mill-Robertson, 2016; Kilozi, Imungi, Muiru, Lamuka, Njage, 2014; Ding, Li, Bai, Zhou, 2012 en Londoño- Cifuentes *et al.*, 2017). Sin embargo, en estas regiones hay una alta prevalencia de VHB y la exposición a AFLA en alimentos no se controla (Liu y Wu, 2010).

En la siguiente tabla se presentan estudios de detección de AFM1 en productos lácteos en distintos países de Latinoamérica y su relación con el cumplimiento normativo (Tabla 26) (Acápita 3. Las micotoxinas y sus impactos).

Tabla 26. Detección de AFM1 en productos lácteos en países de Latinoamérica

País	Tipo de muestra	Resultado	Fuente
México	Leche cruda (n=9). Mediana=16,2 µg/kg UHT (n=20). Mediana=16,1 µg/kg Orgánica (n=15) Mediana=23,1 µg/kg	20% 50% 60%	Pérez <i>et al.</i> , 2008
Colombia - Caribe	Leche n=48 Piensos AFB1	0% Legislación Colombiana 8,3% por encima de la norma europea.	Hernández <i>et al.</i> , 2009
Argentina	Leche de vaca	0,6-5,06% supero el nivel para Mercosur. 32,65% y 66,84% para UE	Signorini <i>et al.</i> , 2012
Paraná (Brasil)	Leche comercial UHT	87,5% contaminadas; 2,6% superaban LMP de UE	Veronezi Silva <i>et al.</i> , 2012
Costa Rica	Leche de vaca	0,019-0,629 µg/L	Chavarría <i>et al.</i> , 2015
Argentina	Leche en polvo	29% de incidencia. 1 muestra superó el LMP de UE.	Redouane-Salah <i>et al.</i> , 2015

Nota: *Límite máximo permitido de 0,05 µg/L en la Unión Europea. En Colombia y Mercosur: (0,5 µg/L). Fuente: a partir de Londoño – Cifuentes *et al.*, 2017.

b) Riesgo para la salud en animales

Se identificaron distintos reportes de micotoxicosis en distintos grupos de animales, a saber:



Aves

En el caso de la exposición de aves a micotoxicosis por alimentos contaminados, se identificó el reporte de lesiones leves y graves en la lengua de gallos reproductores de pollos de engorde en la región suroeste del estado de Goiás, Brasil⁸⁶. El alimento estaba contaminado con AFLA, DON, FUM y toxina T-2 (Vaccari *et al.*, 2017). Sin embargo, otros estudios han llegado incluso a reportar casos de letalidad con una ingestión de 260 mg de AFB1 en pollos de ocho días de edad (Anguiano-Ruvalcaba, Vargas-Cortina, y Guzmán de Peña, 2005). En el caso de países como Brasil, estos efectos se propician por periodos de cosecha de maíz que coinciden con grandes lluvias lo que favorece el desarrollo de hongos, adicionalmente se deja el producto en campo o en condiciones rudimentarias de secado para reducir la humedad (Santurio, 2000).

Los estos efectos están relacionados con la calidad de los alimentos suministrados que pueden tener en distintas proporciones ingredientes como maíz o soya. Se han hecho detecciones en estos componentes de ocratoxina A (OTA) y Toxina T-2, con una incidencia hasta de 66,2 y 67,4% de muestras positivas de maíz, aunque fueron superiores en el caso de soya con el 71,9 y 88,9%, sin embargo, no se sobrepasaron los límites de la Comisión Europea (2006/576/EC) (Castro, Alvarado, Koga y Tinoco, 2015). A su vez, se han observado efectos considerables en otras harinas contaminadas por hongos como *Acremonium zeae*, a través de pérdida de peso desde la segunda semana de alimentación en aves (Sánchez-Bautista, De León García, Cuca-García y Hernández-Anguiano, 2012).

Se ha evaluado la respuesta inmune *in vitro* de pollos de engorde a diferentes concentraciones de OTA, DON y ZEA especialmente en linfocitos. En el caso de OTA y DON se indujo la producción de linfocitos y se redujo la actividad enzimática; por parte de ZEA, se promovió la producción de es-

tas células únicamente. De ello se sugiere que concentraciones mínimas de estas micotoxinas estimulan la actividad enzimática con acción proinflamatoria y contribuye a la inmunosupresión, sin embargo se requieren más estudios al respecto en este tipo de animales (Lautert, Ferreiro, Zimmermann, Castilhos, Francielli, Zanette, Leal, Santurio, 2014).

Alexaminarelefectodelaalimentacióncontaminada destinada a pollos de engorde en Brasil, la cual puede contener distintos ingredientes, en el caso maíz se detectó AFLA en un 65% de las muestras y FUM en un 100%, ésta última en niveles de 29,1 y 2.100 µg/kg. No obstante, también son importantes y altos niveles detectados de contaminación de estas toxinas en alimentos a base de soja. Cuando la contaminación supera los 1000 µg/kg de FB, se observó un bajo aumento de peso y altas tasas de mortalidad en estos animales; en el caso de AFLA, se presentaron cambios histológicos del hígado (Kobashigawa *et al.*, 2019).



Equinos

Se identificaron varios reportes de exposición a FUM, cuyo efecto conocido es leucoencefalomalacia (ELEM) en caballos alimentados con maíz inmaduro. En el caso de Canguçu - RS, Brasil, los equinos exhibieron signos neurológicos a los siete días de la ingestión y condujeron a la muerte 24 horas después de exhibir signos clínicos, el maíz que habían consumido tuvo un día de cosecha, presentó una humedad superior al 15% y estuvo a temperaturas inferiores a 20 °C (Echenique, Vargas, Estima-Silva, Pereira, Marques, Ribeiro, Schild, 2019). Otro reporte de ELEM tuvo como epicentro a Jalisco (México) (Reyes - Velázquez, Anguiano - Sevilla, Anguiano - Estrella y Rojo, 2018) en donde la exposición a FUM se dió a través del consumo de rastrojo de maíz. En el caso de Argentina, los caballos consumieron pastos nativos y suplementos, granos de elote y salvado que se encontraban contaminados con FB1 Y FB2 (12.490 µg/ kg y 5.251 µg/kg respectivamente) (Giannitti, Sain Diab, Pacin, Barrandeguy, Larrere, Ortega y Uzal, 2011).

⁸⁶ Lesiones leves en la lengua; grado 2, lesión grave con pérdida parcial de la punta de la lengua, que podría doblarse sobre su eje; y grado 3, lesión muy grave, con fuerte deterioro de los tejidos y necrosis de la punta de la lengua.



Camarones

Se identificó el registro de los efectos de OTA (*Aspergillus* y *Penicillium*) en camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) en condiciones de cultivo en Piauí. Esta toxina es nefrotóxica, (clasificación 2B de acuerdo a IARC) por lo que tuvo efectos en la pérdida de rendimiento productivo e identificó a este tipo de animales como extremadamente sensibles a su exposición (Albuquerque, Calvet, Rocha, Martins, Nóbrega, Costa y Muratori, 2016).



Animales domésticos como canes

En Latinoamérica también se han descrito brotes de aflatoxicosis en perros en Rio Grande do Sul en Brasil, con muertes de individuos tras ingerir alimentos comerciales derivados de maíz o arroz, salvado de maní y, en un caso sospechoso, la dieta era alimento comercial (dos Res Gomes, Marcolongo-Pereira, Sallis, Brayer Pereira, Schild, Osório de Faria y Meireles, 2014), también se identificó el reporte de otro brote en Pelotas Pelotas-R.S, Brasil por alimentación contaminada, en donde los individuos presentaron necrosis hepática grave y el análisis de muestras de alimentos confirmó la presencia de Aflatoxinas (B1, B2, G1 y G2) en una cantidad de 898.2 µg/kg en maíz triturado y 409.86 µg/kg en arroz (Guterres, Silva, Giordani, Matos, Athayde, Dilkin, Grecco y Cleff, 2017). Otros estudios han identificado microbiota fúngica en raciones a granel para animales domésticos (Aquino y Potenza, 2013), por lo que aconsejan mantener productos secos y ventilados para evitar su deterioro además del seguimiento a las materias primas de fabricación.



Cerdos

Se identificó el reporte de brote de aflatoxicosis en Sentinela do Sul, RS – Brasil, que causó muertes y abortos entre otros signos clínicos como apatía, anorexia, ictericia, orina amarillenta con sangre y fotosensibilización luego de la exposición prolongada a maíz molido contaminado. Los animales habían sido alimentados con maíz producido en la misma finca con altos niveles de AFB1 (maíz 3.140 ppb, alimentación 4.670 ppb) (Zlotowski, Corrêa, Rozza, Driemeier, Mallmann y Migliavacca, 2004).

c) Desarrollo de metodologías y análisis comparativo en la detección

Evaluaciones sobre métodos rápidos de ELISA, han demostrado ser simples y prácticos, sin embargo, su uso puede generar falsos positivos y negativos por lo que es necesario confirmar por otras alternativas (ej. CCD) (Amaral *et al.*, 2006).

Fonseca (2002) propuso un plan de muestreo de micotoxinas como AFLA en granos como maní y el maíz, dado que el muestreo es un elemento determinante en los resultados. En el caso del maíz, al ser transportado en barcos, vagones o pilas, a granel o en sacos, el muestreo puede no ser representativo si la muestra se toma superficialmente. La variación en la detección de aflatoxinas depende de aspectos como el tamaño de la muestra, la concentración media de aflatoxinas en el lote y el porcentaje de granos contaminados en la parcela, expresadas como tablas de probabilidad. Por lo anterior, sugiere aspectos particulares para el muestreo de maíz y cacahuates conforme a planes definidos en Brasil y sugerencias de FAO.

En cuanto a mecanismos de detección, se encontraron desarrollos de pruebas rápidas (Meirelles, Ono, Ohe, Maroneze, Itano, García, Sugiura, Ueno, Hirooka y Ono, 2006) y análisis comparativos en cuanto a metodologías de detección. Tal es el caso de la evaluación de pruebas de espectrofluorimetría o fluorescencia de color amarillo verdoso brillante y la cromatografía de capa fina (TLC) en muestras de maíz contaminadas por *Aspergillus flavi*; donde la fluorescencia, método que se reconoce como frecuente en la industria de molienda de maíz, además de ser simple y rápido, obtuvo resultados de falsos negativos en un 20% para ese estudio (Ono, da Silva, Ribeiro, Ono, Hayashi, García y Hirooka, 2010).

También se identificaron mecanismos de detección para metabolitos secundarios de *Fusarium oxysporum* a partir de un análisis químico rápido por extracción líquida con acetato de etilo seguido de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). Bajo este método no es necesario el análisis microbiológico o una técnica muy expansiva como el análisis HPLC-MS / QTOF, se identificó ácido fusárico, 13-socosenamida, 5- (4- ácido hidroxibutil) -2-piridincarboxílico y toxina HT-2 (Senes, Saldan, Costa, Svidzinski y Oliveira, 2018).

d) Alternativas de prevención y mitigación de la contaminación

Se identificaron trabajos como la generación de técnicas para la irradiación gama para la degradación y de procesos de control biológico para los hongos micotoxigénicos. Otras alternativas identificadas fueron: la evaluación del isotiocianato de alilo como fumigante para evitar la producción de micotoxinas durante el almacenamiento del maíz de 180 días, con resultados efectivos para FB1 y con uso potencial en silos de maíz (Nazareth, Corrêa, Pinto, Palma, Meca, Bordin y Luciano, 2018); e incluso, la acción de posibles efectos inhibitorios de los aceites esenciales de *Ageratum conyzoides* (mentrasto) y *Origanum vulgare* (orégano) sobre el crecimiento micelial y la producción de AFB1, con resultados alentadores en ambos casos (Esper, Gonçalves, Marques, Felicio, R. y J. Felicio, 2014).

Otra alternativa identificada es la inactivación de las micotoxinas (AFB1 y DON) en las harinas de maíz a partir de procesos de cocción por extrusión. A partir de muestras contaminadas con 50 ppb de AFB1 y 5 ppm de DON, se logró una reducción del 95% de la contaminación por DON, en el caso de AFB1 se obtuvo una reducción del 10 al 25% por este método. Se considera que puede ser un tratamiento adecuado para el maíz en situaciones donde se presente DON durante los procesos de transformación, no obstante, su efectividad depende de factores como la humedad de la harina, la temperatura y la adición de metabisulfito de sodio (Cazzaniga, Basílico, González, Torres, y De Greef, 2001).

> Resistencia

Varios autores resaltan la necesidad de siembra de especies resistentes para contrarrestar la afectación por micotoxinas. Dado que existe una alta variabilidad genética para la resistencia a la podredumbre o tizón del oído producida por *Fusarium* (FER) en el germoplasma de maíz, se han buscado alternativas desde el mejoramiento genético (Santurio, 2000). Las correlaciones genéticas y fenotípicas pueden ser fuertes y débiles para la intensidad de la enfermedad, la concentración de fumonisinas y el número de mazorcas con signos de ataque del barrenador europeo, lo que indica una alta aleatoriedad en la

interacción de esos rasgos para la resistencia. Sin embargo, se han identificado tres locus de rasgo cuantitativo en maíz (QTL chr.1, 2 y 6) para la intensidad de la enfermedad (Galić, Šimić, Franić, Brkić, Jambrović, Brkić y Ledenčan, 2019). Estudios de este tipo pueden contribuir a establecer híbridos mejorados para tolerancia a FER. También se han reconocido entre las características deseables para la resistencia, las relacionadas con aspectos mecánicos del grano como la dureza y la composición del endospermo (Oliveira *et al.*, 2009).

> Mejorar el secado y almacenamiento y procesos de recepción de la materia prima

Desde aspectos como el monitoreo continuo y su análisis son elementos importantes para la industria (Santurio, 2000). Para AFLA, los métodos de eliminación física y de disolventes polares pueden o no ser efectivos, pero extremadamente caros y económicamente inviables, por lo que un buen control de recepción y mejorar estructuras de secado y almacenamiento podría reducir costos para la industria en general.

> Incorporación en la dieta de adsorbentes de micotoxinas

Desde la industria química se han generado una serie de alternativas que permiten mitigar los efectos de la contaminación con algunas micotoxinas en materias primas. Por supuesto, la implementación de estas alternativas suele darse en las industrias procesadoras y de alimentos balanceados, sin embargo, representan costos adicionales para establecer los mecanismos de seguimiento y control (Acápita: 3.3.2 Impacto económico de las micotoxinas). Entre estas opciones se identificaron las siguientes:

- Mitigar el efecto de deoxinivalenol (DON):

Debido a los efectos negativos de las micotoxinas en cerdos, Kong, Park y Kim (2016), evaluaron el efecto de la adición de un adsorbente de micotoxinas denominado de pared celular de levadura (JOC) en las dietas. Sin embargo, no pudo mejorar los efectos negativos de las micotoxinas de *Fusarium* como DON.

Se han realizado evaluaciones de efectividad de absorbentes comerciales para contrarrestar el efecto de DON en vacas lecheras. En condiciones de contaminación de 5 ppm de DON, se han obtenido buenos resultados al incorporar un absorbente comercial a partir de glucomananos esterificados (Mycosorb®, Alltech; Nicholasville, KY, USA) el cual evitó el aumento en recuento de células somáticas y la disminución de la producción de leche corregida a 4% de grasa (LCG) (Mendoza, La Manna, Mieres y Acosta, 2014).

- Mitigar el efecto AFLA: a partir de la adición de un absorbente esterilizado de glucomanano y selenio orgánico agregado a las dietas de maíz y soya contaminadas para aves de corral como pollos de engorde. Se observaron efectos positivos en cuanto un mejor peso y menores lesiones macroscópicas en órganos viscerales (Rossi, Nunes, Rutz, Reis, Boursheidt, Rocha, Moraes y Anciuti, 2013).
- A su vez, el glucomanano derivado de pared celular de la levadura, mostró respuestas positivas en rendimiento de pollos de engorde y mitigó el impacto de las micotoxinas (Smith *et al.*, 2000; Swamy *et al.*, 2002; Aravind *et al.*, 2003, Swamy, 2005 en Roll, *et al.*, 2010). En estos animales, también se ha observado el efecto positivo sobre el peso y el bienestar en la relación heterófilos /linfocitos, que genera el glucomanano esterificado en una concentración de 1 kg/t (Roll, Lopes, Rossi, Anciuti, Rutz, Xavier y Silva, 2010).
- Para mitigar el efecto de AFLA también se han usado materiales inertes para reducir la absorción de la toxina por el tracto gastrointestinal en aves. Entre estos materiales se encuentran las arcillas de origen volcánico: aluminosilicatos y montmorillonitas, así como silicato de aluminio de sodio y calcio (ASSCA) (Santurio, 2000), aluminosilicato de sodio y calcio hidratado (HSCAS) tanto *in vitro* como *in vivo*, que a través de quimisorción de las toxinas por medio de la formación de un complejo estable (Ramos y Hernández, 1997).

> Inhibidores de crecimiento de hongos o actividad antifúngica de extractos

Se han empleado ácidos orgánicos como el ácido propiónico, acético, sórbico y benzoico y sus sales de calcio, sodio y potasio. El ácido propiónico y sus derivados, llamados propionatos, son inhibidores fúngicos efectivos y se han utilizado durante mucho tiempo en alimentos para aves para este propósito (Dixon y Hamilton, 1981; Paster, 1979; Krabbe, 1994 en Santurio, 2000).

- Uso de extractos de *Larrea tridentata* L. en etanol y metanol sobre el crecimiento *in vitro* de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. en distintas concentraciones (100, 200, 400 y 600 mg/ml) han logrado inhibir el crecimiento con una eficiencia alta. Se logró una inhibición de hasta el 100% en ambos hongos con concentraciones mínimas que variaron de 3 a 7 mg/ml (Moreno-Limón, González-Solís, Salcedo-Martínez, Cárdenas-Avila, Perales-Ramírez, 2011).
- Se identificó el potencial de *Trichoderma harzianum* como agente biocontrolador de hongos micotoxigenicos en los granos almacenados y sus posibles implicaciones en la reducción de micotoxinas. En estudios sobre la acción de compuestos volátiles utilizados en granos de maíz almacenados en laboratorio, se observó la reducción de la biomasa de *A. flavus* (31,7%) y en la producción de aflatoxina B1 (51,78%). Por otro lado, cuando la producción de compuestos volátiles en el medio de Germen Desgrasado de Maíz - Cáscara de Arroz (GDMCA) fue a una escala de 24 x, la proliferación de *A. flavus* se redujo al 90% (Mejía, Alvarado, Martínez y Blas, 2008).

> Tratamientos térmicos

Estos métodos pueden reducir la contaminación por micotoxinas; sin embargo, en el caso de AFLA, su composición química hace que posea una gran estabilidad térmica. Existen reportes sobre métodos de clasificación, limpieza, molturación, horneado, cocción, tostado, extracción que pueden reducir su contenido hasta en un 70% o más a concentraciones menores a 20 µg/kg (Hussain y Luttfullah, 2009 en Londoño-Cifuentes *et al.*, 2017). Por lo que sería indispensable realizar más análisis y controles que garanticen los resultados.



➤ Nixtamalización

Este proceso tradicional se emplea en la elaboración de tortillas de maíz. El proceso se caracteriza por adicionar cal 10 g de cal/kg de maíz (cal viva) y 4 L de agua. Posteriormente, esta mezcla se lleva a punto de ebullición por 50 minutos y se deja en reposo (17 horas). El agua en donde se hierve la mezcla se retira y se realiza un lavado con agua limpia. Posteriormente el maíz se muele hasta obtener una masa suave.

➤ Por medio de este proceso se ha reportado la inactivación de AFB1 en maíz hasta un 96% y el aflatoxicol (70%) (Anguiano-Ruvalcaba, et al. 2005), así como su no reconstitución en tratamientos ácidos.

Se encuentran distintos reportes sobre la eficiencia de este proceso en la reducción de la contaminación por AFLA con diversos resultados que varían en función de la contaminación inicial y particularidades del proceso. Tal es el caso de una reducción del 85% de la contaminación del maíz y de un 15% de AFLA en remanentes de masa que no conserva sus propiedades de fluorescencia, pero que puede reconocerse por los anticuerpos monoclonales utilizados para su detección. Otros trabajos señalan una reducción de la concentración de AFLA de hasta el 94%, incluso en maíz altamente contaminado.

A partir de evaluaciones del proceso de extrusión y de nixtamalización ecológica, se encontraron reducciones respectivas de 46 y 78%. (Elias – Orozco *et al.*, 2002; Méndez-Albores *et al.*, 2004 en Anguiano-Ruvalcaba *et al.*, 2005). Sin embargo, varios investigadores han cuestionado la eficacia de este proceso tradicional considerado efectivo para inactivar las AFLA, al sugerir que “los anillos de lactona de AFLA que se abren durante el tratamiento alcalino, en la nixtamalización, podrían cerrarse cuando la tortilla se acidifica en el estómago” (Torres *et al.*, 2001; Price *et al.*, 1985 en Anguiano-Ruvalcaba *et al.*, 2005), por lo que la eficiencia del proceso no es del todo concluyente.

4.3 Ámbito nacional



A partir de la revisión en el repositorio de investigación de la Universidad Nacional de Colombia, los trabajos reportados en la plataforma *Scienti* - Colciencias, así como los realizados en Colombia identificados en *Scielo* y *Scopus*, entre otros identificados desarrollados desde la institucionalidad (Invima/INS) (Ver Tabla 21).

Es posible observar, cómo la investigación sobre el tema en el país, se desarrolla en una primera fase, a partir de la detección de la incidencia y niveles de contaminación de distintas micotoxinas, principalmente Aflatoxinas y Fumonisinas en distintos de productos para el consumo humano y animal, con muestras en principales centros de consumo. Posteriormente estuvo orientada, en la identificación o determinación de la exposición (AFB1) en humanos o generación de biomarcadores de exposición, así como el análisis en productos alimentarios pero con un incremento sustancial de muestras analizadas y el carácter sistemático de captura, junto con el desarrollo de métodos de detección y cuantificación.

A pesar de que han habido esfuerzos institucionales a partir de la generación de registros en distintas regiones del país, en relación a la incidencia de contaminación en algunos productos, como los planes subsectoriales de vigilancia, estos no responden a un verdadero esquema basado en el monitoreo permanente, sistemático y desde aspectos metodológicos que contribuyan a una mejor representatividad de la muestra en lo territorial y que parta de protocolos y metodologías definidas. Solo uno de los trabajos identificados, plantea un panorama más amplio al abordar el riesgo a la exposición a la contaminación, de acuerdo a los de efectos conocidos como el carcinoma hepatocelular y desde la ingestión de un producto de alto consumo en el país.

A continuación se presentan algunos resultados de los estudios identificados, por supuesto, en consideración a que pueden existir otros no identificados.

4.3.1 Incidencia de micotoxinas en alimentos para el consumo humano

> En el país existen estudios de detección y cuantificación de deoxinivalenol, zearalenona y fumonisinas desde 1995 (Díaz *et al.*, 1997) que han contribuido a identificar el riesgo en diferentes productos y poblaciones específicas expuestas, tal como niños recién nacidos y poblaciones indígenas.

Estos trabajos han proporcionado información valiosa con el fin de tratar de establecer niveles de exposición de la población en general, a partir del análisis de muestras captadas en los principales centros de consumo del país; sin embargo, en reconocimiento a las distintas dinámicas regionales.

También se reportó la incidencia de micotoxinas como fumonisinas (FB1 y FB2) en productos para consumo humano como: granos enteros de maíz, harinas de maíz precocidas, palomitas de maíz, arepas, bocadillos de maíz, almidón de maíz, en las que se identificó una incidencia en el 55% de las muestras, con concentraciones promedio de 218 µg/kg, a pesar de que el rango de concentración estuvo entre los 24-2170 µg/kg (Perilla y Díaz, 1998). Aunque las muestras se compraron al azar en las tiendas minoristas más populares del país, sin embargo, no se mencionó en qué ciudades fueron tomadas las muestras. Posteriormente, en un estudio similar, se abarcó la detección de aflatoxinas.

Díaz, Perilla y Rojas (2001) encontraron una relativa baja incidencia de micotoxinas en alimentos para el consumo humano, a partir del análisis de muestras de maíz y productos cereales, trigo, cebada y avena; arroz y subproductos, semillas de leguminosas y cereales para el desayuno. Fundamentalmente, identificaron una marcada incidencia de aflatoxinas en los productos de maíz, que en algunos casos fueron superiores a los límites permisibles.

A su vez, identificaron que las muestras contaminadas con altas concentraciones de AFB1, también presentaron otros tipos de toxinas (B1, B2, G1 y G2 de 136,7 ng/g de aflatoxinas totales o 0,136 µg/kg). Otros estudios han identificado estos contaminantes especialmente altos en alimentos para la alimentación humana, de toxinas como DON, OCA o FUM. Se ha registrado la presencia de FUM en maíz de tipo nacional y productos derivados (65%), lo que evidencia el riesgo en el país.

De acuerdo al estudio de Acuña *et al.* (2005), hay contaminación por *Fusarium* en alimentos en Colombia, particularmente en maíz, sorgo y harina de semilla de algodón. Es predominante *Fusarium* (especies aisladas *Liseola*), e incluyen *F. verticillioides*, *F. proliferatum*, y *F. subglutinans*; en el primer caso hubo registros importantes que evidenciaron FB1 en altos contenidos (25,846.4 mg/kg). A su vez, las cepas de *F. verticillioides* y *F. proliferatum* tienen la potencial para producir FUM por lo que su hallazgo en productos de maíz indica que las FUM también deberían ser un aspecto para vigilar y controlar en el país.

Por otra parte, se identificaron trabajos sobre determinación de la contaminación en productos como leche, cuyas muestras fueron tomadas en tiendas locales de Bogotá. Este tipo de contaminación se considera una rastra de la contaminación previa, ocurrente en los alimentos ofrecidos a vacas productoras, que pueden contener semillas de algodón, maíz, sorgo, u otros componentes (Díaz y Espitia, 2006).

Son menos los estudios que abarcan la problemática desde una perspectiva regional. Entre ellos, el estudio desarrollado por Morris *et al.* (2011) en Bolívar, Atlántico, Magdalena, Cesar y la Guajira detectó aflatoxinas (B1, B2, G1 y G2) en 70 muestras de

maíz (*Zea mays*) (n = 24) y arroz (*Oryza sativa*) (n = 46) para consumo humano obtenidas de manera aleatoria en ciudades, fábricas y comercializadoras⁸⁷, encontró que no hubo ocurrencia de Aflatoxinas en arroz; por el contrario, en el 12,5% de las muestras de maíz (n=24) presentó aflatoxina B1 en niveles entre 2,4 y 12,5 µg/kg (con media de 7,9 µg/kg); la AFB2 se encontró en el 8,3% de las muestras, los valores obtenidos fueron de 1,9 y 2,0 µg/kg con niveles inferiores a 2 µg/kg; no se detectó AFG1 ni AFG2; el valor medio de aflatoxinas totales fue de 9,2 µg/kg, siendo el valor máximo aceptado en la mayoría de países de 20 µg/kg. Con estos resultados se identificó una mayor ocurrencia de AFLA en La Guajira con el 66% de los casos positivos en la región del estudio, debido a condiciones inadecuadas de almacenamiento del grano.

Aunque algunos casos superaron los valores máximos establecidos para aflatoxinas en muestras de maíz, se demostró la necesidad de contar con legislación y programas de control de estos contaminantes naturales de los alimentos como factores de riesgo para enfermedades (Acápita 3.2 *Las micotoxinas y sus impactos*). En departamentos como Cesar y Magdalena se consideró en el estudio la necesidad de ampliar el monitoreo en número de muestras y periodo de tiempo para establecer el nivel de ocurrencia con mayor precisión.

➤ De estos estudios, se infiere que los procesos de vigilancia y control deben atender a las variaciones entre regiones, épocas del año y a las particularidades productivas. Además se debe reconocer la necesidad de mejora de la poscosecha del grano, dado que en almacenamiento es donde se produce la contaminación, así como la necesidad de monitoreo en puntos de comercialización y por mayores periodos de tiempo (Morris, 2011).

En el caso de AFB1, los mamíferos pueden metabolizar la toxina a una forma hidrolizada conocida como AFM1, que es un biomarcador de

exposición al llegar a contaminar la leche materna, lo que indica una exposición prolongada en madres lactantes y puede tener consecuencias en el desarrollo del feto (Mahdavi *et al.*, 2010 en Sánchez *et al.*, 2014). En la determinación de Sánchez *et al.* (2014) se evidenció una prevalencia de AFM1 del 90%. El 75% de las muestras presentó niveles superiores a 1,7 ng/l y el 50% tuvo concentraciones mayores de 2,9 ng/l (0,0017 µg/kg – 0,0029 µg/kg). Las muestras se obtuvieron del lactario del Hospital de la Misericordia de la ciudad de Bogotá, D.C., cuya población expuesta correspondió a madres jóvenes del área urbana de Bogotá, de estratos 1, 2, 3 de las localidades de: Ciudad Bolívar, Kennedy y Suba. Estos resultados fueron cercanos a lo reportado en los Emiratos Árabes Unidos (EAU) (92%) (Abdulrazzaq *et al.* 2003) y mucho más altos que en países como Turquía (24,6%), Egipto (35,5%) e Irán (22%). Por supuesto, la exposición puede depender de la frecuencia y el nivel de contaminación de alimentos como: maní, avena, arroz, trigo en pan, pasta y arepas de maíz, entre otros. La procedencia de esta población fue en su mayoría rural (media: 2,75 ng/l) por lo que entre los factores que explican estos resultados se encuentra la capacidad de adquirir alimentos de calidad, la dependencia a los alimentos locales en estas áreas y la alta informalidad del mercado, lo que confirma el riesgo y alta prevalencia a la exposición de madres.

La exposición a AFB1 puede afectar a la madre misma, al feto en desarrollo y, más adelante, al lactante. Dado que AFB1 como AFM1 se consideran carcinógenos humanos por el IARC (Grupo 1). Este estudio evidencia la necesidad de que las autoridades colombianas ejerzan un mayor control para evitar que los alimentos contengan niveles de AFB1 por encima del máximo permitido en granos (10 µg / kg de la suma de a las toxinas flotantes) que se encuentran en la cadena alimentaria de consumo humana. Además, hay exposición a xenobióticos, que pueden afectar la capacidad del hígado para metabolizar y excretar sustancias químicas porque el metabolismo de los xenobióticos durante los periodos perinatal

⁸⁷A partir de cromatografía de alta eficiencia (HPLC), durante seis meses en 2011 con métodos oficiales 994.08 y 2005.08 de AOAC International. La técnica requiere de una extracción, purificación, separación, derivatización post-columna y cuantificación por espectrometría de fluorescencia.

y postnatal está en proceso de maduración (Peng *et al.*, 2013). Dado que el feto y los bebés son particularmente sensibles a los efectos adversos de las AFLA, es importante seguir investigando esta exposición y tomar medidas para disminuirla. Se necesita investigación para determinar presencia de otras micotoxinas en alimentos, leche materna, así como el monitoreo en Colombia.

Uno de los estudios con mayor grado de contaminación identificada en maíz en el país corresponde al desarrollado por Díaz, Krska y Sulyok (2015), que se desarrolló en muestras de alimentos producidos localmente y consumidos por comunidades amazónicas (maíz, yuca y arroz). En el caso de aflatoxinas, se detectó una alta incidencia⁸⁸ y hubo correlación con la presencia de AFB1, AFB2, AFB3 y ácido fusárico. A su vez, hubo ocurrencia de FUM, también correlacionada con los niveles de ácido fusárico⁸⁹ y fusarina C⁹⁰ cuya acción mutagénica es comparable a la reportada para AFB1. Otra de las micotoxinas detectadas en maíz fue OTA y FUM, por encima de los niveles reglamentarios^{91,92} nivalenol (NIV) y ZEN se presentaron en bajos en algunas muestras, además de ácido ciclopiazónico (CPA), fusarina, moniliformina, citrinina⁹³. Esta última sustancia, llamó la atención por sus altos niveles y a que se considera tóxico para la salud en general por sus efectos en el riñón, túbulos contorneados proximales y se asocia con la nefropatía endémica balcánica humana, enfermedad renal tubulointersticial crónica con inicio insidioso y progresión lenta a la insuficiencia renal terminal a pesar de que no cuenta con límites establecidos (Stefanovic *et al.* 2006 en Díaz *et al.*, 2015). La alta ocurrencia y variabilidad de micotoxinas detectadas se explicó por la alta presencia ambiental de hongos, condiciones de humedad y temperatura específicas del ecosistema amazónico, de modo que el estudio llegó a recomendar no sembrar este cultivo en esta zona del país aunque no es una zona de cultivo representativa.

De los datos contenidos en el informe de vigilancia del Invima de 2015-2016 (Invima, 2018 a y b), que contiene registros en distintos departamentos, pero que no puede considerarse como un estudio con muestras representativas por cada una de las entidades territoriales, se enuncia que, de las muestras colectadas de arepa, maní, harina de maíz, harina de trigo para 2015 se detectó una incidencia de aflatoxinas en el 27% y que más del 50% superaron los niveles máximos permisibles. En el caso de maíz, hubo una incidencia del 11% en muestras de maíz tanto blanco como amarillo (*Acápita 5.4.1 Alimentos, materias primas e ingredientes destinados al consumo humano*). Se acentúa la falta de control en almacenamiento en plantas de procesamiento de arepas y comercializadoras de maíz por deficiencia en el control de proveedores durante la cadena (procesamiento, trilladoras, bodegas, almacenamiento), lo cual concuerda con los motivos expuestos por Morris (2011).

De ahí que sea importante establecer un sistema de trazabilidad a nivel nacional, acciones relacionadas con el fomento a BPAS, BPMs, así como preparar la tierra para el cultivo a través de retirar los residuos de cosecha, evaluar fertilizantes para evitar condiciones nutricionales adversas, controlar la irrigación para mitigar la sequía y controlar los ataques de plagas. La falta de información sobre consumo de alimentos en el hogar o provenientes de establecimientos no industriales y la exposición dietaria para los mismos de manera estratificada fueron limitantes en ese trabajo. Sin embargo, de acuerdo al estudio del Instituto Nacional de Salud (2015) algunas regiones pueden presentar mayor riesgo por el nivel de consumo de alimentos que, pueden estar contaminados (Antioquia, Valle del Cauca y Bogotá) y una mayor susceptibilidad a afectaciones de salud por parte de la población de niños entre los 4 y 8 años. Por ello, se deben desarrollar medidas de prevención y control para micotoxinas en arepas y otros productos.

⁸⁸Resultados de AFLA: AFB1: 6,4; 42,7 y 458,2 µg/kg y AFB2: 1,9; 5,5 y 55,5 µg/kg también tenía AFG1 y tenía un contenido total de aflatoxinas de 585,9 µg/kg.

⁸⁹También producido por *Fusarium* sp.

⁹⁰Mutágeno bacteriano aislado por Wiebe y Bjeldanes (1981) de *Fusarium moniliforme*; su efecto nocivo de mutágeno es comparable AFB1 y STC (Gelderblom *et al.* 1984).

⁹¹(Límite reglamentario de 5 µg/kg, FAO 2004). En Colombia, el nivel máximo de aflatoxinas totales (B1, B2, G1 y G2) es 20 µg/kg para maíz (Ministerio de Salud y Protección Social 2013).

⁹²Resultados OTA: Niveles de 4,2; 8,9 y 23,6 µg/kg.

⁹³Resultados de fumonisinas: FB1 con un valor medio en muestras positivas de 1365,1 µg/kg en el 80% de las muestras; FB2 variaron de 8,5 a 5067 µg/kg con un valor medio de 524,1 µg / kg; FB3 oscilaron entre 9,5 y 1228,8 µg / kg con una media de 213,3 µg/kg. El límite máximo es de 2000 µg/kg en maíz sin procesar, mientras que los límites para OTA en el mismo producto es de 5 µg/kg en la mayoría de los países (FAO 2004). Los mismos límites han sido adoptados en Colombia. (Ministerio de Salud y Protección Social 2013).

Tabla 27. Registros de micotoxinas en alimentos para el consumo humano y animal en Colombia con énfasis en maíz y sus productos

Lugar y época de registro	Muestra	Hongos identificados /Micotoxina	Resultados				Método	Fuente	
Guadalajara de Buga, Medellín, Mosquera, y Bogotá. (Muestras de alimentos animales)	Alimentos de animales a base de maíz y productos para el consumo humano: FB1: 35 granos enteros 15 harinas de maíz precocidas 8 palomitas de maíz 7 de maíz 6 arepas Bocadillos de maíz 6 Almidón de maíz	Fusarium moniliforme Fumonisinás B1 y B2.	Incidencia y niveles de FB1 en maíz y productos a base de maíz para el consumo humano y animal en Colombia				HPLC	Perilla y Díaz (1998)	
			Producto	Incidencia	Media µg/kg	Rango µg/kg			
			Maíz grano	53,3	486	25-2170			
			Harinas de maíz precocidas	86,7	118	25-230			
			Maíz reventón	50	168	78-246			
			Harina de maíz	57,1	216	36-408			
			Arepas	33,3	53	44-61			
			Snacks de maíz	33,3	76	24-127			
			Almidón de maíz	-	-	-			
	Total(alimentos para humano)		55	218	24-2170				
	Granos de maíz		91,4	585	50-1746				
	Alimento de maíz		100	1225	86-2964				
	Gluten de maíz		12,5	32	-				
	Otros		2836	115	105-124				
	Total (alimentos para animales)		75	694	32-2964				
	Incidencia y niveles de FB2 en maíz y productos a base de maíz para el consumo humano y animal en Colombia								
	Producto		Incidencia	Media µg/kg	Rango µg/kg				
	Maíz grano		33,3	307	21-833				
	Harinas de maíz precocidas		46,7	43	33-81				
	Maíz reventón		37,5	72	62-78				
	Harina de maíz		28,6	85	65-105				
	Arepas		50	60	39-93				
	Snacks de maíz		16,7	73	-				
	Almidón de maíz		-	-	-				
	Total(alimentos para humano)		35	118	21-833				
	Granos de maíz		77,1	222	44-535				

			Alimento de maíz	80,0	487	57-987		
			Gluten de maíz	-	-	-		
			Otros	-	-	-		
			Total (alimentos para animales)	58,3		44-987		
			Incidencia y niveles de AFB1 en alimentos en Colombia					
			Producto	Incidencia (%)	Media µg/kg	Rango ng/g		
			Maíz y productos de maíz	12,8	17,3	2,0-103,3		
			Cereales	-	-	-		
			Trigo, cebada y avena					
			Arroz y productos de arroz	10,0	7,1	1.0-13,6		
			Semillas de leguminosas	6,7	2,3	1.0-3,6		
			Bocadillos y cereales para el desayuno.	18,2	1,7	1,3-2,0		
			AFB1: contaminante de todas las muestras. Incidencia global: 8.9% (n=248) en un rango de 1,0 -103,3 ng / g. Media: 12,6 ng/g. (Límite permisible en varios países de 5 ng/g.)					
			AFB2: menor nivel que B1. Incidencia del 1,2% en un rango 1,4 y 6,7 ng/g. Media: 4,2 ng/g.					
			G1 y G2: incidencia del 0,4%, coocurrencia con AFB2. Marcada incidencia en Maíz y productos de maíz.					
			AFB1: concentración: cercana a 300 µg/kg					
			AFM1					
			Incidencia 2004: 69,2 %					
			Incidencia 2005: 79,4 %					
			Con niveles de AFM1 arriba de 10 ng/L. Aunque todas las muestras cumplieron con las regulaciones locales vigentes (hasta 400 ng/L).					
			Aflatoxinas					
			Maíz y productos de maíz (n=109)					
			Granos de cereales (n=58)					
			Arroz y productos de arroz (40)					
			Semillas de leguminosas (30)					
			Bocadillos y cereales para el desayuno (11).					
			Maíz blanco y amarillo. Híbrido: DK4004					
			Aspergillus flavus, A. niger, A. ochraceus, A. tamarii, A. fumigatus, Fusarium moniliforme, Rhizopus spp., y Penicillium spp.					
			Leche para consumo humano (comercializada al por menor en supermercados)					
			Incidencia y concentración de Aflatoxina B1					
			Bogotá (2004-2005) (n=241)					
			Córdoba–Cereté. Septiembre, 2001					
			Supermercados del país.(no se especifican ciudades) (2001) N=248					
			Díaz, Perilla y Rojas (2001)					
			Cromatografía líquida. Límite de detección de 1 ng/g por cada aflatoxina					
			Acuña, Díaz y Espitia (2005)					
			Díaz, G.J y E. Espitia (2006).					

			Sin embargo, debido a la alta incidencia de AFB1 en la leche encontrada, se recomienda establecer un programa de vigilancia permanente para la leche consumida en Bogotá con el fin de evitar que los lotes de leche que contienen niveles por encima del nivel reglamentario ingresen a la cadena alimentaria.																																						
Atlántico (n=8)	Maíz (Blanco y amarillo) a granel *puntos de comercialización para consumo humano de abasto de diferentes poblaciones	Aspergillus sp.	AFB1: incidencia del 12,5% en 1, positiva de 2,4 µg/kg. No sobrepasó el límite máximo aceptado internacionalmente (5 µg/kg). AFB2, AFG1 y AFG2: no detectada. Aflatoxinas totales: (2,4 µg/kg) no sobrepasa el valor de referencia internacional que es de 20 µg/kg AFB1: 100%. Entre 8,8 y 12,5 µg/kg; media: 10,65 µg/kg. se superó en más de 2 x el LMP (5 µg/kg) AFB2: 100%. AFB2: 1,9 y 2 µg/kg. AFG1 y AFG2: no se detectaron Aflatoxinas totales: 12,6 µg/kg. No sobrepasó el valor de referencia adoptado por varios países latinoamericanos de 20 µg/kg.	HPLC	Morris (2011)																																				
Guajira (n=2)	Maíz (Blanco y amarillo) a granel *puntos de comercialización para consumo humano de abasto de diferentes poblaciones	Aspergillus sp.																																							
Bogotá -2013	Leche materna (n=50)	---- no se realizó identificación	AFM1 (AFB1). Ocurrencia: 90% de muestras Concentración: 5,2 ng/L y un rango de 0,9 a 18,5 ng/L	Columna de inmunoadfinidad y cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplada a un detector de fluorescencia.	Sánchez (2014)																																				
		---- no se realizó identificación			Díaz y Sánchez (2015)																																				
Amazonas (Comunidades indígenas)	Maíz Arroz Yuca (n=20/toxina)	Aflatoxinas (B1, B2, G1 y G2) Ocratoxina A Deoxinivalenol Nivalenol T2 HT-2 Fumonisin (B1, B2, B3) ZEA	Incidencia y niveles de FB1 en maíz y productos a base de maíz para el consumo humano y animal en Colombia.	Liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS)	Díaz, Krška y Sulyok (2015)																																				
			<table><thead><tr><th>Toxina</th><th>Incidencia (%)</th><th>Media µg/kg</th><th>Rango µg/kg</th></tr></thead><tbody><tr><td>AFB1</td><td>15</td><td>169,1</td><td>6,4-458,2</td></tr><tr><td>AFB2</td><td>15</td><td>21,0</td><td>1,9-55,5</td></tr><tr><td>AFG1</td><td>5</td><td>72,2</td><td>72,2-72,2</td></tr><tr><td>AFG2</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>Total aflatoxinas</td><td>15</td><td>214,1</td><td>8,2-585,9</td></tr><tr><td>Ocratoxinas</td><td>15</td><td>12,2</td><td>4,2-23,6</td></tr><tr><td>Deoxinivalenol</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>Nivalenol</td><td>30</td><td>48,0</td><td>8,7-224,2</td></tr></tbody></table>	Toxina	Incidencia (%)	Media µg/kg	Rango µg/kg	AFB1	15	169,1	6,4-458,2	AFB2	15	21,0	1,9-55,5	AFG1	5	72,2	72,2-72,2	AFG2	-	-	-	Total aflatoxinas	15	214,1	8,2-585,9	Ocratoxinas	15	12,2	4,2-23,6	Deoxinivalenol	-	-	-	Nivalenol	30	48,0	8,7-224,2		
Toxina	Incidencia (%)	Media µg/kg	Rango µg/kg																																						
AFB1	15	169,1	6,4-458,2																																						
AFB2	15	21,0	1,9-55,5																																						
AFG1	5	72,2	72,2-72,2																																						
AFG2	-	-	-																																						
Total aflatoxinas	15	214,1	8,2-585,9																																						
Ocratoxinas	15	12,2	4,2-23,6																																						
Deoxinivalenol	-	-	-																																						
Nivalenol	30	48,0	8,7-224,2																																						

		Otras (esterigmatocistina, ácido ciclopiazónico, citrinina, ácido fusarico, fusarina c, moniliformina)	T2 HT2 Fumonisin B1 Fumonisin B2 Fumonisin B3 Total fumonisinas Zearalenona Otras micotoxinas Esterigmatocistina Ácido ciclopiazónico Citrinina Ácido fusarico Fusarina C Moniliformina	- - 80 75 60 80 15 - 15 10 40 50 50 30	- - 1365,1 524,1 213,3 2016,4 6,1 - 5,1 109,8 21421 160,2 90,2 249,7	- - 20,9-8545,3 8,5-5067,4 9,5-1228,8 21,2-14842,0 24-13,5 - 1,5-11,9 45,4-174,2 106,7-124840 15,6-641,5 8,2-253,7 3,3-919,1		
Valle del Cauca	Maíz	<i>Fusarium coeruleum</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>Camptoceras</i> , <i>F. decemcellulare</i> , <i>F. fujikuroi</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. gutiforme</i> , <i>F. incarnatum-equiseti</i> , <i>F. solani</i> , <i>F. verticillioides</i>	Tricotecenos Zearalenona Fumonisin				PCR ELISA (#)	Salazar (2016)
Nacional ⁹⁴ (2015)	● Harina de maíz ● Harina de trigo ● Maíz (n=58) ● Arepas ● Maní	Aflatoxinas y conservantes en arepas (aflatoxinas 2015, zearalenona y deoxinivalenol en 2016). Maíz > 11% de las muestras de maíz amarillo con presencia de aflatoxinas, sin superar el límite normativo (20 µg/kg). Valor superior de AFB1 de 15,1 µg/kg y de 1,8 µg/kg de AFB2.	Suma de aflatoxinas: 0,7-103,6 µg/kg Superaron el LMP=4 µg/kg res. 4506 de 2013: 17 muestras equivalente al 15% de las muestras. Resultados 2015 Aflatoxinas A nivel general en el 27% de las muestras (31). 17 muestras superaron los niveles máximos permitidos; 14 muestras con presencia de conservantes pero sin superar LMP. No se detectó AFG1 ni AFG2				HPLC	Invima 2018 a

⁹⁴Muestras durante 2015 = 127 en 309 establecimientos. Chocó (1), Caquetá (1), Norte de Santander (2), Tolima (1), Casanare (1), San Andrés y providencia (2), Quindío (3), Boyacá (3), Meta (4), Risaralda (3), Cundinamarca (3), Santander (3), Valle del cauca (6), Caldas (5), Bogotá (38) y Antioquia (51).

			> El 11% de las muestras de maíz blanco (1 de 9) presentaron aflatoxinas B1 y B2, 8,3 µg/kg y 0,7 µg/kg. > Maíz pira: AFG1 2 µg/kg en una muestra. Se superaron los niveles permitidos para alimentos de consumo directo. Arepas > Con AF en niveles superiores a LMP en 2015: 15% (n=17/113) > Con AF en niveles superiores a LMP en 2016: 20% (n=11/55) > Zearalenona : no se detectó Harina de trigo Contaminación de una muestra con DON que superó el LMP Maíz importado (N=58 muestras: 44 amarillo y 9 blanco, 4 de maíz pira y 1 de maíz procesado). Tomados en Santa Marta y Barranquilla (87% de las muestras); por Buenaventura el 13% cuyo origen fue EE.UU en un 88%, seguido de Brasil con el 6% y Argentina con el 4%. Ninguna muestra de maíz importado analizada presentó excedencias de aflatoxinas según la normatividad nacional.		
Nacional ⁹⁵ (2016)	N = 151 muestras (arepa, maní, harina de maíz, harina de trigo) + 110 muestras de maíz importado	Aflatoxinas y conservantes en arepas (aflatoxinas 2015, zearalenona y deoxinivalenol en 2016).	Resultados 26% de inconformidades (39): 8 muestras superaron niveles permitidos de aflatoxinas, 3 (con niveles permitidos para aflatoxinas como conservantes) y 1 por superar el nivel máximo permitido para deoxinivalenol. Aflatoxinas Una muestra superó en 30 veces el nivel máximo permitido (120,40 µg/kg) (Tabla 8) maíz. Para maní, de las 26 muestras analizadas, 9 obtuvieron presencia de aflatoxinas sin superar el nivel máximo permitido, con una mediana de 1,80 µg/kg. Harina de maíz 36% con zearalenona, entre 20 y 41 µg/kg, con un promedio de 27,73 µg/kg. Ninguna muestra superó el nivel máximo permitido. Harina de trigo El 96% con DON con niveles entre 63 y 1.478 µg/kg con un promedio de 408,47 µg/kg. Una muestra con un resultado de 1.478 µg/kg, superó el nivel máximo permitido. Proveedores de maíz Se tomaron 12 muestras adicionales de maíz trillado, 5 de ellas con muestras con presencia de Aflatoxina B1 con un rango entre 1,7 y 6,2 µg/kg y una muestra que superó el nivel máximo para maíz (20 µg/kg) con 36,5 µg/kg (maíz blanco) procedente del Bajo Sinú.	HPLC	Invima 2018 a

⁹⁵Muestras durante 2016= 151 distribuidas así: Antioquia (22), Arauca (1), Atlántico (8), Bogotá (51), Bolívar (1), Boyacá (8), Caldas (3), Cauca (2), Córdoba (2), Cundinamarca (13), Meta (2), Nariño (5), Norte de Santander (2), Quindío (3), Risaralda (5), Santander (17), Valle del cauca (7).

			Arepas Para 2015 el 15% (17/113) de las muestras sobrepasaron LMP. Para 2016 el 20% (11/55). No se detectaron niveles superiores a los permitidos para aflatoxinas en maní, ni zearalenona en muestras de harina de maíz. DON en harina de trigo 4% de las muestras con incidencia. Una de las veinticuatro muestras de harina de trigo analizadas para determinar deoxinivalenol tuvo excedencias de este contaminante. Micotoxinas y conservantes en maíz importado N= 110: 84 de maíz amarillo y 26 de maíz blanco. Que ingresó principalmente por Barranquilla (52%) y Santa Marta (32%) El resto de muestras ingresaron por los puertos de Buenaventura (14%) y Cartagena (2%) En el 16% de las muestras de maíz importado se evidenció presencia de aflatoxinas, sin que se sobrepasara el nivel máximo permitido en Colombia. El valor más alto (19,4 µg/kg de Aflatoxina B1) fue evidenciado en una muestra de maíz amarillo que ingresó al país por el puerto de Santa Marta Todas las muestras de maíz importado analizadas fueron conformes, ya que no presentaron excedencias de aflatoxinas según la normatividad nacional vigente.																																	
Cadena pecuaria (Productos como leche, alimentos para alimentación animal-insumos)																																				
Cartagena, Guadalupe de Buga, Medellín, Mosquera y Bogotá	Alimentos transformados Para aves de corral (n=30) Para cerdos (n= 16) Materias primas Maíz (n=33), Sorgo(n=45) Soya (n=25) Torta de arroz (n=22) Harina de semilla de algodón	No se hizo identificación microbiológica. Se sume <i>Aspergillus</i> .	Incidencia de AFB1 en materias primas y alimentos <table><tr><th>Producto</th><th>Incidencia (%)</th><th>Media µg/kg</th><th>Rango µg/kg</th></tr><tr><td>Maíz</td><td>12,5</td><td>20,7</td><td>3,9-66,1</td></tr><tr><td>Sorgo</td><td>24</td><td>10,6</td><td>1,4-42,6</td></tr><tr><td>Soya</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>Torta de arroz</td><td>36,4</td><td>20,5</td><td>1,0-52,8</td></tr><tr><td>Harina de semilla de algodón</td><td>88,2</td><td>5,3</td><td>1,5-11,4</td></tr><tr><td>A. aves</td><td>40</td><td>6,9</td><td>1,5-23,2</td></tr><tr><td>A. Cerdos</td><td>43</td><td>6,8</td><td>1,7-12,3</td></tr></table> > 25% de los alimentos usados para aves de corral y cerdos tuvieron presencia de aflatoxinas. > Mayor presencia de aflatoxinas en alimentos mezclados que en piensos. > Niveles máximos permitidos en Col: 10 µg/kg maní, 20 µg/kg alimentos para aves de corral, 30 µg/kg cereales.	Producto	Incidencia (%)	Media µg/kg	Rango µg/kg	Maíz	12,5	20,7	3,9-66,1	Sorgo	24	10,6	1,4-42,6	Soya	0	0	0	Torta de arroz	36,4	20,5	1,0-52,8	Harina de semilla de algodón	88,2	5,3	1,5-11,4	A. aves	40	6,9	1,5-23,2	A. Cerdos	43	6,8	1,7-12,3	Cromatografía (TLC). Céspedes y Díaz (1997)
Producto	Incidencia (%)	Media µg/kg	Rango µg/kg																																	
Maíz	12,5	20,7	3,9-66,1																																	
Sorgo	24	10,6	1,4-42,6																																	
Soya	0	0	0																																	
Torta de arroz	36,4	20,5	1,0-52,8																																	
Harina de semilla de algodón	88,2	5,3	1,5-11,4																																	
A. aves	40	6,9	1,5-23,2																																	
A. Cerdos	43	6,8	1,7-12,3																																	

Cartagena, Guadalajara de Buga, Medellín, Mosquera y Bogotá	Alimentos mezclados y piensos usados en aves de corral y cerdos. ● Maíz ● Sorgo ● Soya ● Torta de arroz	Zearalenona (ZEA) (<i>F. graminearum</i> , <i>F. Tricinctum</i> , <i>F.</i> <i>Oxysporum</i> , <i>F.</i> <i>sporotrichioides</i> y <i>F.</i> <i>moniliforme</i>)	<table><tr><th>Producto</th><th>Incidencia (%)</th><th>Media µg/kg</th><th>Rango µg/kg</th></tr><tr><td>Maíz</td><td>6,1</td><td>145</td><td>29-260</td></tr><tr><td>Sorgo</td><td>55,6</td><td>746</td><td>36-3956</td></tr><tr><td>Soya</td><td>0</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>Torta de arroz</td><td>31,8</td><td>351</td><td>44-1621</td></tr><tr><td>Harina de semilla de algodón</td><td>52,9</td><td>138</td><td>57-263</td></tr><tr><td>A. Aves</td><td>36,7</td><td>145</td><td>44-797</td></tr><tr><td>A. Cerdos</td><td>37,5</td><td>323</td><td>86-629</td></tr></table> > 37% de las muestras presentaron contenidos de ZEA, principalmente en sorgo > Hubo altos niveles en alimentos para animales y en preparaciones mixtas para cerdos	Producto	Incidencia (%)	Media µg/kg	Rango µg/kg	Maíz	6,1	145	29-260	Sorgo	55,6	746	36-3956	Soya	0	-	-	Torta de arroz	31,8	351	44-1621	Harina de semilla de algodón	52,9	138	57-263	A. Aves	36,7	145	44-797	A. Cerdos	37,5	323	86-629	HPLC	Díaz y Céspedes. (1997)																								
Producto	Incidencia (%)	Media µg/kg	Rango µg/kg																																																										
Maíz	6,1	145	29-260																																																										
Sorgo	55,6	746	36-3956																																																										
Soya	0	-	-																																																										
Torta de arroz	31,8	351	44-1621																																																										
Harina de semilla de algodón	52,9	138	57-263																																																										
A. Aves	36,7	145	44-797																																																										
A. Cerdos	37,5	323	86-629																																																										
Guadalajara de Buga, Medellín, Mosquera, y Bogotá.	Alimentos de animales a base de maíz FB1: 35 granos enteros 15 harinas de maíz precocidas 8 palomitas de maíz 7 de maíz 6 arepas Bocadillos de maíz 6 Almidón de maíz FB2: 10 alimentos de maíz, 8 pienso de gluten de maíz, 4 harinas de gluten de maíz, 2 de alimentación completa y 1 harina de germen de maíz)	<i>Fusarium moniliforme</i> Fumonisin B1 y B2.	<table><tr><th>Producto</th><th>Incidencia (%)</th><th>Media µg/kg</th><th>Rango µg/kg</th></tr><tr><td>Maíz grano</td><td>53,3</td><td>486</td><td>25-2170</td></tr><tr><td>Harinas de maíz precocidas</td><td>86,7</td><td>118</td><td>25-230</td></tr><tr><td>Maíz reventón</td><td>50</td><td>168</td><td>78-246</td></tr><tr><td>Harina de maíz</td><td>57,1</td><td>216</td><td>36-408</td></tr><tr><td>Arepas</td><td>33,3</td><td>53</td><td>44-61</td></tr><tr><td>Snacks de maíz</td><td>33,3</td><td>76</td><td>24-127</td></tr><tr><td>Almidón de maíz</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>Total(alimentos para humano)</td><td>55</td><td>218</td><td>24-2170</td></tr><tr><td>Granos de maíz</td><td>91,4</td><td>585</td><td>50-1746</td></tr><tr><td>Alimento de maíz</td><td>100</td><td>1225</td><td>86-2964</td></tr><tr><td>Gluten de maíz</td><td>12,5</td><td>32</td><td>-</td></tr><tr><td>Otros</td><td>2836</td><td>115</td><td>105-124</td></tr><tr><td>Total (alimentos para animales)</td><td>75</td><td>694</td><td>32-2964</td></tr></table>	Producto	Incidencia (%)	Media µg/kg	Rango µg/kg	Maíz grano	53,3	486	25-2170	Harinas de maíz precocidas	86,7	118	25-230	Maíz reventón	50	168	78-246	Harina de maíz	57,1	216	36-408	Arepas	33,3	53	44-61	Snacks de maíz	33,3	76	24-127	Almidón de maíz	-	-	-	Total(alimentos para humano)	55	218	24-2170	Granos de maíz	91,4	585	50-1746	Alimento de maíz	100	1225	86-2964	Gluten de maíz	12,5	32	-	Otros	2836	115	105-124	Total (alimentos para animales)	75	694	32-2964	HPLC	Perilla y Díaz (1998)
Producto	Incidencia (%)	Media µg/kg	Rango µg/kg																																																										
Maíz grano	53,3	486	25-2170																																																										
Harinas de maíz precocidas	86,7	118	25-230																																																										
Maíz reventón	50	168	78-246																																																										
Harina de maíz	57,1	216	36-408																																																										
Arepas	33,3	53	44-61																																																										
Snacks de maíz	33,3	76	24-127																																																										
Almidón de maíz	-	-	-																																																										
Total(alimentos para humano)	55	218	24-2170																																																										
Granos de maíz	91,4	585	50-1746																																																										
Alimento de maíz	100	1225	86-2964																																																										
Gluten de maíz	12,5	32	-																																																										
Otros	2836	115	105-124																																																										
Total (alimentos para animales)	75	694	32-2964																																																										

[illegible]

4.3.2 Incidencia de micotoxinas en materias primas y alimentos para el consumo animal

En cuanto a evidencias de ocurrencia de micotoxinas que puedan afectar la salud animal, se identificaron trabajos desde 1997, que en el transcurso de una década fueron abordando distintos tipos de micotoxinas (FUM, AFLA, ZEA) sustratos y alimentos (sorgo, arroz, maíz, trigo, avena, etc.) para distintas especies (aves, porcinos, bovino y ovinos). Sin embargo, son pocos los registros del impacto en la cadena pecuaria a nivel productivo, económico o sobre los efectos toxicológicos directos en la salud, además no determina en muchos el origen de las materias primas empleadas en la elaboración.

Entre la literatura identificada, en el trabajo de Díaz *et al.*, (1997) se detectó ZEA en materias primas y alimentos mezclados para aves de corral y cerdos, que obtuvieron una alta incidencia en insumos como sorgo (55%) y en una alta concentración (746 µg/kg). A su vez, hubo una mayor incidencia de sorgo proveniente de Georgia y Mississippi. En el caso de maíz, la incidencia de ZEA fue de 6%, con niveles que oscilaron entre 40 y 350 µg/kg y un valor medio de 210 µg/kg. Sin embargo, pocos países han establecido tolerancias para ZEA y en los límites establecidos hay un gran rango, ya que varían entre 30 y 1000 µg/kg. Las muestras de sorgo y harina de arroz que sobrepasaban los niveles permitidos de ZEA al encontrarse por encima de los 1000 µg/kg con valores de 1081, 1343, 1645, 2308 y 3956 µg/kg, respectivamente. La muestra de harina de arroz presentó 1621 rezagos / kg (Ver niveles permisibles en: 1.3.4 *Regulaciones de referencia*). Finalmente encontraron una mayor incidencia de ZEA en los alimentos mezclados para cerdos (37%) y aves (36%) aunque las concentraciones fueron menores en alimentos para aves que en alimentos para cerdos (145 y 323 µg/kg, respectivamente).

De este estudio se puede concluir que el monitoreo para este tipo de insumos también es fundamental y debe incluir otro tipo de micotoxinas como ZEA; en consideración de los efectos estrogénicos y afectaciones en la reproducción de bovinos, ovinos y porcinos, así como causa de brotes naturales de toxicosis en cerdos (Leeson *et al.*, 1995). ZEA se considera como una micotoxina importante para el monitoreo de piensos usados en el país por su incidencia y niveles encontrados,

particularmente en sorgo el cual era ampliamente utilizado en la formulación de raciones para cerdos y aves en Colombia.

Actualmente, la regulación colombiana contempla límites máximos permisibles pero estos solo están enfocados al consumo humano y se encuentran en un rango entre 20 - 350 µg/kg de acuerdo al tipo de producto o fracción de la molienda del maíz (Resoluciones 4506 de 2013 y 3709 de 2015) y la normativa dada desde el ICA, solo presenta niveles permisibles para AFLA en piensos de acuerdo con el ICA (Directiva Dip - 30 - 100 - 002), aunque la NTC 535 de 2015 contempla un límite de 0,1 y 1,0 µg/kg para cerdos en distinto nivel de desarrollo.

Perilla y Díaz (1998) detectaron FUM en alimentos para el consumo animal a base de maíz, en muestras capturadas en distintas ciudades (Guadalajara de Buga, Medellín, Mosquera y Bogotá), con una incidencia promedio del 75% en insumos como granos de maíz, alimentos de maíz y otros, con valores promedio de concentración de FB1 de 694 µg/kg en un rango entre 32-2964 µg/kg, siendo el mayor contaminante identificado. En el caso de esta toxina, vale la pena retomar que en animales se relaciona con afectaciones como leucoencephalomalacia en caballos y edema pulmonar en cerdos, induce cáncer hepático. En el caso de FB1, los resultados fueron una incidencia promedio de 58% con 283 µg/kg, y un rango entre 44-987 µg/kg. Es fundamental señalar que en todos los productos, el contaminante principal correspondió a FB1. También se han realizado aislamientos de hongos toxigénicos como *Fusarium* en piensos como en sustratos de maíz, sorgo, soya o harina de semillas de algodón, los cuales llegan a registrar una incidencia superior al 70% de las muestras del estudio, en sustratos como trigo y arroz (Acuña *et al.*, 2005b).

También se ha evidenciado presencia de *Aspergillus* spp. en alimentos para consumo animal en el cual 24 de 50 aislamientos correspondieron con *Aspergillus* con capacidad de producción de AFLA, lo que evidencia la presencia de cepas altamente tóxicas en este tipo de alimentos en Colombia (Díaz *et al.*, 2009 en Sánchez, 2014).

4.3.3 Incidencia de micotoxinas en campo

Entre los trabajos revisados, solo se identificó un solo trabajo en Colombia con registros de incidencia de aflatoxinas en campo. Aun cuando este tipo de contaminación se considera moderada, con niveles promedio alrededor de los 20 µg/kg, Acuña, Díaz, y Espitia (2005) reportaron un caso icónico de ocurrencia en el país, ocurrido en septiembre de 2001 que registró una incidencia muy elevada (100%) y de altos niveles de contaminación de AFB1 (>100 µg/kg) en la costa atlántica colombiana (Cereté, Córdoba) no registrado previamente.

Este caso tuvo una incidencia significativa ya que afectó 50.000 hectáreas de maíz (*Zea mays*) de las variedades blanco y amarillo, por lo cual se asume que estaba destinado tanto al consumo humano como animal. En un alto porcentaje involucró el híbrido DK 4004 (maíz amarillo) y se presentó una disminución en la producción cercana al 35%. Al analizar la micoflora presente en muestras de lotes de maíz de esta cosecha se encontró una gran diversidad de especies fúngicas como *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. ochraceus*, *A. tamarii*, *A. fumigatus*, *Fusarium moniliforme*, *Rhizopus* spp., y *Penicillium* spp. A partir de detección por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) se detectaron altos contenidos de AFLA. Adicionalmente se comprobó la toxigenicidad de las especies aisladas empleando sustratos y condiciones adecuadas para la producción de AFLA, OTA y FUM.

➤ Este reporte señaló la ocurrencia natural de aflatoxinas en campo como altamente inusual ya que preferencialmente se forman durante el almacenamiento. Los principales factores que condujeron a este brote fueron:

Elevada pluviosidad: de 378,3 mm, cuando promedios históricos estaban entre 27,2 -165,9 mm para meses anteriores. Se favoreció la dispersión de esporas por viento y lluvias.

Presencia de plagas: *Spodoptera frugiperda*, plaga endémica que destruye el grano y permite la entrada de hongos.

Fenotipo de maíz: el fruto no se inclinó (6-8°), lo que permitió la entrada de agua lluvia e híbridos que tenían pocas hojas de cobertura que no confluyeron en el vértice de la mazorca, dejando granos expuestos.

Otros estudios se han preocupado por realizar aislamientos en campo de muestras de maíz, sorgo y arroz; así como de la evaluación de la toxigenicidad a partir de la producción de micotoxinas *in vitro*. A su vez, se caracterizaron molecularmente cepas de *Fusarium*.

Salazar (2016), identificó 14 distintas especies de este género en aislamientos de cultivos de maíz y realizó la detección molecular de las micotoxinas del grupo de los tricotecenos, zearalenona y fumonisinas a partir de PCR y su cuantificación mediante la prueba de ELISA. Encontró que el cultivo de maíz es uno de los que más se ve afectado por diferentes especies del género *Fusarium* siendo las especies *F. verticillioides* y *F. graminearum*, las que pueden llegar a causar una reducción considerable en las cosechas y alterar la calidad con la presencia de toxinas, no solo en el grano sino su consecuente transferencia en productos derivados de la cadena alimentaria.

En este estudio se encontraron además las especies: *F. graminearum*, *F. equiseti*, *F. verticillioides*, *F. proliferatum* y *F. oxysporum*. Sin embargo, la frecuencia y variabilidad genética del patógeno, de genes de resistencia y la virulencia en los aislamientos capturados en los cultivos, dependen de: las condiciones naturales, la presión de selección recíproca entre el hospedante y el patógeno, la acción del medio ambiente. Los valores obtenidos desde medio de cultivo mostraron una alta cantidad de FUM en cultivos de maíz.

Entre las causas de estos hallazgos de alta diversidad, Salazar (2016) retomó la teoría de gen a gen de Flor (1971) en la que se da una coevolución del patosistema, donde la expresión de resistencia del hospedante condiciona la expresión de genes de patogenicidad del patógeno. Además, puede haber aumento en la presión de las poblaciones del patógeno a partir de prácticas de cultivo como el mejoramiento, la ampliación de la frontera, el uso de fungicidas, entre otras que pueden favorecer la expresión de nuevos genes de virulencia y polimorfismos de patógenos.

Este estudio detectó micotoxinas desde el campo en el hospedante: en maíz, hubo presencia de fumonisinas, tricotecenos y zearalenona, siendo las fumonisinas las más abundantes. Por otra parte, en la caracterización morfológica de las cepas identificadas se determinaron distintos complejos de acuerdo con los caracteres morfológicos y filogenéticos: Complejo de especies de *F. graminearum* CSFG (*F. graminearum*); Complejo de especies de *F. oxysporum* CSFO (*F. oxysporum*); Complejo de especies de *F. solani* CSFS (*F. solani*); Complejo de especies de *F. fujikuroi* CSFF (*F. proliferatum*, perteneciente al subclado Asiático, *F. verticillioides*, perteneciente al subclado Africano, *F. guttiforme* perteneciente al subclado Americano) complejo de especies de *F. chlamydosporum*; Complejo de especies de *F. incarnatumequiseti* (*F. incarnatum*, *F. equiseti*) y Complejo de especies de *F. decemcellulare*. No obstante, muchos de los aislamientos no produjeron micotoxinas y son menos patogénicos al afectar en menor medida el desarrollo productivo de la planta (Salazar, 2016).

4.3.4 Aportes a metodologías de detección

Teniendo en cuenta que los métodos de detección se basan en propiedades físicas o polaridades, suelen ejecutarse para la determinación de un solo grupo de micotoxinas relacionadas, a pesar de que la muestra pueda presentar contaminación por distintos tipos de toxinas. Se identificó el desarrollo de un nuevo método de detección simultánea de 22 micotoxinas para distintos granos. En el caso de maíz, se optimizó la extracción a partir del uso de acetonitrilo (Díaz *et al.*, 2010).

4.4 Principales necesidades de investigación identificadas

En esta aproximación que se limitó a los trabajos registrados en el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia y a trabajos reportados en la plataforma *Scienti* - Colciencias, así como aquellos que llegaron a publicarse en revistas indexadas a plataformas como *Scielo* o *Scopus*, se evidenció que, existe un desarrollo de la temática y se identificaron investigadores que han abordado la problemática desde distintos tipos de estudios desde finales de la década de 1990.

De acuerdo con las líneas generales de desarrollo identificadas, se observó que en el ámbito nacional se han abordado algunas de ellas en un número restringido de experiencias, en el caso del maíz y sus productos. Sin duda, es un campo del conocimiento en desarrollo que requiere apoyo en el país, debido a cuatro aspectos fundamentales: i) su seguimiento contribuye a establecer estrategias en favor de mitigar y disminuir la exposición al riesgo para la salud en general, ofrecer mejoras de largo plazo en el bienestar y disminuir el impacto económico posible ii) el aseguramiento de la calidad e inocuidad de un producto como el maíz, es elemental para la salud pública en razón de que hace parte importante de la dieta en la población nacional al contar con un gran arraigo cultural con el cultivo iii) la evidente complejidad de las

redes de mercado de este producto, de un lado, en lo referente a la importante magnitud de maíz de origen importado, la ausencia de mecanismos que garanticen la utilización con respecto a su uso; y de otro lado, la amplia distribución del cultivo que existen en la producción nacional, ya que integra distintas regiones y centros de consumo, con sus respectivos condicionamientos ambientales, tecnológicos y culturales y iv) los nuevos retos de la agricultura en el marco del cambio climático y de fenómenos de variabilidad climática.

Aunque existen grandes vacíos de información en los distintos eslabones de la cadena de producción de maíz y sus productos tanto para el consumo humano y animal, existen valiosos reportes que identifican aspectos relevantes sobre la gravedad del riesgo en algunas poblaciones y circunstancias específicas como lo es el caso de Córdoba, la Amazonía y el grado de exposición de poblaciones altamente arraigadas al consumo de productos como la arepa en el caso de Antioquia, entre otros. Sin embargo, los registros no llegan a abarcar de manera representativa el territorio nacional, ni a revisar los diferentes productos derivados del maíz, así como tampoco generar registros en las distintas fases o mecanismos de procesamiento (almacenamiento, sistemas de secado y trilla, diagnóstico de transporte u otros

productos derivados de la cadena productiva) así como su impacto directo sobre la salud en general

En la misma línea, Salazar (2016) manifiesta la necesidad de realizar estudios de detección de micotoxinas en alimentos de consumo directo, materias primas y productos procesados que generen la información para determinar la inocuidad de los alimentos consumidos, es fundamental reconocer la necesidad de generar información de manera sistemática, tanto en la producción primaria de maíz con destino al consumo humano y animal, y de acuerdo a los flujos de mercado que este producto tiene (importación y producción interna).

Además, con aspectos que permitan identificar los factores que predisponen la contaminación para el planteamiento de alternativas de manejo desde las condiciones de cultivo, cosecha, almacenamiento y distribución.

A pesar de que existen algunos trabajos en torno al control biológico de hongos generadores de micotoxinas en campo, hace falta información localizada y sobre distintos hongos productores de micotoxinas. De los distintos estudios que fueron identificados en Colombia, se planteó la necesidad de fortalecer aspectos productivos y de desarrollo para el cultivo del maíz como la infraestructura de secado y el planteamiento de establecer esquemas de monitoreo y vigilancia. Además, teniendo en cuenta los hallazgos señalados con respecto a la variación de la incidencia y niveles de contaminación de Díaz *et al.* (2001), se hace fundamental avanzar en la generación de conocimiento atendiendo a dinámicas estacionales, regionales y de susceptibilidad de los materiales cultivados.

Aunque se identificaron algunos estudios de resistencia a hongos patógenos como *Fusarium*, se ha determinado que la frecuencia y variabilidad genética del patógeno, de genes de resistencia y la virulencia en los aislamientos capturados en cultivos como el maíz, dependen de distintos factores como: las condiciones naturales, la presión

de selección recíproca entre el hospedante y el patógeno y la acción del medio ambiente. Si bien hay registros sobre susceptibilidad en una variedad cuya mazorca no logra cubrir a la totalidad de los granos producidos y que bajo condiciones favorables para la incidencia, pueden generar contaminación, por lo que la información aun es escasa para mejorar el control y los genotipos cambian frecuentemente.

También es fundamental el desarrollo del seguimiento de micotoxinas a piensos desde una perspectiva de prevención de la ocurrencia de efectos nocivos a la salud animal en el ámbito nacional, lo que dará con el seguimiento a las materias primas importadas. Lo anterior constituye un aspecto de la producción pecuaria, si se quiere, que a la vez puede tener efectos de tipo económico al reducir los impactos en gastos adicionales por el suministro de insumos como aditivos para contrarrestar el efecto nocivo de micotoxinas.

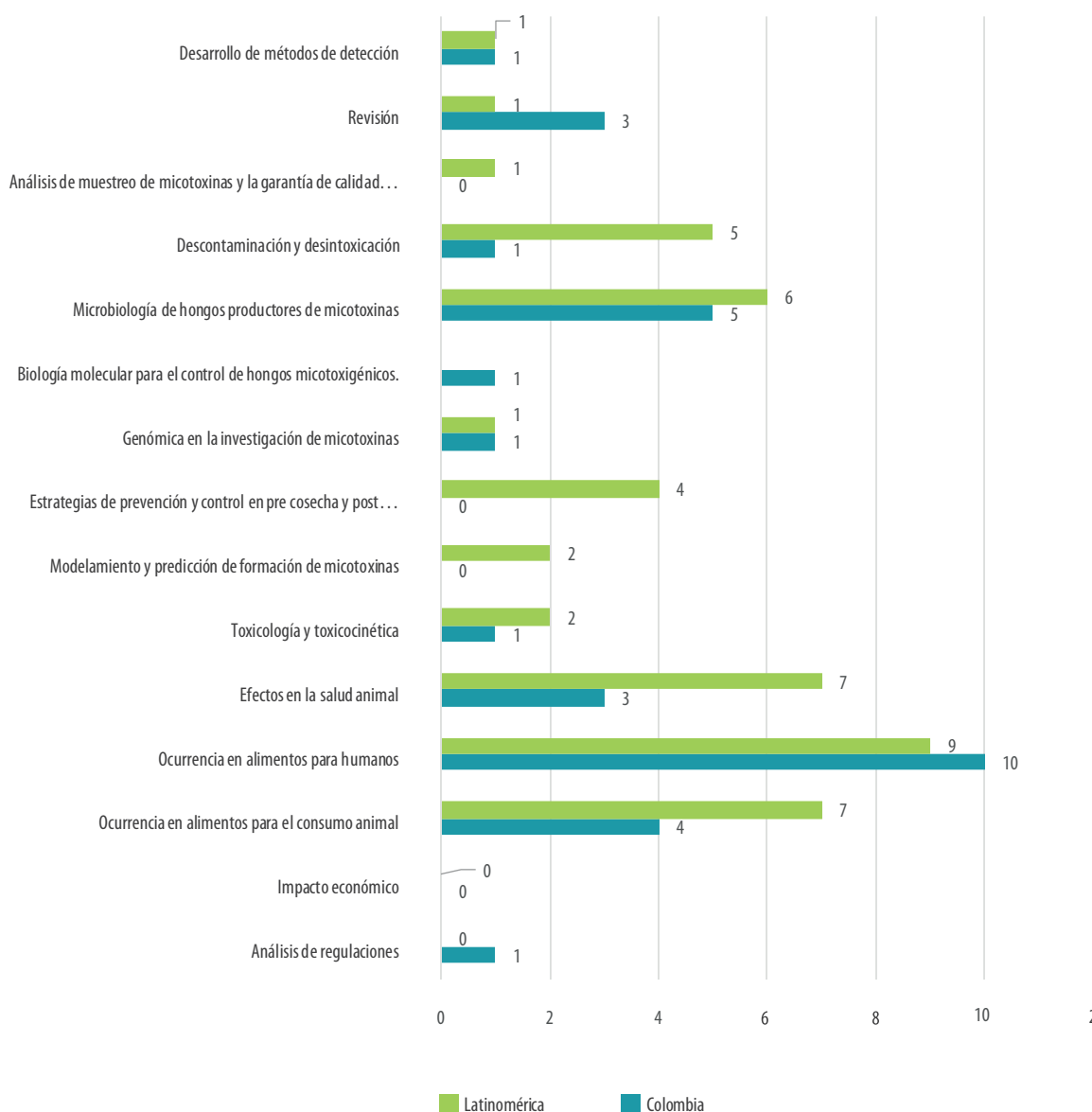
La generación sistemática al respecto, permitiría el desarrollo de trabajos enfocados a: i) modelamiento y predicción de ocurrencia de micotoxinas en distintas fases o épocas en la producción, ii) establecer estrategias de prevención y control en cosecha desde condiciones locales. A su vez, permitiría establecer lineamientos propios desarrollados de acuerdo a los patrones de consumo local. Sin embargo, hasta el momento no se identifican procesos establecidos de sensibilización, generación de conocimiento y planteamiento de alternativas tecnológicas para la prevención y mitigación de la contaminación por micotoxinas.

Es altamente probable que la baja producción de información alrededor de esta temática, también se deba a las limitadas capacidades de investigación existentes -en la actualidad- en el país. La plataforma *Scienti* de Colciencias⁹⁶, solo registra dos grupos de investigación que a nivel nacional indican de manera expresa entre sus líneas de investigación trabajos sobre micotoxinas. Estos son: *Medicencias research group (sin clasificar)*, que ha trabajado en Micotoxinas y Neurotoxicología

⁹⁶Grupos con trabajos en micotoxinas: https://sba.colciencias.gov.co/Buscador_Grupos/busqueda?q=micotoxinas&pagenum=1&start=0&type=load

y *Biosalud* adscrito a la Universidad de Caldas (categoría C), por lo que, se hace evidente la necesidad de promover su desarrollo desde el direccionamiento de recursos para investigación, la capacitación o construcción de programas de profundización, así como el fortalecimiento de capacidades de investigación, elementos que, en general, vienen siendo reclamados por el país para las distintas áreas del conocimiento (Figura 32).

Figura 32. Temáticas de investigación identificadas en la literatura nacional y en los países revisados en Latinoamérica





05

ESQUEMAS DE INSPECCIÓN, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CALIDAD Y DE LA CONTAMINACIÓN

El objetivo de este capítulo es referenciar las principales características de los sistemas de inspección, vigilancia y control de la inocuidad y la calidad del maíz comercializado o de los productos alimentarios que ingresan a los principales países importadores de este alimento. Esto incluye la identificación de las principales instituciones, regulaciones, estándares y procedimientos que conforman dichos sistemas, los cuales fueron revisados en dos perspectivas: desde los principales exportadores de maíz como Estados Unidos, Brasil y Argentina y de acuerdo a los sistemas de ingreso de alimentos por parte de los grandes importadores del grano a nivel global como Japón y Corea.

Se obtuvo información de diversa naturaleza, profundidad y grado de especificidad de acuerdo al desarrollo de los sistemas observados. A su vez, se identificaron un conjunto de prácticas y estructu-

ras de referencia que logran ofrecer información suficiente para el planteamiento de propuestas sobre el desarrollo de los esquemas de vigilancia y control de la inocuidad en el ámbito nacional frente a la importación de alimentos.

Adicionalmente, se presentan brevemente los resultados del Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos de la Unión Europea (RASFF) para 2018, entorno a hallazgos de inocuidad y riesgos en alimentos importados. En esta región se identificaron iniciativas como *MyTool-Box* y *Mycokey*, proyectos basados en TICs para mitigar la contaminación por micotoxinas en las cadenas alimentarias desde enfoques integrados y multidisciplinarios, así como otros esquemas de gestión a nivel organizacional.

5.1 Perspectiva de exportadores

Se examinaron aspectos relevantes del aseguramiento de la calidad e inocuidad del maíz para exportación en países como Estados Unidos, Brasil y Argentina. En el primer caso se identificó un grado avanzado de desarrollo logístico, lo que se constata con el desarrollo normativo, el complejo desarrollo estructural a partir de agencias específicas encargadas de dar soporte al proceso de exportación del grano, así como de control y suministro de información. En el caso de Brasil y Argentina, se identificaron estándares y estructuras de seguimiento en función de la logística y trazabilidad por la cual se rige la movilización de granos.

5.1.1 Estados Unidos

Dada la importancia del maíz en esta economía, se hace un esfuerzo por identificar las principales características del flujo de transporte interno y para los granos de exportación, así como también de los actores y esquemas de vigilancia reportados por USDA.

En cuanto al flujo del grano de exportación se identificó información del Servicio Federal de Inspección de Granos (FGIS), actor determinante en la comercialización al establecer los estándares oficiales para el pesaje, pruebas de seguimiento y calidad y programas de trabajo. Adicionalmente, se analizaron los resultados de inspecciones sobre la calidad y la contaminación del maíz exportado en un rango de tiempo entre 2012 y 2018.

5.1.1.1 Importancia de las exportaciones de maíz

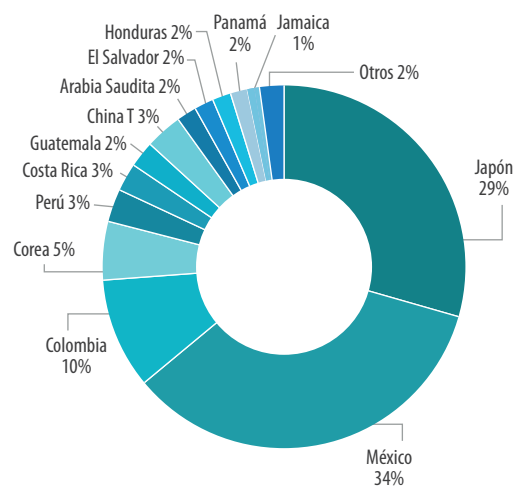
Producción nacional de maíz (amarillo y blanco) y principales destinos de exportación

Como principal productor de maíz en el mundo con 345.894 millones de toneladas en la campaña 2019-2020 equivalente al 31% de la producción total mundial (1.112.834 millones de toneladas). Para el 2019 exportó un total de 47.000.000 t de granos, de las que el maíz ocupó el segundo renglón con 35.861.969 t de maíz amarillo y 1.648.163 t de maíz blanco. Otros cereales transados internacionales fueron trigo (26.669.148 t) y sorgo (2.545.942 t), canola (95.511 t), cebada (20.348 t), avena (3.716 t), semillas de linaza (640 t).

Los principales destinos del maíz amarillo estadounidense han sido en los últimos años: México (12.121.137 t en 2019 y 13.230.864 t en 2018), Japón (10.352.824 t en 2019) que redujo su importación con respecto a 2018 (14.880.586 t), y Colombia (3.464.194 t en 2019 y 5.886.318 t en 2018) (USDA 2020)⁹⁷ (Figura 42). En el caso de maíz blanco, los principales destinos del grano en 2019 fueron México (605.685 t), Colombia (417.912 t) y Corea (4.232 t) (Figura 33). Estas cantidades de maíz salieron principalmente por los puertos del Golfo (59%), el Pacífico (19%) y el Interior (22%) de EE.UU.

Para 2019, las exportaciones de maíz de EE. UU fueron de \$ 7.6 mil millones de dólares, hubo una disminución de cerca de 39%, dado el record reportado en 2018, debido a los retrasos en la siembra, el registro de menores rendimientos, entre otros. Los principales destinos del maíz de exportación fueron: México cuyo monto fue de 2.719 millones de USD, Japón 1.977 millones de USD, Colombia 683 millones de USD y Corea del Sur con 358 millones de dólares, que representan las tres cuartas partes de las exportaciones totales de maíz de Estados Unidos⁹⁸.

Figura 33. Principales compradores de maíz amarillo producido en EE.UU (2019)



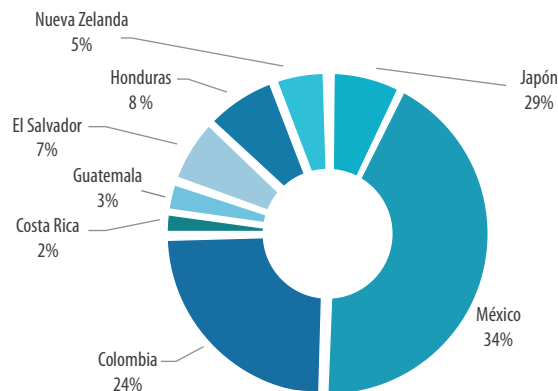
Fuente: USDA (2020).

⁹⁷USDA. Grains inspected and/or weighed for export by región and country of destination (January 2019 - December 2019). Consultado en marzo de 2020 en: https://www.ams.usda.gov/mnreports/wa_gr165.txt

⁹⁸Usda.Corn 2019 Export Highlights. Consultado en marzo de 2020 en: <https://www.fas.usda.gov/corn-2019-export-highlights>

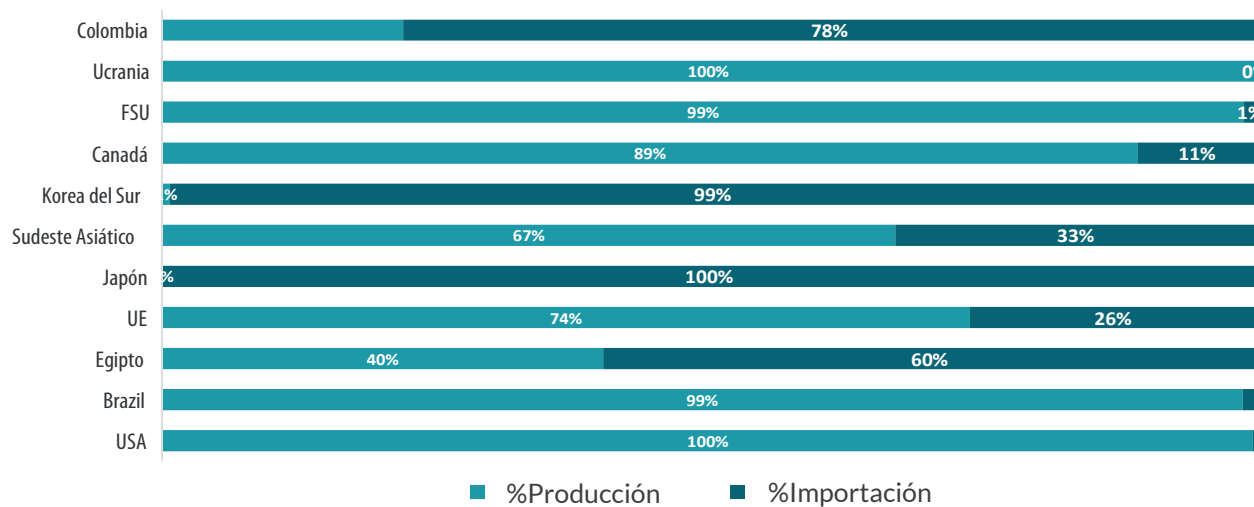
Los principales importadores de maíz estadounidense dependen en gran medida de las importaciones para suplir sus necesidades. En el caso de Japón y Corea del Sur, existe una dependencia absoluta de este producto. Por su parte, Colombia depende en un 78% de las importaciones, las cuales han venido en aumento y cuyo valor, para el año 2018 correspondió a 839 millones de dólares en maíz y 472 millones en productos derivados (Figuras 34, 35, 36).

Figura 34. Principales compradores de maíz blanco producido en EE.UU (2019)



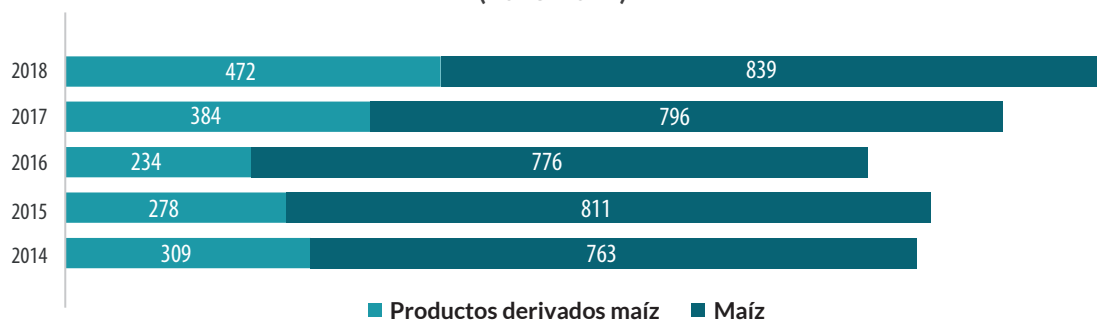
Fuente: USDA (2020).

Figura 35. Comparativo de la dependencia a las importaciones de maíz (Blanco y Amarillo) en distintos países



Fuente: USDA (2019).

Figura 36. Valor de las importaciones de EE.UU a Colombia (Millones de dólares) (2018-2019)



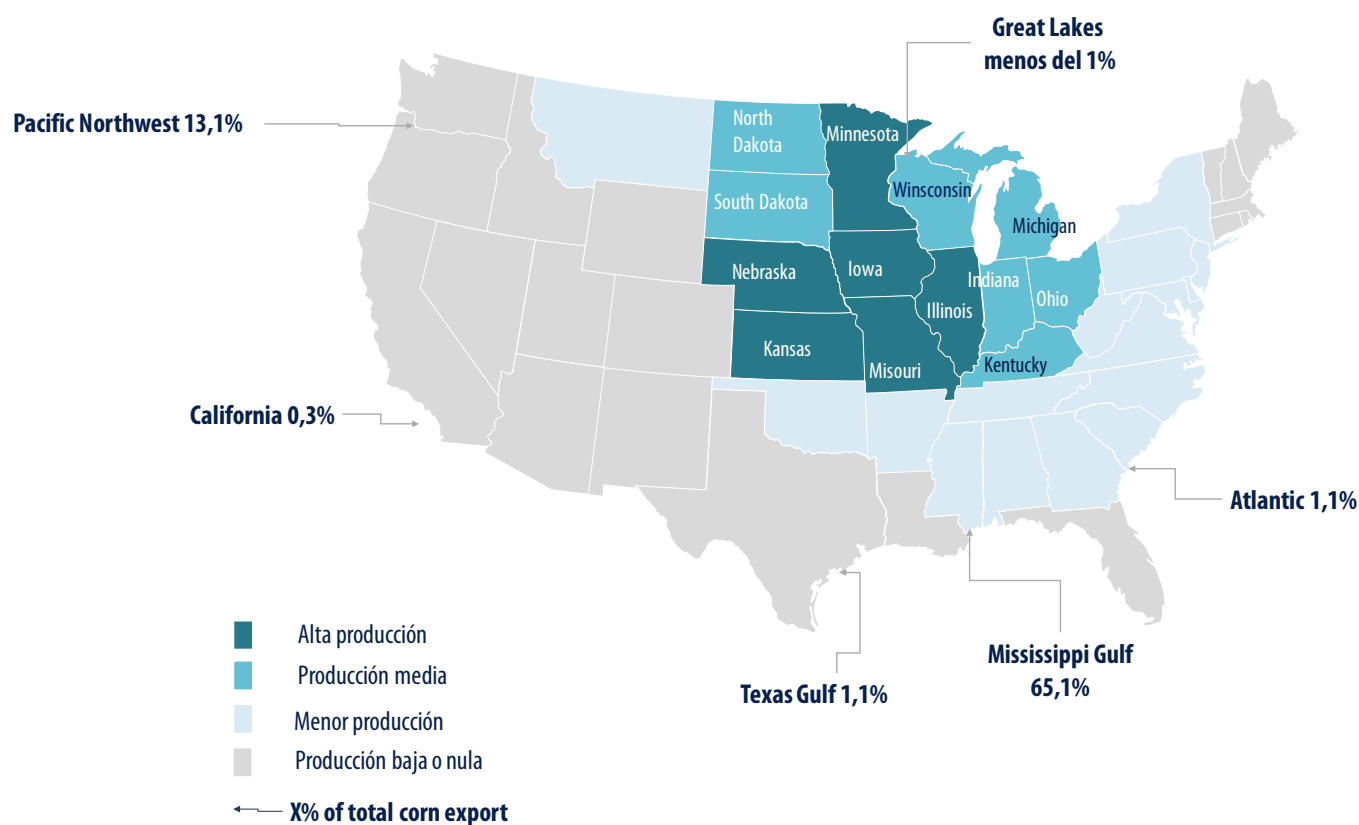
Fuente: USDA Market News, (2018).

5.1.1.2 Principales características del sistema de exportación de maíz

Zonas productivas, sistemas de transporte y puertos de salida de granos en EE.UU

El principal centro de producción en EE.UU es el cinturón del maíz del medio oeste que corresponde a los estados de Iowa, Illinois, Nebraska, Minnesota, Indiana y Dakota del Sur, estados que representan el 65% de la producción nacional. Se transporta a refinerías de etanol, los corrales de alimentación, los molineros y los puertos principalmente por medio de ferrocarriles y barcazas, aunque también participa el transporte terrestre para plantas de etanol a corta distancia. La Figura 37 muestra los principales puertos de salida en 2019 para maíz amarillo.

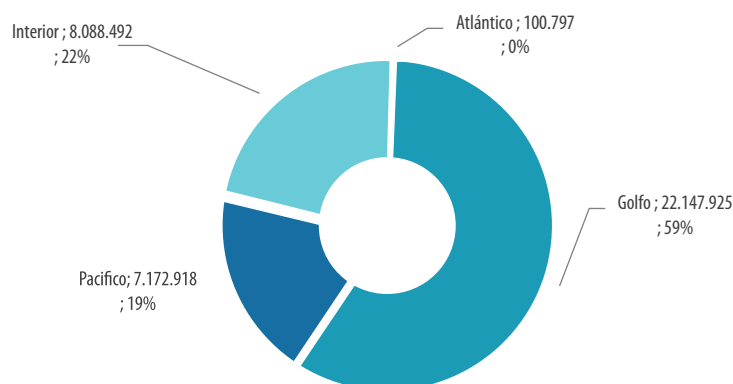
Figura 37. Principales estados productores de maíz en EE.UU



Fuente: USDA, 2019

De acuerdo con reportes de USDA, el maíz se transporta principalmente por medio de camiones antes de salir del país tanto para su uso interno como de exportación. En el caso de maíz de exportación, de acuerdo a los datos de 2006-2011, se encontró que el maíz se transporta por medio de barcaza en un 54%, seguido de ferrocarril (37%) y camiones (9%) hasta los puertos del Golfo o Noreste pacífico. Por supuesto, el transporte para el maíz de exportación es uno de los principales costos e influye en el precio total.

Figura 38. Puertos de salida de maíz producido en EE.UU



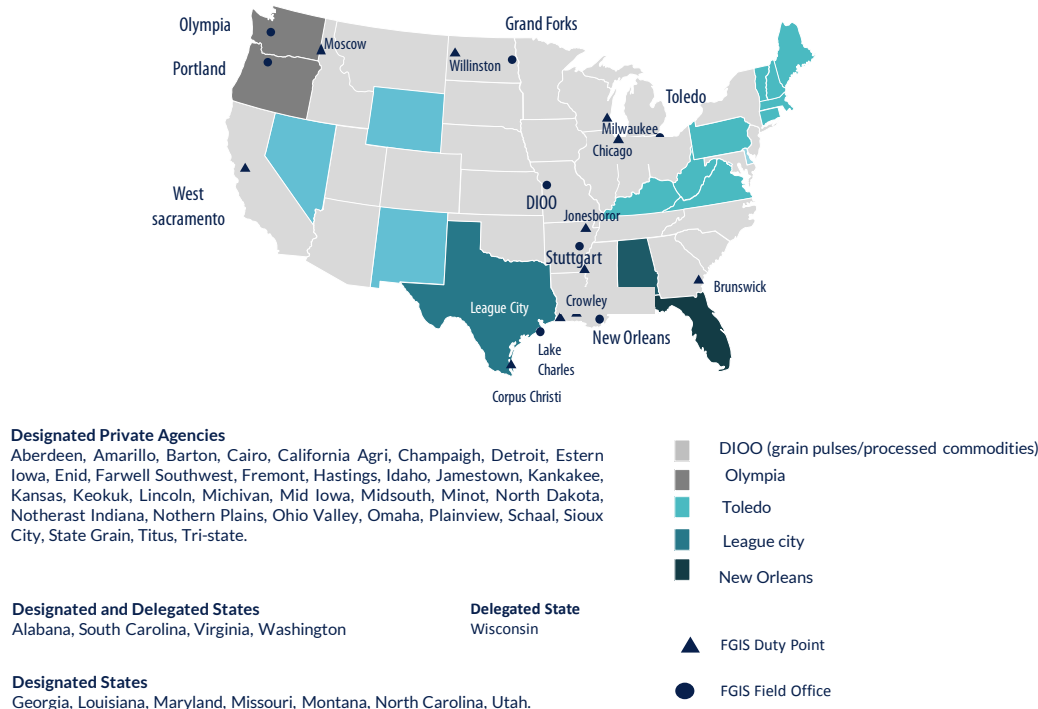
Fuente: a partir de USDA (2020).

Los principales puertos de salida para 2019 fueron: el Golfo del río Mississippi (59%), Pacífico Noroeste (19%), puertos al interior (22%), entre otros (USDA, 2020). La mayoría de granos de exportación se transportan en barcazas por el Río Mississippi y Columbia, en donde ocurren procesos de descarga, almacenamiento y carga del grano en barcos. En algunos casos, la transferencia puede realizarse de las barcazas al barco sin ser almacenados en algún depósito, el cuál puede contener hasta 60 mil toneladas (más de 30 millones de dólares en menos de dos días). GIPSA (*Grain Inspection, Packers and Stockyards Administration*) se encarga de inspeccionar (supervisar, pesar, muestrear, graduar, analizar proteínas o micotoxinas) por medio de sublotes, sin embargo, a veces pueden existir divisiones entre varios clientes en su destino (Figura 50).

Controles previos al embarque

Los controles legales los realizan agencias privadas designadas o Estados delegados (Figura 39). USDA exige una certificación para operaciones superiores a las 15 mil toneladas de granos. En 2017 emitió 100 certificados de registro a particulares y empresas para exportar grano. La supervisión oficial, la realiza FGIS (*Federal Grain Inspection Service*) a partir de 45 agencias oficiales y privadas supervisadas bajo la USGSA, 33 agencias privadas oficiales y 7 agencias estatales oficiales, que en conjunto, realizan la inspección para servicios de mercados internos. Sin embargo, solo 4 agencias pueden ofrecer la inspección obligatoria para la exportación.

Figura 39. Agencias para el control de granos en EE.UU



Fuente: USDA, 2019.

Existen sistemas automáticos de monitoreo del peso de grano para los cargamentos de maíz en EE.UU. usados oficialmente (FGIS) así como ocho sistemas de graneros de exportación. El grano se pesa, se muestrea y se guarda en un contenedor de envío mientras se califica. El grano que ha pasado la inspección se carga en un barco. Para ello, se realiza el pesaje a granel en un recipiente de pesaje o tolva, que por vía electrónica transmite una señal proporcional digital que representa el peso. Este sistema contiene una computadora de registro y compuertas de flujo de grano por donde se transmiten a un conducto transportador. Este esquema cuenta con una serie de protocolos para la calibración, a partir de pesas determinadas con un error acumulado del 0,05% de la capacidad de la escala o una tolerancia de mantenimiento de 0,1% de la capacidad de la escala, más la mitad de una división de la escala (c).

Los depósitos de grano se controlan electrónicamente por medio de una sala de control a cargo del personal de GIPSA, cuentan con sistemas de monitoreo electrónico y de verificación del peso de grano que se carga en el barco. Existen diversos componentes de este sistema de monitoreo y control, entre ellos dispositivos de entrada que generan información, de salida y lógicos que extraen conclusiones y activan los dispositivos de salida y de alerta, adicionalmente tiene indicadores que transmiten información a los operadores, controles, e interruptores de límite.

Además, desde muestreadores de grano tipo desviador ubicados antes o después de la escala, se pueden realizar muestreos con intervalos entre 12-25 segundos, por medio de tuberías y toma de muestra del embudo de recolección, que desemboca en un laboratorio de inspección en donde se clasifica. La muestra capturada se divide, una parte se dirige al laboratorio de inspección federal y otra al laboratorio de control de calidad del depósito.

Servicio de Inspección Federal de Granos (FGIS) (Federal Grain Inspection Service - GIPSA)⁹⁹

Este sistema existe desde 1976, lo administra el Sistema Nacional de Inspección de Granos, instituido en 1916. Es un actor clave en la comercialización de granos y otros productos ya que establece los estándares de calidad oficiales, regula las prácticas de manejo y gestiona la red de laboratorios de inspección y pesaje (federales, estatales y privados)¹⁰⁰. El FGIS y las agencias oficiales que conforman el sistema oficial, brindan servicios bajo la Ley de Granos de

los Estados Unidos (USGSA) y la Ley de Mercadeo Agrícola (AMA) por envíos de granos nacionales y de exportación.

Esta entidad cuenta con lineamientos para la estandarización de las inspecciones comerciales que son de tipo organizacional y técnico así como de mecanismos de manipulación, inspección sanitaria y visual de granos, captura de muestras, determinación de la calidad, inspección de la variabilidad y el control estadístico del proceso, entre otros. Además, se encarga de ofrecer información para que los productores puedan inspeccionar su grano desde procedimientos sencillos en campo desde programas nacionales y material de difusión (cursos, libros, e-books, ayudas visuales, videos, etc.). Entre algunos programas y procesos relacionados con el apoyo para la estandarización de la detección de micotoxinas y pesaje, esquemas de aseguramiento y calibración de instrumentos o procedimientos para que estos organismos oficiales brinden servicios de prueba y certificación de aspectos de calidad de grano. Entre estos esquemas se encuentran:

Programa Nacional de Evaluación de Tipo (NTEP)

A cargo de Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), la Conferencia Nacional de Pesos y Medidas (NCWM) tiene como objetivo promover la uniformidad de resultados desde los métodos de inspección comercial de granos. Para ello, determina los instrumentos de inspección que se deben estandarizar, establece los criterios de desempeño para ellos y desarrolla de materiales de

⁹⁹Ver información completa de FGIS "quick links". Consultados en junio de 2019 en: <https://apps.ams.usda.gov/elearning/Misc/QL.html> / <https://www.ams.usda.gov/about-ams/fgis-program-directives>

¹⁰⁰La Ley de normas de Granos de los Estados Unidos (USGSA) y la Ley de mercadeo agrícola de 1946 (AMA) definen como responsabilidades de este organismo: i) Establecer y mantener los estándares oficiales de granos de EE. UU. para distintos productos como: maíz, cebada, canola, linaza, avena, centeno, sorgo, soja, semillas de girasol, triticale, trigo, grano mixto, arroz y legumbres. ii) Inspeccionar y pesar granos y productos relacionados para el comercio nacional y de exportación; iii) Establecer métodos y procedimientos, y aprueba el equipo para la inspección oficial y el pesaje de grano; y iv) supervisa el sistema oficial de inspección y pesaje de granos. El sistema oficial es una red de oficinas de campo de FGIS, y agencias estatales y privadas de inspección y pesaje de granos en todo el país que están autorizadas por FGIS para proporcionar servicios oficiales de inspección y pesaje y v) Proporciona servicios internacionales y programas de divulgación y protege la integridad del sistema de inspección oficial y del mercado en general, para garantizar que los mercados de granos y productos relacionados sean justos y transparentes.

referencia estándar y otros medios necesarios para la calibración o prueba y sus instrumentos. La División de Ciencia y Tecnología de FGIS en Kansas City, Missouri es el único laboratorio de NTEP para equipos de inspección de granos.

Programa de evaluación de kit de prueba rápida (TKE)

Este programa busca pruebas rápidas para la detección de micotoxinas en granos y semillas de oleaginosas. En su evolución y a raíz de las modificaciones de mercado, certifica kits para pruebas rápidas que puedan determinar cuantitativamente los contenidos de: AFLA, DON, FUM, OTA, ZEA o rasgos derivados de la biotecnología.

Programa de competencia en biotecnología para granos

Tiene como objetivo mejorar la capacidad de las pruebas y confiabilidad para aquellas que están enfocadas en granos con OGM y oleaginosas.

Certificaciones de calidad del grano

El Servicio de Comercialización Agrícola (AMS), el Servicio Federal de Inspección de Granos (FGIS) utiliza el Algoritmo Unificado de Humedad de Granos (UGMA) para certificar la calidad de grano y la generación de información para el almacenamiento, establecimiento de precios y rendimiento¹⁰¹ en cumplimiento de la Ley de Granos de EE.UU. Desde instrumentos para la medición de la humedad y su certificación, se evalúa la calidad del grano, con implicaciones en el valor comercial y capacidad de almacenamiento.

Programa para la estandarización del sistema de inspección de peso "Master Scale"

Responsabilidad de FGIS desde 1980, en acuerdo con la Oficina Nacional de Estándares (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología – NIST) y la Asociación de Ferrocarriles Americanos (AAR). Consiste en la calibración anual de las escalas maestras en EE.UU, que son propiedad de estados, ferrocarriles y de FGIS. Las escalas maestras se utilizan exclusivamente para calibrar los vagones de pruebas de peso en ferrocarriles. Estas escalas se calibran y se certifican por laboratorios certificados como el *Master Scale Depot* (MSD) de Chicago, a partir del cual se calibran los estándares de pruebas de peso de campo, carros y vagones¹⁰²

Programa para la reservación de la identidad – USDA (servicio voluntario)¹⁰³

Es una herramienta para demostrar una característica especial (ej. grado de calidad, no OGM, niveles máximos de contaminantes permitidos) en un producto y agregar valor. Esto implica asegurar y certificar la separación de los productos a lo largo de la cadena y de la implementación de una serie de prácticas específicas por parte de los productores. Para ello, es fundamental la identificación de los riesgos y puntos de control, asegurar de manera autónoma la limpieza de equipos entre cultivos (sembradoras, cosechadoras, camiones, vertederos, granos transportadores, secadores y contenedores de almacenamiento) o mantener muestras de semilla, producto y producto entregado (Bill Wilcke, 2001).

Las empresas pueden postularse para que un tercero verifique el cumplimiento de estas prácticas para mantener la identidad, segregación y la trazabilidad de las características únicas en la cadena de suministro, y a partir de auditorías federales se verifica la efectividad del programa. Por lo general, para aplicar a este programa se debe desarrollar un proceso completo de gestión de la calidad de acuerdo con AMS, en donde además de la preservación de la característica, se realizan pruebas de laboratorio para su verificación de las reclamaciones realizadas.

5.1.1.3 Análisis de resultados de inspección a las exportaciones de maíz

De acuerdo a los reportes del Servicio Federal de Inspección de Granos (FGIS), fue posible analizar variables determinantes de la calidad de maíz exportado por EE.UU entre 2012-2019 desde una perspectiva general como específica de sus primeros 15 países importadores de maíz, entre los cuales se encuentra Colombia. Entre las variables consignadas se encuentra: porcentaje de humedad, la proporción de granos quemados, porcentaje de insectos, granos rotos, y niveles de micotoxinas (específicamente aflatoxina y DON).

¹⁰¹Ley de granos (7 USC Sec. 74 (b) (2) y (b) (3) (B), (C), y (E)).

¹⁰²*Master scale program*. Consulta en junio de 2019 en: <https://www.ams.usda.gov/services/fgis/master-scale-program>

¹⁰³*Identity preservation*. Consultado en junio de 2019 en: <https://www.ams.usda.gov/services/auditing/identity-preservation>

Tamaños de muestra para el análisis de micotoxinas para el maíz de exportación

La Tabla 28 consigna la información relativa a las toneladas exportadas en los últimos 8 años, registros de exportación y porcentaje de registros analizados para micotoxinas como aflatoxinas (AFLA) y deoxinivalenol (DON). Se analizaron muchos más registros de exportación anuales de maíz para AFLA, alrededor del 80% en comparación con DON, cuyo análisis ha presentado variaciones, pero su mayor registro correspondió al 11% entre 2012 y 2018.

En 2018 se observó un mayor porcentaje de análisis de micotoxinas, con el 82% de los registros de exportación evaluados para AFLA y el 8% para DON. Adicionalmente el 3% de los registros fueron evaluados para analizar las dos micotoxinas de manera conjunta y detectar contaminación múltiple. En lo corrido del 2019 (hasta agosto) el 65% de los registros han sido analizados para AFLA y el 2% para DON.

Tabla 28. Tamaño de la muestra para la detección de AFLA y DON en las exportaciones estadounidenses de maíz (2012-2018)

Año	Toneladas exportadas	Total registros de exportación	% Analizado Aflatoxinas	% Analizado DON	% Analizado AFLA y DON
2012	33.300.482	4.307	78%	2%	2%
2013	25.066.651	4.633	79%	11%	11%
2014	52.255.807	6.582	80%	5%	4%
2015	47.443.886	4.937	80%	2%	2%
2016	59.853.713	5.554	76%	1%	1%
2017	55.652.306	6.095	74%	4%	3%
2018	71.908.368	8.170	82%	8%	3%
2019	27.337.007	3.820	65%	2%	2%

Nota: El porcentaje de muestras analizadas es sobre el total de registros y no sobre la cantidad de toneladas exportadas. 2019 cuenta con datos actualizados al 12/08/2019. Fuente: Elaboración propia con datos FGIS-USDA.

En la Figura 39 se observan las exportaciones en toneladas y el porcentaje de análisis para detección de aflatoxinas para los 15 primeros países compradores de maíz estadounidense por año. Al evaluar los tamaños de muestra para cada país de destino por separado, se encuentran algunas tendencias particulares. A lo largo de los 7 años de análisis, México y Japón han sido los principales destinos de exportación del maíz estadounidense, en 2018 estos países llegaron a importar 14,3 y 14,8 millones de toneladas respectivamente. A pesar de que sus cantidades importadas

no son muy diferentes, el porcentaje de registros analizados para la detección de aflatoxinas sí difiere significativamente. En el año 2018, las revisiones ejecutadas para el maíz con rumbo a Japón correspondieron al 84% de los registros de exportación, mientras que el porcentaje de revisión para México fue del 47%, una diferencia de 37 puntos porcentuales. Los exigentes controles de las importaciones japonesas pueden ser un importante factor que motiva un exhaustivo análisis de granos exportados desde Estados Unidos hacia este país.

Adicionalmente, países como Cuba y Arabia Saudita tienen bajos porcentajes de evaluación de aflatoxinas. Del total de registros de exportación de maíz enviado de Estados Unidos a Cuba en 2013, solamente se revisó el 13% y en los últimos 4 años este porcentaje ha descendido a cero. Por su parte, los controles a las exportaciones a Arabia Saudita estuvieron alrededor del 18% con excepción del 2012 que registró un 100% de las notificaciones de exportación.

En cuanto Colombia, se evidencia que a lo largo de los 8 años de análisis ha sido un importante destino del maíz estadounidense, especialmente desde el 2013 debido a la entrada en vigor el Acuerdo de Promoción Comercial entre estos dos países (TLC). El porcentaje de revisión de notificaciones de exportación a las que se les realizó análisis de aflatoxinas, en el caso de Colombia se encontró alrededor del 50% durante el periodo analizado. Sin embargo, llama la atención que para algunos años como 2014, 2015, 2016, 2017 y lo corrido del 2019, a pesar de tener niveles de importación de maíz comparables a los de Corea del Sur, el porcentaje de análisis de aflatoxinas de este último país, es superior al de revisión del maíz enviado a Colombia. Incluso en el año 2015, Colombia fue el tercer destino de exportación de grano de Estados Unidos, con 4,6 millones de toneladas frente a 3,4 millones de Corea, sin embargo, el país asiático tuvo una revisión más exhaustiva del 77% de los registros de importación, mientras que Colombia tuvo un análisis del 43% para la detección de aflatoxinas.

Se puede inferir que el porcentaje de análisis para micotoxinas como AFLA y DON que realiza FGIS para las notificaciones de exportación de maíz no está relacionado con las cantidades importadas por cada país, sino que responde a la rigurosidad de los controles fitosanitarios del país importador o el nivel adecuado de protección establecido, tal como se presenta más adelante (Acápite 5.2.3: Corea del Sur) en el caso de los controles de inspección y vigilancia de

países como Japón y Corea del Sur. En cuanto a las muestras analizadas para detección de DON, como ya se evidenció anteriormente, estas son menores en comparación a los análisis realizados para AFLA y están íntimamente relacionados entre sí, pues los registros analizados para DON son un subconjunto de los analizados para AFLA en la mayoría de los años estudiados. En la Figura 42 se observa que países como México, China T (Taiwán), Corea del Sur y Canadá siempre tienen análisis de esta micotoxina por parte de Estados Unidos.

Para México, el principal importador de maíz estadounidense, la muestra se encontró alrededor del 0,18% durante el 2012 y el 2019, para China T la media fue del 4,5%; para Corea del Sur fue del 8,7%; mientras que, para Canadá fue del 68% siendo este el grano más analizado para esta micotoxina en el periodo estudiado. De manera que el maíz destinado a México sigue siendo inferior en el análisis de DON, como lo es en el de AFLA, en comparación al grano enviado a países asiáticos y a Canadá.

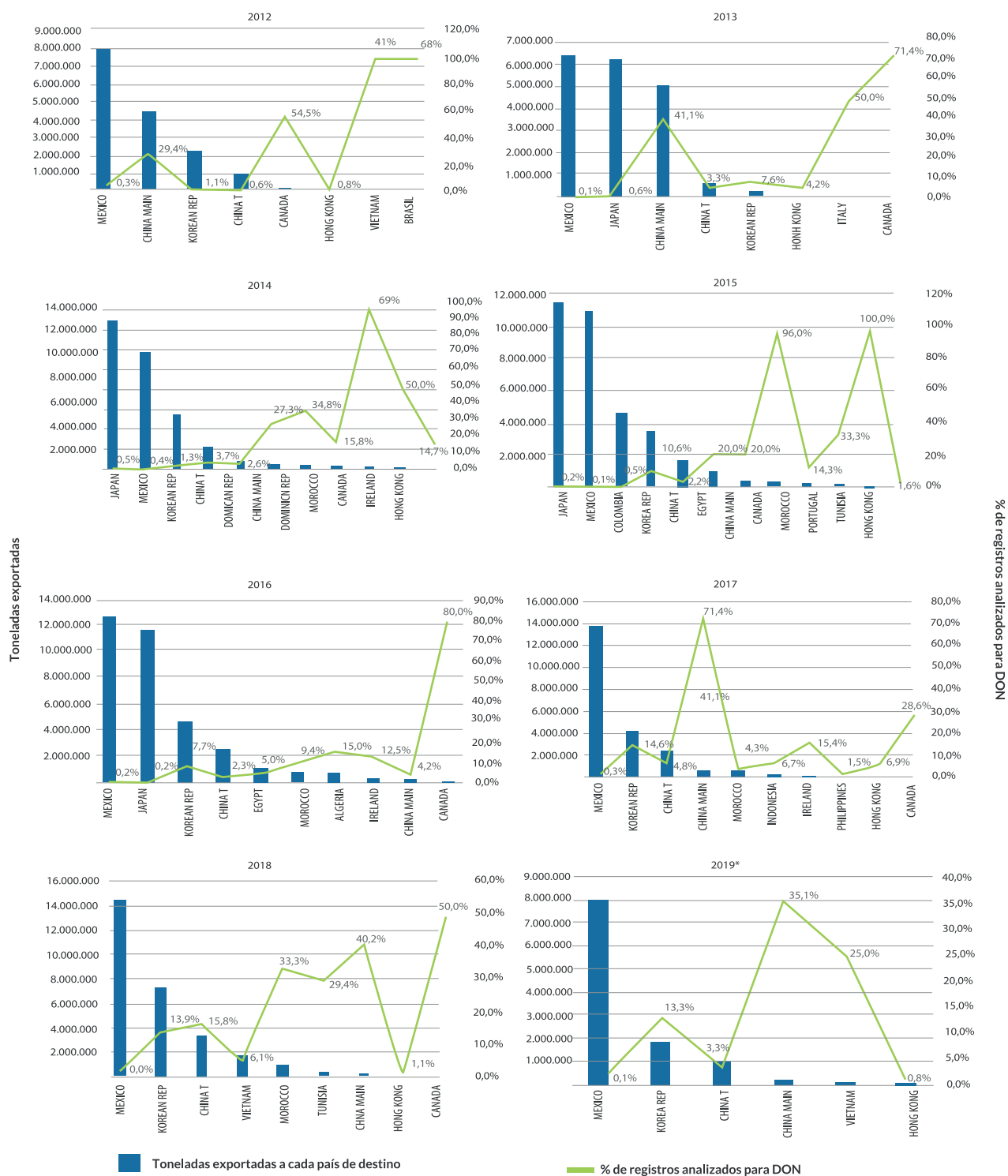
Para Colombia, solo en el 2015 se tomaron muestras para determinación de DON en el 0,5% de los registros de exportación, incluso cuando en este año se importaron más de 4,6 millones de toneladas en 218 registros de exportación desde Estados Unidos. De manera que, sólo 1 registro fue analizado por parte del país exportador para esta micotoxina antes de su envío a Colombia, en donde no se conocen datos ni resultados de una evaluación a este maíz al ingreso, siendo Estados Unidos su único proveedor.

Figura 40. Tamaño de la muestra para análisis de aflatoxinas en las exportaciones estadounidenses de maíz por país de destino (2012-2019)



Fuente: elaboración propia con base en datos de FIGS-USDA. Nota: El porcentaje de muestras analizado se calcula sobre el total de registros de exportación sujetos a inspección para la detección de aflatoxinas y no sobre el total de toneladas exportadas a cada país. El año 2019 cuenta con datos actualizados hasta el 12/08/2019.

Figura 41. Tamaño de la muestra para análisis de deoxinivalenol en las exportaciones estadounidenses de maíz por país de destino (2012-2019)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de FIGS-USDA. Nota: El porcentaje de muestras analizado se calcula sobre el total de registros de exportación sujetos a inspección para la detección de DON y no sobre el total de toneladas exportadas a cada país. El año 2019 cuenta con datos actualizados hasta el 12/08/2019.

Incidencia y concentración de contaminación por micotoxinas en maíz estadounidense de exportación

Aunque la base de registros no discrimina los métodos utilizados para determinar la incidencia con respecto a la sensibilidad y confiabilidad de la prueba, la Tabla 29 consigna el porcentaje de incidencia por tipo de micotoxina. En el caso de aflatoxinas la incidencia es superior al 50% en todos los años, excepto el 2012 y lo corrido del 2019. El año 2017 presentó niveles particularmente altos con el 72% de incidencia para esta micotoxina. Por su parte, la incidencia promedio de DON es del 93%, con los menores registros para el año 2012 que obtuvo una incidencia del 13%.

A su vez, se identificó que el porcentaje de incidencia de contaminación múltiple por AFLA y DON en el total de las muestras analizadas supera el 50% a partir del año 2014 y alcanzó un nivel máximo para el periodo analizado del 86% en 2017. A pesar del tamaño de la muestra, la contaminación múltiple representa un riesgo considerable para la salud animal y humana en el país importador.

Tabla 29. Porcentaje de incidencia de micotoxinas sobre el total de las muestras tomadas para su detección en exportaciones estadounidenses de maíz (2012-2018)

Año	Porcentaje de Incidencia (%)		
	AFLA	DON	AFLA Y DON
2012	23%	13%	1%
2013	51%	91%	29%
2014	61%	90%	50%
2015	60%	95%	52%
2016	67%	91%	67%
2017	72%	98%	86%
2018	61%	98%	66%
2019	44%	90%	27%

Fuente: Elaboración propia con datos FGIS-USDA. Nota: El porcentaje de incidencia se calcula sobre el total de muestras tomadas para AFLA y DON respectivamente. 2019 cuenta con datos actualizados al 12/08/2019.

Tanto las AFLA como las DON presentan niveles de concentración elevados. Resalta en el año 2013, un registro de exportación con 270 µg/kg de contaminación en AFLA y el año 2016 con una muestra de 3.900 µg/kg de DON. A pesar de que los niveles de concentración promedio ofrecen tranquilidad sobre los límites de contaminación, existen registros de una carga contaminante importante (Tabla 30). En lo corrido del 2019 se evidencia una disminución significativa en los niveles máximos de micotoxinas, alcanzando concentraciones mínimas en los 8 años de análisis.

Tabla 30. Niveles máximos y promedio de concentración de AFLA y DON en las exportaciones de maíz estadounidense (2012-2018)

Año	Concentración de AFLA (µg/kg)		Concentración de DON (µg/kg)	
	Máx.	Promedio	Máx.	Promedio
2012	58	3,43	1.700,0	1.700,0
2013	270	3,47	1.900,0	400,7
2014	43	2,52	2.400,0	495,9
2015	13,1	2,27	1.900,0	676,1
2016	66	2,49	3.900,0	700,0
2017	20	2,92	3.800,0	1.139,0
2018	22	3,04	2.100,0	600,0
2019	15	4,38	900,0	210

Fuente: Elaboración propia con datos FGIS-USDA. Nota: 2019 cuenta con datos actualizados al 12/08/2019.

Los niveles de concentración y el porcentaje de incidencia de aflatoxinas para los 15 primeros países importadores de maíz producido en Estados Unidos se presentan en las Figuras 42 y 43.

➤ Se resalta la alta ocurrencia de contaminación con AFLA sobre el total de muestras tomadas por país, que alcanzó el 100% de muestras con algún nivel de concentración en varios países en distintos periodos (Ej. Arabia Saudita en 2014, 2015, 2017 y 2019).

Sin embargo, la concentración promedio es relativamente baja y se encuentra alrededor de 3 µ/kg. Cuba y Arabia Saudita cuentan con los más elevados promedios de contaminación por aflatoxinas en maíz

importado desde Estados Unidos. El primero, tiene una media de 5,6 µ/kg en 2012; y el segundo, alcanzó 5 µ/kg en 2013 y 5,2 µ/kg en 2016. Lo anterior puede estar relacionado con el reducido tamaño de las muestras para estos dos países.

En cuanto a los niveles máximos de aflatoxinas encontrados en las inspecciones realizadas por el FGIS, llama la atención el caso de México con registros de 270 µ/kg (2013), 40 µ/kg (2014) y 66 µ/kg (2016); en el caso de China existen registros de 45 µ/kg (2013), 43 µ/kg (2014) y 22 µ/kg (2018), los cuales no son niveles inocuos por representar un serio peligro para la salud humana y animal al superar los niveles establecidos en estándares como *Codex Alimentarius* y la misma FDA.

Figura 42. Incidencia y concentración de aflatoxinas en maíz estadounidense por país de destino (2012-2019)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de FIGS-USDA. Nota: El porcentaje de incidencia es calculado sobre el total de muestras realizadas para la detección de aflatoxinas que dieron como resultado una concentración mayor a $0,0 \mu\text{g/kg}$. Los datos de 2019 están actualizados al 12/08/2019.

Para Colombia, de acuerdo a esta base, existe evidencia de contaminación con un porcentaje de incidencia de aflatoxinas del maíz estadounidense entre el 44% (2012) y el 90% (2016) durante el periodo de análisis, con un promedio del 72,8% de las muestras de maíz analizadas que registraron contaminación.

El año con evidencias de contaminación más elevadas para Colombia ha sido 2013, donde se tienen registros de maíz con concentraciones de AFLA de 13 μ /kg. Cabe resaltar que estos datos suministrados por la FGIS corresponden a análisis tomados a los granos en los puertos de Misisipi y Texas – Estados Unidos y hasta el momento se desconocen los resultados de los análisis realizados en los puertos colombianos como control de calidad e inocuidad del maíz importado.

Por su parte, los resultados encontrados para la detección de DON, en los países de destino evaluados se muestran en la Figura 43. A pesar de que las muestras tomadas para esta micotoxina no son tan significativas en comparación a las tomadas para aflatoxinas, el porcentaje de incidencia es elevado para la mayoría de los países en el periodo analizado. Especialmente a partir del 2015, el 100% de las muestras estudiadas dieron positivo en algún grado de contaminación en varios países.

En cuanto a la concentración promedio de DON del total de las exportaciones de maíz estadounidense, esta se encontró alrededor de 512 μ /kg. En 2014, México presentó un caso excepcional de una muestra con un nivel de DON de 11.000 μ /kg, el cual es el máximo reportado a lo largo de la serie, seguido por República Dominicana en el mismo año con 10.000 μ /kg y Corea del Sur en 2017 con 5.800 μ /kg, lo cual supera en gran medida el promedio encontrado.

México, China T (Taiwán) y Corea son los países que presentan análisis de DON todos los años desde 2012 a 2019, por lo cual son un referente importante del comportamiento de esta micotoxina en el maíz proveniente de Estados Unidos. En cuanto a México, la concentración promedio oscila entre 1.117 μ /kg en los 8 años de análisis con un porcentaje medio de incidencia del 63%. Por su parte, China T (Taiwán), tiene una concentración media muy inferior de 530 μ /kg, sin embargo, el 83% de las muestras analizadas en promedio, tuvieron algún grado de contaminación por DON. Para Corea la incidencia promedio estuvo alrededor del 73% con una concentración media de 644 μ /kg entre el 2012 y el 2019.

En cuanto al maíz enviado con destino a Colombia, solo en el 2015 se realizaron análisis de DON con una única muestra en todo el año, la cual tuvo una contaminación de 2.000 μ /kg, muy superior a la media total de la serie analizada y evidentemente fuera de norma. Para el resto de años no hay registros de análisis para esta micotoxina por parte de Estados Unidos ni por parte de Colombia en sus puertos de arribo.



Figura 43. Incidencia y concentración de deoxinivalenol en maíz estadounidense por país de destino (2012-2019)



*Fuente: Elaboración propia con base en datos de FIGS-USDA. Nota: El porcentaje de incidencia es calculado sobre el total de muestras realizadas para la detección de aflatoxinas que dieron como resultado una concentración mayor a 0,0 µ/kg. Los datos de 2019 están actualizados al 12/08/2019.

Calidad del grano de exportación

El U.S Grains Council estableció las calidades para el maíz de Estados Unidos, basando su clasificación principalmente en el peso específico, el porcentaje de granos dañados por calor, y el porcentaje de material extraño y granos quebrados (Tabla 31). Los grados de calidad se definieron de 1 a 5 donde 1 es la mejor calidad y 5 la que menor calidad presenta¹⁰⁴.

Tabla 31. Determinación de la calidad de grano de maíz en EE.UU.

Factores de Clasificación	Grados U.S No.				
	1	2	3	4	5
Peso específico					
Mínimo por bushel (libras)	56	54	52	49	46
Granos dañados (%)					
Por Calor	0,1	0,2	0,5	1	3
Total	3	5	7	10	15
Maíz quebrado y material extraño (%)	2	3	4	5	7

Fuente: U.S Grains Council (2018). Maíz estadounidense: Almacenamiento en climas tropicales. (p. 41).

Adicionalmente, existe una calidad inferior al grado 5 denominada SG (*Sample Grade*) la cual tiene las siguientes características (U.S Grains Council, 2018):

- No alcanza los requisitos para los grados U. S. #1, 2, 3, 4 ó 5, ó
- Contiene 8 ó más piedras que tienen un peso agregado en exceso a 0.2% del peso de la muestra, 2 ó más pedazos de vidrio, 3 ó más semillas de crotalaria, 2 ó más semillas de ricino, 4 ó más partículas de materia extraña desconocida o una sustancia tóxica o comúnmente reconocida como dañina, 8 ó más xantios o semillas parecidas solas o en combinación, o excrementos de animal en cantidades excesivas al 0.2% en 1000 gramos, o
- Tiene un olor a moho, agrio, o comercialmente inaceptable, o
- Se está calentando, o es claramente de baja calidad

Según datos de FGIS, alrededor del 97,5% del maíz exportado a Colombia entre el 2012 y lo corrido del 2019 (agosto) corresponden a grado 2. Al analizarse por tipo de maíz, el grado 2 representa en promedio el 92% de las importaciones de blanco, y el 97% de amarillo. Tanto para maíz blanco como amarillo el grado 1 representa una pequeña parte de las importaciones, en promedio el 8% y el 1,3% respectivamente. Un aspecto preocupante del análisis de las calidades es el hallazgo de importaciones de calidades 3, 4 e incluso SG. En el año 2018 se importaron 22.000 toneladas de maíz ama-

rillo grado SG a Colombia desde Estados Unidos y 1.354 t en el 2014. A pesar de que es una cantidad reducida, no se conoce el carácter de esa importación o destinación dada en relación a las características de este tipo de maíz, que en caso de entrar a la cadena alimentaria representa, sin duda, un serio peligro para la salud humana y animal. Adicionalmente, calidades como los grados 3 y 4 se han importado a lo largo de los años en proporciones importantes tanto de maíz blanco como de amarillo. En el año 2018 se importaron 3.902 t de maíz blanco grado 3 y 1.758 t de grado 4, el 2% de sus importaciones totales.

¹⁰⁴Vínculos de interés:

Directiva 9180.48 de 2009: https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FGISStowageExaminationServices9180_48.pdf

Sitios de servicio de inspección: <https://www.ams.usda.gov/about-ams/programs-offices/federal-grain-inspection-service/contacts>

Tabla 32. Exportaciones de maíz (t) de EE.UU a Colombia por tipo y grado de calidad (2012-2019)

Grado	Maíz amarillo							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	-	-	1.501	24	80.533	121.250	34.059	1.297
2	106.255	605.144	3.812.894	4.303.917	4.209.614	4.584.293	4.913.476	2.504.857
3	-	-	4.411	101.871	23.065	-	25.980	47.597
4	-	-	-	-	-	9.634	-	-
SG	-	-	1.354	-	-	-	22.000	-
Total	106.255	605.144	3.820.160	4.405.813	4.313.212	4.715.176	4.995.515	2.553.751
Grado	Maíz blanco							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	-	-	-	24	17.773	5.301	65.182	7.600
2	55.550	101.720	187.344	225.824	244.721	236.822	248.759	251.489
3	9.924	5.879	-	8.792	-	-	3.902	10.526
4	-	-	-	-	-	-	1.758	-
Total	65.473	107.599	187.344	234.641	262.494	242.123	319.601	269.614

Fuente: Elaboración propia a partir de datos FGIS. Nota: Datos 2019 actualizados al 12/08/2019.

5.1.2 Brasil

Este país es uno de los principales exportadores de maíz, se examina el sistema de clasificación de vegetal para productos de exportación e importación. Se profundiza a continuación sobre los estándares de calidad y aspectos de inocuidad para el maíz.

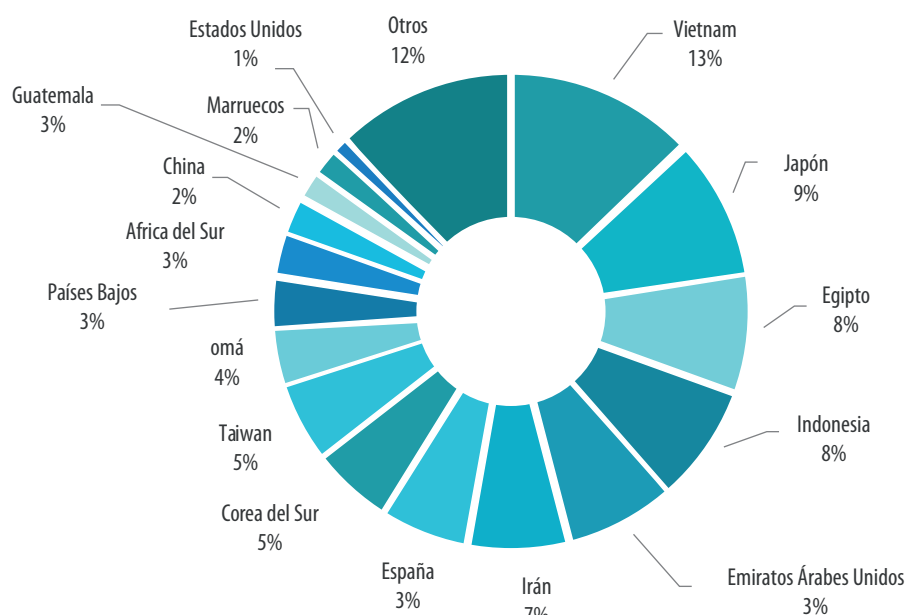
5.1.2.1 Importancia de las exportaciones de maíz

El maíz y la soya son los principales granos producidos en Brasil, ambos suelen cultivarse como sistemas de rotación y están destinados al consumo animal y humano, tanto en grano como en verde. Para 2019, la producción superó las 102 Mt en un área de 18,5 millones de hectáreas y se registró un rendimiento promedio de 5,6 t/ha. En cuanto a las exportaciones de maíz llegaron a más de 34 Mt, lo que lo ubicó en el segundo lugar de producción a nivel mundial, luego de Estados Unidos (USDA, 2019a).

En los últimos años, tanto la producción y las exportaciones han tenido un auge importante al duplicarse. Este comportamiento se explica por factores como la expansión del área cultivada, la obtención de mayores rendimientos, la capacidad climática adecuada para la producción de hasta dos cosechas en el mismo año, en conjunto con el incremento de la demanda por parte del sector pecuario. A su vez, el cultivo cuenta con apoyos gubernamentales y está sujeto a un cambio de divisas favorable para los exportadores. Por otra parte, la inversión en el fortalecimiento de la infraestructura de transporte (puertos, ferrocarriles y carreteras) han contribuido a la reducción de los costos de exportación y tiempos de entrega, en conjunto con el cambio en los patrones de siembra y la expansión del mercado a distintos destinos de Asia, Oriente y África (USDA, 2019a).

En cuanto al valor de las exportaciones de maíz, que llega a ser de US \$ 3.753.164.247, que tienen flujo a partir de 11 puertos, desde 103 micro-regiones y 61 países de destino, principalmente a Vietnam con el 13% de las toneladas exportadas, seguido de Japón (9%), Países Bajos, Egipto e Indonesia (8% cada uno), Emiratos Árabes e Irán (7% cada uno), entre otros (Embrapa, 2020a).

Figura 44. Principales destinos de las exportaciones de maíz de Brasil



Fuente: Embrapa territorial (2020).

5.1.2.2 Inspección, vigilancia y control de la calidad

El aseguramiento de la calidad a productos de origen vegetal destinados al mercado interno y a las exportaciones, depende de procesos de inspección realizados por las Superintendencias Federales de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (SFA), de acuerdo a la Coordinación General de Calidad Vegetal (CGQV), que forma parte del Departamento de Inspección de Productos de Origen Vegetal (Dipov) - Secretaría de Defensa Agropecuaria (SDA) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (MAPA).

Estándares de clasificación de productos vegetales

La Ley de Clasificación Vegetal (Lei No 9.972 de 2000) define estándares específicos para productos vegetales, sus subproductos y residuos de valor económico¹⁰⁵ dirigidos al consumo humano o animal. En el caso del maíz, los estándares son la Instrucción Normativa (IN) MAPA No. 60 de 2011 y para maíz pira la IN MAPA No. 61 de 2011 y No. 4 de 2014. En ellos se determinan los grupos, clases y tipos de maíz de acuerdo a características morfológicas del grano, físicas y de composición de la muestra. El maíz se clasifica en 3 tipos de calidad de acuerdo al porcentaje de granos dañados, rotos, materiales extraños o la presencia de insectos y la clasificación "fuera de tipo" corresponde a que no cumple con los parámetros establecidos y se dan restricciones para su comercialización de acuerdo al daño o procesos de refinamiento, grado de contaminación o el control de la contaminación que se realice. En esta norma se prohíbe el ingreso de maíz al país, en los siguientes casos:

¹⁰⁵ Disponibles en: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1739574738>. Consultado en octubre de 2020.

- Presenta mal estado de conservación, incluyendo aparición generalizada de moho o fermentación.
- Presenta semillas tratadas o semillas tóxicas.
- Tiene olor extraño, inadecuado al producto, que impide su uso para el uso propuesto.
- Supera los límites de tolerancia establecidos para defectos como granos quemados, total de los dañados o “fuera de tipo”.

Al presentar sustancias nocivas o niveles de contaminación superiores a la permitida, se considera como un producto desclasificado, que puede ser usado para fines específicos determinados por la SFA u otros organismos oficiales, que tienen la responsabilidad de definir los procedimientos y el seguimiento del producto hasta su completa “des-caracterización” o destrucción. En estos casos, el propietario del producto o su representante, debe asumir los costos de la operación. La norma permite otros análisis para sustancias nocivas, materiales, agentes biológicos y la detección de OGM, de manera independientemente del resultado de la clasificación del producto.

Por medio de este estándar también se definieron los requisitos y procedimientos respectivos. En el primer caso, el grano debe estar sano, limpio, seco, con un porcentaje de humedad técnicamente recomendada del 14%; aunque si es superior al momento de comercializarlo, el valor debe ser anotado en el certificado de clasificación. En el segundo caso, se brindaron lineamientos frente a la toma y análisis de muestra para la clasificación y sobre la información básica trazable para el maíz de producción nacional y de importación. En el caso del maíz de importación, además de la información sobre la calidad, se exige la inclusión de la información de: país de origen, lote, razón social, inscripción en el Registro Nacional de Personas Jurídicas (CNPJ) o inscripción en el Registro de Personas Físicas (CPF) y el domicilio del importador.

Entre los aspectos de muestreo se señalan las metodologías puntuales de captura de acuerdo al lugar. En el caso del transporte terrestre, ferroviario y fluvial, la muestra debe contemplar tanto el tercio superior, medio e inferior de la carga en una cantidad mínima

de 2 kg por punto; el número de puntos de muestreo depende del tamaño del lote, siendo de 5 puntos si hay hasta 15 toneladas y de 11 puntos para más de 30 toneladas. La conformación de la muestra incluye su homogenización, el corte en cuartos y la reducción a 4 kg, de modo que se generen 4 rutas de la muestra: una para inspección, una para el inspeccionado, otra para solicitudes de peritaje y una última de seguridad. También se definieron mecanismos de toma de muestra en el transporte, equipos de manipulación, de carga o descarga y trasvase o en almacenes.

La norma también define los tamices que deben ser empleados en la separación de granos rotos y materiales extraños, el procedimiento de determinación y aspectos generales de presentación y etiquetado. Adicionalmente, los productos estandarizados cuentan con materiales de referencia fotográfica que permiten identificar y caracterizar los parámetros de clasificación del maíz, desde el Ministerio de Agricultura y Ganadería y Abastecimiento.

Sistema de clasificación

La normatividad establece un esquema de seguimiento a los estándares que se soporta en agencias acreditadoras, clasificadores formados y procesos de fiscalización dado que en caso de incumplimiento se contemplan instrumentos sancionatorios, que incluyen la inmovilización del producto, el decomiso, la suspensión de la acreditación o su cancelación y las multas. Para ello, la clasificación de la calidad y la acreditación de la misma, se realiza por medio de un certificado que se limita al lote de un producto de acuerdo con el Decreto No. 4.680 de 2003, esta información llega a suministrarse al consumidor con el etiquetado. Para el funcionamiento de este sistema existen diversos componentes y herramientas, como lo son:

- Estándares específicos por producto vegetal estandarizado.
- Tasas de costo para la clasificación por producto por tonelada.
- Esquema de registro de establecimientos oficiales para acreditación de la clasificación y de profesionales formados para ello. Para el año 2020 este sistema contó con 5.789 clasi-

ficadores oficiales, de los cuales 3.500 lo fueron para maíz, con 125 instructores (CGQV y Dipov, 2020).

- Esquemas estandarizados de inspección por producto vegetal.
- Control higiénico-sanitario estandarizado por producto vegetal.
- Cursos oficiales sobre clasificación estandarizada de productos de acuerdo con la Instrucción Normativa No. 46, de 29 de octubre de 2009. Se enuncian los requisitos para la realización de los cursos y sobre sus participantes, carga horaria, entre otros.

Trazabilidad vegetal y retiro de productos

Por medio de la IN SDA-MAPA No. 2 (2018) se establecieron los requisitos de la trazabilidad de productos vegetales de consumo humano, su monitoreo y control de residuos de agroquímicos en Brasil. En esta norma se permite el uso de etiquetas impresas con caracteres alfanuméricos, código de barras, código QR, o cualquier otro sistema que permita identificar los productos vegetales frescos de una manera única e inequívoca.

La trazabilidad la asumen los establecimientos que integran la producción, aquellos que se benefician o manipulan productos vegetales frescos, el transporte, lugares de almacenamiento, consolidación y comercialización. En el caso de los productos a granel, el titular del producto vendido al por menor, debe poder presentar información necesaria a la autoridad competente sobre el productor o unidad de consolidación y el nombre del país de origen. Para los productores primarios y unidades de consolidación, se exigen los registros de insumos empleados en producción como lo son los tratamientos fitosanitarios (fecha, recomendación, emitida por el profesional competente) y la identificación del lote consolidado.

De este modo se define cual es la información mínima requerida por actor y tipo de producto, tanto en el eslabón hacia atrás o anterior¹⁰⁶ y la posterior o hacia adelante¹⁰⁷, así como el

tiempo de conservación de los registros (18 meses), la cual es fundamental en la toma de acciones y medidas a cargo de las autoridades competentes.

Registro de establecimientos

Cualquier establecimiento público o privado que trabaje con productos, subproductos y residuos de valor económico vegetal, debe registrarse ante el Registro General de Clasificación de MAPA, de acuerdo con la Ley No. 9.972 (2000). También deben inscribirse obligatoriamente las personas naturales o jurídicas involucradas en el proceso de clasificación de productos vegetales Instrucciones Normativas No. 9 (2019) y No. 97 (2020). También existe el registro de importadores y exportadores.

Etiquetado

De acuerdo con el Decreto No. 4.680 (2003), los productos vegetales estandarizados deben ofrecer información sobre sus cualidades basada en los estándares oficiales. Se debe ofrecer información sobre la existencia de OGM en el caso de alimentos para el consumo humano y animal, cuando ellos contengan más del 1% del contenido, atendiendo al derecho del consumidor de estar informado sobre esta condición. Adicionalmente, los productos envasados de venta a granel o en fresco, deben señalar, según el caso: “transgénico (nombre del producto)”, “contiene transgénico (nombre del ingrediente o ingredientes)” o “producto elaborado a partir de transgénico (nombre del producto)”.

¹⁰⁶Trazabilidad hacia atrás: a) información del producto: nombre del producto vegetal, variedad o cultivo; cantidad de producto recibido; identificación del lote; fecha de recepción del producto vegetal. b) Información del proveedor: nombre o denominación social; CPF, IE o CNPJ o CGC / MAPA (Registro de clasificación general); dirección completa, o cuando se encuentre en una zona rural, coordenada geográfica o Certificado de Registro de propiedad rural (CCIR).

¹⁰⁷Trazabilidad hacia adelante: a) Información del producto: nombre del producto; variedad o cultivar; cantidad de producto enviado; identificación del lote; fecha de envío del producto vegetal. b) Información del comprador: nombre o razón social; CPF, IE o CNPJ o CGC / MAPA (Registro de clasificación general); dirección completa, o cuando se encuentre en una zona rural, coordenada geográfica o CCIR.

5.1.2.3 Inspecciones en el flujo comercial

En este tipo de flujo, la prevención y mitigación de los riesgos a la salud y a la producción parte de diversos reglamentos, procedimientos técnicos, administrativos y operativos de vigilancia agropecuaria que se encuentran consignados en el “Manual do Vigiagro” (2018) (IN MAPA No. 39, 2017), el cual se rige por principios de armonización, simplificación de procedimientos de inspección, transparencia, gestión de riesgo, uso de TIC, para facilitar el comercio internacional, soportar la toma de decisiones y acciones de inspección e intervención coordinada con otros organismos.

Desde la Declaración Agrícola de Tránsito Internacional (DAT) realizada por importador, exportador o cualquier otro interesado en la liberación agropecuaria de productos, se da inicio a los procedimientos de control e inspección agropecuaria. Esta declaración debe presentarse en la unidad Vigiagro para el ingreso, salida o despacho junto con el Certificado Internacional y otros documentos.

En estos procesos de tránsito comercial, la gestión de riesgos agrícolas se basa en niveles de riesgo¹⁰⁸ a partir de los cuales se determinan los tipos o niveles de inspección¹⁰⁹, también se incluyen procedimientos específicos como la verificación de características de la movilización, de condiciones higiénico-sanitarias, de temperatura, operativas, de cantidad, condiciones de envasado, identidad y etiquetado así como de verificación al cumplimiento de requisitos de los países importadores o los establecidos en legislaciones específicas.

Exportación de productos vegetales, sus subproductos y residuos de valor económico

Cuando los países receptores de productos vegetales de Brasil requieren de la clasificación y de una certificación oficial (Certificado Fitosanitario) de productos, MAPA interviene desde la Coordinación General de Calidad Vegetal (CGQV) del Departamento de Productos de Origen Vegetal (Dipov) que monitorea las actividades de inspección e inspección higiénico-sanitaria y tecnológica de los productos vegetales en fresco, procesados o industrializados y sus derivados y se emite una certificación sanitaria internacional de productos vegetales (IN MAPA No. 19 de 2019; Instrucción normativa 29 de 2013) por solicitud de los importadores.

Para el comercio con países de la Mercosur, se identificaron requisitos fitosanitarios armonizados para maíz (*Manual do Vigiagro*, 2018. Anexo XXVI) en la categoría 2 - clase 10, junto con otros cereales, oleaginosas y legumbres, cuyas exigencias incluyen: una documentación específica¹¹⁰, la inspección fitosanitaria y muestreo, la verificación de presencia de plagas y la realización de tratamientos cuarentenarios cuando estén prescritos por entidades idóneas. Entre las exigencias se encuentra contar con el Certificado Sanitario de Exportación, emitido por el Auditor Federal Agropecuario de la Unidad Vigiagro en el punto de salida del producto, el certificado de venta libre o declaración de conformidad. Entre los procedimientos realizados por la Inspección Agrícola Federal de la respectiva Unidad Vigiagro se encuentran la verificación de las condiciones de higiene, sanidad, empaque, almacenamiento

¹⁰⁸ i) origen, ii) destino, iii) ruta de tránsito, iv) alertas sanitarias, zoonosológicas y fitosanitarias, v) actividad del operador de comercio o tránsito internacional; vi) historial de cumplimiento y regularidad, viii) naturaleza y cantidad de la mercancía ix) tipo de operación, x) uso propuesto, xi) medio de transporte, xii) condiciones de almacenamiento, embalaje y transporte, xiii) régimen comercial y aduanero, xiv) condiciones de infraestructura, instalaciones y equipos requeridos para la operación, xv) datos, información y documentos de relevancia para la inspección, xvi) denuncia o sospecha de irregularidad, xvii) perfil de viajero, importador, exportador, transportador, representante legal, almacén, terminal o recinto, xviii) perfil de equipaje, pedido o envío, xix) indicación de imágenes obtenidas por cámaras y otros equipos de inspección no invasivos, xx) indicación por perros detectores, xxi) aleatoriedad, xxii) volumen y frecuencia de ingreso o egreso, xxiii) estacionalidad entre otros.

¹⁰⁹ Las cuales pueden ser: i) simplificado: exento de análisis, inspección, control e inspección sanitaria, fitosanitaria y de calidad de documentos. ii) intermedio obligatorio: análisis documental y, en los casos en que no se encuentre incumplimiento, exento de inspección, control e inspección sanitaria, fitosanitaria y de calidad. iii) Completo: análisis documental, inspección, control e inspección obligatoria sanitaria, zoonosológica, fitosanitaria y de calidad. iv) Especial: procedimiento especial de auditoría e investigación.

¹¹⁰ a) Declaración agrícola de tránsito internacional - DAT. b) Permiso de Tránsito de Vegetales - PTMI cuando el requisito fitosanitario para la plaga está relacionado con el área de producción del producto que conforma el embarque; c) Certificado de tratamiento, cuando corresponda; d) Informe de laboratorio, que contiene datos que permitan la identificación del envío emitido por un laboratorio acreditado por el MAPA. e) Documentación que acredite los requisitos fitosanitarios del país importador, cuando corresponda; f) Copia del Registro de Exportación - RE o documento equivalente; g) Copia del Conocimiento de Embarque o Manifiesto de carga definitiva, que podrá ser presentado posteriormente en la inspección física y aprobación del DAT. Y h) Copia de la autorización del IBAMA para hortalizas, sus partes, productos y subproductos de la flora brasileña en riesgo de extinción - CITES, en su caso.

e identificación del producto al momento de la expedición de la mercadería.

De otro lado se identificaron lineamientos específicos para la comercialización de Maíz con China, el cual se basa en la necesidad de contar con el registro de estos exportadores, productores, accionistas y comercializadores para poder realizar sus envíos a este país, ya que los listados deben ser remitidos y frecuentemente actualizados (Decreto AQSIQ No.177, 2016).

Importaciones de productos vegetales, sus subproductos y residuos de valor económico

Para estos productos se debe dar cumplimiento a la norma oficial de clasificación vegetal de alimentos y productos de origen vegetal, de modo que, si existe un estándar para un producto, la clasificación vegetal es obligatoria independientemente de si la importación se dirige al consumo humano, animal o de uso industrial debe cumplir la norma de clasificación oficial en caso de que exista. En el caso de pequeñas cantidades, esta clasificación obligatoria puede suprimirse (Decreto No. 6.268 de 2007).

La norma oficial para la clasificación vegetal de alimentos y productos de origen vegetal, determinada por el MAPA, la coordina y supervisa el Departamento de Inspección de Origen Vegetal (Dipov), que clasifica y certifica los productos importados. La inspección de los establecimientos que elaboran, envasan y comercializan productos para el consumo es responsabilidad de la Coordinación General de Calidad Vegetal (CGQV), de la Secretaría de Defensa Agropecuaria (SDA) (MAPA, 2017).

En las importaciones de maíz y otros productos como almendras, pistachos, nueces, palomitas de maíz, se requiere de un análisis de micotoxinas efectuado por un laboratorio acreditado por MAPA, cuyos resultados deben cumplir con el LMT de la legislación vigente para que el producto sea liberado en el mercado interno. El costo de estos análisis los asume el importador (Instrucción Normativa SDA/MAA No. 9 de 2002). En la regulación brasilera se reconoce la necesidad de que la contaminación con micotoxinas se encuentre en los menores niveles posibles, por

lo que se deben aplicar las mejores prácticas y tecnologías en la producción, manipulación, almacenamiento, procesamiento y envasado, a fin de evitar que se comercialicen o consuman alimentos contaminados. Los LMT para productos como cereales y maíz son de 20 µg/kg para AFLA; 10 µg/kg para OTA, 2500 µg/kg en el caso de FUM B1+B2, entre otros (Resolução No. 7, 2011).

Plan Nacional de Control de Residuos y Contaminantes en Productos de Origen Vegetal

Cuenta con la participación de diversas instituciones como la Agencia Nacional Sanitaria (Anvisa) que se encarga de revisar la información nutricional del producto, y el Instituto Nacional de Metrología Normalización y Calidad Industrial (In-metro) revisa el tamaño, su contenido e información del etiquetado. En cuanto a la Dipov, se encarga del muestreo y análisis de laboratorio; con la colaboración de otros sectores de la SDA, como el Departamento de Sanidad Vegetal e Insumos Agrícolas (DSV), la Coordinación General de Laboratorios Agrícolas (CGAL) y la Coordinación General del Sistema Internacional de Vigilancia Agrícola (CGVIGIAGRO) (IN SDA / MAPA No 42, 2008)

Este programa se enfoca en la ocurrencia de residuos de plaguicidas y contaminantes químicos y biológicos, tanto para los productos vegetales producidos en Brasil para el mercado interno como para productos de exportación.

A partir de varios subprogramas: i) Monitoreo: para generar información sobre los niveles de distribución de desechos y contaminantes en el país, se realiza para contaminantes con clasificación oficial, ii) Investigación: cuando se detectan infracciones en el seguimiento, iii) Seguimiento a productos de importación: con recolección de muestras en puertos y zonas de frontera para verificar la inocuidad y calidad como aspectos similares a las de productos nacionales del mercado interno, por lo que parte del volumen de muestra se dirige a los productos de importación, a partir de la recolección de muestras oficiales por auditores de impuestos agrícolas federales en propiedades rurales, establecimientos, cuyos planes de muestreo se basan en los lineamientos FAO / OMS, Vol. 3,

Sección 3, 1995. – *Codex alimentarius*. En este programa la trazabilidad es fundamental, los análisis los realizan los laboratorios acreditados. Y iv) Exploratorio: cuando no existen LMP, se verifica la ocurrencia de residuos y contaminantes para generar información sobre la ocurrencia de residuos en cultivos de interés.

Desde este programa se identifican no conformidades, se promueve la expansión de cultivos monitoreados, volumen de muestras, sustancias y el mejoramiento de la representatividad del monitoreo. Adicionalmente se fomenta la adopción de BPAs para apoyar la producción de alimentos con calidad e inocuidad.

Otro de los elementos fundamentales de la revisión en este país es la articulación con el *Instituto Nacional de Metrología, Calidad e Tecnología* (Inmetro), que se encarga de la producción de materiales de referencia a partir de procesos de comparación con la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). En el caso de la detección de micotoxinas, se ha trabajado en ofrecer estos materiales de referencia para maíz y se encuentra en desarrollo el proceso para AFB1. Con ello, se busca ofrecer soluciones de calibración para laboratorios acreditados en la determinación de estas micotoxinas (Inmetro, 2020).

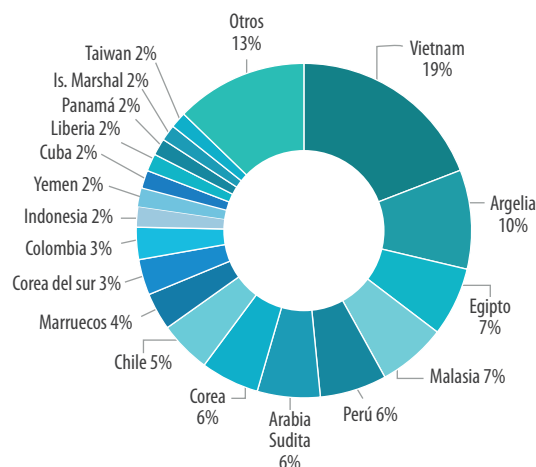
5.1.3 Argentina

Se presentan algunos indicadores sobre la importancia de las exportaciones de maíz para este país (*Acápite 5.1.3.1*), así como de algunos aspectos sobre el esquema de exportación como lo es el proceso de certificación de granos, el control de calidad para el maíz Pisingallo (*Acápite 5.1.3.2*) y fitosanitarios que son específicos para la exportación de maíz hacia China (*Acápite 5.1.3.3*). Sin embargo, no se identificaron informes oficiales consolidados relativos a la calidad y estado fitosanitario del grano de exportación, lo que dificultó la posibilidad de realizar un análisis comparativo frente a los resultados obtenidos con otros exportadores.

5.1.3.1 Importancia de las exportaciones de maíz

Es uno de los exportadores más importantes del mundo, para 2019 registró un mercado de granos de 60.252.164 t¹¹¹. El 57% fueron exportaciones de maíz con 34.819.777 t realizadas por empresas como A.D.M Agro, Cargill, Bunge, Cofco, Dreyfus, Vicentin, entre otros exportadores¹¹²(Figura 45).

Figura 45. Principales destinos de las exportaciones de maíz producido en Argentina (2019)



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Subsecretaría de mercados agropecuarios (2019).

El principal destino del maíz argentino fue Vietnam con el 19% del total de las exportaciones, seguido de Argelia (10%), Egipto y Malasia (7% cada uno). El resto del maíz exportado se distribuyó a países de distintas regiones del mundo como Medio Oriente (Arabia Saudita, Yemen, Jordania), Suramérica (Perú, Chile, Brasil, Cuba, Colombia, Panamá), África (Marruecos, Egipto, Senegal, Liberia), Asia (Corea, Bangladesh, Taiwan, Indonesia) y Oceanía (Is. Marshall) (Figura 57). Los principales puertos de salida fueron: San Lorenzo (salida de: 17.634.143 t), Rosario (10.670.108 t), Bahía Blanca (4.416.385 t), Necochea (1.493.133 t), Zarate (485.915 t), Villa Constitución (71.050 t) y Ramallo (49.043 t).

¹¹¹No incluye exportaciones via terrestres ni en contenedores.

¹¹²Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Subsecretaría de mercados agropecuarios. Consultado en agosto de 2019 en: https://www.agroindustria.gob.ar/new/0-0/programas/dma/regimenes_especiales/Transporte_embarques/granos.php

5.1.3.2 Esquema de certificación de granos de exportación

Institucionalmente, Senasa es el responsable de definir las directrices y recomendaciones para el comercio internacional de granos en Argentina, así como de establecer procesos para la apertura de mercados y parámetros técnicos para la inocuidad, calidad y sanidad de los alimentos de intercambio comercial. Dicha institución planteó un esquema de certificación de calidad para granos de exportación y sus productos, basada en agencias privadas (Resolución No. 302 de 1991. Art. 20 - Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca (SAGyP) y la Resolución No. 44 de 1994 - Instituto Argentino de Sanidad y Calidad Vegetal). Estas agencias pueden ser firmas individuales, comerciales, cooperativas, asociaciones o sociedades civiles, que deben estar inscritas y cumplir requisitos como responsabilidad técnica (Ingenieros agrónomos o peritos clasificadores de cereales) y entre sus responsabilidades se encuentran el supervisar tareas, comprobar BPAs con visitas y asegurar la calidad y certificación del producto; así como disponer de los servicios de un laboratorio (propio o de terceros). El esquema de certificación se basa en normas internacionales de referencia como: *International Organization for Standardization, Association of Official Analytical Chemists, The Grain and Feed Trade Association, Food and Agriculture Organization, World Health Organization*.

Las entidades certificadoras de la calidad del grano¹¹³ deben reportar mensualmente los certificados emitidos por producto, puertos de embarque, destino, finalización de carga, cantidad y calidad a la Dirección de Calidad Comercial y Mercados¹¹⁴. Además deben mantener los archivos y documentos de cada certificación para su verificación por un mínimo de dos años, en el caso de las muestras, se mantienen por un mes luego de expedidas las certificaciones. La vigilancia de estas instituciones la lleva a cabo el Instituto Argentino de Sanidad y Calidad Vegetal, quienes ejecutan la revisión de oficinas, laboratorios, personal e información relacionada con el control y certificación, la documentación y las muestras. En el caso de que se presenten

inconformidades en resultados analíticos, Senasa interviene dirimiendo litigios a partir de análisis de apelaciones ante fueros judiciales.

Sistema institucional para la promoción y certificación de especialidades granarias

Como parte del desarrollo de mercados con valor agregado desde la conservación de la identidad, en Argentina existe un sistema de certificación oficial de adhesión voluntaria basado en la certificación privada de la calidad para varias especies de granos, gracias a la creación del Sistema Institucional para la Promoción y Certificación de Especialidades Granarias (Resolución Senasa No. 61 de 2000).

Sistema de control de calidad para el Maíz Pisingallo

Este país es el principal exportador (95% de las exportaciones) de maíz tipo *popcorn* o reventador con destino al consumo humano. Es empleado en la transformación en dulces y sus características pueden ser reconocidas a partir de esquemas de agregación de valor. Su principal destino es la U.E. por lo que se somete a requerimientos de calidad sobre micotoxinas, residuos, OGMs u otros requerimientos generales de manufactura y trazabilidad de producto.

A partir de la Resolución 517 de 2015, se estableció el Sistema de Control de Calidad para este maíz con destino a la exportación en cabeza de la Dirección de Calidad Agroalimentaria dependiente de la Dirección Nacional de Inocuidad y Calidad Agroalimentaria del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa)¹¹⁵.

¹¹³Firmas controladoras y certificadoras de granos: ABC control, Alex Stewart Assayers Argentina SA, Astoul Bonorino Group SRL, Baltic Control Inspections and Services Argentina S.A., Black Belt Inspections and Management SRL, Braun Melisa, Bureau Veritas Argentina SA, Camin Cargo Control Argentina SA, Camuzzi Analía de los Angeles, CCIC South America. Consultado en junio de 2019 en: https://aps2.senasa.gov.ar/registros/faces/publico/personas/tc_certificadoraspublico.jsp

¹¹⁴No se identificaron informes abiertos y consolidados sobre calidad y condición fitosanitaria del grano exportado.

¹¹⁵Senasa: se encarga de realizar los controles a las exportaciones de productos, subproductos de origen vegetal (Decreto N° 1.585 de 1996).

Este sistema de control se basa en el cumplimiento de requisitos de calidad de exportadores, procesadores, a partir del registro de plantas procesadoras y de almacenamiento con destino a la exportación con renovación anual y sujeto a resultados de los controles efectuados¹¹⁶. Establece requisitos de control y obligaciones. Por ejemplo, el exportador tiene la obligación de declarar la procedencia de la mercadería y contar con sistemas de trazabilidad desde la semilla, producción, transporte y procesamiento. Senasa, debe desarrollar controles y asegurar el cumplimiento de los requisitos por parte de los exportadores, plantas procesadoras y de almacenamiento. Los costos del seguimiento están a cargo de los exportadores.

En este sistema existen procedimientos para el cumplimiento, actualización de los criterios de verificación y un esquema sancionatorio en caso de incumplimiento que aborda penalizaciones como multas, suspensión o cancelación de la inscripción, clausura temporal o definitiva de establecimientos o el decomiso de productos¹¹⁷.

5.1.3.3 Otros aspectos

Protocolo fitosanitario de exportación de maíz a China

Cada país importador establece las características de calidad e inocuidad. En el caso del mercado de maíz producido en Argentina que se dirige al mercado chino, cuenta con un protocolo fitosanitario específico (Senasa, 2012). En él, el Servicio Nacional de Calidad Agroalimentaria (Senasa) debe asegurar que el maíz exportado se encuentre libre de insectos y plagas cuarentenarias importantes para ese país, no sea mezclado o contaminado. Solicita que durante la siembra, se implementen métodos de vigilancia y análisis internacionales para *Peronosclerospora sorghi*, limpieza de grano a partir de zarandeo en el almacenamiento y transporte para reducir impurezas y semillas. En cuanto a los exportadores, elevadores, el almacenamiento y el transporte, se deben cumplir con condiciones cuarentenarias y normas de calidad chinas.

Adicionalmente, se establecen procesos de inspección en puertos de entrada chinos basados en la identificación de plagas cuarentenarias definidas. En caso de ser encontradas se permite someter el material a tratamientos específicos o ser devuelto o destruido, cuyo costo debe asumirlo el exportador. También se contemplan sanciones o suspensiones en caso de incumplimiento¹¹⁸.

Sistema de seguimiento a partir de cartas de porte

Desde el sistema de Registro Único de Operadores de la Cadena Comercial Agropecuaria Alimentaria y el sistema de “Cartas de porte” se posibilita el seguimiento de los flujos del maíz desde distintos frentes: Ministerio de Agroindustria, Ministerio de Planificación de Política Federal y de Servicios (Registro único de transporte automotor) y el Ministerio de Hacienda (Registro fiscal de operadores de granos) (Figura 46).

En este esquema se genera un Código de trazabilidad de granos y carta de porte¹¹⁹ que ampara el traslado del maíz y se obtiene previamente al traslado de la carga. El mecanismo está regulado por la Resolución Conjunta General 2595 de la Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP), que estableció el uso obligatorio de una Carta de Porte para Transporte Automotor y Ferroviario de Granos por vía terrestre, sin embargo, no es obligatorio para el transporte ferroviario o fluvial (Título II, Art. 27) de acuerdo

¹¹⁶Entre los requisitos se encuentra estar inscrito en el registro único de la cadena agroalimentaria, ofrecer información sobre la infraestructura física de la planta, constancias de habilitación local, listado de productos procesados, identificación del responsable, procesos, diagrama de flujo de la mercadería. A su vez, se examina el cumplimiento prácticas en la planta como BPAs, tránsito, zonas de procesamiento, aseo y condiciones específicas de ventilación, aireación y luminosidad, entre otras (Resolución 517 de 2015. Art. 5. Ministerio de Agricultura, Pesca y Ganadería).

¹¹⁷Artículo 18 del Decreto No. 1.585 del 19 de diciembre de 1996, sin perjuicio de las medidas preventivas previstas en la Resolución No. 38 del 3 de febrero de 2012 del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina.

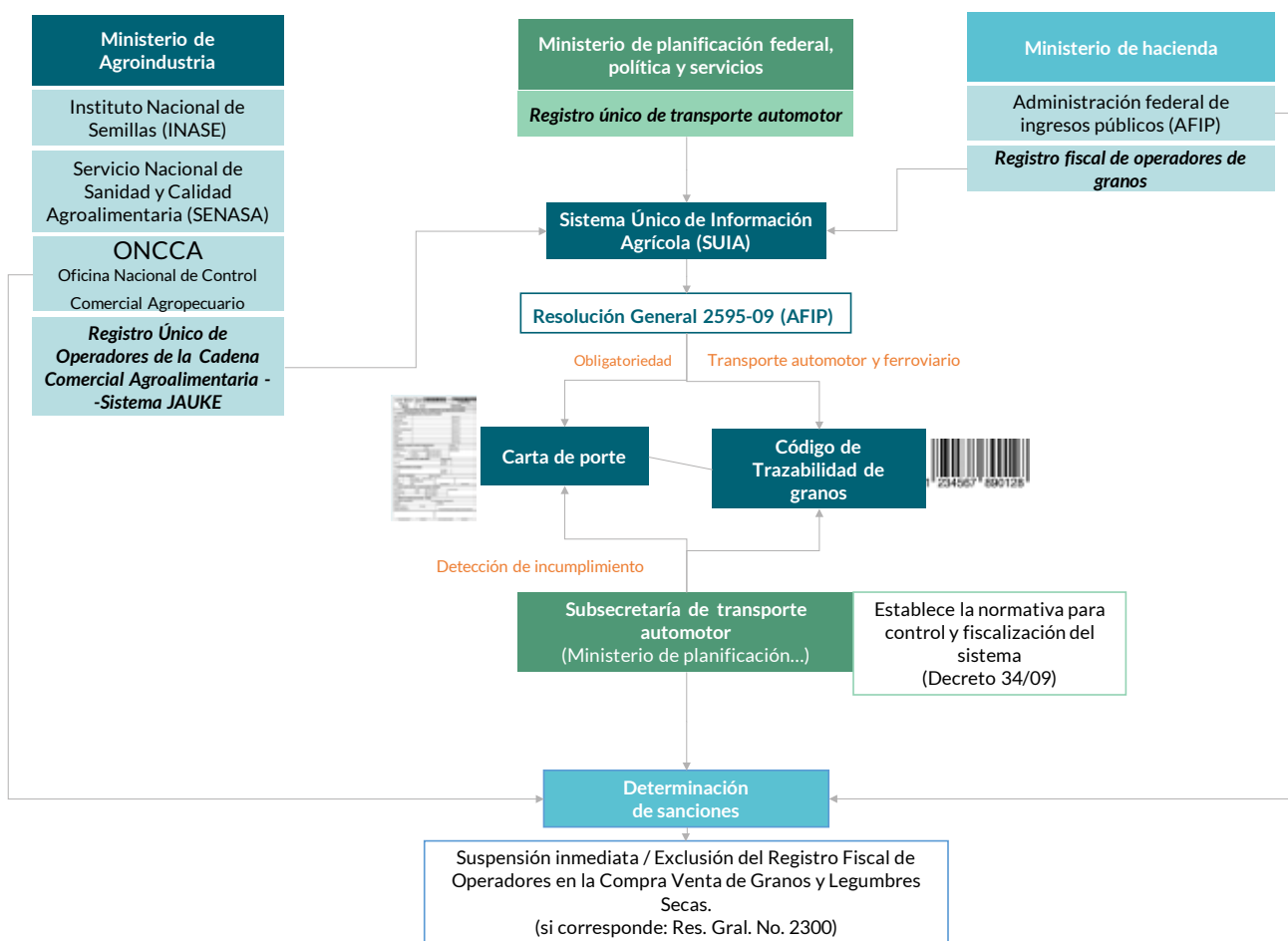
¹¹⁸A pesar de la identificación de los anteriores esquemas de aseguramiento de la calidad e inocuidad del grano de maíz exportado por Argentina, no se identifican informes de seguimiento consolidados. Aunque en la página web de referencia existe un vínculo para este tipo de informes en el caso del trigo, este acceso es denegado, por lo que el análisis en este sentido es limitado.

¹¹⁹Ver proceso en: https://consiagro.files.wordpress.com/2011/01/instructivo_carta_de_porte.pdf

a máximos de carga permitidos (Ley No. 24.449). Para obtener estos requisitos, la carta de porte y el código, se debe solicitar su expedición a través del Sistema Jauke¹²⁰ de la página web de ONCCA, de manera previa al traslado, pues la carga debe estar relacionada con una carta de porte vigente.

Bajo este sistema, la declaración de la calidad y el peso la consigna el emisor de la carta de porte (Art. 21 y 22.). De ser expedida en lugares con equipamiento para pesar, se indican valores de tara, neto y bruto; de no poseer el equipo, el peso no se registra, se demarca con una "x" y ello corresponde a que la carga será pesada en su lugar de destino. El sistema también se apoya en un esquema de registro de peritos clasificadores de cereales, quienes deben acreditar cursos finalizados en las escuelas del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, constancias de matrículas. Está dirigido a Agrónomos quienes deben cancelar un arancel bianual.

Figura 46. Sistema para la expedición de cartas de porte y código de trazabilidad de granos en Argentina



Fuente: elaboración propia a partir de AFIP (2009) RGG. 2595.

¹²⁰Registro Único de Operadores de la Cadena Comercial Agropecuaria Alimentaria – JAUKE: permite realizar los trámites de inscripción a los registros de la ONCCA a través de las páginas web del organismo y la AFIP. La nueva modalidad electrónica de inscripción (Resolución 7953 de 2008), permite que cada operador realice el trámite completando on line una declaración jurada y presentando a posteriori una copia impresa en la agencia ONCCA correspondiente a su domicilio. Allí existen requisitos sobre documentos para obtener el registro como declaración juramentada, encuesta técnica, solicitud de inscripción, encuesta técnica, abono del arancel. Consultado en junio de 2019 en: https://serviciosucesci.magvp.gob.ar/principal.php?nvx_ver=4787

5.2 Perspectiva importadores

Se examinan los esquemas y procesos de IVC para alimentos implementados por los principales países importadores de maíz del mundo. La profundidad de la información en esta revisión, dependió del desarrollo propio de los esquemas de información de cada país, ya que se identificaron variaciones en cuanto a las posibilidades de acceso a la información, mecanismos de difusión y posibilidades de desagregación de datos.

5.2.1 Unión Europea (EU)

De acuerdo con el informe anual del Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos (RASFF) de la Unión Europea, para 2018 hubo 3.699 notificaciones, de las cuales 30% fueron alertas, 13,3% informes de seguimiento, 18,2% llamadas de atención, 38% rechazos de frontera y 0,3% notificaciones informativas (Unión Europea, 2019).

De las notificaciones de RASFF en 2018, el 15,4% tuvieron como causa el contenido micotoxinas en alimentos (569 notificaciones) que en su mayoría se catalogaron como “riesgo grave”. Las micotoxinas fueron el principal agente generador de este tipo de riesgo, en comparación con otras categorías como la adulteración, el contenido de alérgenos o contaminantes, etc. En el caso de AFLA, hubo 342 rechazos fronterizos de productos para consumo humano. No obstante, las notificaciones se dieron principalmente en alimentos como nueces, productos de nuez y semillas, especias, frutos, cereales y productos de panadería que en su conjunto provenían de países como Argentina, Turquía, EE.UU, China, Egipto, Irán, India, entre otros.

Evidentemente RASFF tiene la capacidad de producir información de IVC sobre distintos peligros en los alimentos comercializados en la región y comunicarla públicamente, incluso con alcance a consumidores y a la industria para facilitar el retiro de productos a partir del portal. De otro lado, la Comisión Europea ha venido apoyando desde 2016 dos grandes proyectos entorno a la seguridad alimentaria en el programa Horizonte 2020 bajo el tema SFS-13-2015. Contaminación biológica de cultivos y la cadena alimentaria”, denominados *MyToolBox* (Acuerdo de subvención

No. 678012) y *MycoKey* (Acuerdo de subvención No. 678781) que buscan reducir la contaminación por micotoxinas en las cadenas alimentarias desde enfoques integrados y multidisciplinarios, así como desde la implementación de herramientas TIC.

5.2.1.1 *MycoKey* y *MyToolBox*

Con un presupuesto de 6,431 M€ para ejecución entre 2016 y 2020, este proyecto se financió en un 78% por la Comisión Europea y China en un 22% bajo la coordinación del *Consiglio Nazionale Delle Ricerche* en Italia. Esta iniciativa tiene un modelo de consorcio multidisciplinario, está compuesto 32 organizaciones de 14 países de tres continentes (Europa, Asia y África) con la mayor participación de los Estados miembros y candidatos de la Unión Europea (21), socios chinos (11), Suiza y terceros países (Argentina, Nigeria). Entre sus actores se encuentran universidades (9), centros e instituciones de investigación (14), empresas (8), asociación de productores (1), junto con más de 300 expertos que cubren diferentes áreas que a lo largo de la cadena están trabajando juntos para establecer proyectos y resultados de investigación¹²¹.

De acuerdo con la Comisión Europea (2020), es una iniciativa basada en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), desde un enfoque de mitigación de la contaminación por micotoxinas como AFLA, DON, ZEA, OTA, FUM, Toxinas T-2 y HT-2 para cultivos como maíz, trigo y cebada y frutos secos. Permite el monitoreo integral de DON en trigo y AFB1 y FUM en maíz que puede contar con información meteorológica global y adaptarse a distintos lugares (Versión beta¹²²). Por medio de esta iniciativa se ofrecen:

- Pronósticos rápidos personalizados.
- Información sobre riesgos y contaminación para la toma de decisiones y sugerencias sobre prácticas económicamente viables en campo, almacenamiento, procesamiento y transporte.

¹²¹MycoKey. Consultado en mayo de 2020 en: <http://www.mycokey.eu/>

¹²²Desarrollo y lanzamiento de la aplicación MycoKey (versión Beta): Consultado en marzo de 2020 en <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentId=080166e5b5fae9ba&appld=PPGMS>

- Alternativas para el uso de lotes contaminados.
- Comunicaciones sobre la gestión de micotoxinas mediante la aplicación, además de la relacionada a la legislación, conocimiento y redes.

Entre las acciones clave de trabajo en el marco de esta iniciativa se encuentran:

- Monitoreo de hongos toxigénicos¹²³: a partir de detección rápida de *Fusarium* y *Aspergillus* en campo se han construido modelos predictivos de AFLA y FUM en maíz¹²⁴, se genera información pública sobre el secuenciamiento de especies y la distribución de grupos de genes de micotoxinas. Además, el monitoreo se acompaña de sensores ambientales *in situ* que contribuyen a la generación de mapas geográficos de riesgo. Otros productos del proyecto que se consideran a futuro es el modelamiento predictivo del ciclo de vida de *F. Graminearum* en plantas de maíz y de la producción de DON.
- Monitoreo de micotoxinas: se desarrolla a partir de métodos definidos y avalados para evaluar la contaminación de los cereales como sistemas de detección de AFB1 con perfiles electroquímicos en tiempo real (REP) y aptámeros de ADN para la detección múltiple de toxinas. El proyecto generó como resultado el desarrollo de un prototipo de pruebas de detección múltiple y rápida de micotoxinas *in situ* que ya se encuentra validado.
- Armonización de protocolos: con estos resultados, la iniciativa pretende la armonizar la legislación y las políticas a nivel internacional, así como promover esta estrategia europea de manejo de micotoxinas para el manejo intra e intercontinental con atención en UE y China.

- Prevención en campo: a través de prácticas de reducción de ocurrencia de *Fusarium* y *Aspergillus*; el uso de mecanismos de biocontrol de *F. graminearum* con antagonistas en residuos de cosecha y procesos de rotación de maíz – Sorgo y la selección de híbridos resistentes para reducir la incidencia de enfermedades como el Tizón del oído generada por *Fusarium*.
- Estrategias de intervención: que aplicarse luego de la infección en almacenamiento o procesamiento. Estas son de tipo biológico (Ej. *Clonostachys rosea* agregada a formulaciones aceitosas contra *Fusarium*), físicas, químicas.
- Se han desarrollado en el proyecto nuevos fungicidas y tratamientos y guías para asegurar operaciones en la industria.
- Remediación: a partir del equipamiento para la reducción de micotoxinas a escala industrial, pruebas *in vitro*, estudios de eficacia de sustancias para la degradación de micotoxinas.
- Fomento al uso de seguro: de biomasa contaminada con micotoxinas: biogás y bioetanol.
- Divulgación¹²⁵: desde distintos tipos de medios como documentos, presentaciones, guías, conferencias, cursos, *workshops* técnicos, etc. de acceso abierto para difundirlo a partes interesadas. También se usan mensajes cortos para agricultores y demás usuarios.

Otro proyecto de alto impacto, es *MyToolBox*, el cual cuenta con un plan de acción conjunto de cooperación con *MycoKey*, ya que también se basa en TIC y busca desarrollar, probar y validar herramientas como la resistencia, la gestión tecnológica para monitoreo de contaminantes con el fin de reducir costos.

¹²³Herramientas de monitoreo remoto y en tiempo real para las condiciones climáticas locales. Consultado en marzo de 2020 en: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b2ada2ca&appId=PPGMS>

¹²⁴Plan de la estructura de la liberación de datos. Consultado en marzo de 2020 en:

<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b26c4c7c&appId=PPGMS>

¹²⁵Portal web *MycoKey* 2.0 y materiales promocionales: Consultado en marzo de 2020 en: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5aefb14b1&appId=PPGMS>

5.2.1.2 Modelos de gestión en la agroindustria de la molinería

Se identificaron modelos de gestión que buscan mantener el control del procesamiento del maíz a lo largo de toda la cadena, con el objetivo de agregar valor a partir de esquemas de “Identidad Preservada” de materiales convencionales (No OMGs)¹²⁶ y desde la adopción de estándares internacionales de inocuidad y seguridad alimentaria como ISO 22000 para productos derivados de la transformación del maíz (harina, harina y sémola de maíz) para su comercialización en la Unión Europea desde Francia. Por supuesto, este modelo permite el desarrollo de una estrategia de ventas desde la diferenciación, la integración y el aseguramiento de la trazabilidad y la inocuidad.

Este modelo se basa en la aproximación del eslabón de almacenamiento, secado y transformación con la producción primaria a partir del seguimiento a sus proveedores desde una perspectiva colaborativa. De este modo, el segundo eslabón contribuye a fortalecer la producción primaria a partir de las siguientes acciones:

- El asesoramiento a los agricultores en aspectos productivos sobre clientes, agentes sanitarios, productos, así como la distribución de los insumos necesarios para el cultivo (semillas, agentes fitosanitarios, enmiendas del suelo, fertilizantes), el secado, el almacenamiento y la comercialización.
- El control del proceso de recolección, secado y almacenamiento de maíz en materia de higiene para asegurar productos terminados. Se garantiza que el almacenamiento del maíz se realiza en silos ventilados y que cada lote de maíz se seca dentro de las 48 horas posteriores a la cosecha, lo que facilita el control de la calidad (micotoxinas). Esta acción permite la planeación logística del proceso de acuerdo a la capacidad de almacenamiento.
- Dar garantía a la trazabilidad y la calidad de la higiene a partir de centros de almacenamiento localizados en regiones productoras.

5.2.2 Japón

A continuación se hace referencia a la importancia de las importaciones de maíz por parte de este mercado junto con una descripción general de aspectos de vigilancia y control de la inocuidad que se desarrollan actualmente en este país. Gracias a su riguroso esquema de vigilancia, se identificaron notificaciones realizadas al maíz importado proveniente de Estados Unidos de acuerdo al informe anual expedido por el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de este país.

5.2.2.1 Importancia de las importaciones de maíz

Las importaciones japonesas de maíz para 2019 superaron los 2,7 billones de dólares¹²⁷, los principales países de origen fueron Estados Unidos (69,5%), Brasil (28,3%), Argentina (1,4%), India (0,08%) y Suráfrica (0,029%). En general, la tendencia sobre la importación de alimentos es creciente, ya que se estima un autoabastecimiento alimentario inferior al 40% (Jetro, s.f.) y que el 60% de la calorías consumidas en la población proviene de alimentos importados¹²⁸.

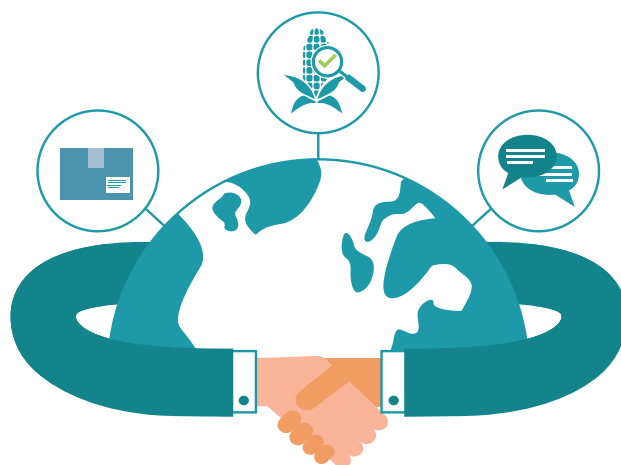
En materia de inocuidad, para la Ley de Sanidad Alimentaria (Ley 48 de 2003. Art.4) y la Ley Básica de Seguridad Alimentaria (Art. 8) el importador tiene la responsabilidad principal de garantizar la seguridad de los alimentos importados. Sin embargo, las estaciones de cuarentena ubicadas en los puertos de entrada que hacen parte del Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar (MHLW por sus siglas en inglés) realizan la detección e inspección de las notificaciones de importación de alimentos para cada una (LSA, Art. 27)¹²⁹.

¹²⁶Ejemplo de este esquema es *Lacadee* un modelo de molinería agroindustrial. Consultado en enero de 2019 en: <https://www.lacadee.com>

¹²⁷OECD (2019). Consultado en junio de 2020 en: https://oec.world/en/visualize/tree_map/subnational_jpn/import/jpn/all/show/2019/

¹²⁸De acuerdo a MHLW. Consultado en: https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/shokuhin/yunyu_kanshi/index.html

¹²⁹Food Sanitation Law. En <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/1.html>



5.2.2.2 Medidas de vigilancia y control de la inocuidad de los alimentos importados

El MHLW, por medio de la Ley de Sanidad de Alimentos 233 de 1947. Artículo 23, párrafo 1¹³⁰, estableció el “Plan de Monitoreo y Orientación de Alimentos importados”¹³¹ el cual ofrece elementos sobre la legalidad de la importación, monitoreo, regulaciones y prohibiciones, así como medidas de emergencia. Derivado de este proceso, la entidad puede:

- Ofrecer información regulatoria para las agencias gubernamentales y operadores.
- Establecer conversaciones bilaterales para solicitar y desplegar causas y tomar medidas de prevención recurrentes por violaciones a la Ley, promover medidas de seguridad mediante controles de seguridad en la etapa de producción, mejora de los sistemas de monitoreo, inspección antes de la exportación, etc.
- Recopilar sistemáticamente información para tomar medidas de seguridad para alimentos importados al Japón, con el objetivo de garantizar la inocuidad alimentaria. Uno de los elementos fundamentales, es la revisión *in situ* a los exportadores.

➤ Los importadores deben notificar al Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar a través de una Estación de Cuarentena de esta entidad, el lugar en donde se almacena temporalmente la carga, lugar en que los inspectores de saneamiento de alimentos realizan un examen e inspección de documentos para ver que los alimentos y productos cumplen con la Ley de Saneamiento de Alimentos frente a estándares de composición, aditivos, sustancias peligrosas, etc., o si existen antecedentes del fabricante o del lugar de fabricación.

Si por los anteriores motivos, hay incumplimiento, se ordena una inspección o la generación de un certificado de notificación, según corresponda.

Como se observa en la Figura 47, el plan de muestreo para 2018 abarcó cerca de cien mil muestras distribuidas en 10 grupos alimenticios. El primero de ellos: alimentos agrícolas procesados tuvo el 21,5% de este muestreo, seguido de alimentos agrícolas (17,6%), productos de pescado procesados (18,8%) y alimentos sujetos a inspección mejorada (10,5%)¹³² entre otros. Por supuesto, de acuerdo al tipo de riesgo existen diversos tipos de análisis.

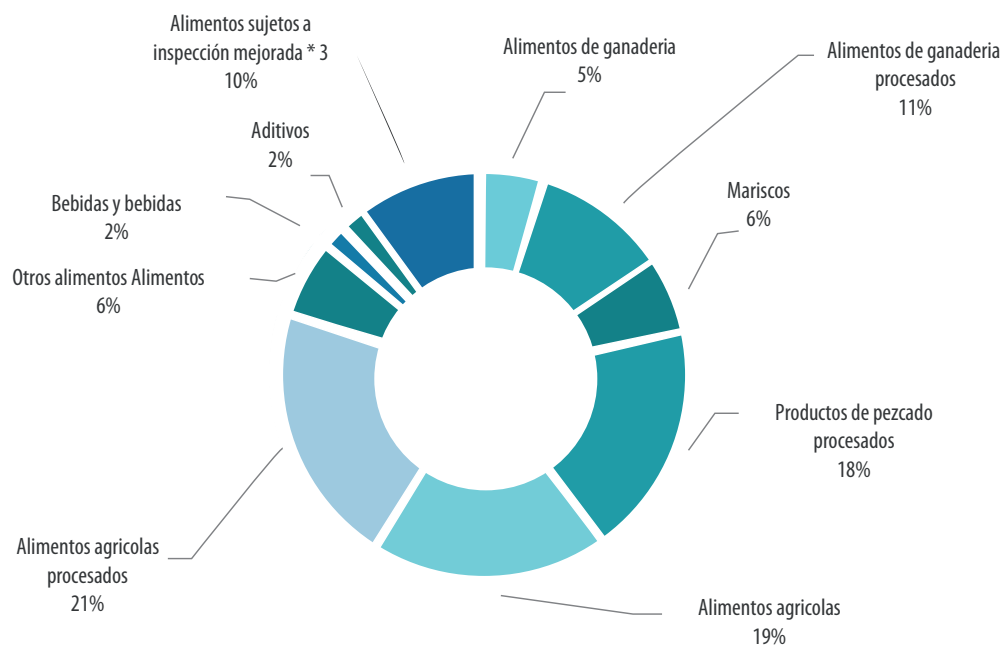
¹³⁰Food Sanitation Act (Act No. 233, 1947).

¹³¹Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar de Japón. Consultado en junio de 2020 en: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/index.html>

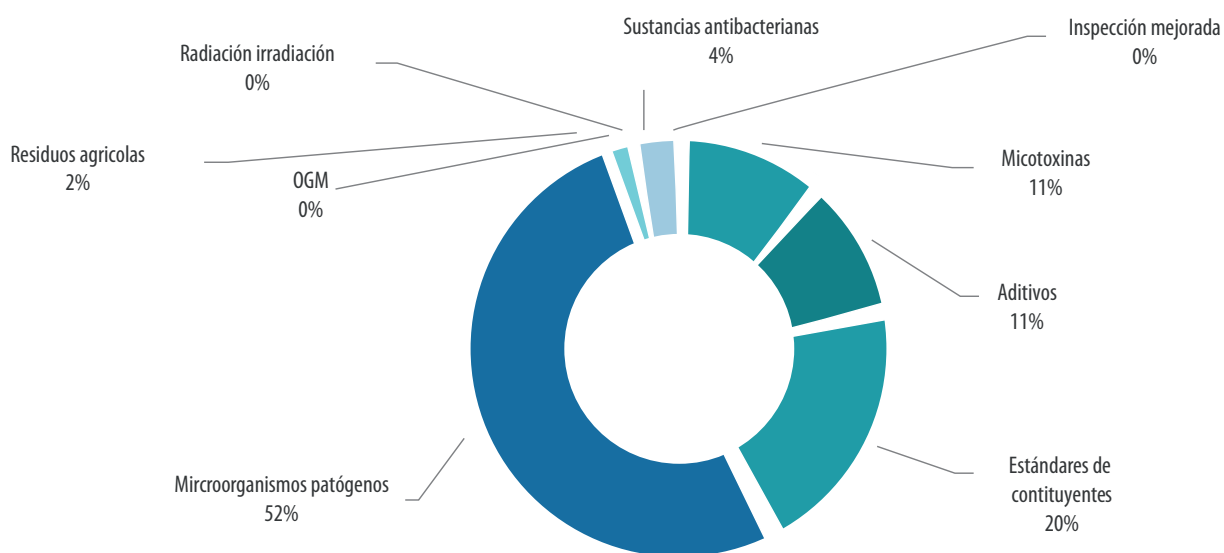
¹³²Inspecciones adicionales realizadas durante la implementación del plan, basadas en la ocurrencia de violaciones e información en el extranjero al momento de la importación.

Figura 47. Esquema de monitoreo de alimentos importados en Japón (2018).

a) Distribución de la muestra por grupo de alimento



b) Distribución de muestras por tipo de inspección



Fuente: MHLW (2018).

En general, en el plan el 52% de las muestras se destinó a la identificación de microorganismos patógenos, seguido del cumplimiento de estándares de constituyentes (20%), de micotoxinas y aditivos (11% cada uno), sustancias antibacterianas, residuos agrícolas, pruebas de inspección mejorada, inspección de OGM y radiación también se monitorearon en un menor porcentaje¹³³.

Específicamente, la detección de micotoxinas estuvo dirigida a distintos grupos alimenticios: alimentos agrícolas y sus procesados como vegetales, frutas y granos (maíz, arroz, frijoles, nueces, etc.) a partir de 2.297 muestras; en el caso de alimentos procesados (congelados vegetales, procesados, productos de frutas procesadas, especias, fideos instantáneos, etc.) se tomaron 2.834, para bebidas (agua mineral, refrescos, bebidas alcohólicas) como el té (118) y otros productos (836) (MHLW, 2018), que correspondieron al 11% de las muestras totales programadas¹³⁴.

En los principios de este monitoreo de alimentos importados, se establece que se deben tomar medias de inocuidad durante las tres etapas de la importación: en el país exportador, en el momento de la importación y en el momento de la distribución nacional (Ley Básica de Seguridad Alimentaria (LBSA). Art.4).

El monitoreo, incluye aspectos legales del proceso de importación, se basa en un enfoque estadístico de inspecciones sistemáticas de acuerdo al volumen, tasas de violación y tipo de alimento importado. En el caso de productos con alta probabilidad de violación, se puede realizar una inspección para importadores, incluso, el MHLW puede llegar a prohibir la venta o importación de alimentos específicos sin realizar las inspecciones, en los casos en que se considere específicamente necesario desde la perspectiva de prevenir daños a la salud pública (LBSA. Art. 8 y 17.).

Otro aspecto en el sistema de inspección de importaciones de Japón, es el suministro oficial de información a todo el público, no solo en lo relacionado al marco regulatorio y del proceso de importación, sino aquella relacionada con los resultados de los análisis en puerto derivado de los esquemas de monitoreo. Adicionalmente, se destaca de este sistema de IVC, que las inspecciones a las que se someten estos grupos alimentarios también incluyen distintos tipos de riesgo como: sustancias antibacterianas, químicos agrícolas residuales, aditivos, microorganismos patógenos, estándares para los constituyentes, OGMs, radiación- irradiación (alimentos agrícolas).

5.2.2.3 Resultados de inspección de alimentos importados en relación a micotoxinas

Entre los resultados obtenidos de este programa de inspección a las importaciones alimentarias, el informe de 2018 señala un número de notificaciones de importación de: 1'228.569 equivalentes a 12,2 millones de toneladas (MHLW, 2018). Bajo este esquema de monitoreo, se inspeccionó el 8,4% del total de las notificaciones de importación con 103.262 artículos en donde se identificaron 385 casos de violación, sobre los que se tomaron medidas de re-envío y eliminación.

Entre los resultados obtenidos para el año inmediatamente anterior (2017), el primer tipo de violación fue el exceso de productos agrícolas residuales, medicamentos veterinarios residuales y bacterias, coliformes, aditivos, OGMs no autorizados para productos como verduras, carne, alimentos acuáticos y procesados¹³⁵, que correspondió al 62,6% de las violaciones identificadas en el esquema de monitoreo con 249 casos. Es fundamental señalar que la segunda

¹³³Implementation of "Imported Foods Monitoring Plan for FY 2018". Schedule 1. Consultado en abril en: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/18/s01.html>

¹³⁴MHLW. Implementation of "Imported Foods Monitoring Plan for FY 2018". Consultado en abril de 2019 en: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/18/s01.html>

¹³⁵MHLW (2018). Consultado en junio de 2018 en: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/1.html>. El reporte 2019 no se encuentra a disposición o consolidado. Fecha de revisión para actualización junio 2020.

¹³⁶Art.11. Normas de composición de alimentos: microbianos, residuos agrícolas y veterinarios.

causa, fue la violación por detección de contaminantes (aflatoxinas) en granos (almendras, pistachos, maíz, higos secos, etc.) formación de hongos y presencia de sustancias tóxicas como cianuro¹³⁷ en el 31,2% de las inspecciones con 124 casos. Otras violaciones correspondieron a la no conformidad para aparatos, envases y embalajes¹³⁸ (3,5%) con 14 casos, uso de aditivos no designados (2,3%) con 9 casos¹³⁹ y la no presentación de certificados de salud o su estado incompleto con 2 casos¹⁴⁰ (Tabla 33).

Tabla 33. Violaciones por disposiciones legales en las importaciones alimentarias de Japón (2018).

Provisión violada	Violaciones (Casos)	Proporción (%)	Detalles
Art. 11. (Normas y criterios para alimentos aditivos)	249	62,6	Violación de normas para constituyentes de verduras o verduras congeladas (exceso de productos químicos agrícolas residuales), violación de las normas para los componentes de la carne, alimenticios, acuáticos y productos procesados (exceso de medicamentos veterinarios residuales y productos químicos agrícolas residuales), violación de normas para los componentes de otros productos procesados (bacterias, coliformes positivas, etc.) violación de criterios sobre uso de aditivos, detección de productos genéticamente modificados no autorizados, etc.
Art. 6. (Alimentos y aditivos prohibidos de distribuir)	124	31,2	➤ Contaminación por aflatoxinas en almendras, cacahuetes, higos secos, maíz, pistachos, etc. ➤ Caries, deterioro y formación de hongos debido a accidentes durante el transporte de trigo, arroz, granos de café, trigo, sarraceno ➤ Detección de cianuro a partir de productos procesados de yuca, etc., ➤ Detección de metanol a partir de brandy.
Art. 18. (Normas y criterios para aparatos, contenedores y embalajes)	14	3,5	Violación de normas para aparatos, envases y embalajes
Art. 10. (Limitación de la distribución, etc. aditivos)	9	2,3	Uso de aditivos no designados (ácido ciclámico, azorrubina, azul patente, carmín, TBQH)
Art. 9 (Limitación de la distribución, etc. De carne enferma)	2	0,5	Ningún certificado de salud adjunto o incompleto
Total	398 (Bruto)*1	--	

Fuente: Inspecciones de monitoreo. MHLW (2018).

¹³⁷Art. 6. Adhesión de sustancias peligrosas o tóxicas como aflatoxinas y cianuro.

¹³⁸Art. 18. Normas para aparatos o envases y embalajes.

¹³⁹Art. 10. Uso de aditivos no designados.

¹⁴⁰Art. 9. Ausencia de certificados sanitarios de carne.

En la inspección de seguimiento o monitoreo, se obtuvieron 82 casos de incumplimiento con medidas para su retiro. Como se observa en la Tabla 34, las infracciones por micotoxinas son la principal causa de infracciones en el grupo de alimentos vegetales y tercero en alimentos procesados, aunque también se monitoreó bebidas importadas¹⁴¹.

Tabla 34. Grupos alimentarios sometidos a análisis de micotoxinas en las inspecciones de monitoreo en Japón (2018).

Grupo alimentario	Sustancias inspeccionadas que ocasionaron retiros	No. de inspecciones	Infracciones
Alimentos de origen vegetal (verduras, frutas, trigo, maíz, legumbres, maní, nueces, semillas etc.).	Micotoxinas	1.371	77
	Químicos agrícolas residuales	5.889	16
	Aditivos	483	3
Alimentos agrícolas procesados (congelados vegetales, procesados, productos de frutas procesadas, especias, fideos instantáneos etc.)	Químicos agrícolas residuales	5.183	66
	Estándares para constituyentes	2.512	10
	Micotoxinas	1.716	1
Bebidas (agua mineral, refrescos, bebidas alcohólicas).	Aditivos	762	1

Fuente: Inspecciones de monitoreo. MHLW (2018).

Cuando la tasa de violación en la inspección de monitoreo es del 30% o se considera necesario, se realiza la identificación puntual de las infracciones o realización de inspecciones de monitoreo mejoradas en donde se examinan los tipos de residuos químicos identificados. En el caso de micotoxinas, hay hallazgos de patulina en jugo de manzana, aflatoxinas en productos de almendras, granos secos, semillas y maíz.

Por otra parte, se ordenan inspecciones a alimentos con alta probabilidad de violación a las leyes, las aflatoxinas son la principal

causa para que los alimentos estén sujetos a medidas de re- envío o eliminación (Tabla 34). Como se observa en la Tabla 35, existen registros de violación por aflatoxinas en el maíz norteamericano, aunque se reconoce que el país exportador, realiza monitoreos de salida (Acápita 5.1.1.3).

Como medidas de emergencia basadas en información del extranjero, se llevaron a cabo reenvíos por contaminación con organismos como *E. Coli* en queso natural y trigo sospechoso de estar contaminado con trigo modificado genéticamente no autorizado de Canadá.

¹⁴¹Sustancias inspeccionadas en el esquema de monitoreo para alimentos importados en Japón: Sustancias antibacterianas, etc.: antibióticos, antimicrobianos sintéticos, medicamentos hormonales, etc.- Químicos agrícolas residuales: organofosforados, organoclorados, carbamatos, piretroides, etc. - Aditivos: conservantes, colorantes, edulcorantes, antioxidantes, agentes antimoho, etc. - Microorganismos patógenos: *E. coli* enterohemorrágica O26, O103, O104, O111, O121, O145 y O157, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, etc. - Normas para componentes, etc.: elementos estipulados en las normas para componentes (recuento de bacterias, bacterias coliformes, sustancias radiactivas aunque excluye microorganismos patógenos), venenos para mariscos (toxina diarreica de mariscos, veneno paralítico de mariscos), etc. - Micotoxinas: aflatoxina, deoxinivalenol, patulina, etc. Organismos genéticamente modificados (OGM): alimentos genéticamente modificados, etc. que no han sido evaluados por su seguridad. - Radiación: con o sin irradiación.

Tabla 35. Alimentos y países de origen que son sujetos a orden de inspección por micotoxinas en Japón (2018).

País / región	Tema principal	Sustancias inspeccionadas importantes	Inspecciones	Violaciones
Todos los países exportadores	Almendra, ají, maní, etc.	Aflatoxina	6.105	64
China	Semilla de loto, sorgo	Aflatoxina	24	00
EE.UU	Dátiles secos, maíz, pistacho	Aflatoxina	1.747	10
Italia	Productos procesados de almendras	Aflatoxina	57	00
Total (Bruto) * 1			43.386	118
(Real) * 2			28.842	118

* 1 Número bruto de violaciones de casos detallados. * 2 Número de artículos catalogados con una violación de la ley.
Fuente: Inspecciones de monitoreo de alimentos importados. MHLW (2018). Abril-septiembre de 2016: provisional.

Como parte de la información adicional que puede ser comparada, a continuación se presentan los valores permitidos por el estándar Japonés para micotoxinas en piensos (Tabla 36).

Tabla 36. Valores estándar de sustancias nocivas en piensos en Japón

Sustancia peligrosa	Alimentación objetivo	Estándar mg / kg
Aflatoxina B 1	Alimento de fórmula para ganado (excluyendo terneros lactantes y ganado lechero), para cerdos (excluyendo terneros lactantes), pollo (excluyendo juveniles y pollos de engorde tempranos) y codornices y maíz *	0,02
	Alimento de fórmula (para terneros lactantes, lechones, juveniles y pollos de engorde)	0,01
	Alimento de fórmula (para ganado lechero)	0,01
Zearalenona	Alimentos para el ganado	1
Deoxinivalenol	Alimento para ganado mayor de 3 meses	Cuatro
	Alimento para ganado (excluyendo ganado de más de 3 meses)	1

El maíz sujeto al estándar se refiere a semillas excluyendo cascotes, bigotes y espinillas. * Los estándares de manejo del maíz son efectivos a partir del 25 de diciembre de 2015. Fuente: *Food and Agriculture Materials Inspection Center (Famic, 2019)*¹⁴².

¹⁴²Famic. Consultado en julio de 2019 en: http://www.famic.go.jp/ffis/feed/r_safety/r_feeds_safetyj22.html#pesticides2.

5.2.3 Corea del Sur

A continuación se presenta la importancia de las importaciones de maíz en este país las principales características de importación de alimentos y los límites establecidos de contaminantes como micotoxinas en maíz definidos en el código alimentario. A pesar de que identificó un informe con el resultado de las inspecciones a los alimentos importados, el análisis de esta información fue limitada debido al esquema de publicación e idioma de presentación, por lo que no se presentan este tipo de datos como en casos anteriores.

5.2.3.1 Importancia de las importaciones de maíz

Las importaciones de maíz de Corea del Sur para 2017 superaron los 1,63 Billones de dólares, los principales países de origen fueron Estados Unidos (46%), Argentina (17%), Brasil (16%), Rusia (10%), entre otros.¹⁴³

5.2.3.2 Características principales del proceso de inspección de alimentos importados

El Código Alimentario (*Food Code*) de Corea del Sur establece los principales aspectos para el almacenamiento, transporte y requerimientos específicos para ciertos productos, como los límites máximos permisibles con respecto a residuos químicos como plaguicidas y micotoxinas. En caso de no existir restricciones, el país emplea los criterios del *Codex alimentarius* para vegetales.



“ Entre los requisitos fitosanitarios, el *Food Code* establece el proceso de inspección a las importaciones de alimentos¹⁴⁴

Allí se establecen los mecanismos para inspección de la presencia de plagas cuarentenarias, exámenes detallados y fumigaciones. En esta regulación la realización de inspección en granos se realiza de manera rutinaria a bordo de los buques y antes de la descarga en puerto. De encontrarse en contenedores, se realiza en la terminal de entrada.

El ingreso depende de la inspección de plagas cuarentenarias, en algunos casos, se puede implementar tratamientos de fumigación y liberar la importación al finalizar el tratamiento, cuya decisión final se da en el lugar de inspección.

En caso de requerir exámenes detallados, se envían muestras a laboratorios oficiales para su análisis. El sistema de gestión de importaciones de Corea, en materia de inocuidad abarca los tres momentos de la importación (antes, durante y después) (Tabla 37).

¹⁴³OECD.World (2017).

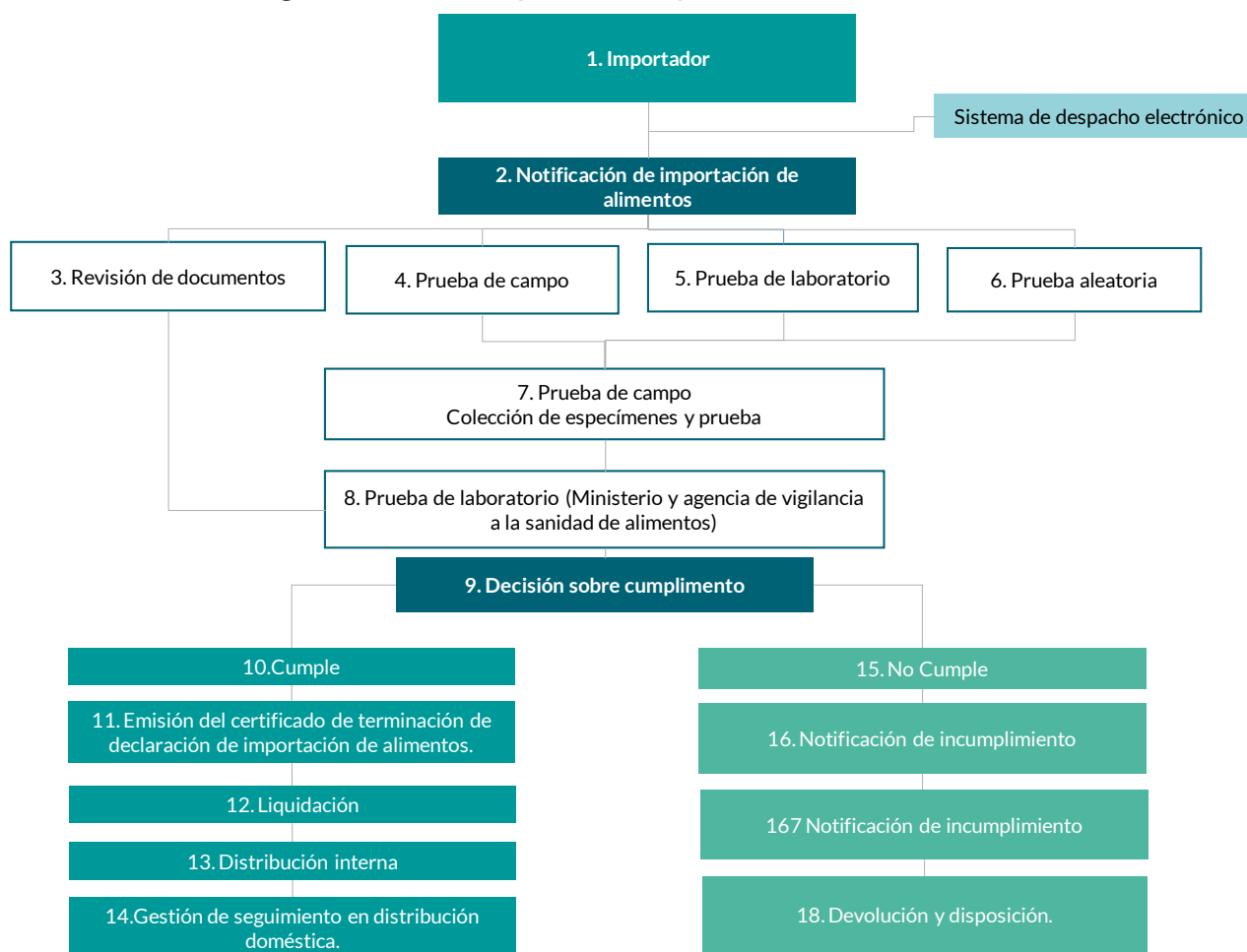
¹⁴⁴Como plantas y productos vegetales, semillas, viveros y bulbos de flores, flores cortadas, frutas y verduras, granos y cereales, frijoles y legumbres, flores secas, madera, especias, hierbas, plantas medicinales y otros.

Tabla 37. Sistema de gestión de importaciones de alimentos en Corea del Sur

	1. Antes de importar	2. Aduanas	3. Después de la importación
Asunto de gestión de seguridad	- Alimentos procesados y productos agrícolas: posible importación desde todos los países. - Productos ganaderos (y alimentos procesados relevantes): solo es posible la importación desde las instalaciones registradas (3,047) en países que firmaron el acuerdo de condición de sanamiento de importación (30 países).		
Método de gestión de la seguridad	- Registro de importador y fabricante extranjero. - Inspección in situ de instalaciones de fabricación en el extranjero. - Registro excelentes importadores.	- Predicción preliminar del sistema de inspección de importaciones (OPERA). - Inspección de alimentos importados y órdenes de inspección.	Recogida e inspección de alimentos distribuidos.
Agente de gestión de seguridad	Gestionado por MFDS.	Gestionado por MFDS.	- Gestionado por MFDS. - Implementado por la oficina regional - gobierno local.

Fuente: Ministry of Food and Drug Safety (2019).

Figura 48. Fases de inspección de importaciones en Corea del Sur



Fuente: Ministry of Food and Drug Safety (MFDS, 2019).

El MFDS (*Ministry of Food and Drug Safety*) tiene como estrategia de control a las importaciones de maíz, reforzar las inspecciones *in situ* para fabricantes con grandes volúmenes de importación o quienes tengan precedentes de fabricación defectuosa. A partir del “Sistema de Inspección de Importación de Predicción Preliminar (OPERA)” se clasifican los alimentos que son importados en diferentes grados a partir del historial de importación del fabricante, del importador y los resultados de inspección. En el marco de este seguimiento se establecen responsabilidades, sanciones, desventajas por violaciones intencionales y recurrentes (Figura 48 y Tabla 38).

Tabla 38. Proceso de reconocimiento de ingredientes funcionales en Corea del Sur.

Clasificación		Antes de la ejecución	Después de la aplicación
Antes de importar	Gestión de fabricantes en el extranjero mediante registro.	Alimentos procesados - productos agrícolas: No se requiere registro.	Todas las instalaciones de fabricación en el extranjero deben estar registradas: la declaración de importación se rechazará si no se realiza el registro previo.
		Productos ganaderos: registro de instalaciones en países que firmaron un acuerdo de condiciones de saneamiento * Carne y productos procesados no estériles.	
		Productos marinos: registro de países con acuerdos de saneamiento *, instalaciones de procesamiento de subproductos * China, Rusia, Tailandia, Vietnam, Indonesia, Ecuador.	
	Inspección en el lugar	Alimentos procesados. Productos agrícolas: conducidos al azar: no hay solución si el país contraparte (empresa) rechaza la inspección.	Inspección <i>in situ</i> realizada en todas las instalaciones de fabricación en el extranjero: la importación se puede suspender de acuerdo con el rechazo de la inspección <i>in situ</i> o el resultado de la inspección
		Alimentos funcionales para la salud: no realizados.	
		Producto ganadero y producto marino: Parcialmente * realizado * Carne y productos procesados no estériles.	
		Producto marino: Parcialmente * realizado * Países registrados con acuerdo de saneamiento, planta de procesamiento de subproductos.	
Aduanas	Gestión diferenciada para importador y producto.	Ninguna *Inspección más fuerte para productos defectuosos y sus importadores	Todos los importadores y productos
			(Importador) Excelente, General, Gestión especial
	Orden de inspección (la orden de inspección se entrega previamente al importador de productos alimenticios con riesgo de peligro)	Importador de alimentos	(Producto) Grado 1, Grado 2, Grado 3
		Excluyendo importadores de alimentos funcionales saludables, productos pecuarios	Todos los importadores de alimentos
			Aplicación extendida a los importadores de alimentos funcionales saludables, productos pecuarios.

Fase de distribución	Trazabilidad de los alimentos (aplicación obligatoria).	Alimentos para bebés y niños pequeños, alimentos saludables para la salud, otros negocios de venta de alimentos	Alimentos para bebés y niños pequeños, alimentos saludables para la salud, otros negocios de venta de alimentos
		* Aplicación por fase hasta 2019, según los ingresos por ventas, etc.	Fórmulas de leche (leche en polvo)
	Gestión de la distribución	(Anterior) Importadores clasificados y administrados en 3 negocios diferentes. MFDS * y el gobierno local ** importadores administrados según la clasificación.	(Unificado) Negocio de importación y venta de alimentos importados, etc.
		* Negocio de importación y venta de productos ganaderos	Todos gestionados por MFDS
		** Negocio de importación y venta de alimentos, Negocio de importación de alimentos funcional de salud (recientemente establecido)	Declaración de negocio de proxy, Negocio de proxy de compra en línea, Negocio de almacenamiento
	Orden de entrenamiento (orden de entrenamiento dada a los importadores de productos defectuosos)	Asunto: Importador de alimentos: excluyendo a los importadores de alimentos funcionales saludables, productos pecuarios	Tema: Todos los importadores de alimentos Aplicación extendida a los importadores de alimentos funcionales saludables, productos pecuarios

Fuente: Ministry of Food and Drug Safety (MFDS, 2019).

Seguimiento antes de la importación

Para registrar el negocio extranjero en el sistema de Corea del Sur, existen plataformas de registro de instalaciones en el extranjero para importadores o representantes.

Seguimiento en aduanas

La siguiente tabla determina los tipos de inspección que se realizan para los alimentos importados (Tabla 39).

Tabla 39. Elementos del esquema de Inspección de importaciones en Corea del Sur.

Tipo de Inspección	Alimentos sujetos	Método de inspección
Revisión de documento	- Alimentos utilizados para obtener moneda extranjera (excepto los utilizados para el turismo). - Alimentos utilizados como ingredientes para productos elaborados por la propia empresa. - Alimentos utilizados para la investigación. - Alimentos importados por el gobierno central o local. - Alimentos reimportados después de la prueba de laboratorio inicial (resultado de cumplimiento). - Alimentos para exposiciones, alimentos para pacientes con errores innatos del metabolismo, alimentos que pasan por el refinamiento y el procesamiento, etc.	Inspección para juzgar el cumplimiento del producto revisando los documentos presentados.

Prueba de campo	• Producto agrícola o forestal sin normas o especificaciones definidas. • El mismo producto agrícola o forestal de la misma compañía, reimportado después de la prueba de laboratorio inicial (resultado de cumplimiento). • Otros alimentos que el Ministro de Seguridad de Alimentos y Medicamentos considera que necesitan una prueba sensorial.	Inspección para evaluar el cumplimiento del producto teniendo en cuenta la naturaleza del producto, las condiciones, el sabor, el olor, el color, el etiquetado, las condiciones de empaque y el historial de pruebas de laboratorio.
Prueba de laboratorio	• Alimentos importados por primera vez. • Alimentos con problemas de peligro planteados dentro y fuera del país. • Alimentos importados con historial de defectos.	Inspección realizada con métodos físicos, químicos o microbiológicos.
Prueba de muestreo aleatorio	• Entre aquellos sujetos a revisión de documentos y pruebas sensoriales, alimentos en los que se pueden extraer muestras de acuerdo con el plan de muestreo aleatorio.	Inspección realizada con métodos físicos, químicos o microbiológicos.

Fuente: Ministry of Food and Drug Safety (MFDS, 2019).

Sistema de Inspección de Importación de Predicción Preliminar (OPERA)

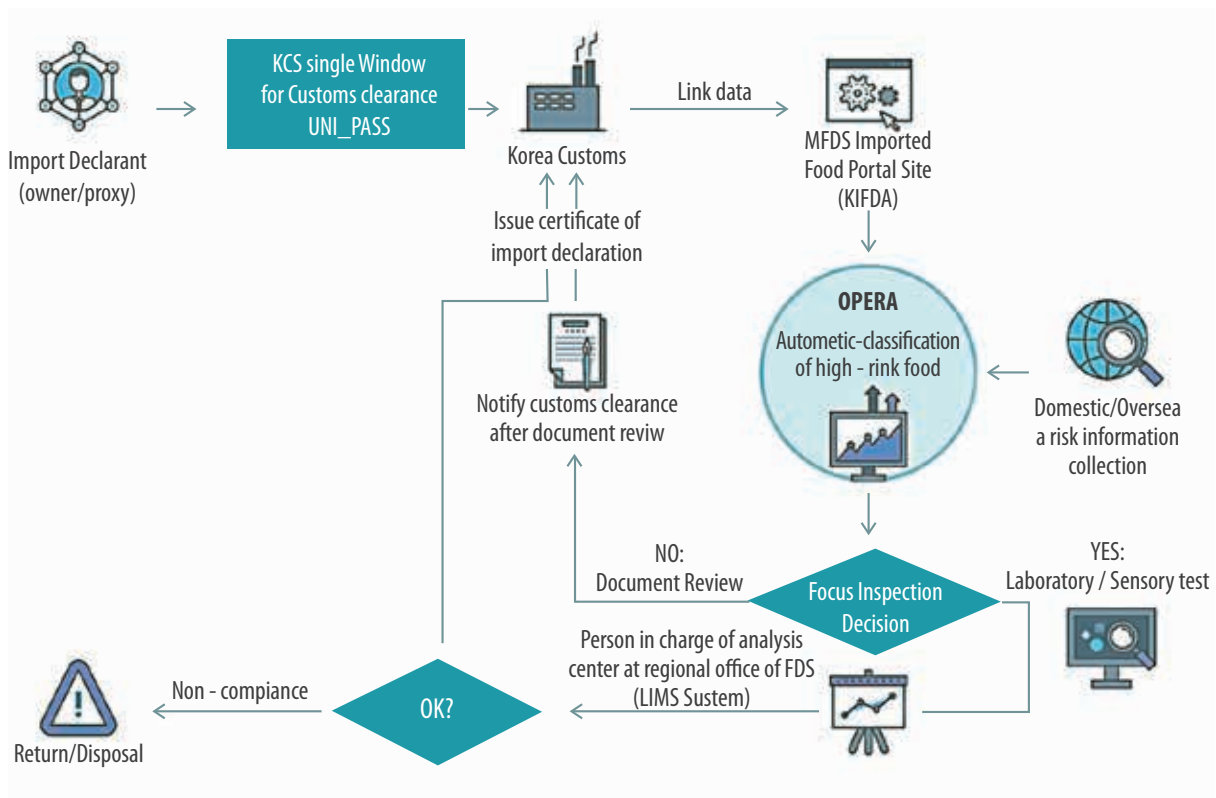
Desde este sistema se recolecta información automática en materia de riesgo, se examina el historial relevante de la declaración de alimentos importados (incluyendo país, artículo, ingredientes, proceso de fabricación, importador, fabricante, etc.) y se analiza a partir de algoritmos lógicos, en tiempo real, para recomendar sobre los diversos tipos de inspección (Figura 49).

Inspección de alimentos importados y sistema de orden de inspección

Para dar garantías sobre la calidad e inocuidad de los alimentos importados, desde 2011 se estableció el sistema para ordenar la inspección a alimentos potencialmente peligrosos en consideración a variables como altos índices de incumplimiento. Para la importación se deben anexar los resultados de inspecciones realizadas por instituciones especializadas avaladas oficialmente con presencia en el exterior. A su vez, se establecen tipos de inspección y su orden a partir de criterios como:

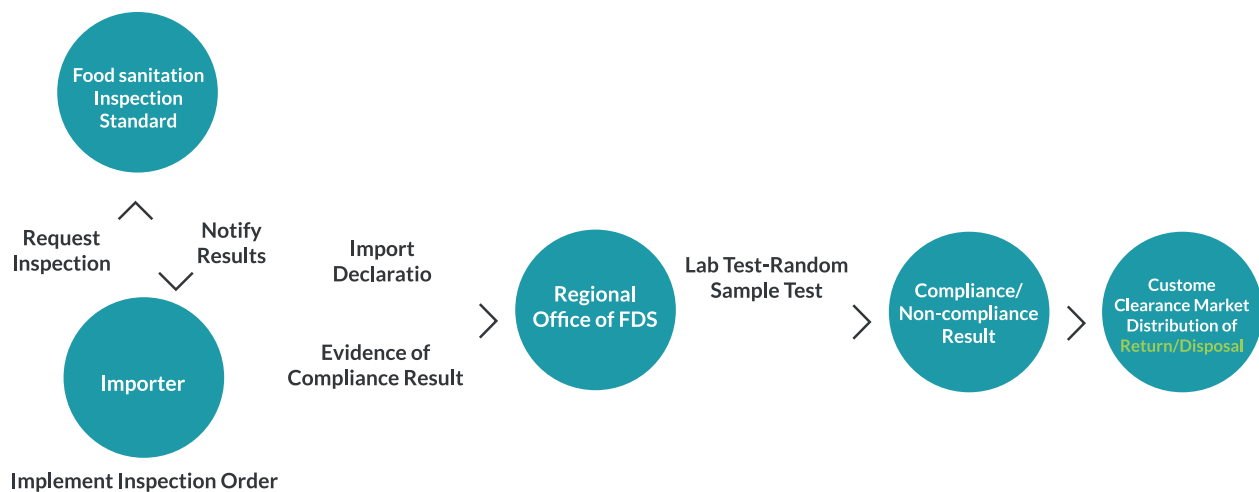
- Alimentos con detección de medicamentos veterinarios, medicamentos para la disfunción eréctil o medicamentos para la obesidad cuando no deben incluirse, o alimentos que corren el riesgo de tal detección.
- Alimentos con aditivos no declarados en los estándares y especificaciones, o alimentos que corren el riesgo de tal detección.
- Alimentos que tienen altas tasas de defectos en la inspección de importación, los alimentos designados como sujetos de orden de inspección por el Ministerio de Seguridad de Alimentos y Medicamentos, entre otros alimentos designados.

Figura 49. Sistema de gestión de importaciones de alimentos (OPERA) en Corea del Sur



Fuente: Ministry of Food and Drug Safety (MFDS, 2019).

Figura 50. El Sistema de prevención de ventas de alimentos peligrosos en Corea del Sur



Fuente: Ministry of Food and Drug Safety (MFDS, 2019).

Seguimiento después de la importación

Consiste en la recogida e inspección de productos de importación que han sido distribuidos. En caso de que haya alguna irregularidad y sea notificada, se procede a su recolección e inspección para que los productos defectuosos se retiren, incauten o se eliminen de inmediato según corresponda.

A pesar de que se identificaron registros o reportes sobre estos esquemas de muestreo en las páginas institucionales revisadas de este país, éstos fueron ilegibles al encontrarse en coreano¹⁴⁵, por lo que es necesario complementar la información de los referentes y así establecer un esquema comparativo entre los importadores y exportadores.

5.2.3.3 Límites para contaminantes como micotoxinas en alimentos

El Código Alimentario (*Food Code*) contiene los requisitos relacionados con residuos de químicos adicionados a los alimentos, como plaguicidas y medicamentos veterinarios, sean éstos patógenos, metales pesados (mercurio, plomo, cadmio, etc.), materiales radioactivos, toxinas entre las que se incluyen las micotoxinas (Tabla 40).

Tabla 40. Normatividad asociada al maíz como producto e insumo en Corea del Sur

Tipo	Toxinas y alimentos	Límites
Aflatoxinas (B1, B2, G1 y G2)	Cereales, legumbres, maní, oleaginosas, subproductos. Productos cereales y legumbres (sin estándares o especificación. Salsas tradicionales excluyendo Meju, polvo de pimienta.	No más de 15 µg/kg
Aflatoxina M1	Leche cruda antes de ser procesada	No más de 0,5 µ/kg
Patulina	Jugo de manzana, concentrado de jugo de manzana	No más de 50 µ/kg
Fumonisina	Maíz	No más de 4 mg/kg
	Maíz procesado (molido, cortado), harina de maíz	No más de 2 mg/kg
	Productos de granos procesados y cereales para el desayuno que contienen 50% o más de maíz simplemente procesado. Productos de maíz para el uso de palomitas de maíz.	No más de 1 mg/kg

¹⁴⁵Food safety Korea. Consultado en julio de 2019 en: <https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/board/boardDetail.do>

Ocratoxina A	Trigo, cebada, centeno, granos de café verde y tostado.	No más de 5 µ/kg
	Café instantáneo.	No más de 10 µ/kg
Deoxinivalenol	Granos y sus productos que han sufrido un procesamiento simple (como molienda, corte, etc.).	No más de 1 mg/kg
	Maíz y maíz simple procesado (como molienda, corte, etc.)	No más de 2 mg/kg
Zearalenona	Granos y sus productos que han sufrido un procesamiento simple (como molienda, corte, etc.)	No más de 200 µ/kg
	Cereales para el desayuno.	No más de 50 µ/kg

Fuente: Food Code – Republic of Korea.

5.3 Aprendizajes obtenidos de las prácticas en países exportadores e importadores de maíz

De acuerdo a la revisión de aspectos de control de la calidad e inocuidad realizados por los principales países productores realizada en esta aproximación, se identificaron elementos fundamentales que pueden contribuir al fortalecimiento de la producción nacional y de la vigilancia de las materias primas de importación que derivan en la cadena alimentaria.

5.3.1 Esquemas de Inspección Vigilancia y Control en países exportadores

Desde el desarrollo normativo e institucional, los esquemas de control de la calidad e inocuidad cuentan con actores definidos como el FGIS y Senaga quienes se encargan de la supervisión de sistema de inspección

oficial de calidad y de pesaje de granos. En ambos casos se observó la existencia de un esquema descentralizado de inspección bien sea a nivel de estados o a partir de terceros - agentes de certificación, o ambas, que ofrecen la posibilidad de ampliar la cobertura y capacidad desde agencias privadas designadas, e instituciones delegadas que realizan inspección para los mercados internos y de exportación.

La existencia de sistemas de certificación de la calidad del grano, como en el caso de EE.UU, se basa en estándares propios, logra vincular programas nacionales, instituciones y autoridades nacionales de medición (Instituto Nacional de Estándares - NIST, conferencia nacional de pesos y medidas - NCWM), con los cuales se han logrado determinar y estandarizar:

- Directrices
- Métodos de inspección de granos y monitoreo (calidad y micotoxinas)

- Criterios de calidad e inocuidad
- Procedimientos y equipos de inspección
- Características y responsabilidades del equipo de inspección y sus competencias
- Estándares frente a la capacitación del personal responsable
- Programas nacionales de estandarización del peso (Escala maestra) y de calibración de unidades de transporte (vagones, contenedores, etc.)
- Escalas de pesaje certificadas y autorizadas para operaciones específicas
- Criterios de desempeño de instrumentos y métodos
- Desarrollan materiales de referencia para calibraciones o pruebas
- Desarrollan métodos específicos de medición y prueba de micotoxinas (como aflatoxinas), entre otras características del grano como rasgos adicionales, niveles máximos permisibles de concentración de contaminantes y OGMs con aplicabilidad en alimentos y piensos

Desde estos esquemas de certificación también se aseguran prácticas de separación, puntos críticos de control, planes de disminución de contaminación, prácticas de cultivo y almacenamiento, planes de limpieza de equipos, entre otros. Además existen programas para el acompañamiento a la gestión de la calidad, verificación de procesos, toma y envío de muestras a laboratorios autorizados y auditorías programadas. Otro aspecto identificado es la utilización de sistemas automatizados de monitoreo implementados por agencias para la verificación y análisis en puntos de almacenamiento o distribución.

Conforme al grado de desarrollo de estos sistemas de inspección y vigilancia a la calidad e



inocuidad, también se identificó la relación con la generación de información resultado del monitoreo y posibilidades de ofrecerla de manera pública. Tal como se pudo observar en el caso de EE.UU, se ofrecen registros de condiciones de calidad e inocuidad del grano previo a la exportación que define la dinámica de construcción de precios diferenciados de acuerdo a la calidad y ofrece confianza en el mercado con actualizaciones frecuentes disponibles. No obstante, existen reportes de calidad e inocuidad relacionados con aflatoxinas que posiblemente no fueron identificados, además de otras condiciones como datos de humedad, de infestaciones o contenido de sustancias tóxicas, aspectos de adecuación y limpieza de contenedores de envío, los cuales están estrechamente relacionados con las fases de transporte de granos, aunque USDA provee informes semanales sobre volúmenes y precios para barcas, ferrocarriles, camiones y embarcaciones oceánicas involucradas en el transporte.

Derivado de este proceso de consolidación de los esquemas de inspección, vigilancia y control se identificaron otros aspectos relativos a la generación de información: i) informes de inspecciones y bases consolidadas de inspecciones de calidad de granos de exportación y ii) material de soporte oficial para los procesos de calificación de inspectores y demás actores que participan en el proceso de control (libros electrónicos, cartillas, videos u otro material de apoyo). Los materiales de referencia sobre procedimientos se dirigen a distintos actores (inspectores, productores, transformadores, etc.) de acuerdo a su grado de intervención en la cadena productiva.

5.3.2 Esquemas de Inspección Vigilancia y Control en países importadores

De acuerdo a la revisión realizada para los principales importadores de maíz en el mundo, se destaca la integralidad de los esquemas de control de importaciones de alimentos. En el caso de Japón, el elevado nivel de protección sobre los alimentos importados exigido es notorio. No solo a través del desarrollo normativo, tecnológico y de soporte a la difusión de información, ya en este país el ingreso depende del análisis de distintos tipos de riesgo que pueden afectar la calidad e inocuidad de los alimentos, las inspecciones son de tipo microbiológico para patógenos, sustan-

cias antibacterianas, químicos residuales, aditivos, normas para los constituyentes, OGMS, irradiación y varios tipos de micotoxinas como AFLA y DON (Tabla 41). En este país, se llega a realizar la inspección al 8% de las notificaciones de importación, cuyo total llega a sobrepasar los 12 millones de toneladas anuales.

Anualmente se definen los métodos de monitoreo, procedimientos y equipos de estas inspecciones. Se da prioridad a grupos alimentarios de origen agrícola y sus procesados.

Tabla 41. Tipos de análisis realizados a los alimentos importados en Japón

Tipo de análisis o riesgo	Descripción
Presencia de sustancias antibacterianas	Antibióticos, antimicrobianos sintéticos, medicamentos hormonales, etc.
Químicos agrícolas residuales	organofosforados, organoclorados, carbamatos, piretroides, etc.
Aditivos	Conservantes, colorantes, edulcorantes, antioxidantes, antimoldes, etc.
Microorganismos patógenos	<i>E. coli</i> , enterohemorrágica, O103, O104, O111, O121, O145 y O157, <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , etc.
Normas para los constituyentes, etc.	Artículos estipulados en las normas para los constituyentes (recuento de bacterias, bacterias coliformes, sustancias radiactivas - excluye los microorganismos patógenos), venenos de mariscos (toxina diarreaica de los mariscos, veneno paralítico de los mariscos), etc.
Micotoxinas	Aflatoxinas, Deoxinivalenol, Patulina, etc.
Organismos modificados genéticamente (OGM)	Alimentos modificados genéticamente, etc. que no se han evaluado para determinar su inocuidad.
Radiación irradiada	Con o sin irradiación.
* 2: 10,000 casos planificados como monitoreo mejorado se agregaron a la cantidad de artículos por artículo de cada grupo de alimentos	
* 3: Total de sustancias inspeccionadas. El número real es 30,496 Inspecciones de monitoreo y 82 infracciones)	

Fuente: (MHLW, 2018). Disponible en: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/18/18-06.html>

En el caso de Corea del Sur, también se identificó el esfuerzo por asegurar la calidad de la importaciones de alimentos antes de la descarga en puerto, en donde se realizan procedimientos de cuarentena o controles por vía fumigación en caso de ser necesarios. Igualmente el aseguramiento de la calidad de los alimentos importados se realiza en distintas fases de la importación (antes, durante y después) lo que evidencia un seguimiento continuo, especialmente para el control de características específicas como ingredientes funcionales. La inspección se realiza durante la importación, de requerirse análisis detallados, se realiza el envío de muestras a laboratorios oficiales para análisis con dispositivos idóneos. En el marco de este sistema no solo se examina la calidad del alimento importado, sino a su vez el cumplimiento de especificaciones sobre tipos de embalaje frente al contenido de metales pesados en envases.

Como estrategia de control a las importaciones de maíz, se refuerzan inspecciones *in situ* para fabricantes con grandes volúmenes de importación o quienes tengan precedentes de fabricación defectuosa. Desde el “Sistema de Inspección de Importación de Predicción Preliminar (OPERA)” se clasifican los alimentos que son importados en diferentes grados de acuerdo a su historial de importación, los registros previos del fabricante, del importador y de inspección. De este seguimiento se establecen responsabilidades, sanciones, desventajas por violaciones intencionales y recurrentes.

En los portales de consulta de ambos sistemas de IVC a los alimentos importados, se identificaron mecanismos de comunicación e información del riesgo de los cargamentos que resultaron sospechosos de violación a las leyes y códigos alimentarios respectivos. La comunicación se centra en la calidad e incide en el precio de mercado que llega a tomar el material examinado.

5.4 Sistema de IVC para alimentos en Colombia

Uno de los antecedentes del Sistema SFM en materia de micotoxinas en el país es la evaluación de riesgos cualitativa para AFM1, que tuvo como producto de énfasis la arepa y fue desarrollada el *Instituto Nacional de Salud a partir del Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos* ERIA (2015). Como parte de este trabajo, la evaluación de la exposición consideró el maíz y derivados, entre otros alimentos de mayor ingesta como arroz, trigo y otros derivados de cereales. Se identificaron valores de maíz y arepa entre 19,8 y 69,9 ng/kg peso corporal (pc)/día respectivamente, lo cual indicó el riesgo en caso de consumir alimentos contaminados. A su vez, se identificaron algunas regiones que por sus dinámicas de consumo y estructura de la población pueden tener mayor exposición,

tales como Antioquia, Valle del Cauca y Bogotá, entre otras, así como grupos poblacionales como niños entre los 4 y 8 años. Sin embargo, este antecedente se consideró como una estimación de la exposición preliminar, en función de iniciar sistemáticamente la vigilancia de la contaminación de alimentos con AFB1. (Anexo 7.2: *Recomendaciones del Instituto Nacional de Salud - ERIA (2015) en materia de micotoxinas en producto terminado*).

En este acápite se retoman aspectos de IVC definidos por la normatividad, instituciones responsables y resultados identificados en los procesos de importación de alimentos, especialmente de maíz. Se estructura a partir de la revisión de acuerdo a la destinación final de las importaciones de maíz en consumo humano y animal, para finalmente demarcar algunos retos en relación a los aprendizajes de la referenciación de los IVC de los mayores importadores de maíz.

Atendiendo a que las actividades de IVC son fundamentalmente una función estatal para proteger la salud (*Acápite 1.3*), el primer acápite se orienta a la revisión de éstas en productos de consumo humano. En el territorio nacional por parte del Invima junto con las secretarías de salud departamentales, distritales y municipales de categorías 1, 2, 3 (Resolución 1229 de 2013. Art. 16), a partir de acciones como la verificación de estándares de calidad e inocuidad, el monitoreo de efectos en salud y acciones de intervención en las cadenas productivas, orientadas a eliminar o minimizar riesgos, daños e impactos negativos para la salud (Resolución 1229 de 2013. Art. 7; de acuerdo al Decreto 2478 de 2018).

Dados los volúmenes y las condiciones de flujo de maíz en el país, también se deben considerar estas actividades en términos de alimentos importados. Los procesos de vigilancia y control sanitario, se encuentran definidos en la Resolución 1229 de 2013. (Art. 11), donde el control sanitario incluye actividades como: (i) la recolección, acopio y procesamiento de datos, a través de estrategias de vigilancia ac-

tiva y pasiva y muestreos sistemáticos de objetos para análisis, debidamente protocolizados y estandarizados; (ii) el análisis, interpretación y difusión de información pertinente a los tomadores de decisiones y (iii) la definición y recomendación de medidas sanitarias y de seguridad que deberían ser adoptadas, con el objetivo de establecer medidas y sanciones. Según el Decreto 2478 de 2018 (Art.17), el marco sancionatorio está definido en la Ley 9 de 1979 (Art. 576) y el Código de procedimiento administrativo y de lo contencioso administrativo (Art.47) (CPACA).

El control técnico de las importaciones de insumos agropecuarios de tipo animal y vegetal es responsabilidad del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (Decreto 4765 de 2008), desde las subgerencias de protección fronteriza (Art. 22), la dirección logística (Art. 23) y la dirección técnica de cuarentena (Art.24).

5.4.1 Alimentos, materias primas e ingredientes secundarios destinados al consumo humano

El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima) es la autoridad competente en materia de IVC, a la que le compete la evaluación de factores de riesgo y expedición de medidas sanitarias relacionadas con alimentos y materias primas para la fabricación de los mismos. A su vez, le compete la inspección, vigilancia y control en la inocuidad en la importación y exportación de alimentos y materias primas para la producción de los mismos en puertos, aeropuertos y pasos fronterizos, sin

perjuicio de las competencias que por ley le corresponden al Instituto Colombiano Agropecuario, ICA (Ley 1122 de 2007 Art. 34. Literal c.). De acuerdo al Decreto 2478 de 2018¹⁴⁶ este proceso implica una serie de requisitos sanitarios para los agentes importadores y exportadores (Art.4), como lo son:

- Diligenciar los formularios de Invima para alimentos exceptuados de registro, permiso o notificación sanitaria que sean usados para la industria y el sector gastronómico en la elaboración de alimentos.
- Aportar el certificado sanitario del país de origen, en documento original, para el caso de los alimentos de mayor riesgo en salud pública de origen animal.
- Diligenciar el formato Invima para alimentos diferentes a los de mayor riesgo en salud pública de origen animal que sean introducidos para su comercialización en el país, en el cual se registre la información que permita su trazabilidad.
- Contar con el visto bueno de importación expedido por Invima¹⁴⁷
Registro, permiso o notificación sanitaria expedida por Invima¹⁴⁸

Certificado de Inspección Sanitaria (CIS)

Por medio de este se autoriza el ingreso o la salida de productos al país desde el ámbito sanitario¹⁴⁹. Lo otorga Invima (Art. 6)¹⁵⁰ desde la revisión del cumplimiento de requisitos documentales, inspección física y toma de muestras según el nivel de riesgo del producto. Entre 2014 y 2019 se generaron más de 24.600 CIS de importaciones y más de 15.000 para exportación¹⁵¹, lo que evidencia la importancia que tienen las importaciones en el país.

¹⁴⁶Por medio del Art. 21, derogó decretos 539 y 590 de 2014.

¹⁴⁷Decreto 4149 de 2004: Ventanilla única de comercio exterior (Art. 1) y Formulario único de comercio Exterior (Art. 2). Decreto 2078 de 2012. Art. 4. Funciones del Invima (Numeral 19).

¹⁴⁸Resolución 2674 de 2013 (Art. 3) Definiciones: Notificación sanitaria: número consecutivo asignado por la autoridad sanitaria competente, mediante el cual se autoriza a una persona natural o jurídica para fabricar, procesar, envasar, importar y/o comercializar un alimento de menor riesgo en salud pública con destino al consumo humano. Permiso sanitario: acto administrativo expedido por la autoridad sanitaria competente, mediante el cual se autoriza a una persona natural o jurídica para fabricar, procesar, envasar, importar y/o comercializar un alimento de riesgo medio en salud pública con destino al consumo humano. Registro sanitario: acto administrativo expedido por la autoridad sanitaria competente, mediante el cual se autoriza a una persona natural o jurídica para fabricar, procesar, envasar, importar y/o comercializar un alimento de alto riesgo en salud pública con destino al consumo humano.

¹⁴⁹Ver: http://procesos.invima.gov.co:8080/documentos/consdoccis_encab.jsp

¹⁵⁰El procedimiento para expedición del CIS de importación se realiza a partir de 3 pasos: Paso 1: Pago y radicación, solicitud de expedición del certificado. Paso 2: Presentación de la documentación de soporte. Paso 3: Inspección (toma de muestra si es necesario) y la expedición de certificado de inspección sanitaria.

¹⁵¹Certificados de inspección sanitaria (CIS) que han sido aprobados por el Invima, emitidos por los diferentes sitios de control en primera barrera con objeto de importación y exportación de alimentos y bebidas alcohólicas. Fecha 1-10-2019. <https://www.datos.gov.co/Salud-y-Proteccion-Social/CERTIFICADOS-DE-INSPECCION-SANITARIA/qu3n-jbd7>

Modelo de riesgos IVC - SOA

La definición del nivel de riesgo del producto que ingresa o sale del país y el tipo de inspección que debe ser realizada en puertos, aeropuertos y pasos fronterizos, se determina por medio de este modelo que viene implementándose desde 2014. Este se basa en la severidad del producto (S), la ocurrencia de falla del producto (O) y la población potencialmente afectada (A). En él, se define el valor de riesgo o Índice de Riesgo en Puerto (IRP), este índice tiene en consideración los siguientes aspectos (Invima 2014 a y b):

- Riesgo del producto.
- Severidad: clasificación de riesgo, origen, importador, fabricante, rechazos del país importador y fabricante. Las probabilidades condicionales país-importador fabricante de un producto.
- Ocurrencia: que se puede relacionar con la tradición sanitaria de los países, importadores y fabricantes sin importar el producto desde fuentes de información como Sivi-coS¹⁵² e información histórica de puertos.

Tipos de inspección

De acuerdo con Invima (2017) la inspección en los puertos de acuerdo al modelo, puede ser:

Verificación documental – extra sitio:

Consiste en verificar los documentos presentados por el importador/exportador conforme a la normatividad vigente. Se realiza en el puesto de trabajo del Inspector (escritorio). Este tipo de inspección se realiza al 100% de los cargamentos de importación y exportación¹⁵³. Consiste en la verificación del certificado sanitario del país de origen en cuanto a contenido de información, en

el que consta que los alimentos de mayor riesgo en salud pública de origen animal son aptos para el consumo humano cumpliendo con requisitos sanitarios establecidos por la autoridad sanitaria competente del país importador (Decreto 2478. Numeral 3.7) y la trazabilidad del producto conforme al procedimiento definido por el Invima (Invima, s.f.). Este tipo de inspección no depende del valor IRP del modelo o de las reglas de decisión que lo complementan.

Inspección física – en sitio:

Consiste en inspeccionar físicamente el producto en el sitio de embarque, contenedores o bodegas. Cuando el IRP es bajo o moderado, este tipo de inspección se basa en el muestreo de Bernoulli. La probabilidad promedio de que sea seleccionada una solicitud (importación/salida) con RP moderado es de 25% y de 10% para riesgo bajo. Esta selección de muestra se apoya en la generación aleatoria de números para la selección, la cual se realiza cuando el valor aleatorio es igual a 1 (Invima, 2017)¹⁵⁴.

Las características o elementos de la “Inspección física” de productos no se encuentran definidos en el decreto de 2018. Sin embargo, Invima (s.f.) la describe como un procedimiento de revisión de aspectos como: la existencia de la mercancía, la conformidad con las condiciones sanitarias de la mercancía con las señaladas en el certificado sanitario del país de origen y reglamentación sanitaria; almacenamiento, conservación, rotulado y empaque. Si se realiza muestreo se entrega el acta¹⁵⁵. También incluye un componente de toma de muestras y análisis de laboratorio de los alimentos o materias primas de acuerdo al modelo de IVC.

¹⁵²Invima. Sistema de vigilancia sanitaria en donde es posible realizar el reporte en línea de efectos adversos asociados al uso de medicamentos <https://farmacoweb.invima.gov.co/reportesfv/login/loginUsuario.jsp>

¹⁵³Se exigen los siguientes documentos para la importación de alimentos y materias primas e insumos para alimentos de consumo humano: 1) Pago electrónico tarifa correspondiente, 2) Solicitud de expedición del certificado de inspección sanitario, 3) Certificado sanitario original del país de origen o CVL vigencia 1 año, 4) Copia factura comercial, 5) copia documento de transporte (BL, Guía aérea, Carta porte), 6) Copia de la lista de empaque, 7) Contar con el Vo bo. Previo del Invima otorgado a través de VUCE en la licencia de importación, 8) Certificado HACCP para productos de pesca, 9) carta de compromiso del importador de no comercialización, ni transformación del producto hasta tanto no se notifiquen los resultados analíticos, de requerirse y 10) Registro sanitario expedido por Invima si se requiere, se verifica en el aplicativo de registros sanitarios. Invima, s.f. Disponible en: <http://www.analdex.org/wp-content/uploads/2000/03/Procedimiento-inspeccion-y-certificacin-Importaciones-y-Exportaciones-d...pdf>

¹⁵⁵Procedimiento Inspección y Certificación de Importaciones y Exportaciones de Alimentos y Bebidas. Diapositiva 25. Disponible en: <http://www.analdex.org/wp-content/uploads/2000/03/Procedimiento-inspeccion-y-certificacin-Importaciones-y-Exportaciones-d...pdf>. La resolución 1229 de 2013, hace referencia a la “Inspección sanitaria” definido un proceso sistemático y general de tres etapas i) preparación de la inspección, incluida la investigación de antecedentes; (ii) inspección *in situ* del objeto, que puede incluir la toma de muestras u otro tipo de material probatorio de conformidad con las especificaciones dictadas en manual de normas y procedimientos que se apliquen para el tipo de objeto de inspección, vigilancia y control sanitario y (iii) evaluación y emisión de concepto sanitario o certificación. Como resultado de la inspección sanitaria se puede originar una certificación o concepto sanitario, o la aplicación de medidas de control.

En complemento, el modelo incluye “reglas de decisión” que son aplicables cuando existe una urgencia manifiesta, a partir de las cuales es posible rechazar o aceptar una solicitud. En los puertos, estas decisiones pueden derivar en llevar a cabo los siguientes tipos de inspección además de la inspección documental (Invima, 2017) (Tabla 42):

Inspección exhaustiva con muestra:

Está definida en el Decreto 2478 de 2018 (Art.7). Vale la pena señalar que este tipo de

inspección no se realiza de manera sistemática a las importaciones, incluso Invima (2017) advierte que la toma de muestra depende de la capacidad analítica del laboratorio y la logística del puerto.

Inspección exhaustiva:

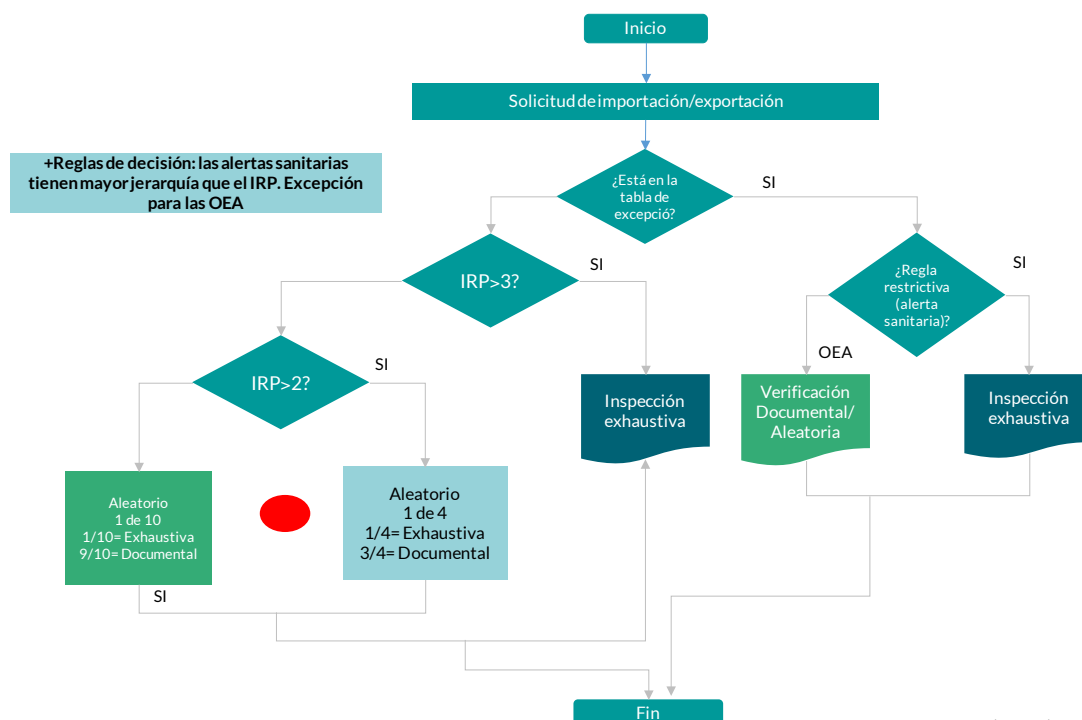
Inspección *in situ*. No solo depende del IRP, puede darse por alertas sanitarias, políticas sanitarias supranacionales, condiciones especiales (Operador Económico Autorizado - OEA), entre otras.

Tabla 42. Tipos de inspección en puertos de acuerdo al modelo IVC de Invima en Colombia

IRP	Nivel	Tipo de inspección en puertos
4-5	Muy alto	Inspección física con muestra: <i>in situ</i> , se toman muestras del producto para análisis de laboratorio. La selección de la muestra queda a discreción del inspector; también depende de la logística del Puerto y la disponibilidad del laboratorio
3-3,99	Alto	Inspección física: <i>in situ</i> , aplica guía de inspección en puertos
2 - 2,99	Moderado	Documental (2): verificación documental y de forma aleatoria se seleccionan algunas solicitudes para inspección exhaustiva. Probabilidad mayor que en riesgo bajo.
1 - 1,99	Bajo	Documental (1): verificación documental y de forma aleatoria se seleccionan algunas solicitudes para inspección exhaustiva. Probabilidad menor que en riesgo moderado

Fuente: a partir de Invima (2017).

Figura 51. Algoritmo del modelo IVC en puertos para importaciones y exportaciones para determinar el tipo de inspección en puertos en Colombia.



Fuente: Invima (2017).

De acuerdo a los anteriores tipos de inspección, el algoritmo para la toma de decisión sobre el esquema de inspección funciona de la siguiente manera (Invima, 2017) (Figura 51):

- Se discrimina si la solicitud analizada cuenta con reportes del producto, lote, país o importador en la Tabla de Excepción. En caso de que la solicitud esté en la tabla y el producto/país/importador tenga una Alerta Sanitaria, se realiza “inspección exhaustiva” sin importar el valor de IRP. En caso de que la solicitud sea realizada por Operadores Económicos Autorizados (OEA)¹⁵⁶, pasará a selección aleatoria Bernoulli para determinar si se realiza únicamente “revisión Documental” o por el contrario se requiere inspección exhaustiva.
- Si la solicitud no está relacionada con la “tabla de excepción”, se revisa el IRP para determinar el nivel de riesgo de la importación/exportación.

5.4.1.1 Análisis del Invima sobre contaminación con micotoxinas en alimentos

Se identificaron varios antecedentes por parte de esta entidad, que por supuesto son fundamentales para esta revisión. A saber:

- 2016: «Plan nacional subsectorial de vigilancia y control de micotoxinas y conservantes en alimentos procesados para el año 2016». En el que definió el plan de captura de muestras para productos específicos (Arepas = 71, Maní = 31, harina de maíz = 40, harina de trigo = 34), analitos (suma de AFLA: B1, B2, G1 y G2, zearalenona y deoxinivalenol, entre otros);

se determinó la metodología de toma de muestras. Para micotoxinas se plantearon 179 muestras en el ámbito nacional en las diferentes regiones. Analizadas a partir de (HPLC-FL por sus siglas en inglés) en el caso de AFLA.

- 2017: de acuerdo a nota informativa de la entidad, el Plan Nacional de Vigilancia y Control de Micotoxinas en Alimentos 2017-2018, planteó el monitoreo en trilladores y molinos del país¹⁵⁷.
- 2018: «Plan nacional subsectorial de vigilancia y control de micotoxinas alimentos procesados durante el período 2018 - 2019». Se incluyeron otros productos alimentarios como la bienestarina, el café y el arroz así como de maíz importado en puertos seleccionados. Para micotoxinas se planteó el análisis de 219 muestras en distintos productos. Arepas: 114, principalmente capturadas en Antioquia (42) y Bogotá (31) y Valle del Cauca (9); Arroz (46 muestras); Café importado y nacional (30); harina de trigo (21); Maíz nacional (38) e importado (30) (Ver tabla 43) (Invima, 2018b).
- 2018: «Informe de resultados del Plan Nacional Subsectorial de Vigilancia y Control de Aflatoxinas y Conservantes en Arepas 2015 y del Plan Nacional Subsectorial Alimentos 2016». (Invima, 2018a).

Sobre estos análisis vale la pena reconocer los siguientes aspectos:

Análisis de muestras de maíz importado

A pesar de los altos volúmenes de importación que anualmente recibe el país, no se identificó un informe o base consolidada de los resultados de

¹⁵⁶ 72 importadores para 2020 hacen parte de este grupo de Operadores Económicos Autorizados. Consulta 21 de julio de 2020 en <https://www.dian.gov.co/aduanas/oea/inicio/Paginas/UsuariosAutorizados.aspx>. Entre estos, se incluye la empresa Ingredion Colombia S. A. una de las firmas importadoras de maíz importantes con más de 330 mil toneladas importadas de maíz amarillo originario de EE.UU, Argentina y Brasil (Legiscomex, Sicex, Dian, procesamiento Fenalce. Dirección económica Importaciones de Cereales y Leguminosas).

¹⁵⁷ No se identificó el documento respectivo en los portales oficiales.

IVC llevados a cabo anualmente para alimentos importados¹⁵⁸, en donde pudiese identificarse claramente el nivel de riesgo de distintos productos, las muestras revisadas en función de las notificaciones o volúmenes de importación y los resultados en materia global de inocuidad (microbiológica, química, residuos, componentes, etc.) de acuerdo a los procesos estandarizados de toma de muestras y análisis en puertos. Por supuesto, el desarrollo de los sistemas de IVC puede llegar a permitir la disponibilidad de esta información de manera generalizada especialmente de sus inspecciones en puertos, aun cuando debido a esquemas de procesamiento se encuentre disponible con algún periodo de rezago. Sin embargo, se hace disponible para cualquier tipo de usuario. Incluso, la comunicación es un componente del análisis del riesgo reconocido en la normatividad nacional de acuerdo a la Resolución 1229 (Art. 10. Numeral 3. Parágrafo).

Aunque desde de la revisión se reconocen los esfuerzos de la institucionalidad al desarrollar un plan de vigilancia específico para micotoxinas, este ha estado orientado principalmente a la inspección de productos terminados en el ámbito nacional y contó con el análisis de muestras de maíz importado.

El informe de Invima (2018b) reportó que para el año 2015, se analizaron 58 muestras que fueron capturadas en puertos durante 2015, 44 de ellas de maíz amarillo y 9 de maíz blanco, 4 de maíz pira y 1 de maíz procesado que ingresaron principalmente por Santa Marta, Barranquilla y Buenaventura. El origen de estas muestras fue: EE.UU (88%), Brasil (6%) y Argentina (4%) (Tabla 27).

Los análisis evidenciaron que el 11% de las muestras de maíz amarillo contenían AFLA hasta de 15,1 µg/kg de AFB1 y 1,8 de µg/kg de AFB2 sin superar

el límite normativo (20 µg/kg). También se encontró contaminación de AFG1 en maíz en 2 µg/kg, aunque para este tipo la sumatoria de aflatoxinas sí superó el límite de 4 µg/kg señalado para productos de consumo directo. En el caso de las muestras de maíz blanco el 11% (1 de 9) estuvieron contaminadas con AFB1 y AFB2 en un rango de 8,3 µg/kg y 0,7 µg/kg respectivamente.

El documento también reportó los resultados del año 2016, cuando se analizaron 110 muestras maíz importado (84 fueron de maíz amarillo y 26 de maíz blanco), 52% ingresadas por el puerto de Barranquilla, 32% por Santa Marta, por Buenaventura (14%) y Cartagena (2%). En este análisis se identificó contaminación con AFLA en el 16% de las muestras, incluso con valores importantes como de 19,4 µg/kg de AFB1 en maíz amarillo aunque no se superó el máximo permisible¹⁵⁹. No hubo diferencias significativas para los análisis de estos dos años para este producto.

No obstante, es fundamental señalar que para 2015, el ingreso de maíz blanco y amarillo al país ascendió a las 4.700.260 toneladas. En el caso del año 2016 el registro fue de 4.562.348¹⁶⁰, lo que evidencia la importancia que tienen las importaciones de este producto. De acuerdo al plan de muestreo de 2018 -2019 (Invima, 2018a) la definición de las muestras, se tomó en función del puerto de ingreso marítimo y se distribuyeron proporcionalmente según los ingresos siendo: en el puerto de Barranquilla (17 muestras), Buenaventura (8), Santa Marta (5) para un total de 30 muestras. Se especifica las técnicas analíticas utilizadas, límites de detección y cuantificación¹⁶¹. En Tabla 43 se relaciona la información muestral reportada y la magnitud de las importaciones para ese año de referencia en esos puertos específicos.

¹⁵⁸Se identificaron informes trimestrales del modelo se concentran en la ivc de productos en el ámbito nacional. Consultar: Informe trimestral 2019. https://www.invima.gov.co/documents/20143/611185/0_Informe_trimestral_IVC_SOA_Corte_septiembre_30_2019_VF.pdf

¹⁵⁹Afla: Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución con Fluorescencia (HPLC-FL); DON: Cromatografía líquida de alta eficiencia con detector Ultra Violeta y ZEA: Cromatografía líquida de alta eficiencia con detector de Fluorescencia. (Invima, 2016).

¹⁶⁰Fuente: Legiscomex, Sicex, Dian. Procesado por Fenalce. Estadísticas. Importaciones de Cereales y Leguminosas en: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMTAwM2FmNDAtY2JmOS00ZDM1LWE2MTMtYTM5YTU4NGM2YTg1IiwidCI6IjU2MmQ1YjJILTBmMzEtNDd-mOC1iZTk4LTNmMjI4Nzc4MDBhOCJ9>

¹⁶¹AFLA: Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución con Fluorescencia (HPLC-FL por sus siglas en inglés). DON: Cromatografía líquida de alta eficiencia con detector Ultra Violeta; OTA: Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución con Fluorescencia (HPLC-FL por sus siglas en inglés).

Tabla 43. Relación entre plan de muestreo de Invima y la magnitud de las importaciones para los tres puertos de entrada de maíz a Colombia durante 2016.

Puerto de ingreso	Muestreo de Invima a maíz importado (2016)*			Magnitud de las importaciones de maíz para los puertos de referencia (2016)**	
	Número de ingresos	Porcentaje de ingresos	Número de muestras	Número de notificaciones de importación	Toneladas (t)
Barranquilla	11	58%	17	612	930.511
Buenaventura	5	26%	8	929	2.053.074
Santa Marta	3	16%	5	619	1.086.711
Total	19	100%	30	2.160	4.070.296

Fuente: *Datos de Invima (2018 a, b). **Legiscomex, Sicex, Dian. Procesado por Fenalce. Estadísticas. Importaciones de Cereales y Leguminosas. Maíz blanco y amarillo. No es posible determinar sistemáticamente en los registros de importación revisados y las bases consolidadas el tipo de uso (humano, animal, industrial), por lo que el valor se presenta de manera agregada.

Los resultados de los análisis generados por Invima y los planes de muestreo que se presentan en la Tabla 43 evidencian un esfuerzo institucional que debe reconocerse. Sin embargo, también señalan la necesidad de afrontar el reto de vigilar plenamente los niveles de contaminación y de establecer estrategias para asegurar la inocuidad y el uso de los materiales importados, en razón al importante volumen de este producto y el riesgo asociado. El esquema de muestreo debe estar en consonancia con aspectos estadísticos de representatividad y técnicos en la captura de la muestra. Se reconoce en la literatura especializada que el maíz al ser transportado en barcos, vagones o pilas, a granel o en sacos, puede ser susceptible a tomas de muestras superficiales poco representativas y que la variación en los resultados depende del tamaño de la muestra, la concentración media de aflatoxinas en el lote y el porcentaje de granos contaminados (Fonseca, 2002).

Vale la pena observar que en los resultados de FGIS (Acápites 5.1.1.3: *Análisis de resultados de inspección a las exportaciones de maíz*) e Invima (Acápites 5.4.1: *Alimentos, materias primas e ingredientes secundarios destinados al consumo humano*) se reportan niveles de contaminación con AFLA, sin embargo, los límites permisibles deben examinarse en relación a otro tipo de consideraciones. Se reitera que el enfoque de evaluación de peligro no se aplica a toxinas con cancerogenicidad preocupante como en el caso de aflatoxinas y que el concepto que se ha sugerido como aplicable en gestión del riesgo para estos casos, es que el nivel de contaminante debe reducirse de manera que resulte “tan bajo

como sea posible” (*As Low As Reasonably Achievable* - ALARA) (FAO, 2004).

Por otra parte, se identificó cómo se han dado cambios relevantes en la definición de términos en la normatividad, de manera que en los últimos años, la Resolución 2674 de 2013 asociaba directamente los alimentos de mayor riesgo para la salud pública con aquellos que “pueden contener microorganismos patógenos y favorecer la formación de toxinas o el crecimiento de microorganismos patógenos y alimentos que pueden contener productos químicos nocivos” (Art.3). No obstante, el Decreto 2478 de 2018, limita a esta categoría los productos de origen animal, derivados lácteos, leche y derivados cárnicos y productos de pesca y ovoproductos, dejando por fuera un gran espectro de alimentos que pudiesen afectar la salud y que requieran un tratamiento diferente en la inspección de puertos de entrada (Acápites 1.3. *Lineamientos nacionales en Inocuidad*- Tabla 6).

Análisis del Invima – maíz y otros productos comercializados en establecimientos nacionales

Tal como se presentó con detalle en la Tabla 27 (Acápites 4.3.1: *Incidencia de micotoxinas en alimentos para el consumo humano*) y específicamente en el acápite inmediatamente anterior sobre las muestras de maíz importado, el Invima en este informe también analizó muestras recolectadas en los años 2015 y 2016 de establecimiento en el país, para diferentes productos como maíz, harina de maíz, arepas y harina de trigo analizadas para AFLA, ZEA, DON.

Tabla 44. Número de muestras analizadas por Invima de los diferentes productos durante 2015 y 2016

Departamento	2015	2016
Antioquia	51	22
Arauca	-	1
Atlántico	-	8
Bogotá	38	51
Bolívar	-	1
Boyacá	3	8
Caldas	5	3
Caquetá	1	-
Casanare	1	-
Cauca	-	2
Chocó	1	-
Córdoba	-	1
Cundinamarca	3	13
Meta	4	2
Norte de Santander	2	2
Nariño	-	5
Quindío	3	3
Risaralda	3	5
San Andrés y providencia	2	-
Tolima	1	-
Santander	3	17
Valle del cauca	6	7
TOTAL	127	151

Fuente: Invima (2018 a, b).

Los resultados de 2015. Para los alimentos examinados se determinó una incidencia de AFLA del 27%, se superaron los niveles máximos permisibles en muestras, aunque no se detectó AFG1 ni AFG2 (Invima, 2018 a). Para 2016, la harina de maíz tuvo una incidencia ZEA del 36% en un rango entre 20µg/kg y 41 µg/kg, con un promedio de 27,7 µg/kg, aunque no se superó el nivel máximo permitido. En el caso de DON, la harina de trigo tuvo una incidencia del 96%, entre 63 µg/kg y 1478 µg/kg con un promedio de 408,5 µg/kg y una de las muestras superó el límite.

Fundamentalmente se evidenciaron contenidos de AFLA en productos como arepas que superaron los niveles permitidos para el consumo directo. Los resultados evidenciaron la falta de control de las condiciones de almacenamiento en plantas de procesamiento de arepas y en las

comercializadoras de maíz y por las deficiencias evidenciadas en el control de proveedores en las diferentes etapas de la cadena (procesamiento, trilladoras, bodegas de almacenamiento, etc.).

Estos resultados llevaron a la aplicación de medidas de seguridad en establecimientos como la clausura temporal, la congelación del producto, el decomiso y la suspensión de trabajadores. Sin embargo, una directriz fue mantener el producto congelado, hecho que no se considera suficiente.

Consideraciones

En el ámbito nacional estos mecanismos de inspección tienen diversas dificultades y limitaciones en el análisis. Entre ellos: el i) la captura de muestras se realiza en los establecimientos que hacen parte del espectro legal de establecimientos que transforman o comercializan estos alimen-

tos. Existen grandes retos en la formalización, la sensibilización y la promoción de mejores prácticas de almacenamiento y transformación de productos que cuenten con ingredientes susceptibles a este tipo de contaminación.

Aunque se debe reconocer el esfuerzo institucional por iniciar el levantamiento de información frente a la problemática, los análisis se realizaron a productos terminados. Ello tiene limitaciones en cuanto a que no existen datos para analizar cómo se da la contaminación en los eslabones que componen la cadena de producción de materias primas, elaboración y venta. Esta situación evidencia la importancia de contar con sistemas integrales y articulados de seguimiento para el mantenimiento de la inocuidad, ya que la importación de productos como el maíz se realiza en grandes volúmenes y de manera permanente.

Pese a las conclusiones del informe, en cuanto a las muestras de maíz es determinante reconocer que **el informe NO es un análisis comparativo entre maíz importado y nacional**. Por su parte, corresponde a un ejercicio de análisis de muestras aleatorias de diversos productos comercializados en el territorio nacional y muestras de maíz importado. No se puede caer en este error de interpretación ya que aspectos como la representatividad de muestreo y el esquema de obtención de muestras no responde a consideraciones sobre volúmenes de flujo del maíz importado o nacional y de aseguramiento a la trazabilidad. Sin embargo, se debe reconocer que la forma en la que se hace referencia a los tipos de muestra analizados en el informe puede conducir a estos errores de interpretación. Al mencionar las muestras como “maíz importado” en diferenciación a otros tipos de muestra como “maíz”, “arepas” y “harina de trigo”, se da campo a que el lector interprete como que éstos últimos productos hacen parte de la fabricación nacional y que sus componentes también cuentan con esta característica de manera exclusiva. Sin embargo, no hay evidencia de que las muestras cuenten con algún tipo de sello de origen sobre el producto final o sus componentes.

Esta situación puede afectar gravemente las ideas de los consumidores con respecto a la calidad de las materias primas producidas y de la industria nacional. La trazabilidad es uno de los retos para muchas cadenas agrícolas. En el caso del grano de maíz, enfrenta desafíos debido a los flujos del mercado internacional ya que tampoco es posible asegurar completamente la destinación (humana y animal) para la cual se realizó la importación.

Por otra parte, los registros de contaminación con micotoxinas en campo son escasos en el país y en general en latinoamérica. De acuerdo a la revisión de literatura identificada (*Capítulo 4. Dinámica de la producción científica sobre micotoxinas en maíz. 4.2. Ámbito internacional y 4.3 Ámbito internacional*) (Tabla 27) la ocurrencia de los agentes microbiológicos en campo no explica completamente la contaminación con micotoxinas, aunque si pueden plantearse alternativas preventivas desde campo o desde el sector primario. No obstante, se resaltan las necesidades de fortalecimiento a la infraestructura de almacenamiento y secamiento (*Acápite 2.3: Capacidad de la infraestructura de secado y almacenamiento en algunas regiones del país*), acciones en materia de transporte y logística de manera que sean adecuadas especialmente en zonas susceptibles por sus condiciones meteorológicas a la hora de la cosecha y tipo de materiales cultivados.

Por lo anterior, se reconocen los retos conjuntos por afrontar en cuanto a investigación, sensibilización, mejoramiento de las condiciones de almacenamiento y secado, con una especial atención en el fortalecimiento a las plantas de procesamiento y comercializadoras de productos de maíz, por lo que en el capítulo 6 de este documento se plantean algunas propuestas en esta vía de mejoramiento. Por supuesto, estos retos deben afrontarse con la participación decidida del gobierno nacional en atención a la salud y la prioridad del sector agrario como sustento a la población, y de los distintos sectores económicos e instituciones con responsabilidad en el proceso.

5.4.2 Alimentos, materias primas e ingredientes secundarios destinados al consumo animal

El Decreto 4765 de 2008 estableció las funciones del ICA, entre ellas el ejercer el control técnico sobre las importaciones de insumos destinados a la actividad agropecuaria (animales, vegetales) a fin de prevenir la introducción de enfermedades y plagas que pudiesen afectar la agricultura y ganadería (Art. 6 Numeral 3). El maíz amarillo importado por Colombia, tiene un importante uso industrial en la producción de alimentos balanceados por lo que se infiere que es un insumo¹⁶² destinado a la actividad agropecuaria responsabilidad de esta entidad. Por otra parte, hace parte de las funciones el “Adoptar, de acuerdo con la ley, las Medidas Sanitarias y Fitosanitarias que sean necesarias para hacer efectivo el control de la sanidad animal y vegetal y la prevención de riesgos biológicos y químicos” (Art. 6. Numeral 6).

Entre los requisitos de importación de plantas o productos vegetales se encuentran los siguientes (Resolución 1558 de 2010. Art.4): i) Certificado fito o zoosanitario de exportación del país de origen ii) Documento fito o zoosanitario de importación expedido por el ICA previo al embarque iii) Resultados de pruebas de laboratorio cuando corresponda iv) La certificación de vacunación de animales cuando corresponda y v) Otros documentos que se definan según el tipo de producto.

El proceso de importación está sujeto a tres acciones principales (Art. 6):

- Revisión documental de la importación
- Inspección física de los productos
- Expedición del Certificado de Inspección Sanitaria o el Certificado Fitosanitario de Nacionalización según corresponda

Categoría del riesgo fitosanitario para el comercio intra-subregional y con terceros países de plantas y productos vegetales

Para el ingreso de este tipo de productos vegetales al país, se toma como referencia la CA. Resolución 1475 de 2010 en la que se determinan las categorías de riesgo fitosanitario. En el caso de maíz, hay dos categorías de riesgo fitosanitario (CRF), a saber: CRF 4 para maíz de siembra y CRF 3 que incluye maíces de diverso tipo (duro, amarillo, blanco, reventón, gigante y morado) que no han sido procesados y el uso previsto tiene una finalidad distinta de la propagación, por ejemplo, consumo o procesamiento. De acuerdo a estas dos categorías de riesgo, los requisitos de importación son: el documento fitosanitario de importación o permiso, la inspección fitosanitaria de ingreso y adicionalmente es posible realizar un Análisis de Riesgo de Plagas (ARP): que hace referencia a la evaluación de las evidencias biológicas u otras evidencias científicas y económicas para determinar si una plaga debería reglamentarse y la intensidad de cualquiera de las medidas fitosanitarias que han de adoptarse contra ella (CA. Decisión 685).

En concordancia con estos requerimientos el Sistema de Información Sanitario para Importación y Exportación de Productos Agrícolas y Pecuarios (SISPAP), presenta los requisitos agrícolas y determina las medidas fitosanitarias para el maíz de acuerdo al tipo de uso y origen. En este se identificaron otras medidas o requisitos como el uso de empaques nuevos que se solicitan explícitamente para importaciones desde Argentina, Canadá, Perú – Bolivia; la medida de “fumigación de ser necesaria” o “tratamiento” que solo se exceptúa para los dos últimos países de origen o procedencia enunciados (Tabla 45).

Otros requisitos para la importación de maíz por parte del ICA – SISPAP son el envío libre de tierra, moluscos, caracoles o babosas para el maíz comercial y de consumo humano proveniente de Canadá, así como declaración adicional en el certificado sanitario de país de origen de: “libre de: *Trogoderma granarium*” para Chile, Ecuador, Estados Unidos y Reino Unido y “libre de *Listronotus bonariensis*, el envío debe venir libre de impurezas y semillas de otra clase” en el caso de Perú – Bolivia.

¹⁶²Insumo agropecuario: ... “toda sustancia o mezcla de sustancias de origen natural, sintético, biológico o biotecnológico, utilizada para promover la producción agropecuaria, así como para el diagnóstico, prevención, control, erradicación y tratamiento de enfermedades, plagas y otros agentes nocivos que afecten a las especies animales, vegetales o a sus productos”.... (1167 de 2010. Art. 10 Numeral 10.)

Tabla 45. Medidas sanitarias y requisitos de importación para el maíz de acuerdo al país de origen y tipo de uso establecidos por el ICA en Colombia

País de origen - Procedencia	Producto	Destino	Medida/Requisito				Otros requisitos
			Certificado sanitario del país de origen	Inspección fitosanitaria en el lugar de entrada	Uso de empaques o envases nuevos	Fumigación / tratamiento en caso de requerirse	
Argentina	Maíz	Comercial	x	x	x	x	--
Canadá	Maíz blanco	Comercial	x	x	x		El envío debe venir libre de suelo o tierra, materia orgánica, moluscos (caracoles y babosas).
	Maíz	Consumo humano	x	x	x		
Chile	Maíz	Uso industrial	x	x		x	El certificado fitosanitario del país de origen debe incluir la siguiente declaración adicional: El envío está libre de: <i>Trogoderma granarium</i>
Ecuador	Maíz	Consumo animal	x	x		x	El certificado fitosanitario del país de origen debe incluir la siguiente declaración adicional: El envío está libre de: <i>Trogoderma granarium</i>
Estados Unidos	Maíz amarillo	Consumo animal	x	x		x	El certificado fitosanitario del país de origen debe incluir la siguiente declaración adicional: El envío está libre de: <i>Trogoderma granarium</i>
	Maíz Blanco	Consumo humano	x	x		x	
México	Maíz amarillo	Uso industrial	x	x		x	--
	Maíz Blanco	Consumo humano	x	x		x	
	Maíz Blanco	Uso industrial	x	x		x	
Perú-Bolivia	Maíz Blanco		x	x	x		- El certificado fitosanitario del país de origen debe incluir la siguiente declaración adicional: El envío está libre de: <i>Listronotus bonariensis</i> . - El envío debe venir libre de impurezas y semillas de otra clase.
Reino Unido	Maíz amarillo	Uso industrial	x	x		x	El certificado fitosanitario del país de origen debe incluir la siguiente declaración adicional: El envío está libre de: <i>Trogoderma granarium</i>

Fuente: a partir de ICA, Sisap. Consultado en agosto de 2019 en: https://afrodita.ica.gov.co/VW_CONSULTAS_REQ_AGRICOLAS/ShowVW_CONSULTAS_REQ_AGRICOLASTable.aspx

Las exigencias descritas muestran el enfoque en certificar la ausencia de insectos y plagas cuarentenarias. No se evidencia la exigencia de otros aspectos relacionados con la prevención o seguimiento a otros componentes de la inocuidad como los riesgos biológicos y químicos, como lo son el contenido de micotoxinas en un insumo agropecuario como el maíz.

“Adicionalmente, el marco de definiciones de la comunidad andina, asocia la inspección con “Examen visual oficial de plantas, productos vegetales u otros artículos reglamentados para determinar si hay plagas y/o determinar el cumplimiento con las reglamentaciones fitosanitarias” (CA. Decisión 685.p.12).

Sin embargo, hace parte de las acciones del ICA en materia de cuarentena agropecuaria el “interceptar, inspeccionar... destruir y aplicar otras medidas” ante la presencia o sospecha de plagas, enfermedades o que se excedan niveles de residuos tóxicos aceptados nacional o internacionalmente en materiales vegetales, animales y sus productos, tanto con destino a la exportación, importación o que entren en circulación en el país (Decreto 1071 de 2015. Artículo 2.13.1.4.2).

Desde estas dos definiciones se generan una serie de inquietudes frente a los procesos llevados a cabo para garantizar la inocuidad y calidad de los productos importados en cuanto a contaminantes químicos y microbiológicos. Se reitera que en esta revisión no se logró identificar claramente los aspectos técnicos de la inspección en los puertos de entrada como protocolos, especificaciones muestrales, variables analizadas, o reportes estadísticos de hallazgos consolidados para las importaciones vegetales¹⁶³. Se aclara que si bien es posible que esta información exista, no se hace evidente su existencia o su publicación, ni la de mecanismos de seguimiento a importadores recurrentes en violaciones o por países de riesgo, así como de procedimientos ante inconformidades e incumplimientos.

Por otra parte, se debe reconocer que el ICA cuenta con la Directiva 30-100-002 dirigida a productores, importadores y comercializadores de alimentos destinados al consumo animal si establece los niveles máximos de aflatoxinas en los alimentos para diversas especies de animales que oscilan entre los 10 µg/kg y 50 µg/kg (Tabla 9) e incluso existe una norma técnica colombiana con otros niveles de referencia. Adicionalmente el ICA, cuenta con laboratorios como de insumos pecuarios, (LANIP), los abortorios de diagnóstico sanitario y el laboratorio nacional de insumos agrícolas (LANIA); además de la red dirigida a la inspección fisicoquímica de alimentos balanceados para animales y contaminantes como toxinas.

5.4.3 Algunos retos en IVC para la calidad e inocuidad del maíz en el ámbito nacional

Vigilancia, inspección y control

Existen evidencias de contaminación con toxinas cancerígenas de maíz importado, como se presentó en el acápite 5.1.1.3 (*Análisis de resultados de las inspecciones a las exportaciones de maíz*) en cuanto a los resultados de inspección de FGIS para el maíz estadounidense que es importado por Colombia, registros que suponen un riesgo para la salud en general. Además se identificaron notificaciones de exportación hacia Colombia de maíz tipo “SG”, calidad que representa un riesgo potencial en caso de que ingrese en la cadena alimentaria humana o animal, dado que no existe un mecanismo que asegure el uso adecuado de estos materiales en relación al su nivel de calidad e inocuidad.

Por otra parte, aunque se reconoce el esfuerzo de Invima en la problemática de aflatoxinas y la realización de análisis de muestras de maíz importado, también se debe reconocer la complejidad frente al esquema y técnica de muestreo el cual debe estar en consonancia con aspectos de representatividad, viabilidad económica y de procedimiento procedimiento de captura de muestras como lo señaló Fonseca (2002).

¹⁶³ICA. Estadísticas. Consultado en agosto de 2019 en: <https://www.ica.gov.co/importacion-y-exportacion/estadisticas>. No está disponible el “Boletín de importación de Vegetales y Productos”. En el caso de datos estadísticos para importaciones pecuarias, que si es accesible, el informe contiene el número de inspecciones realizadas por tipo de importación (bovinos, equinos, porcinos, etc.) sin que ello muestre propiamente los resultados de las inspecciones o especificaciones técnicas de los métodos empleados.

Aunque en los datos de Invima no se exceden los límites permisibles, el nivel adecuado de protección debe examinarse y replantear las medidas desde un enfoque de prevención. Se ha reconocido que el enfoque de evaluación de peligro basado en límites permisibles no se aplica a toxinas con cancerogenicidad preocupante como lo son las aflatoxinas, por lo que el nivel de contaminante debe reducirse de manera que resulte “tan bajo como sea posible” (As Low As Reasonably Achievable - ALARA) (FAO, 2004).

Igualmente, es importante considerar la conveniencia de implementar la evaluación del riesgo que debe plantearse como un reto de mediano y largo plazo. Por otra parte, debido a que las condiciones de transporte y almacenamiento pueden aumentar tanto la incidencia como los niveles de concentración de micotoxinas, como se puede inferir en los hallazgos encontrados en puertos japoneses, que pese a la rigurosidad de los análisis por parte de Estados Unidos y los generados por el país importador, se llegan a identificar niveles de contaminación, con consecuencias para los importadores y rechazos; en el caso Coreano, se llega a replantear el esquema mismo de seguimiento, de acuerdo al riesgo de los alimentos, regiones exportadoras e importadores, de acuerdo a los registros de seguimiento frente a violaciones a las leyes de sanidad e inocuidad alimentaria.

En este sentido se identificaron vacíos en cuanto a aspectos de aseguramiento a la inocuidad de las materias primas importadas ya que se hace énfasis en la certificación de la ausencia de insectos y plagas cuarentenarias, pero no se identificó el seguimiento a otros aspectos de la inocuidad como los riesgos biológicos y químicos frente a los lineamientos de normativos vigentes.

Comunicación

Actualmente, en el país no se identifica un esquema de suministro de información abierto y actualizado del cual se pueda extraer datos para su análisis y establecimiento de acciones

conforme a las condiciones del grano que arriba a los puertos colombianos, que también incluya información referente a la verificación de las calidades y de contaminación por micotoxinas en el maíz importado con destino a la alimentación humana o animal.

Existen grandes retos frente a la consolidación de información y comunicación de los distintos análisis, la evaluación y la gestión de riesgo de alimentos importados por parte de los distintos actores. La información no se identificó o su existencia no se hace evidente. Se requiere el fortalecimiento a la comunicación de los resultados del proceso sistemático de inspección, vigilancia y control de importaciones de alimentos. Este componente se puede reconocer como una buena práctica en los países altamente dependientes de importaciones alimentarias como Japón y Corea del Sur o en el Sistema RASFF de la Unión Europea quienes lo hacen sistemáticamente, toman decisiones con los resultados y los comunican.

Articulación

Para vislumbrar los distintos roles que deben cumplir las instituciones en este proceso de aseguramiento de la salud pública es fundamental establecer sinergias interinstitucionales y reconocer la existencia de vacíos que comprometen la gestión eficiente relacionada con la inspección y seguimiento del maíz importado.

Tal como se explicó en la “Solicitud de intervención y control técnico de las importaciones de maíz amarillo del TLC con EE.UU”, en Estados Unidos las partidas arancelarias de los tipos de maíz que se ofertan en el mercado incluyen el tipo de maíz¹⁶⁴ con una nomenclatura de hasta 10 dígitos, en comparación con la nomenclatura usada por Colombia de 8 dígitos que ofrece vacíos de información. Así, la importación de maíz amarillo duro en las importaciones puede no cumplir las especificaciones. A partir de este vacío y la no aplicación de la carta adjunta sobre obligaciones adicionales en materia MSF,

¹⁶⁴Ver notas 25 y 26.

se hace posible la importación de diversas calidades, que llegan a suponer un riesgo para la salud pública. Sustento de esto, son los datos suministrados por el FGIS y analizados (Acápite 5.1.1.3), en donde se identificaron notificaciones de exportación a Colombia de calidades distintas al grado No. 2 como grado No. 4, 5 y “SG”; tanto en maíz amarillo como para blanco, el cual, por lo general, es destinado a la alimentación humana (Tabla 32). Estos detalles merecen especial atención si se tiene en cuenta que existe todo un esquema de diferenciación por precio en el mercado estadounidense y se están importando calidades no comparables con las obtenidas en la producción nacional (Acápite 3.3.2: *Impactos a la salud y el bienestar general*. Tablas: 14, 15 y 16).

A su vez, la solicitud de intervención señala la importancia de realizar un desdoblamiento de la partida, de tal modo que sea posible diferenciar técnicamente el uso del maíz *Dent* grado No. 2 para consumo animal y maíz *Flint* Grados 1 y 2 para el consumo humano.

Lo anterior, supone un aspecto por subsanar de manera prioritaria, que incide en la definición tanto de los esquemas de seguimiento como de las instituciones responsables del seguimiento: el ICA encargado de la vigilancia de insumos agropecuarios e Invima, encargado de la vigilancia a las importaciones de productos para el consumo humano, en conjunto con el trabajo articulado de otros agentes. Aunque existen avances y desde 2012 se ha venido trabajando en procesos de inspección física simultánea en productos como cereales importados para consumo humano¹⁶⁵ entre ICA e Invima, o procesos articulados a través de la Ventanilla Única de Comercio Electrónica VUCE del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, la DIAN, el ICA, Migración Colombia y la Policía Nacional (Invima, 2017)¹⁶⁶.



Por supuesto, existen retos para la inocuidad, desde el fomento a prácticas preventivas de control de la contaminación en campo, que en primera medida contribuyen al fortalecimiento de las capacidades nacionales de producción de maíz, desde la implementación de BPAs, BPMs y demás aspectos relativos a la calidad, así como el fomento al mejoramiento en la capacidad de la infraestructura usada en secado y almacenamiento seguro, por mencionar algunos aspectos determinantes. Por supuesto es fundamental la revisión de estrategias integradas y multidisciplinarias para la generación de conocimiento, el planteamiento de alternativas tecnológicas y de innovación en función de garantizar la inocuidad del grano y promover esquemas de fortalecimiento y comercialización.

El siguiente capítulo responde a estos retos a partir de una serie de iniciativas.

¹⁶⁵Circular conjunta 1 de 2012. ICA – Invima.

¹⁶⁶De acuerdo al art. 1o del Decreto 1520 de 2008 y 108 del Decreto-ley 019 de 2012

06

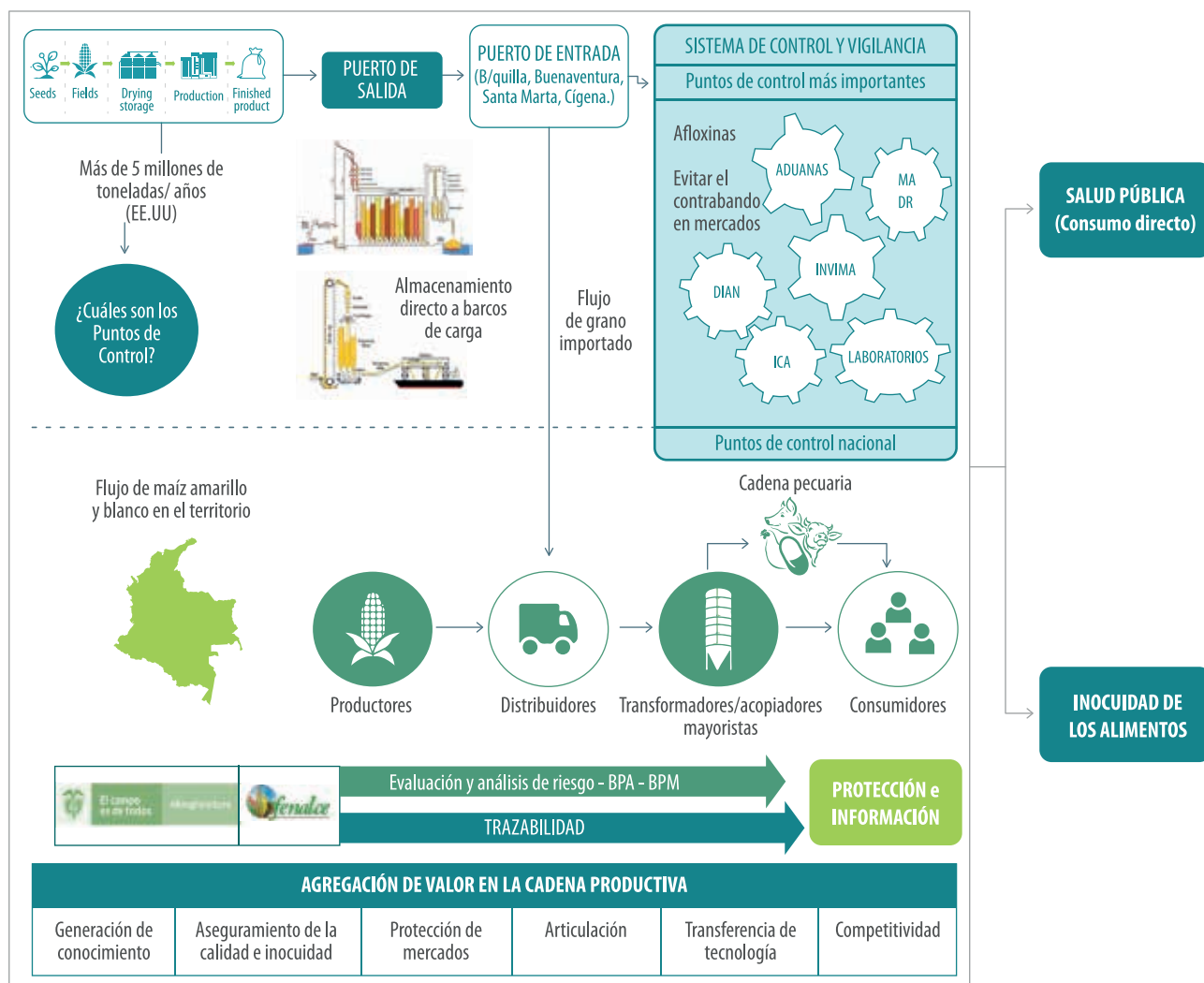
ESTRATEGIA: FORTALECIMIENTO A LA COMPETITIVIDAD DEL MAIZ DESDE SU CALIDAD E INOCUIDAD CON ÉNFASIS EN MICOTOXINAS

Se desarrolla en torno al derecho fundamental al consumo de alimentos de calidad y en búsqueda de salvaguardar la salud humana de peligros que pudiesen afectarla. A partir de estos intereses, se ofrecen lineamientos para el fortalecimiento a la producción nacional desde un enfoque integrador entre el conocimiento en la producción primaria, el desarrollo de mercados y procesos de agregación de valor, y de asociatividad como ámbitos inseparables a la hora de fortalecer la producción y venta de alimentos inocuos.

Se consolidó a partir de objetivos y líneas estructurantes o componentes en los cuales es posible enmarcar una serie de iniciativas estratégicas de acuerdo al contexto nacional de flujos de maíz. Estos planteamientos se estructuraron a partir de un proceso de planificación y articulación con expertos de distintas entidades (IICA, UNAL, MADR, entre otras), sin embargo, su implementación requiere de una actitud decidida por parte de la institucionalidad correspondiente, así como de su seguimiento y ajuste. De este modo, las iniciativas propuestas podrán articularse con otras futuras concertadas desde un enfoque de fomento a la producción nacional desde la inocuidad para dar seguridad a los consumidores, desde una respuesta coherente a las magnitudes y características de los flujos del maíz de importación y producción que circulan en el territorio nacional (Figura 52).



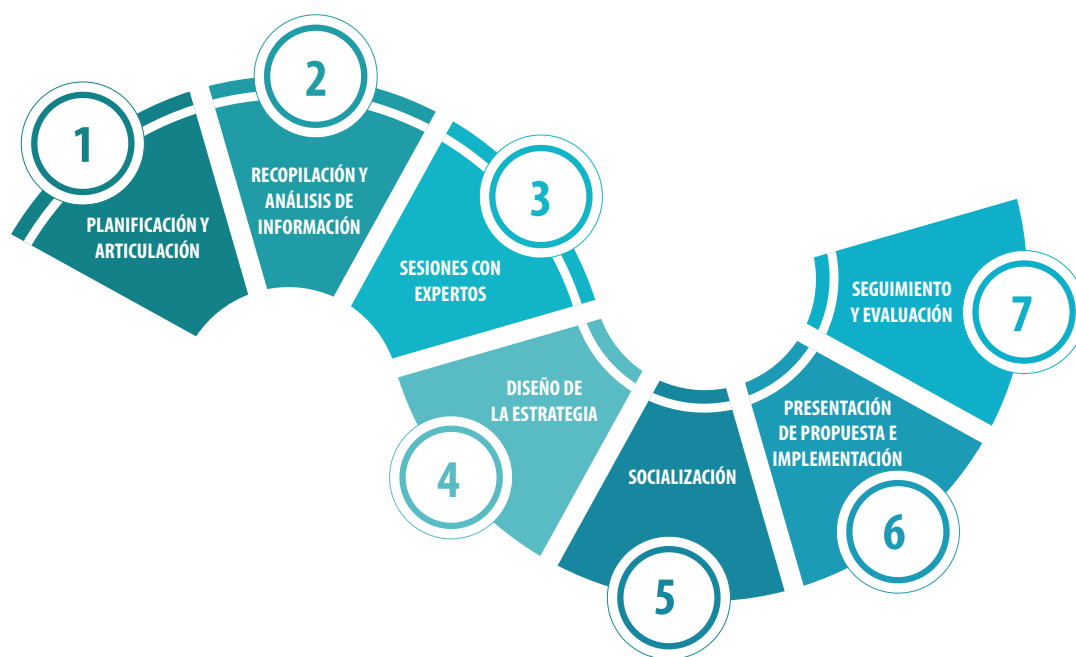
Figura 52. Escenario de construcción de la estrategia de fortalecimiento a la calidad e inocuidad del maíz



Fuente: elaboración propia.

La consolidación de esta propuesta tuvo diversas etapas. Entre ellas: sesiones de planificación y articulación con actores estratégicos (MADR, IICA, UNAL, expertos y otros actores). Se realizó el análisis y recopilación de literatura y conocimiento científico el cual se consolidó en los capítulos previos de esta publicación; a su vez, se realizaron distintas sesiones para el diseño de propuestas con expertos en inocuidad alimentaria y micotoxinas. Por supuesto, otras fases que componen la estrategia son su socialización, la presentación de propuestas y proyectos enmarcados en las respectivas líneas estructurantes para la implementación, así como su seguimiento y complementación a futuro con otros aspectos de la inocuidad en lo concerniente a otro tipo de peligros (Figura 53).

Figura 53. Etapas de construcción de la estrategia de fortalecimiento a la calidad e inocuidad del maíz



6.1 Principios

6.1.1 Prevención del riesgo

Es el enfoque central de las estrategias, líneas y acciones de fortalecimiento a la inocuidad de alimentos. La prevención se enfoca en la reducción de amenazas o riesgos, consiste en evitar una situación que puede ser debida a fallas en la inocuidad, enfermedades, malnutrición o hambre de acuerdo con la Política de Seguridad Alimentaria y Nutricional. En la gestión de la inocuidad, las iniciativas de prevención hacen parte del proceso de generación y actualización de conocimientos y prácticas, por lo que requiere de la generación de conocimiento y asesorías con expertos para dar respuesta a los problemas y prevenirlos (Palomino-Camargo, González-Muñoz, Pérez-Sira y Aguilar, 2018). Se busca plantear estrategias preventivas que puedan derivar en procesos educativos desde la perspectiva de cadena productiva de acuerdo a lo establecido como parte del manejo social del riesgo.

6.1.2 Conocimiento

Es la herramienta fundamental para: i) Identificar las características de la producción, la problemática sobre la calidad e inocuidad del maíz, la comprensión de las dinámicas actuales del mercado, el reconocimiento de las condiciones de producción, almacenamiento y transformación en distintas regiones productoras. ii) Identificar actores principales que hubiesen contribuido a la generación de conocimiento de referencia sobre la contaminación con micotoxinas en maíz en distintos ámbitos iii) Generación de alternativas técnicas y culturales para el fortalecimiento la inocuidad en la cadena productiva de maíz en consideración a las condiciones locales y diferenciadas de los productores nacionales. iv) Revisión sobre esquemas de vigilancia, inspección y control de la calidad de alimentos de los principales países productores e importadores y v) Asesoramiento con expertos nacionales e internacionales en inocuidad, que hubieren abordado temáticas relacionadas con las micotoxinas, la salud pública y la calidad en granos.

6.1.3 Reconocimiento a las condiciones de producción

Las características de la producción primaria, de los procesos de transformación y de comercialización son diversas. En el país existen particularidades y retos diversos según las regiones en términos de manejo de cultivo, instalaciones y adecuación para el secado y almacenamiento del grano así como de la composición de sus productores (pequeños, medianos, grandes) y grados de adopción tecnológica. Por otra parte, existen diversos flujos comerciales del maíz de importación y de la producción nacional a partir de los usos de este producto agrícola. Entre otros aspectos de diferenciación regional, se encuentran las capacidades de generación de conocimiento e información, que puntualmente se pueden incidir en la investigación, el diagnóstico y el seguimiento de la contaminación y a las fallas de la inocuidad.

6.1.4 Inspección, vigilancia y control de la contaminación

La vigilancia en lugares en los que ocurra la contaminación con métodos y protocolos definidos, así como el monitoreo a piensos y alimentos, y la implementación de alternativas desde la asistencia técnica, son elementales. De acuerdo con estudios de riesgo por AFB1 en productos como la arepa (INS, 2015), hace parte de la integración de distintas instituciones la vigilancia y el control de empresas productoras o transformadoras. Sin embargo, es fundamental la generación de información de manera completa desde el ingreso del maíz importado y de producción de maíz; de modo que la inspección y vigilancia incluye que en puertos, aeropuertos y pasos fronterizos, se genere información en relación a la inocuidad con micotoxinas como la AFB1 y entre los documentos de admisión se exija el certificado de análisis de aflatoxinas, expedido por un laboratorio preferiblemente acreditado en donde se informe sobre los niveles de estas sustancias.

Aspectos técnicos como la intervención en las equivalencias o el desdoblamiento de partidas arancelarias en favor de conseguir la armonización y con ello, que sea posible una comparación eficiente, oportuna y veraz entre los maíces que se importan y los que se producen a nivel nacional, son elementos fundamentales para el planteamiento de un esquema de vigilancia de la inocuidad sobre este producto. (*Acápíte: 5.4.3: retos para la inspección, vigilancia y control en el ámbito nacional*).

Tabla 46. Inspección, vigilancia y control de la contaminación – iniciativas estratégicas

INSPECCIÓN, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN	
Iniciativas estratégicas	
Evaluación del riesgo del maíz de importación	Plazo
Realizar un análisis de riesgo frente al conjunto de operaciones que afectan la calidad de grano desde la compra de semillas hasta el usuario final, con el objetivo de salvaguardar la salud pública y exigencias de calidad del para el consumo nacional. Por medio herramientas como el árbol de problemas, en donde se hace posible identificar causas y efectos en sistemas complejos y probabilidades de ocurrencia en cada ruta de eventos se originan medidas específicas (Thakur <i>et al.</i> , 2009).	I
Reconocer los procesos aduaneros y de IVC, así como de su seguimiento hasta la comercialización y garantizar el uso y destinación del maíz de importación.	I

Implementar metodologías de evaluación de riesgo para identificar los peligros para la salud pública (toxicológicos) del maíz importado y distribuido en el ámbito nacional ante el riesgo de desvíos para el consumo humano.	I
Analizar los procesos de inspección, vigilancia y control de manera previa a la nacionalización en puertos, así como el riesgo durante la distribución, transporte y demás procesos logísticos.	I
Articular actores (ICA, INVIMA, DIAN y POLFA u otros que se consideren pertinentes).	I
Plantear alternativas (sistema, proceso, normatividad, etc.) que permitan minimizar o prevenir significativamente la ocurrencia de tales peligros y brindar garantías de inocuidad del maíz importado, de manera que no esté contaminado y cumpla con los requerimientos de calidad de acuerdo al uso.	M
Establecer marcos definidos de toma y análisis de muestras.	M
Evaluar la información derivada del monitoreo a los procesos (registros) de inspección, vigilancia y control como una práctica de rutina por parte de los actores involucrados.	M/L
Analizar con MinSalud los resultados de los procesos de inspección vigilancia y control con respecto al nivel de protección necesario para la salud pública, conforme al Plan Nacional Subsectorial de Vigilancia y Control de Residuos Micotoxinas ejecutado por INVIMA.	M
Evaluar y caracterizar el riesgo del maíz producido en el ámbito nacional	
De acuerdo a la revisión, reiteradamente se ha planteado la necesidad de hacer seguimiento y caracterizar el riesgo con datos desde procesos de vigilancia y control, que cuenten con procesos definidos de muestreo y análisis validados. Además, evaluar la exposición a la contaminación a partir de distintos productos en el caso de micotoxinas, épocas del año, regiones y desde el seguimiento a grupos particulares (población infantil, poblaciones vulnerables o específicas como mujeres rurales, poblaciones indígenas, lactantes y poblaciones vegetarianas) por supuesto, desde una perspectiva de salud pública, de acuerdo a los hallazgos de Díaz <i>et al.</i> (2015). Por supuesto, este tipo de evaluación tiene un enfoque de salud, por lo que los entes pertinentes tienen una mayor responsabilidad en liderar estos procesos.	M/L
En cuanto a la evaluación del riesgo en la cadena del maíz, responderá a condiciones productivas localizadas y desde la comprensión de los flujos del grano en el territorio en relación a la exposición identificada como en el caso del estudio de INS (2015).	
Posibles actores para relacionamiento: Invima, Ica, MADR, Agrosavia, Universidades.	
Estructurar y ejecutar un mecanismo de vigilancia y control de maíz importado para consumo humano y animal	Plazo
Conformar el comité técnico para la inocuidad del maíz.	I
Evaluar el nivel adecuado de protección frente a micotoxinas.	M
Determinar protocolo de captura y análisis de muestras: el muestreo es un aspecto determinante en los resultados. Se debe considerar la custodia y el medio de transporte que requiere una muestra representativa y no superficial.	M
Capturar y evaluar muestras de maíz importado en puerto: registros de captura de muestras de maíz importado, resultados de análisis de muestras de maíz importado, informes de análisis de monitoreo. No. de muestras de maíz importado capturadas No. de muestras de maíz importado analizadas.	M
Definición de medidas de seguimiento y gestión del riesgo.	M

Registro de información sistemática de alimentos que permita comunicar el riesgo y hacer seguimiento en la cadena agroalimentaria (Salazar <i>et al.</i> , 2016).	M
Establecer el seguimiento a materias primas para moléculas como micotoxinas (ZEA, AFLA, FUM, DON).	M
Actores para relacionamiento: ICA, MADR, Fenalce, Universidad Nacional de Colombia, IICA, Fenalce, Instituto Nacional de Metrología, Invima, MADR, INS, DIAN, POLFA, universidades	
Estructurar y ejecutar un mecanismo de vigilancia en micotoxinas (ámbito nacional)	Plazo
Determinar protocolo de captura y análisis de muestras (Universidad Nacional, Metrología, MADR).	I
Monitorear la contaminación con micotoxinas.	I
Desarrollo de ensayos para la detección rápida de hongos micotoxigénicos como <i>Aspergillus</i> sp. y <i>Fusarium</i> sp. en campo (Ej. Metodologías LAMP), articulando distintas áreas de conocimiento (ecología, microbiología, genómica), así como con el uso de tecnologías (sensores, pruebas, etc) que permitan establecer modelos predictivos para toxinas específicas.	L
Evaluación de la susceptibilidad de materiales en regiones productoras. No. de evaluaciones realizadas, realización de investigación (Fenalce, Agrosavia, ICA, universidades).	M
Establecimiento de mecanismos de seguimiento y monitoreo a nivel nacional (No. de muestras de maíz nacional capturadas. No. de muestras de maíz nacional analizadas, registros de captura de muestras de maíz importado).	M
Desarrollar un mecanismo de seguimiento que permita identificar regiones, materiales y temporadas que propicien la incidencia de hongos micotoxigénicos y que permita establecer esquemas de alarma. Los mecanismos de IVC deben atender a las variaciones entre regiones, épocas del año y las particularidades productivas, en reconocimiento a las necesidades de mejora de la poscosecha del grano como en almacenamiento, así como la necesidad de monitoreo en puntos de comercialización y por mayores periodos de tiempo (Morris, 2011).	M
Seguimiento que permita identificar, regiones, materiales susceptibles, temporadas que propicien la incidencia del hongo antes de cosecha y generar esquemas de alarma en función de fomentar niveles de seguimiento y secado del grano de manera prioritaria.	M
Seguimiento respectivo a la contaminación en otros productos derivados y de transformación como los alimentos balanceados.	M
Dar seguimiento a poblaciones vulnerables específicas a partir de biomarcadores (orina, leche materna) e incluir otras micotoxinas (AFLA, OTA y FUM) de acuerdo a otras evidencias (Sánchez <i>et al.</i> , 2014).	L
Actores para relacionamiento: MADR, ICA, INVIMA, INS, Universidad Nacional, Metrología, entre otros.	

6.1.5 Participación y articulación

Para la implementación de la estrategia, es fundamental la integración de medidas desde otros planes y directrices con respecto a la productividad, la generación de conocimiento en los ámbitos nacional y regional, así como en lo relacionado a aspectos de cooperación de tipo internacional.

6.2 Enfoques de la estrategia de fortalecimiento a la inocuidad y la calidad del maíz

Figura 54. Enfoques de la estrategia de fortalecimiento a la calidad e inocuidad del maíz



6.2.1 Inocuidad y calidad

El primero de estos conceptos hace referencia al conjunto de condiciones y medidas que se monitorean a lo largo de la cadena productiva para garantizar la seguridad del alimento, es decir, que el alimento no genere un riesgo para la salud pública de acuerdo a los postulados de la Organización Mundial de la Salud y las regulaciones nacionales. Sin embargo, calidad e inocuidad, no pueden abordarse de manera independiente. La inocuidad es un atributo de los alimentos de calidad y fundamentalmente es un derecho del consumidor. Existen diversas definiciones sobre lo que es la calidad y la inocuidad de los alimentos que se encuentran en el marco normativo nacional, a continuación, se retoma la establecida en la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (PSAN):



“...el conjunto de características de los alimentos que garantizan que sean aptos para el consumo humano, que exigen el cumplimiento de una serie de condiciones y medidas necesarias durante la cadena agroalimentaria hasta el consumo y el aprovechamiento de los mismos, asegurando que una vez ingeridos no representen un riesgo (biológico, físico o químico) que menoscabe la salud. No se puede prescindir de la inocuidad de un alimento al examinar la calidad, dado que la inocuidad es un atributo de la calidad. Sus determinantes básicos son: la normatividad (elaboración, promoción, aplicación, seguimiento); la inspección, vigilancia y control; los riesgos biológicos, físicos y químicos, y la manipulación, conservación y preparación de los alimentos”. (Conpes 113 de 2007, p. 7).

El maíz, al ser un alimento básico para la seguridad alimentaria nacional, es destinado al consumo humano directo o procesado y se emplea como insumo para la industria pecuaria a través de su transformación. En el marco de la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (Conpes 113 de 2007), se interpreta la seguridad alimentaria desde múltiples dimensiones y se reconoce la necesidad de asegurar la calidad y la inocuidad de alimentos, tanto de los producidos en el ámbito nacional como aquellos en el marco de las relaciones del comercio internacional, dado que cada uno de los componentes o dimensiones de la seguridad alimentaria y nutricional deben abordarse de manera articulada.

Así, el aseguramiento de la inocuidad y la calidad, debe situarse en un contexto complejo de flujos del grano y de diversos actores intervinientes. Para 2019 se importaron al país 5.812.437 t de maíz amarillo y blanco, hecho que responde a una dinámica creciente en los últimos años (*Capítulo 2: Escenario general del maíz*). Sobre este maíz existen evidencias de detección de contaminación con micotoxinas y de la importación de distintos grados de calidad (Grado 1, 2, 3, 4 y *Sample grade*) a partir de información expedida por las instituciones del país exportador (*Federal Grain Inspection Service - FGIS*). Estos resultados conducen a la reflexión sobre la destinación y el uso de estas importaciones, dadas las falencias en el aseguramiento a lo largo de las cadenas de transformación (*Acápite 5.1.1.3 Análisis de resultados de inspección a las exportaciones de maíz; perspectiva exportadores - Estados Unidos*) ya que existen vacíos para la diferenciación de maíces que confluyen en el territorio.

En el momento mismo de la importación, se presentan falencias en el proceso de integración de nomenclaturas arancelarias. Desde Estados Unidos, la nomenclatura corresponde a *Harmonized Tariff Schedule - HTS*, caracterizada por contener 10 dígitos y la nomenclatura común Nandina empleada por Colombia de 8 dígitos, lo que deriva en la pérdida de información sobre uso (*tipos de maíz Dent o Flint*) (*Acápite 1.4*), como de su seguimiento en el territorio nacional.

La calidad del grano de maíz suele determinarse por aspectos como:

- > Porcentaje de granos rotos.
- > Grado de humedad.
- > Daños causados por el calor.
- > Porcentaje de material externo.
- > Contenidos de micotoxinas.

En el mercado estadounidense estos aspectos de calidad e inocuidad son determinantes a la hora de establecer precios de venta, incluso, existen mecanismos de penalización por la contaminación por micotoxinas como AFLA, DON y FUM de acuerdo a referentes normativos establecidos por la FDA que pueden generar una disminución en el precio de hasta el 40% tal como se presentó detenidamente en el acápite 3.3 *Impacto económico contaminación de micotoxinas en la cadena del maíz, 3.3.1 Problemática mundial por contaminación de micotoxinas en la cadena pecuaria - Penalización por precio*.

La falta de control y de comunicación de la información sobre usos y calidades conlleva a una competencia desleal con el productor nacional.

Sin embargo, existen otros aspectos de la calidad del grano de maíz. Tanto las diferentes características agronómicas y de desempeño de semillas, de calidad fisiológica, como de atributos organolépticos y nutricionales que son apreciadas por distintas industrias (ej. texturas, tipo de endospermo, contenidos de lisina y triptófano, etc.). Entre estas, se reconoce ampliamente que las características de composición del endospermo del grano de maíz¹⁶⁷, zona de almacenamiento de los carbohidratos y de las proteínas sintetizadas fotosintéticamente, cuyas características de composición están genéticamente determinadas y se derivan de las relaciones entre amilosa y amilopectina, conlleva a caracterizarlo como grano corneo u harinoso, así como las diferencias en los contenidos específicos de proteínas (ej. albúminas, globulinas, prolaminas, zeína) u otros componentes nutricionales de los materiales.

Dado que estos aspectos de identidad, calidad e inocuidad son determinantes para los tipos de uso dado al grano en términos industriales y gastronómicos, e incluso pueden propiciar mercados específicos, es fundamental el mejoramiento de los procesos de vigilancia, inspección y control a cabeza de los actores pertinentes en lo relativo a la importación de maíz, así como el empleo de herramientas de trazabilidad que permitan hacer dicha diferenciación de uso y asegurarlo hasta el final de la cadena de transformación. Estas herramientas incluso pueden enfocarse en las particularidades de los maíces

nacionales para el reconocimiento y distinción de atributos específicos. Además por medio de esta herramienta se hace posible dar un uso seguro al maíz altamente contaminado con micotoxinas como biogás y bioetanol.

➤ La comunicación y visibilidad de la información, el desarrollo normativo, entre otros aspectos ambiciosamente señalados en esta propuesta, pueden contribuir a fortalecer e implementar mecanismos de manera integrada para fines diversos: contrarrestar posibles riesgos a la salud, propiciar el fortalecimiento de la producción nacional e incluso posicionar calidades nacionales en el mercado, así como una mayor transparencia en el mercado desde un trato igualitario con la competencia por parte de los organismos de control.

En el país, en 2019 se produjeron 1.596.834 t de maíz blanco y amarillo. Existen grandes retos para su fortalecimiento técnico desde la producción primaria y demás eslabones, en conjunto con necesidades de adecuación e infraestructura de secado y almacenamiento, así como relativos a la comercialización. Por supuesto, todas las iniciativas aquí propuestas tienen el fin último de fortalecer los aspectos de calidad e inocuidad y los relativos a la reducción de brechas, disminuir las asimetrías en el mercado y contribuir a la salud pública en general.

¹⁶⁷Es bastante conocida la clasificación racial del maíz de Sturtevant, basada en características de textura o estructura del endospermo a través de siete grupos: i) Maíz tunicado: *Zea mays tunicata* St., con cada grano envuelto en su propia bráctea sin valor comercial. ii) Maíz reventón: *Zea mays everta* (Sturtev.) de granos pequeños con endospermo cristalino, constituido preferentemente por almidón córneo, que explota al ser sometido al calor. iii) Maíz cristalino: *Zea mays indurata* (Sturtev.) con granos con endospermo vítreo duro, cristalino y translúcido, con almidón en su mayoría córneo. iv) Maíz amiláceo: *Zea mays amilácea* (Sturtev.) con granos con endospermo blando, suave amiláceo de gran tamaño y alto rendimiento. v) Maíz dentado: *Zea mays indentata* (Sturtev.) de granos con endospermo formado con almidón córneo cristalino, tanto en su exterior como interior, en cuya parte superior contienen almidón blando suave, que en la madurez origina una depresión central superior, debido a una mayor hidratación, dándole al grano la forma característica de diente. vi) Maíz dulce: *Zea mays saccharata* (Sturtev.) con un grano completamente arrugado cuando están maduros. Posee un gen recesivo en el cromosoma 4, el cual impide la conversión de algunos azúcares solubles en almidón. Y vii) Maíz ceroso: *Zea mays ceratina* Kul. De aspecto ceroso en el endospermo, en maíz normal la molécula de almidón está compuesta por 75 % de amilopectina y 25 % de amilosa. En cambio, en el maíz ceroso (*waxy*), el almidón está constituido por 100 % de amilopectina, lo que origina un almidón de característica gomosa parecido al de yuca (Acosta, 2009).

6.2.2 Análisis, gestión y comunicación del riesgo

El análisis y la evaluación de riesgos parte de la identificación del peligro (físico, químico y biológico) y la valoración (cualitativa o cuantitativa) de los efectos en la población (riesgo), está basada en información sólida derivada del método científico, aunque también existen niveles de incertidumbre para el planteamiento de acciones en función de proteger la salud humana y animal. En el marco de sistemas MSF y desde la Política Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de Alimentos para el Sistema de Medias Sanitarias y fitosanitarias (Conpes 3275 de 2005), se promueve el enfoque de gestión del riesgo como herramienta principal (Figura 55).

Su operación tiene diversos niveles de caracterización del riesgo para la definición del nivel de seguridad de acuerdo a la consideración de peligros agudos y crónicos para la salud. Este

documento se preocupó por consignar, a lo largo de los diversos capítulos, información de revisión sobre eventos de contaminación y su relación con el riesgo en el ámbito internacional y nacional (*Capítulo 3: Las micotoxinas y sus impactos, Capítulo 4. Dinámica de la producción científica sobre micotoxinas en maíz*), evidenció el riesgo atendiendo a los vacíos de seguimiento y volúmenes del maíz de importación y necesidades nacionales de fortalecimiento productivo como la asistencia técnica y las necesidades de infraestructura de almacenamiento y secado.

Sin embargo, es preciso avanzar en generar conocimiento en ámbitos regionales, en diversas épocas y a partir de poblaciones específicas, avanzar en la valoración de impacto socioeconómico y productivo así como profundizar en la caracterización del riesgo de las importaciones, entre otros aspectos.

Figura 55. Etapas fundamentales para la evaluación del riesgo



La gestión del riesgo busca establecer procedimientos como prácticas de manipulación de alimentos, controles de calidad y seguridad, así como normas (límites seguros aceptables, de residuos y definidos a partir de evaluación de riesgos). Busca la promoción de: actividades y medidas sanitarias y fitosanitarias, generar acciones de control como la prevención, diagnóstico IVC, atención de emergencias y acciones preventivas. Algunas de ellas se plasman en las líneas estructurantes e iniciativas de esta estrategia como los son el fortalecimiento a los sistemas de IVC para alimentos de importación, el fomento a BPAs y BPM, trazabilidad, entre otras, de acuerdo a la revisión de la problemática (*Capítulo 5.: Referenciación de esquemas de vigilancia, inspección y control de la contaminación*).

Otra de las etapas de este enfoque corresponde a la *comunicación del riesgo*, en donde se proporciona información sobre los peligros y riesgos para la población, con el fin de prevenirlos o minimizarlos a partir de los procedimientos establecidos. Se busca la interacción de evaluadores, gestores del riesgo, consumidores y otras partes interesadas en un enfoque “de la granja a la mesa”. También, hace parte de los objetivos de la comunicación el garantizar el cumplimiento de las medidas propuestas, fomentar la prevención, actualización tecnológica y normativa desde la generación y difusión de la información tal como se observó en la revisión de esquemas IVC (*Capítulo 5: Referenciación de esquemas de vigilancia, inspección y control de la contaminación*).

En la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, la gestión del riesgo se plantea como un proceso de *manejo social*, lo que implica considerar la vulnerabilidad y la exposición de la población en las acciones del estado y la sociedad desde estrategias de prevención, promoción, mitigación y superación del riesgo. Las estrategias de *prevención* se enfocan en la reducción de amenazas o riesgos, consisten en evitar una situación que puede ser debida a fallas en la inocuidad, asociadas a enfermedades, malnutrición o hambre. Las estrategias de *promoción* se relacionan con la disminución de la vulnerabilidad de un grupo específico a una situación. Se hace referencia a estrategias de *mitigación* cuando la amenaza es inminente o inevitable y se genera una intervención que disminuye la vulnerabilidad y el impacto de una población, a partir de toma de medidas focalizadas a grupos vulnerables por riesgos específicos, antes de que ocurran dichos eventos. Por último, las estrategias de *superación* se enfocan en los riesgos materializados en comunidades específicas, a partir del fortalecimiento de sus medios económicos, aplicadas después de la perturbación, para ocuparse de los impactos no cubiertos por la mitigación.

6.2.3 Competitividad

Son varios los factores que inciden en la competitividad del sector, tanto a nivel endógeno para dar respuesta a las exigencias del mercado como capacidad de resiliencia a condiciones especí-

ficas del entorno. Actualmente, la balanza comercial del maíz se caracteriza por una profunda dependencia a las importaciones debido a la entrada en vigor del TLC con Estados Unidos (*Capítulo 2: Escenario general del maíz*). Esta condición determinante exige la definición de estrategias que permitan fortalecer la producción nacional de maíz y asegurar aspectos de calidad e inocuidad en cuanto a las importaciones para el consumo humano y animal en el ámbito nacional. Sin embargo, las características de la demanda de maíz evidencian las oportunidades para el cultivo de acuerdo al incremento del consumo de proteína animal y las modificaciones en los hábitos de consumo.

En términos de comercialización, en Colombia son conocidas las necesidades para disminuir pérdidas de producto, sobrepasar condiciones de volatilidad de precios, las demoras de pagos o el incumplimiento de exigencias de calidad, presentación e inocuidad, lo que se traduce en una competitividad deficiente para el sector de acuerdo a la Misión para la transformación del campo (2014). Por ello, se han gestado diversos antecedentes para la promoción de la competitividad del sector como el Plan País Maíz (2010), Plan Colombia Siembra (2015-2018 – MADR), entre otros, que han buscado como ejes de trabajo el mejoramiento de esta competitividad desde distintos frentes.

Entre las múltiples dimensiones de trabajo identificados en Maíz para Colombia - Visión 2030 (2019) para el fortalecimiento de dicha competitividad, se encuentra la necesidad de fortalecer aspectos comerciales, de adopción de tecnologías e innovación, así como de propiciar la vinculación estable y duradera con compradores locales, regionales y nacionales del maíz como materia prima.

Desde ésta perspectiva, se retoman casos de éxito en el ámbito nacional en donde se ha promovido la producción nacional de maíz bajo un modelo de producción autosuficiente de éste insumo en la producción pecuaria. La promoción de estos modelos de vinculación eficiente de productores a mercados específicos, puede basarse en atributos de calidad e inocuidad sobre las materias primas.

No obstante, para llegar a esta vinculación es preciso fortalecer las condiciones productivas desde la validación, adaptación y transferencia de tecnología de acuerdo a las condiciones productivas diferenciadas, de tipo socioeconómico y cultural. Es fundamental asegurar la calidad e inocuidad desde herramientas como la trazabilidad del grano. Por lo anterior, el mejoramiento de las prácticas productivas, de cosecha y poscosecha, así como el fortalecimiento a la infraestructura de secado, acopio y almacenamiento contribuyen a la obtención de grano de calidad e inocuo y con ello, vincular la producción nacional a otras industrias de transformación y de agregación de valor, proporcionar el desarrollo de modelos de distribución, empaque y logísticos que permitan incrementar la competitividad del maíz nacional.

Aunque el accionar en toda la cadena depende de la inclusión de otros responsables como actores de acopio, distribución o transporte, también se requieren esfuerzos en cuanto al aseguramiento de variables o cumplimiento de requisitos mínimos para asegurar la calidad, así como la adopción de BPAs, BPMs o Sistemas de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control, según corresponda. Este escenario abre la puerta a varias alternativas para el fortalecimiento a la producción, la prevención de riesgos para la salud y el fomento a la comercialización como el desarrollo de marcas, estándares, modelos de encadenamiento productivo y de fortalecimiento asociativo, entre otras.

6.2.4 Fortalecimiento a la comercialización del producto y a la agregación de valor

Como parte fundamental para el fortalecimiento de la competitividad del sector, en la comercialización se requieren acciones que promuevan el cumplimiento a exigencias de calidad y especificaciones de la industria, la implementación de herramientas que permitan asegurar la

destinación de acuerdo a las propiedades el uso de las materias primas evitando el riesgo de desvíos en la transformación y la inclusión en nuevos esquemas o modelos productivos (*Acápite 6.2.1 Inocuidad y calidad*).

➤ La generación de condiciones o trato igualitario del maíz nacional en el mercado de materias primas es fundamental, dadas amplias asimetrías competitivas de los oferentes de este producto.

Desde el paradigma de liberación de mercados, se considera importante ofrecer transparencia en las operaciones comerciales, brindar información suficiente y oportuna a las partes para la toma de decisiones, por lo que cobran relevancia los mecanismos de información y el cumplimiento de marcos regulatorios en inocuidad, rastreo, así como los relacionados con pesos, medidas, empaques, etiquetado, entre otros (*Acápite 2.3 Lineamientos nacionales en inocuidad*).

Para ello, se plantean iniciativas integradas como avances en metrología, trazabilidad, almacenamiento e infraestructura de secado inciden en el desarrollo logístico, la generación de información fortalecen aspectos comerciales.

Desarrollo normativo

El desarrollo de este mercado implica el cumplimiento de estándares y seguimiento al cumplimiento de prácticas productivas, que requieren el acceso a infraestructura mínima en función de agregar valor y dar un manejo adecuado manteniendo la calidad, a través del control de variables (ej. temperatura, humedad) durante el almacenamiento y el transporte. Si bien en el caso nacional existe un marco normativo de referencia entorno a límites permisibles de micotoxinas en alimentos (*Capítulo 1: Lineamientos internacionales y antecedentes normativos frente a la inocuidad alimentaria*), es preciso fomentar el desarrollo de mecanismos de seguimiento y control, así como el fortalecimiento normativo a procesos como lo es la trazabilidad y el fortalecimiento de otros eslabones de la cadena.

Trazabilidad

De acuerdo al marco nacional, la trazabilidad es:



“Proceso que permite identificar una especie vegetal desde la producción de la semilla hasta la adquisición de los productos vegetales terminados por parte del consumidor final, incluida la producción de la semilla, la transformación, procesamiento, transporte, distribución y comercialización, y demás información asociada a todos los eslabones de la cadena productiva”. (Decreto. 931 de 2018. Art. 2.13.11.4 - 3).

Desde la inocuidad y la calidad, es una herramienta que facilita asegurar el proceso, reducir el potencial de mala publicidad y acceder a mercados. También puede fomentar la integración vertical o de asociaciones con el objetivo de brindar un enfoque diferenciador (Golan *et al.*, 2004), por lo que la trazabilidad debe asegurarse desde el primer eslabón productivo como la adquisición de semilla, etapas de cultivo y caracterización de los materiales obtenidos (*Acápite 6.5.2: Fortalecimiento en BPAs y BPMs –trazabilidad e inocuidad*).

Infraestructura de almacenamiento y secado

A partir de instrumentos que faciliten el mejoramiento e instalación de infraestructura para el secado y el almacenamiento del maíz, es posible prevenir el riesgo de contaminación por micotoxinas y afecciones en la calidad. A su vez, se generan beneficios colaterales al permitir o promover una mayor capacidad de negociación y provecho económico en cuanto a variaciones de precio del maíz. Esta iniciativa se ha promovido con anterioridad, a partir de distintas propuestas sectoriales para diversas regiones como la Altillanura y departamentos como Tolima y Córdoba. La infraestructura fue

un aspecto que contempló, en su momento, la Misión para la Transformación del Campo (2014) desde el enfoque de cadena productiva¹⁶⁸ y que prevé Maíz para Colombia 2030.

La promoción contundente y decidida sobre estos aspectos en localizaciones estratégicas puede contribuir a la competitividad, la salud pública y a conformar modelos asociativos y procesos coordinados de entrega y distribución, en articulación con otros eslabones de la cadena agropecuaria.

Agregación de valor

Se relaciona con actividades de poscosecha para el aumento de los márgenes de ganancia. Suelen estar enfocadas en la conservación de la calidad e inocuidad, la preservación de la vida útil o en las demandas específicas de nichos del mercado. Entre ellas se encuentra la optimización de procesos de selección, lavado, secado, disminución de residuos y contaminación, así como mejoras en almacenamiento y transporte.

La articulación entre el desarrollo normativo, la trazabilidad, el fortalecimiento de la infraestructura y el desarrollo asociativo, permite concebir el mejoramiento de aspectos de logística en centros de acopio, en donde a su vez, sea posible desarrollar actividades de agregación de valor como la clasificación, desinfección, protección, el mantenimiento de la homogeneidad del producto, almacenamiento seguro y fundamentalmente reducir las pérdidas y los riesgos. En el caso de maíz, mejorar aspectos de cosecha y poscosecha a partir de la adquisición de infraestructura mínima como máquinas de desgranado, limpieza de los granos e infraestructura de secado y almacenamiento, puede contribuir a fortalecer esquemas asociativos y a aumentar los márgenes de ganancia.

¹⁶⁸En tanto se comparten servicios logísticos, información para la toma de decisiones de mercado, acuerdos sobre entregas, empaques, métodos de identificación de unidades comerciales, acciones para establecer precios y formas de pagos; entre otras características como la agregación de valor, acciones para satisfacer demandas de consumidores, ni barreras (Misión para la transformación del campo, 2014).



6.2.5 Articulación de actores e iniciativas

Es un aspecto fundamental para garantizar acciones integradas, armonizadas entre los diversos actores e instituciones implicadas en lo normativo (instituciones regulatorias), el aseguramiento al cumplimiento de reglamentos (instituciones de control), en el fomento a la producción y en la generación de conocimiento. Todo ello dirigido al control, la priorización y acción eficiente, para la protección al consumidor, el fortalecimiento a la producción, el desarrollo humano, de infraestructura y redes de trabajo como laboratorios y centros de investigación (FAO y OMS, 2003).

Fundamentalmente, la universidad, la empresa y el estado son actores que, articulados a través de iniciativas, pueden conjugar escenarios de innovación para la solución de problemáticas y el desarrollo económico (Ramírez Salazar y García Valderrama, 2010). La articulación es fundamental para el fortalecimiento de la producción agropecuaria nacional, en el caso de la producción de maíz, se requiere una perspectiva altamente eficiente y decidida. Las iniciativas contemplan aspectos de vulnerabilidad y el riesgo en función de las condiciones nacionales de importación, procesamiento, trazabilidad de los materiales muestreados y las condiciones de la producción. Por supuesto, es un gran reto que depende de la adecuada integración de esfuerzos para el fortalecimiento de las capacidades y eficiencia de las instituciones en su accionar, en los distintos ámbitos

(nacional, departamental y local), así como del reconocimiento a las condiciones de producción diferenciadas existentes.

Por otra parte, el abordaje de la inocuidad “de la granja a la mesa” implica necesariamente la integración y articulación entre los distintos eslabones de la cadena, en donde los respectivos actores tienen diversos niveles de injerencia (Figura 56). De modo que existe un énfasis sobre las medidas de control, inspección y vigilancia de orden nacional, en donde la evaluación y gestión de los riesgos se encuentran enmarcadas en ámbitos diferenciados, en consecuencia, con mayor credibilidad y confianza.

Así, el fortalecimiento a la estructuración y a la dinámica de la Cadena de Maíz en el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, permitirá establecer objetivos, acciones en función de asesoramiento, evaluación de la reglamentación, normas, códigos u otros, generación de iniciativas, apoyo a la investigación y el desarrollo, así como el planteamiento de estrategias de mediano y largo plazo.

En el enfoque de gestión del riesgo también se ha reconocido que existe menos conocimiento en el proceso de evaluación de riesgos microbiológicos, ya que se ha dado prioridad a riesgos asociados con productos químicos. Por otra parte, la evaluación de riesgos implica una estimación del riesgo para la salud o la vida expresada en términos numéricos, cuya precisión también tiene un nivel de incertidumbre, por lo que los gestores del riesgo deben sopesar las opciones de gestión de acuerdo al conocimiento de esta incertidumbre (*Codex alimentarius*, s.f).

Figura 56. Niveles de actuación para la implementación y desarrollo de estrategias de inocuidad.



6.3 Meta

Promover la competitividad de la cadena productiva del maíz desde un enfoque diferenciado que permita defender los intereses de los agricultores a nivel nacional y a garantizar la producción de alimentos para la población colombiana desde aspectos como la seguridad y la soberanía alimentaria, así como promover mecanismos de IVC que permitan asegurar un producto sano e inocuo para el consumidor colombiano.

6.4 Objetivo

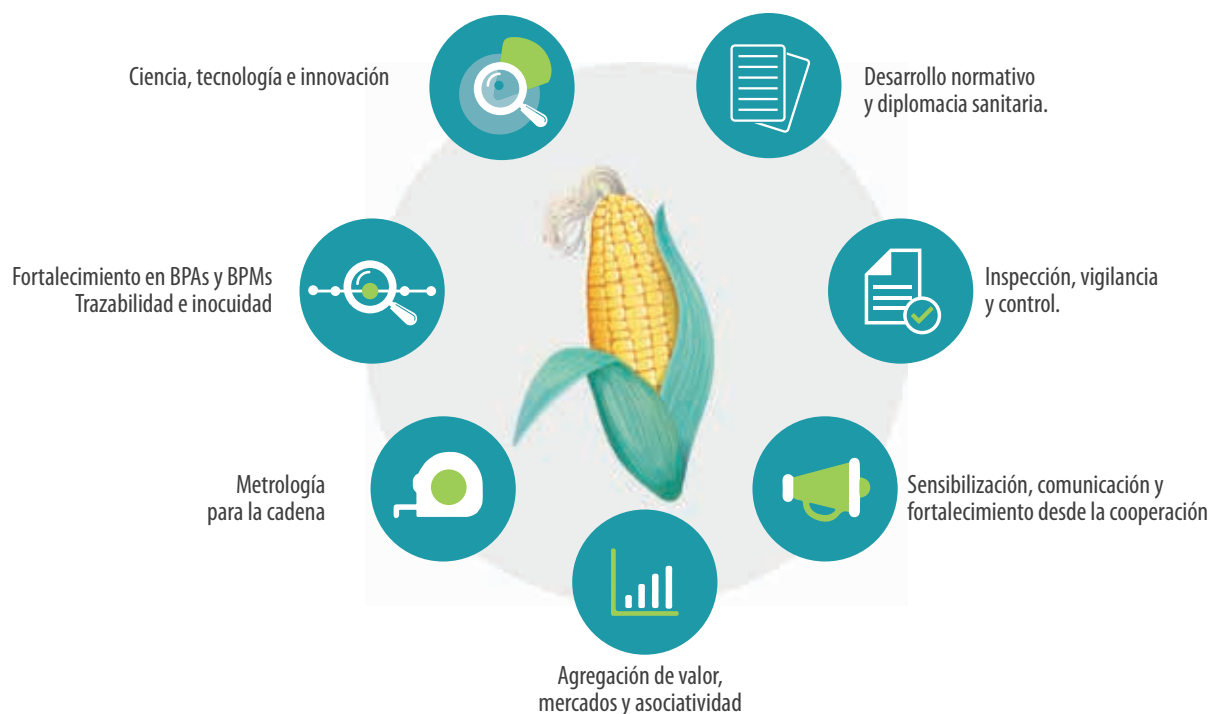


Fortalecer la producción nacional a partir de distintas estrategias que permitan disminuir el riesgo asociado a la pérdida de inocuidad del maíz y sus efectos en la salud humana y animal en el territorio nacional, así como plantear mecanismos que permitan un trato igualitario del maíz nacional y el importado desde el aumento de la transparencia e información en el mercado.

6.5 Líneas estructurales

Abordar el fortalecimiento productivo desde el concepto de inocuidad, específicamente centrado en una problemática como lo es la contaminación de granos por micotoxinas, requiere de acciones integradas desde distintos ámbitos, enfoques y actores. Si bien desde finales de la década de 1980, la FAO en conjunto con la OMS y Pnuma ofrecieron lineamientos para su aplicación desde el orden nacional a partir de ejes como: la prevención; la inspección, vigilancia y control, así como la generación de capacidades, también existen algunos lineamientos generados por el INS (2015) derivados del estudio sobre exposición a partir de productos como las arepas, en donde se reconocen una serie de vacíos de información y debilidades estructurales para afrontar la situación. Por lo anterior, desde estos lineamientos ofrecidos por instituciones como la OMS y el *Codex alimentarius*, así como el marco normativo nacional, la consulta a expertos y desde el proceso de revisión preliminar a este capítulo, se plantean los principales ejes de trabajo (Figura 57), que buscan el monitoreo de indicadores para llegar a niveles mínimos de contaminantes “tan bajos como sea posible” (Alara) en un producto agroalimentario de ingesta diaria como el maíz.

Figura 57. Líneas estructurantes de la estrategia de fortalecimiento a la inocuidad y calidad del maíz



Fuente: elaboración propia.

6.5.1 Ciencia tecnología e innovación: generación de capacidades, información y conocimiento

Esta línea tiene los siguientes ejes de trabajo, a saber:

Generación de información y conocimiento

Desde distintos ámbitos se ha planteado la necesidad de generar información. De acuerdo a antecedentes institucionales e identificados en el proceso de revisión se ha considerado la importancia de establecer una agenda de investigación permanente en inocuidad de alimentos para evaluación de riesgos cuantitativa, tal como lo señaló el INS en 2015.

Desde el enfoque de salud, se señaló la importancia de diversificar el análisis de AFB1 dada su ocurrencia en distintos tipos de alimentos,

así como dar prioridad a poblaciones en riesgo como la infantil, así como la necesidad para el país de contar con sistemas de información que posibiliten el acceso a datos actualizados sobre poblacionales, factores de riesgo, consumo y producción industrial, en el caso de alimentos como la arepa, por distintas regiones del país, con el fin de contar con los elementos que permiten la realización de una evaluación de riesgos cuantitativa. Adicionalmente, la vigilancia de la salud pública sobre el seguimiento de enfermedades como el cáncer hepático debe reconocer los componentes de las dietas para contar con información epidemiológica útil en análisis de riesgo cuantitativo, así como promover el seguimiento desde biomarcadores en poblaciones expuestas.

Desde el ámbito productivo, también es evidente la necesidad de contar con información regionalizada, en distintas épocas y de acuerdo a las características de la producción. Así como abordar la investigación en otros tipos de micotoxinas (ej. DON, FUM), a partir de generación de redes de seguimiento y procesos piloto de pruebas rápidas y específicas de cuantificación de la contaminación en campo, centros de acopio, y en otros eslabones de la cadena como en molinos y trilladoras. Para identificar otros aspectos de información y generación de conocimiento revisar el *Acápite 4.4 Principales necesidades de investigación identificadas*. Las propuestas en esta línea se presentan en la Tabla 47.

Fortalecimiento del talento humano y capacidades de investigación

Es fundamental la generación de capacidades desde la educación en los métodos de detección, infraestructura necesaria, así como del capital humano para el análisis y generación de información. Sin duda, la formación de personas como extensionistas e inspectores se hace necesaria. Así como el desarrollo de procesos de sensibilización e investigación en regiones prioritarias, poblaciones y efectos, desde la epidemiología y la búsqueda de alternativas de descontaminación y prevención.

Establecimiento de redes de laboratorios, protocolos y técnicas de análisis

De acuerdo con el INS (2015) es necesario que los laboratorios de las entidades de vigilancia y control de cadena primaria y de producto terminado de alimentos de consumo humano, dispongan de métodos sensibles y específicos para la detección, identificación y cuantificación de AFB1, así como la identificación de otros mohos micotoxigénicos.

Fortalecer la infraestructura de los laboratorios existentes, para análisis de micotoxinas y plantear la estrategia de tercerización con laboratorios preferiblemente acreditados o pertenecientes a la red de laboratorios.

Tabla 47. Ciencia, Tecnología e Innovación – iniciativas estratégicas

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN	
Iniciativas estratégicas	
Identificar actores	Plazo
Identificar de actores (laboratorios, grupos de investigación), ello puede realizarse a partir de un proceso de revisión en plataformas – Colciencias, así como a través de procesos de convocatoria, acreditación (ICA-Invima) en el caso de laboratorios específicos. Entre los indicadores: número de actores identificados por tipo, No. de laboratorios certificados identificados registros de convocatoria, registros de revisión o base de actores, certificados de laboratorios.	I
Reconocer las capacidades regionales y actores que pudiesen contribuir a generar conocimiento, seguimiento y sensibilización.	M
Desde la articulación con la iniciativa de levantamiento de información localizada generada en “Redes de Innovación y Ordenamiento de la producción” (Cimmyt - Fenalce) se pueden reconocer actores, flujos del grano, aspectos de innovación productiva y de infraestructura, así como relativos a trazabilidad y seguimiento de los flujos del maíz y rutas del contaminante en los ámbitos locales de las principales regiones productoras.	M
Posibles actores para relacionamiento: MDR, Agrosavia Colciencias, Cimmyt, Fenalce, ONAC, universidades, ONAC, INVIMA, ICA, u otros actores privados.	

Identificación de necesidades CTel para la cadena	Plazo
Levantar información primaria en el reconocimiento a la capacidad y caracterización de condiciones de prelimpieza, secado y almacenamiento en ámbitos locales. La identificación de los esquemas de secado y flujos del grano entorno a estas capacidades constituye información fundamental para identificar las capacidades regionales o de oferta tecnológica. Identificar el nivel de innovación tecnológica y posibilidades de acceso a servicios como secado y almacenamiento y transporte el nivel de adopción e innovación tecnológica para el planteamiento de alternativas locales definidas y concertadas.	I
Propiciar plataformas de reconocimiento y promoción de la oferta y la capacidad de los servicios de almacenamiento y secado en ámbitos locales.	M
Identificar alternativas de fortalecimiento a procesos de secado en campo que permitan la gestión tecnológica y la innovación en procesos de limpieza, secado y almacenamiento de bajo costo, así como modelos de integración vertical.	M
Posibles actores para relacionamiento: Cimmyt – Fenalce.	
Investigación básica y aplicada	Plazo
CTel estandarización de procesos de detección de micotoxinas	I-M
Determinar de manera representativa niveles de contaminación en las principales regiones productoras, así como generar información en las distintas fases o mecanismos de procesamiento (almacenamiento, sistemas de secado y trilla, diagnóstico de transporte u otros productos derivados de la cadena productiva).	I
Desarrollo, validación o adaptación de mecanismos de detección de micotoxinas <i>in situ</i> .	I
Evaluación de materiales y alternativas de almacenamiento en campo (ej. Bolsas herméticas)	I
CTel en prácticas y tecnologías de reducción y mitigación de la contaminación del maíz por micotoxinas en silos, así como mecanismos de inhibición o inactivación.	I
CTel en identificación de riesgos de contaminación a partir de la definición de mapas de siembra y cosecha y su relación con variables climatológicas.	M
Monitoreo en campo a partir de sensores ambientales <i>in situ</i> y desarrollo de mapas geográficos de riesgo, reconocimiento a dinámicas de ciclo de vida de hongos micotoxigénicos en cultivos como el maíz para toxinas específicas.	M
CTel en evaluación de materiales como híbridos en regiones priorizadas.	M
Propiciar la CTel en alternativas sostenibles de detección temprana (esquemas de aprendizaje automático, nuevas tecnologías de detección de plagas y daños en granos).	M
Evaluación de pérdidas en poscosecha de maíz, impacto económico y alternativas tecnológicas de bajo costo e innovación.	M
CTel en control biológico para el control de hongos micotoxigénicos.	M
CTel Modelamiento multivariado de ocurrencia en campo de micotoxinas específicas priorizadas (relacionamiento entre híbridos utilizados, variables climatológicas y otros factores de la producción como manejo (densidad de siembra, fertilización, condiciones nutricionales, irrigación, control de plagas, entre otras).	M
Promover la innovación en mecanismos de bajo costo para la limpieza y secado del maíz en ámbitos rurales.	M
Promover la innovación en el cultivo de maíz a partir de estrategias como concurso de jóvenes investigadores para el desarrollo de soluciones sostenibles de almacenamiento temporal y eficiente a problemas de inocuidad en la producción nacional.	M
Fomento a la CTel en resistencia genética y generación de conocimiento a nivel genómico de hongos micotoxigénicos.	L

Identificación de suelos contaminados a partir de aislamientos de cepas de hongos micotoxigénicos como <i>Aspergillus</i> en lotes priorizados o regiones de alto nivel de contaminación	L
Sistemas de alerta climática basados en el reconocimiento a condiciones meteorológicas en épocas cercanas a cosecha por ejemplo a través de sistemas (SMS con alertas inteligentes, mensajes de recomendaciones para la detección, gestión y manejo del riesgo).	L
*Entre los indicadores para esta iniciativa se encuentran: monto para financiamiento por año, monto ejecutado anualmente, número de proyectos ejecutados, número de investigadores vinculados, número de investigaciones generadas, número de propuestas de innovación propuestas y ejecutadas, número de patentes generadas, número alianzas establecidas, número de empresas vinculadas.	
Posibles actores para relacionamiento: Colciencias, MDR, Agrosavia, Cimmyt, Fenalce y universidades.	
Consolidación de redes de monitoreo en regiones específicas	Plazo
Identificar esquemas de monitoreo en campo de acuerdo a parámetros de referencia, que permitan la generación de información específica que permita procesos de innovación y el planteamiento de alternativas. Entre los factores de monitoreo se debe considerar la incidencia de plagas, como el gusano bellotero o insectos (Ej. <i>Spodoptera frugiperda</i>) que permitan la entrada de hongos micotoxigénicos (<i>Aspergillus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp., <i>Fusarium</i> sp. <i>Gibberella</i> sp.), así como aspectos de manejo, infraestructura y condiciones ambientales previas a cosechas de acuerdo a la revisión sobre modelamientos e incidencia en campo, así como registros de eventos de ocurrencia como los reportados por Acuña <i>et al.</i> , (2005).	I
Ofrecer el seguimiento a condiciones de producción y meteorológicas de las regiones de cultivo, así como las previas a las épocas de cosecha, que son determinantes en la contaminación con micotoxinas de acuerdo a la revisión y puntos críticos, ofrecer recomendaciones de manejo (Capítulo 4. <i>Dinámica de la producción científica sobre micotoxinas en maíz</i>).	M
La capacitación y el fomento sobre el uso de herramientas de monitoreo y seguimiento a la humedad del grano en campo, secado (higrómetros, termómetros y factores meteorológicos) y almacenamiento, así como de transferencia de conocimiento sobre buenas prácticas y procedimientos para evitar el riesgo de daños mecánicos.	M
A partir del establecimiento de procesos de sensibilización, articulación institucional (ICA, Universidades, etc.) se plantea la consolidación de redes de monitoreo, a partir de la implementación de nuevas tecnologías.	L
Posibles actores para relacionamiento: ICA, Agrosavia, mesas agroclimáticas.	
Transferencia del conocimiento	Plazo
Transferencia de opciones tecnológicas identificadas como: ➤ Mecanismos de muestreo y seguimiento en campo. ➤ Métodos de detección. ➤ Fomento a la adopción de materiales con características de resistencia a hongos micotoxigénicos. ➤ Transferencia de tecnologías de bajo costo y efectivas adecuadas para el pequeño agricultor, en cuanto al seguimiento de variables determinantes en la calidad e inocuidad del grano (higrómetros, kits de prueba, termómetros, balanzas, etc.). ➤ Alternativas de reducción de la contaminación en campo, almacenamiento y secado. ➤ Innovaciones tecnológicas para reducir el riesgo de ocurrencia y mitigación de la contaminación.	M/L
Por otra parte, se plantea la generación de espacios de divulgación del conocimiento científico e intercambio de alternativas y conocimiento, a saber: ➤ Seminarios técnicos especializados. ➤ Congreso gremial nacional sobre maíz e inocuidad como tema central. ➤ Misión internacional: reconocimiento de esquemas de aseguramiento de trazabilidad, calidad e inocuidad de granos.	M/L
Posibles actores para relacionamiento: Colciencias, MDR, Agrosavia, Fenalce, Agencias de cooperación, IICA, FAO, Cimmyt y universidades.	

*Plazo: I: corto plazo, M: Mediano plazo, L: largo plazo.

6.5.2 Fortalecimiento en BPA y BPM - trazabilidad e inocuidad

La implementación en campo de BPAs, así como el control de factores durante el almacenamiento y la poscosecha son determinantes en el aseguramiento de la calidad e inocuidad del grano. Tanto las medidas de protección vegetal y prácticas adecuadas durante la recolección, secado, el almacenamiento y el transporte enfocadas a limitar el riesgo de ocurrencia de hongos toxigénicos de manera directa o desde el control de los factores que generan un ambiente favorable. Entre estas acciones, el control de insectos y hongos durante la poscosecha y el almacenamiento, concretamente a partir del mantenimiento de los granos fríos y con una humedad de almacenamiento seguro durante todo el período de almacenaje, son condiciones que limitan el desarrollo de estos organismos.

La limpieza de los granos y la disminución de granos partidos o de materias extrañas son acciones que mejoran la presentación del producto y pueden disminuir la incidencia de micotoxinas, dado que, en la fracción de descarte de la limpieza quedan las esporas de los hongos. En términos de instalaciones, aspectos como la limpieza, ventilación y el monitoreo, así como disminuir el uso de productos para el control de insectos y hongos se consideran buenas prácticas. A su vez, el empleo de bolsas plásticas y herméticas para salvaguardar el grano, también limita la incidencia de insectos, agua o variaciones de temperatura, así como la aplicación de insecticidas y la ocurrencia de micotoxinas (Abadía y Bartosik, 2013).

➤ Vale la pena resaltar la recomendación sobre la destinación de recursos para el fortalecimiento de procesos de BPAs en fases previas a la recolección así como de buenas prácticas de manufactura (BPMs) durante la elaboración y distribución de los diferentes productos.

En plantas de procesamiento de productos derivados de granos, como lo es el caso de las arepas, el INS recomendó la exigencia de certificados de análisis de aflatoxinas para lotes de maíz a los proveedores, así como el mejoramiento de la trazabilidad de productos terminados y el cumplimiento de procesos y del Art.19 y 22 de la Res. 2674 de 2013 (condiciones básicas para la producción de alimentos).

Los canales de distribución del maíz en el país deben establecer sus condiciones de transporte y almacenamiento, con el fin de realizar su trazabilidad y detectar problemas potenciales, debidos a la posible carga de mohos o aflatoxinas del alimento (INS, 2015). A su vez, el Invima, de acuerdo con sus hallazgos de 2016, recomendó hacer el control de proveedores y su selección de acuerdo a parámetros de aceptación o rechazo de materias primas, especialmente en lo referente a condiciones de almacenamiento del maíz.

Desde la revisión de la *"Norma General del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en alimentos (Codex Stan 193-1995 (Rev. 1-1997); el "Código de prácticas para reducir la aflatoxina B1 presente en materias primas y los piensos suplementarios para animales productores de leche" (CAC - RCP 45 -1997) que fue enviado a los Estados Miembros y Miembros Asociados de la FAO y de la OMS; así como el "Código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación de los cereales por micotoxinas, con anexos sobre la OTA, ZEA y FUM y los tricotecenos" (CAC - RCP 51-2003, enmiendas 2014), entre otras recomendaciones ofrecidas por FAO y OMS (2012), y OMS (2018), así como los aprendizajes obtenidos de la revisión sobre la problemática, se recopilaron las principales recomendaciones para contrarrestar el riesgo de ocurrencia de micotoxinas a través de BPAs en cada fase del proceso:*

Tabla 48. Buenas prácticas de agricultura asociadas a la prevención y reducción de la contaminación con micotoxinas en cereales.

Buenas prácticas de agricultura	
Cultivo	➤ Elaborar y mantener un plan de rotación de cultivos evitando usar el mismo cultivo en el mismo campo por dos años consecutivos, teniendo en cuenta que el maíz es sensible a <i>Fusarium</i>, se recomienda la rotación con cultivos como papa, hortalizas, trébol u otros como alfalfa para reducir el nivel de inóculo. ➤ Se considera que la eliminación de residuos de cosechas anteriores puede prevenir el crecimiento de hongos productores de micotoxinas. No obstante, en zonas vulnerables a la erosión se recomienda implementar siembra sin labranza. ➤ Asegurar que la siembra se efectúe en periodos en que el riesgo a infestaciones de mohos sean menores. ➤ Realizar análisis de suelo: los resultados permiten identificar fertilizantes y condicionantes del suelo para garantizar pH, nutrición y evitar condiciones adversas que puedan afectar el adecuado desarrollo de semillas. ➤ Sembrar semillas resistentes/tolerantes a hongos micotoxigénicos y a insectos causantes de pudriciones en las mazorcas, que exhiban un buen agobio y se encuentren recomendadas para zonas específicas. De acuerdo al estudio de caso sobre la ocurrencia de micotoxinas en maíz en campo, se recomienda el uso de variedades que presenten un cubrimiento total de la mazorca, sobre todo si el periodo de la cosecha coincide con épocas de lluvia. ➤ Plantar cultivos en épocas que permitan evitar altas temperaturas y el estrés por sequía durante el período de desarrollo y maduración de las semillas. ➤ Evitar el hacinamiento de las plantas, manteniendo entre éstas y entre los surcos la distancia recomendada para las especies/variedades cultivadas. ➤ Controlar enfermedades fúngicas e insectos que puedan afectar las mazorcas. ➤ Monitoreo permanente para detección de niveles peligrosos de hongos. ➤ Hacer seguimiento a medidas preventivas implementadas. ➤ Protección del maíz frente a hongos encaminada a inhibir el crecimiento y propagación de hongos productores de micotoxinas como <i>A. flavus</i> y <i>A. parasiticus</i> y a control de aflatoxinas tras haberse producido (adición de absorbentes). ➤ Reducir los daños mecánicos a partir del ajuste del equipo de cosecha. ➤ Implementar esquemas de manejo integrado de plagas.
Antes de cosecha	➤ Reducir al mínimo los daños provocados por insectos y por infecciones fúngicas en las proximidades del cultivo. Para ello, el <i>Codex alimentarius</i> recomienda usar de manera apropiada insecticidas y fungicidas registrados y comprendidos en un esquema integral de control. ➤ Controlar la presencia de arvenses en el cultivo desde métodos mecánicos o herbicidas registrados, o aplicando otras prácticas seguras y adecuadas de erradicación de malezas. ➤ Reducir al mínimo los daños mecánicos a las plantas durante el cultivo y al grano durante la cosecha. ➤ Si se utiliza riego, este debe aplicarse uniformemente y de manera adecuada para el cultivo. ➤ Las precipitaciones excesivas durante la antesis (floración) se pueden generar condiciones favorables para la diseminación e infección por <i>Fusarium</i> spp. ➤ La recolección debe responder a una programación basada en el bajo contenido de humedad y la plena madurez del grano. En casos donde se retrasa la recolección y hay ocurrencia de <i>Fusarium</i> sp., es posible aumentar el contenido de toxinas. ➤ Asegurar que los equipos de recolección y almacenamiento se encuentran en buen estado ya que en estas fases se consideran críticas para la calidad y la inocuidad del grano en lo referente a micotoxinas. En caso de averías disminuir el tiempo en reparaciones y medir el contenido de humedad del grano.

Cosecha	➤ Realizar una elección adecuada de maquinaria y procesos pueden contribuir, ya que algunas cosechadoras axilares pueden ocasionar daños menores. ➤ Evitar el daño mecánico y el contacto de los granos con el suelo durante la recolección. Adoptar prácticas para separar espigas, paja, tallos u otros residuos que puedan servir de sustrato a las esporas y generar inoculaciones futuras. ➤ Determinar niveles de humedad de la cosecha. ➤ Descartar mazorcas infestadas y granos rotos. ➤ Realizar la limpieza y ventilación de granos. ➤ Inspeccionar granos enteros para detectar presencia de mohos, con aspecto descolorido o marchito ➤ En caso de requerir almacenamiento de la cosecha, se deben almacenar a niveles de humedad seguros y enfriarse lo más rápidamente posible después de la cosecha. Además, se debe reducir al mínimo la presencia de materiales extraños y granos ➤ Secar el grano hasta el contenido de humedad recomendado para el almacenamiento seguro del maíz. Se debe velar por la representatividad de las muestras para las mediciones de humedad del lote, así como reducir la variación del contenido de humedad dentro del lote, el grano puede transportarse a otra instalación (o silo) después del proceso de secado. Mantener el contenido de humedad correspondiente (menor del 14%) para limitar el daño por hongos como <i>Fusarium</i> que puede estar en granos frescos. ➤ Comprobar el contenido de humedad a lo largo de varios puntos de cargamento del grano recolectado, esto debido a que pueden variar incluso desde campo.
Poscosecha	➤ Implementar el manejo integrado de plagas. ➤ Realizar un manejo adecuado en la poscosecha, especialmente en relación al secado y a mantener el grano bajo una humedad de almacenamiento segura. ➤ Mantener la sanidad de las instalaciones de almacenamiento y con aireación y/o refrigeración artificial como medidas preventivas para el desarrollo de insectos. ➤ Capacitar al personal responsable en el uso de productos permitidos, dosis, registros y como transmitir la trazabilidad, así como en los beneficios de utilizar productos permitidos y en las dosis aconsejadas y con registro o licencia de venta vigente.
Secado	➤ Evitar el daño del grano para que no promover la invasión con hongos. ➤ Secar el maíz antes de almacenarlo (secado por capas, portátiles por tandas, secadores de flujo continuo).

*Fuente: a partir de *Codex alimentarius* - CAC - RCP 51 - 2003. Enmiendas 2014; CAC-RCP 45 - 1997; FAO Y OMS (2012), OMS, 2018.

Tabla 49. Buenas prácticas de almacenamiento asociadas a la prevención y reducción de la contaminación con micotoxinas en cereales.

Buenas prácticas de manufactura	
Transporte desde el lugar de almacenamiento	> Se recomienda que los contenedores del grano sean cubiertos o herméticos o se usen lonas alquitranadas: esto contribuirá a mantener la humedad de los granos y evitar fluctuaciones térmicas que puedan generar condensación y promover el desarrollo de hongos y micotoxinas. > Debe realizarse aseguramiento en los contenedores de transporte de granos, frente a la proliferación visible de hongos, insectos y materiales contaminados. De ser necesario, se recomienda realizar limpieza a fondo cada vez que sean usados; además deben ser idóneos para la carga prevista. Puede resultar útil el empleo de fumigadores o insecticidas registrados. En el momento de la descarga, el contenedor deberá vaciarse completamente de la carga y limpiarse según sea apropiado. > Durante esta fase, también es una buena práctica el evitar la infestación por insectos, pájaros y roedores en el uso de contenedores resistentes a los insectos y los roedores o tratamientos químicos repelentes de los mismos que estén aprobados para el uso al que está destinado el grano.
Almacenamiento	> Aseguramiento de condiciones de humedad (de 12 a 14%) y aireación. Las instalaciones de almacenamiento deben contar con estructuras secas y bien ventiladas que las protejan de precipitaciones, que permitan el drenaje del agua subterránea y eviten la entrada de animales. > También se recomienda disminuir las fluctuaciones de temperatura. > Prevenir infestaciones de insectos. > Eliminar fuentes de inóculo (polvo, goteras, gradientes de humedad y temperatura). > Mantener el cerramiento hermético en silobolsas al grano seco. > Utilizar fungicidas adecuados para el control, así como inhibidores de crecimiento como ácidos orgánicos en granos almacenados. > Evitar el apilamiento o amontonamiento de producto húmedo recién recolectado por un lapso superior a unas pocas horas antes del secado o la trilla, a fin de reducir el riesgo de proliferación de hongos. > Cuando se realiza secado al sol y los granos mantienen una elevada humedad, existen grandes posibilidades de que se presenten infecciones fúngicas, por lo que la ventilación de productos mediante circulación forzada de aire puede ayudar. > Se debe vigilar el nivel de micotoxinas a la entrada y salida de almacén con métodos de muestreo y análisis apropiados (cuando se justifique). > Si se usan sacos, deben estar secos y limpios. Se recomienda que se utilicen paletas y una capa impermeable para aislar los sacos del suelo.

	➤ Si es posible, mantener la ventilación del grano conservando la temperatura y humedad adecuadas y de manera uniforme. Se recomienda comprobar el contenido de humedad y la temperatura del grano a intervalos regulares durante el almacenamiento. ➤ Hacer seguimiento a la temperatura en intervalos fijos. Debido a que incrementos de 2-3°C pueden generar proliferaciones microbianas e infestaciones de insectos, se recomienda separar partes del grano infectadas, así como analizarlas a partir de muestras. Cuando se separe el grano identificado como infectado, se debe reducir la temperatura de los granos restantes y ventilar. Se debe evitar la utilización de este grano para la producción de piensos o alimentos. ➤ Asegurar métodos eficaces de limpieza, reducir la presencia de hongos e insectos en el almacenamiento. Esto puede incluir el uso de insecticidas y fungicidas registrados y adecuados, o métodos alternativos apropiados. Los productos químicos (en caso de usarse) deben ser seguros y que no supongan interferencia o daño al uso que se le dará al grano y se limitará estrictamente el empleo de tales sustancias. ➤ El <i>Codex alimentarius</i> permite la utilización de agentes conservadores como ácidos orgánicos (ácido propiónico) al ser considerado como idóneo y aprobado, los cuales pueden ser eficaces en contrarrestar la carga fúngica y evitar así la producción de micotoxinas, en el grano destinado únicamente a la fabricación de piensos. En el largo plazo, las sales de los ácidos suelen ser más eficaces. Sin embargo, estos compuestos pueden tener efectos en el sabor y olor del cereal. ➤ Generar información en procedimientos como recolección y almacenamiento en temporadas. La cual puede contribuir a explicar causas de proliferación de hongos y formación de micotoxinas de una cosecha y generar estrategias futuras. Entre estos factores pueden registrarse: Temperatura, Humedad, Desvíos o cambios con respecto a las prácticas tradicionales de cultivo.
Procesamiento	➤ Revisar el nivel de contaminación con residuos de plaguicidas y micotoxinas, los cuales pueden concentrarse en productos como los residuos de la molienda seca húmeda o fermentación que se usan para alimentos balanceados, incrementando la problemática en la cadena de valor de los granos. ➤ Usar silobolsas en sistemas de poscosecha: puede disminuir el ataque de insectos ➤ En la trazabilidad del silo bolsa es posible segregar partidas por calidad e implementar programas de trazabilidad. ➤ Se puede realizar mitigación de la contaminación existen procesos enzimáticos o con compuestos como adsorbentes, aluminosilicatos u otros para contrarrestar el efecto.

Fuente: a partir de *Codex alimentarius* - CAC - RCP 51 - 2003. Enmiendas 2014; CAC-RCP 45 - 1997; FAO Y OMS (2012), OMS, 2018; Abdel-Hadi et al (2012).

Según las directrices del *Codex alimentarius*, las BPAs incluyen métodos para reducir la infección de *Fusarium* y la contaminación de ZEA, FUM, OTA y tricotecenos en campo, recolección, almacenamiento, transporte y elaboración. Sin embargo, el control de algunas variables específicas puede contrarrestar la ocurrencia, como se presenta a continuación:

Tabla 50. Otras prácticas para la prevención y reducción de micotoxinas en cereales.

Tipos de micotoxinas	Otras alternativas ante el riesgo de riesgo de contaminación
Zearalenona	Los hongos productores de zearalenona pueden infectar las mazorcas o espigas en otros cereales durante la floración. Así la vigilancia puede incluir métodos microbiológicos a partir de muestreos previos a la recolección y la determinación de contenidos de micotoxinas en muestras representativas. En la elaboración, los granos pequeños y arrugados pueden contener zearalenona en mayor cantidad que los granos normales, por lo que el aireamiento del grano durante la cosecha o en un momento posterior eliminará los granos estropeados.
Fumonisin	En algunas regiones del globo, es posible planificar cuidadosamente la época de la recolección del maíz, ya que se ha demostrado que el maíz que se cultiva y se cosecha en meses cálidos puede contener niveles de fumonisin muy superiores a los del maíz cultivado y recolectado en meses más fríos del año. En el trópico se debe cosechar en algunas regiones en épocas secas.
Ocratoxina A	Factores previos a la cosecha como daños causados por las heladas, la presencia de hongos, el exceso de precipitaciones y la tensión debida a la sequía pueden derivan en la contaminación con esta toxina. Para contrarrestar esta contaminación se debe secar el grano antes de cosecha de acuerdo con las condiciones ambientales locales y las condiciones del cultivo. Si no es posible recolectar el grano cuando tiene una actividad hídrica (a_w) inferior a 0,70, será necesario secar el cereal lo más rápidamente posible hasta un contenido de humedad correspondiente a una actividad hídrica inferior a 0,70 (menos del 14 por ciento de contenido de humedad en los cereales finos). Dar inicio al secado tras la recolección y preferiblemente efectuarlo con aire caliente. En las regiones de clima templado, cuando es necesario un almacenamiento intermedio o temporal debido a la baja capacidad de secado, se debe asegurar el contenido de humedad por debajo del 16%, que el tiempo de almacenamiento sea inferior a 10 días y que la temperatura esté por debajo de 20 °C.
Tricotecenos	Para evitar la contaminación con estas toxinas, no se debe permitir que los granos maduros permanezcan en el campo durante períodos prolongados, sobre todo en condiciones climáticas de frío húmedo. A pesar de que las toxinas T-2 y HT-2 no suelen encontrarse en los cereales en el momento de la cosecha, éstas pueden aparecer en granos dañados por el agua en el campo o que se han humedecido durante la cosecha o el almacenamiento. Además de la elección de materiales con resistencia a <i>Fusarium</i> y la disponibilidad local. Hay que tomar en cuenta que los cereales puedan estar contaminados por más de una micotoxina de tricoteceno y por sus derivados; por consiguiente, se deberá disponer de métodos de selección rápidos y sencillos para el análisis de diversos tricotecenos. Se ha observado que la zearalenona, que no es un tricoteceno, ocasionalmente está presente en cereales contaminados también por DON y otros Tricotecenos.

Fuente: a partir de *Codex alimentarius* - CAC/RCP 51-2003. Enmiendas 2014. FAO Y OMS (2012).

Sistemas complementarios de gestión para implementación a futuro: Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP)

Entre las recomendaciones del *Codex*, esta la implementación del Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP). Este tipo de sistema fue generado en colaboración con NASA y el ejército estadounidense, basado en la identificación de causas y efectos probables antes de aplicar mecanismos de control eficaces. En alimentos, busca identificar y comprender los múltiples factores que inciden en aspectos relacionados con la calidad y la inocuidad como la contaminación microbiológica; por lo que tiene aplicabilidad en contrarrestar y gestionar la contaminación por micotoxinas, la cual puede darse por factores de tipo ambiental, climático o por la incidencia insectos y hongos entre otros. Con el establecimiento de estas relaciones causales, es posible actuar de manera dinámica y eficiente.

A pesar de que el análisis de puntos críticos no se realiza en campo, procesos como la recolección y almacenamiento de granos pueden contener en sí fases o etapas críticas, como lo es el final del proceso de secado, en donde un límite crítico se relaciona con el contenido de agua y su actividad. Por esta razón la implementación de HACCP¹⁶⁹, depende de la implementación previa y sólida de esquemas como BPAs y BPMs, aunque el *Codex* menciona otros como Buenas Prácticas de Higiene (BPH) y Buenas Prácticas de Almacenamiento (BPAL).

Trazabilidad

Es un concepto fundamental implícito en múltiples normas internacionales, como las propuestas por el *International Standardization for Organization* (ISO: 9000, 22000, 20005, etc.), está implícita en los procedimientos relacionados con la implementación de buenas prácticas de producción y transformación. Es una exigencia fundamental

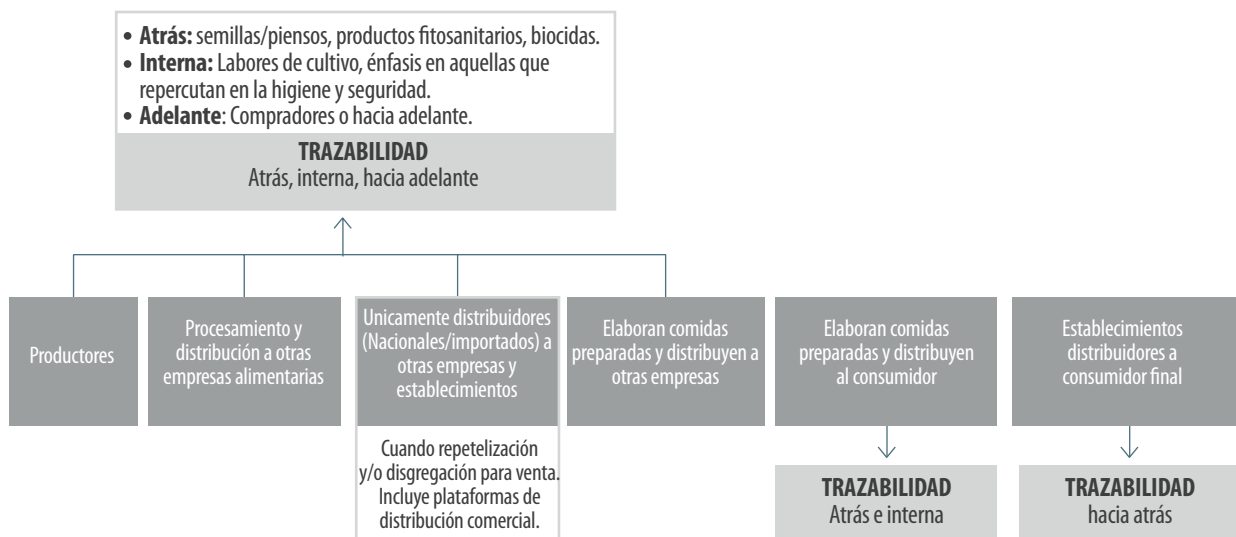
en el marco de intercambio de productos con la Unión Europea (EU) y Estados Unidos (EE. UU). En Colombia, diversos organismos y cadenas ya se encuentran con desarrollos en la materia, a su vez, con la creación del *Sistema de Nacional de Trazabilidad Vegetal* que encierra un conjunto de normas, actores, procesos e información organizados. Su aplicabilidad es de carácter general (personas naturales o jurídicas) para aquellos que intervengan en la producción, transformación, transporte o comercialización de especies vegetales para el consumo humano tanto en mercados internacionales como nacionales.

Se relaciona con la capacidad de rastrear o seguir un producto y tener conocimiento sobre las condiciones de producción, transformaciones y sobre sus componentes a lo largo de la cadena de valor (producción, acopio, transformación, distribución y consumidor). En la literatura se reportan dos tipos de enfoques: uno de seguimiento (*Tracking*) en el camino de un artículo a su destino y de rastreo (*Tracing*) relacionado con la capacidad de identificar el origen a través de registros trazables (Olsen y Borit, 2013, 2018; Rincón *et al.*, 2017).

Para ello, se implementan sistemas de codificación y de tecnología a lo largo de la cadena (Golan *et al.*, 2004 en Rincón *et al.* 2017); además, implica la participación de distintos agentes y recursos. Desde una perspectiva de cadena de valor se puede interpretar la trazabilidad como una herramienta que permite seguir diversos objetivos de inocuidad frente al cumplimiento de normativas nacionales e internacionales para el consumo animal y humano. La trazabilidad permite la identificación, retiro por fraude y falsificación de productos o por problemas sanitarios, así como el cumplimiento de estándares o reglamentaciones.

¹⁶⁹Anexo del documento del *Codex* CAC/RCP 1-1969, Rev. 4 (2003) Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP) y directrices para su aplicación. Manual de HACCP para el control de micotoxinas por la FAO. Consultado en abril de 2020 en: <http://www.fao.org/3/a-y1390s.pdf> Manual de HACCP para la lucha contra las micotoxinas. Centro Conjunto de Formación y Referencia de la FAO y de la OIEA para el Control de los Alimentos y Plaguicidas.

Figura 58. Tipos de trazabilidad (a)



A su vez, dependiendo del desarrollo que pueda tomar esta herramienta, permite la generar información y comunicarla a las partes del mercado interesadas (autoridades, consumidores, importadores, compradores, clientes, etc.) con respecto a la verificación sobre aspectos del producto.

Para establecer la trazabilidad se requiere la acción coordinada entre eslabones, los cuales deben encargarse de la recopilación de información. Así se reconocen tipos de trazabilidad como “hacia adelante” “hacia atrás” e “interna” los cuales deberán implementarse de acuerdo al tipo de actor a lo largo de la cadena (Figura 58 y Tabla 51).

Tabla 51. Tipos de trazabilidad (b)

a) Trazabilidad hacia atrás		
La información la proporcionan los proveedores por medio de un mecanismo definido (ej. Etiquetas de unidades logísticas como lotes, fincas, bultos, etc.) sobre el producto. Una industria u organización la solicita explícitamente para generar registros (ej. etiquetas) o marcaciones del producto recibido (ej. Código de barras). Cuando existen escenarios de mezcla de lotes o productos, se debe considerar el etiquetado individual de cada unidad producto/ lote (González <i>et al.</i>, 2007). Entre los aspectos para fortalecer un esquema de trazabilidad hacia atrás se encuentran: aspectos de aseguramiento de la calidad e inocuidad en situaciones en donde se pretende completar un almacén (ej. Líquidos o harinas) por parte de operarios que desarrollen aspectos de control y verificación de cumplimiento y de superación de fallos de información, la cual debe transferirse por mecanismos seguros. La información puede ser restringida y pueden generarse limitaciones en cuanto a la diferenciación de pequeñas cantidades, así como compatibilizar una identidad de un producto.	Figura 59. Requerimientos mínimos de información para la trazabilidad hacia atrás	
	¿De quién se recibe el grano?	Origen, contrato, contacto, tipo de grano, variedad, etc.
	¿Qué se recibe?	Número de lote, fecha de siembra, variedad, ubicación, mediciones de calidad e inocuidad en procesos de control, ubicación o factura
	¿Cuándo?	Fecha de recepción
	¿Qué se hizo al recibirlos?	Análisis de humedad e impurezas, contaminación, almacenado en el silo X, almacén X, mezclados con productos del proveedor x.

b) Trazabilidad interna (o de proceso)

Consiste en la relación de los productos recibidos, con las operaciones y procesos que se realizan en la industria u organización (equipos, líneas, cámaras, mezclado, división) y los productos generados. Los niveles de precisión deben asegurar que el mecanismo de trazabilidad permita la gestión del riesgo.

Esta trazabilidad implica la generación de registros cada vez que se dividan, cambien o mezclen productos. Se necesita registrar todas las fases de procesamiento, puede ser a partir de etiquetas u otro mecanismo de seguimiento.

La información consignada por la empresa u organización permitirá seguir el rastro al interior como para eslabones subsecuentes. Es fundamental el registro de lo recibido, la asignación de un “número de lote”, registros internos de incorporación de otras variables que por lo general se denominan metadatos y corresponden con datos sobre parámetros en los procesos de transformación (peso, día, temperatura, tipo...etc.). González *et al.*, 2007 recomienda establecer una nueva identificación en los productos terminados a partir de etiquetas por unidades, que además incluyen logotipos, fabricantes, fechas de caducidad, lotes¹⁷⁰.

Figura 60. Requerimientos de información para la trazabilidad interna

¿Qué procesos se realizaron?	De acuerdo al proceso se deben tener los respectivos puntos de registro. ej. análisis de humedad e impurezas o contaminación.
¿Se generan productos intermedios?	Realizar identificación temporal así como la identificación del producto final (ej. a través de código o agrupación).
¿Se usaron productos de insumo?	Registro de sustancias incorporadas que deben tener sus propios registros de recepción e identificación (ej. lote, existencias en bodega).
¿Cómo se transformaron?	Operaciones realizadas (transformación, elaboración, almacenamiento, división, etc.)
¿Cuándo?	Fecha, hora, modificación, temperatura, humedad y otras variables relacionadas con calidad e inocuidad.

c) Trazabilidad hacia adelante

Como último eslabón, la información se encuentra en función de los clientes. Con la terminación del producto, se debe pasar a procesos de envase y almacenamiento por lo que se recomienda la identificación automática de estas unidades en relación con los clientes o destinatarios (Ej. cliente/artículo/albarán/lote).

En este eslabón, se presentan limitaciones cuando existen procesamientos continuos, re procesados, periodos distintos para sólidos y líquidos, o cuando hay almacenamiento de productos intermedios. Además, la complejidad a la hora de establecer la trazabilidad se debe a factores como:

- Disponibilidad y acceso a tecnología
- Requerimientos del consumidor
- Exigencias legales de número, tamaño, homogeneidad
- Poder económico de los integrantes de la cadena
- Concepción y aplicación del sistema

Figura 61. Requerimientos de información para la trazabilidad hacia adelante

¿A quién se entrega?	Empresa, responsable de la recepción física del producto. Detalles del contrato. Contacto de cliente para emergencias y persona que lo recibe.
¿Qué se entrega?	Lote, número o agrupación. Orden de compra, fechas de duración, documentos de acompañamiento.
¿Cuándo?	Fecha de entrega.
¿Medio de transporte?	Transportista, matrícula de vehículo o contenedor, temperatura, humedad u otras variables de aseguramiento. Estado.

Fuente: a partir de González *et al.* (2007).

¹⁷⁰Si se usan códigos de barras de 8 dígitos: los dos primeros corresponden al año de fabricación, los tres siguientes al día del año expresado en juliano (de 1 a 365 días) y los tres últimos pertenecen al número de salida del producto durante ese día lo cual (ej. carnes).

Por otra parte, autores como Olsen y Borit (2018)¹⁷¹ reconocen tres componentes elementales para el establecimiento de un sistema de trazabilidad:

- i) Sistemas de identificación.
- ii) Elementos de asociación entre la unidad rastreable y el identificador.
- iii) Mecanismo de documentación.
- iv) Mecanismo de registro de atributos.

Cuando las unidades de rastreo son de tipo discreto (ej. líquidos y granos) se requiere ajustes, lo que supone trabajo en adaptabilidad al cambio para el control informático de todas las actividades, la existencia de compatibilidad de los sistemas de información a lo largo de toda la cadena.

Técnicamente es preciso contar con procedimientos estandarizados en donde se garantice el seguimiento y la verificación de la identidad, especialmente, cuando existen componentes que pueden poner riesgo a la salud o tener efectos nocivos. En distintos sectores se han implementado *plataformas comunes* para la acción conjunta en cadenas productivas que puedan orientarse también a mercados externos como forma de aseguramiento de la calidad, del cumplimiento de exigencias y una competencia leal en el mercado. Esto también deriva de la necesaria integración entre actores para su implementación atendiendo a las necesidades de información de acuerdo al tipo de actor.

El alcance del sistema de trazabilidad depende de aspectos de amplitud, precisión y profundidad. Sin embargo, es un reto para mercados de granos a granel. En el caso del maíz se considera una trazabilidad suficiente que ocurra desde el depósito de granos hasta un conjunto de granjas en donde se implementa un control de calidad para la cadena de suministro de granos, ya que allí se hace posible la limpieza, clasificación de entregas por variedad y calidad, u otros atributos como lo son los niveles de proteína. Sin embargo, en los depósitos se realizan envíos homogéneos de calidad para el cumplimiento de estándares de sanidad y calidad. Una vez combinados, solo es relevante la nueva información de clasificación; no es necesario rastrear el grano de vuelta a la granja para controlar los problemas de calidad (Tabla 50) (Golan, Krissoff and Kuchler, 2004).

Profundidad del sistema de trazabilidad depende de los atributos de interés. Por ejemplo, la condición de OGM o asegurar la condición de convencionalidad, requiere el seguimiento de atributos desde la semilla, cultivo, cosecha, almacenamiento, transporte, venta mayorista, procesamiento y venta minorista (Golan *et al.*, 2003; Papageorgiou y Skendi, 2018) (Tabla 52).

Tabla 52. Beneficios de la trazabilidad por tipo de actor

Tipo	Beneficios
Cadena	> Minimizar daños potenciales y fraudes para productores, transformadores, comercializadores y consumidores. > Permite ofrecer respuestas a exigencias de mercado, normativas y sanitarias. > Fortalecimiento comercial y fitosanitario de la cadena. > Proporciona información para el fortalecimiento del sector en lo tecnológico, sanitario y de mercados. > Desde el análisis de información se pueden generar estrategias de desarrollo del sector. > Tomar decisiones sobre necesidades de mejoramiento en la infraestructura de acopio.

¹⁷¹ISO 22005 (ISO, 2007), the development of the seafood traceability standards ISO 12875 (ISO, 2011a) and ISO 12877 (ISO, 2011b), and, together with the co-author, is participating in the ongoing development of ISO 22095 (ISO, 2017).

Productor	> Elemento de diferenciación comercial de alimentos con atributos de calidad sutiles o no detectables. > Generación de mayores ingresos, inclusión en mercados diferenciados al mantener niveles de alta calidad. > Herramienta para el mejoramiento de procesos de optimización y calidad. > Da cumplimiento a la normatividad vigente.
Transformador	> Herramienta de mejoramiento de procesos y de gestión de la calidad. > Cumplimiento de regulaciones. > Aseguramiento de la calidad de las materias primas empleadas y del producto generado y niveles de pureza. > Diferenciador comercial. > Minimiza los daños y riesgos potenciales (ej. contaminación por micotoxinas).
Distribuidor	> Elemento básico en el aseguramiento de la calidad. > Herramienta para el retiro de materias primas contaminadas o infestadas de la cadena de suministro. > Diferenciador comercial. > Minimiza daños potenciales y gastos de recuperación. > Cumplimiento de regulaciones. > Herramienta de optimización.
Consumidor	> Ofrece garantías sobre el producto en cuanto a: tipo de producto, origen, condiciones de calidad, procesamiento, características específicas, procesos certificados. > Agente de conciencia social sobre la calidad, inocuidad, salud y bienestar.

Fuente: modificado de Fuente: Golan *et al.* (2004 a y b), González *et al.* (2007); Thakur *et al.* (2009), Herrera *et al.* (2014).

En el flujo de transformación y movilización a través de la cadena de suministro, existen diferentes actividades y lugares desde la finca hasta el consumidor, por lo que los alimentos atraviesan diversos actores y responsables. En sistemas productivos amplios, la trazabilidad en granos como el maíz, es compleja debido a la mezcla, lo que requiere de una capacidad considerable en almacenamiento para poder mantener la identidad.

La trazabilidad en granos necesita un registro riguroso de todas las actividades (movimientos, agregación, segregación, transformación y destrucción), se puede mitigar esta situación a partir de la trazabilidad desde la inclusión de información sobre lotes entrantes y salientes.

Por medio de la trazabilidad es posible preservar la identidad (IP) en granos si se cuenta con una segregación eficiente tanto para uso específico (alimentos, piensos o uso farmacéutico) o de uso particular como compradores sensibles a OGMS. La rentabilidad en este aspecto, está determinada por el grado de segregación del grano y niveles de pureza (Thakur *et al.*, 2009,).

Desde los aspectos anteriores, a continuación se presentan las principales iniciativas para el fomento a los procesos de adopción de BPAs y trazabilidad de los granos en el ámbito nacional, así como las relativas a mecanismos de trazabilidad para el grano de importación (Tabla 53).

Tabla 53. Fomento a la implementación de la trazabilidad e inocuidad del maíz con énfasis en micotoxinas – iniciativas estratégicas

Fomento a la implementación de la trazabilidad e inocuidad del maíz con énfasis en micotoxinas	
Iniciativas estratégicas	
Evaluar y fomentar estrategias de prevención de la ocurrencia en campo	Plazo
Evaluar y fomentar prácticas de prevención y reducción de ocurrencia de hongos micotoxigénicos como especies de <i>Fusarium</i> y <i>Aspergillus</i> como el uso de mecanismos de biocontrol, prácticas de cultivo como el la labranza, y rotación de maíz – con otros cultivos como sorgo, soya, frijol.	M
Fomentar la adopción de semillas resistentes a enfermedades como el Tizón del oído generada por <i>Fusarium</i> . *Una vez, sea posible identificar zonas de contaminación y determinar que ha ocurrido en campo, es preciso la intervención en el almacenamiento o procesamiento, así como de control biológico (Ej. <i>Clonostachys rosea</i> en mezclas) contra hongos micotoxigénicos, así como aquellas alternativas físicas y químicas.	M
Fomento a la implementación de buenas prácticas agrícolas y de almacenamiento del maíz en el ámbito nacional	Plazo
Fomentar la cultura de la inocuidad en actores (productores, asistentes técnicos, ingenieros agrónomos regionales, etc.).	I
Estructuración de incentivos de fomento a la adopción de BPAs (Certificaciones, estímulos, certificaciones de calidad y monitoreo de condiciones de almacenamiento para integración con la industria de molinería)	I/M
Generar procesos de sensibilización, promoción y seguimiento de las BPAs en el maíz en la producción primaria.	I
Generar materiales de distribución y sensibilización en BPAs enfocadas en micotoxinas y el manejo de granos en poscosecha.	I
Capacitaciones dirigidas a la adopción de BPAs, almacenamiento y BPMs (énfasis en reducción del riesgo de contaminación).	I
Estructurar mecanismos de seguimiento a la implementación de BPAs con apoyo de Tecnologías de la Información y la Comunicación.	I
Posibles actores para relacionamiento: alianzas público privadas, Invima, DIAN, ICA, Fenalce, SENA, Universidades, Centrales mayoristas y otros	
Implementación de un piloto de trazabilidad en maíz	Plazo
Priorización regional para su establecimiento.	I
Unificación de conceptos y de capacitación a extensionistas en temas de inocuidad y micotoxinas, así como prevención y control de la contaminación.	I
Definición de listas de chequeo de implementación de buenas prácticas en maíz con enfoque preventivo a micotoxinas.	I
Levantamiento de información primaria que contribuya a definir los flujos y redes de producción, almacenamiento y distribución del maíz en la región priorizada.	I
Análisis de registros por actores en la cadena productiva del maíz.	M
Propuesta del modelo conceptual para la trazabilidad del maíz (Diagrama de flujo).	I
Generación de materiales y guías para la implementación en consideración a los tipos de actor.	I/M/L

Identificar estrategias de acción y recomendaciones (Puntos críticos).	M
Identificación de alternativas de soporte a la captura y procesamiento de datos derivados del esquema de trazabilidad (digitales).	I
Entre los indicadores de seguimiento: listado de criterios definidos, sesiones de capacitación, número de actores capacitados, propuesta de trazabilidad definida, mecanismos de soporte identificados.	
Uso de TIC de soporte al seguimiento de BPAs y Trazabilidad	Plazo
Desde el seguimiento a labores implementadas de BPA, almacenamiento y poscosecha, así como aquella necesaria para establecer procesos de trazabilidad, este tipo de herramientas cuenta con el potencial para la generación de modelos predictivos de riesgo de ocurrencia de micotoxinas en cultivos y seguimiento a la calidad e inocuidad. Por supuesto, requiere de altos volúmenes de información, recursos, equipo de trabajo establecido, la construcción y validación de modelos para cultivos específicos y la integración de información climática diaria (humedad relativa, lluvia, temperatura, dirección y velocidad del viento, coordenadas, precipitación y radiación) desde siembra a cosecha con generación de información de referencia que permita establecer acciones puntuales y comunicar a los productores directrices o mensajes de alerta útiles para reducir el riesgo de contaminación.	I
Existen experiencias globales de implementación de este tipo de estrategias (Acápite 5.2). <i>Mycokey, Agrobot, Aflasafe</i> , entre otras.	

*Plazo: I: corto plazo, M: Mediano plazo, L: largo plazo.

6.5.3 Fortalecimiento en metrología para la cadena

La Metrología, desde la perspectiva de la trazabilidad, hace referencia a garantizar la correcta disseminación de las diferentes unidades de medida desde los patrones nacionales o internacionales o, en general, de referencia, hasta los patrones e instrumentos de medición de la industria. En otras palabras, la trazabilidad metrológica se ocupa de la comparabilidad de resultados, por lo general desde el Sistema Internacional de Unidades (SI); o los patrones de referencia establecidos por la autoridad competente. Así, mejorar la gestión del riesgo interna de las mediciones en función de garantizar la trazabilidad de las mediciones, es fundamental para los distintos procesos de reclamación ante la industria y clientes, especialmente en situaciones en donde es relevante demostrar la competencia para la realización de las mediciones (ENAC, 2015; INM y MinCIT, sf.).

En el componente de inocuidad para la cadena productiva de maíz se requiere fortalecimiento del seguimiento documental y de evidencias, así como

la trazabilidad de los resultados de medida en la inspección, vigilancia y control de los maíces importados y nacionales.

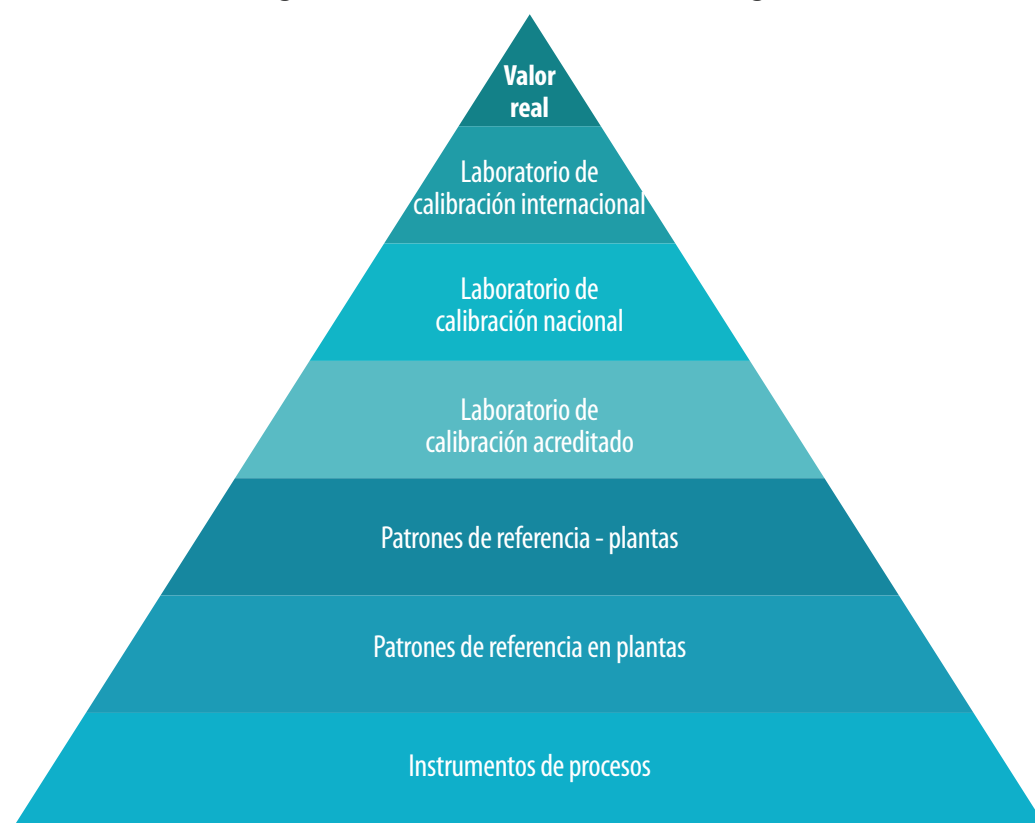
De acuerdo con el Instituto Nacional de Metrología (INM) y MinCIT (s.f.), la trazabilidad metrológica consiste en la propiedad de un resultado de medida, por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida. Para ello, se deben asegurar procesos de calibración de competencia técnica necesaria¹⁷².

En cuanto a procesos de medición química, la trazabilidad metrológica de los resultados de las mediciones se puede obtener a partir de métodos como: el uso de materiales de referencia, métodos primarios o sustancias de alta pureza, patrones para la calibración de equipos de medición y métodos validados o normalizados.

¹⁷²El marco de ILAC-MRA/CIPM-MRA permite el reconocimiento internacional mediante el cumplimiento de la norma ISO/IEC 17025, y la ISO 17034 en el caso de los materiales de referencia, por medio de la acreditación. ILAC es la autoridad internacional en la acreditación de laboratorios y de organismos de inspección y está constituida por organismos de acreditación y organizaciones interesadas de todo el mundo.

Se desarrollan procesos de certificación de calibración o de evaluación de dicha trazabilidad a partir de procesos de acreditación, cuyos soportes, ofrecen respaldo. En cuanto a las mediciones y condiciones de determinación de micotoxinas para granos como el maíz en Colombia, no se toma un laboratorio de referencia, diversos actores y procesos, de manera que se hace necesario ampliar el conocimiento y generar elementos de trabajo inicial en esta área, fortaleciendo las capacidades de metrología básica en toda la cadena (Figura 62).

Figura 62. Niveles de trazabilidad metrológica



(Fuente: Beamex. sf.)

En éste ámbito, es importante para el país, el fortalecimiento en ésta temática desde el enfoque de inocuidad para aspectos de medición de la contaminación y la determinación de la calidad del maíz producido a nivel nacional e importado. Así como la identificación de proveedores de servicios de determinación avalados o con procesos debidamente calibrados en ámbitos regionales y nacionales, que permitan disminuir la incertidumbre de las mediciones.

Es fundamental dar a conocer y sensibilizar sobre estos procesos de medición en los diferentes eslabones y actores de la cadena, de manera que se ganen capacidades y se pueda contribuir en la transferencia de conocimiento entre diversos actores (productores, comercializadores, actores de la academia e institucionalidad) (Tabla 54).

Tabla 54. Fortalecimiento en metrología para la cadena – iniciativas estratégicas

FORTALECIMIENTO EN METROLOGÍA PARA LA CADENA	
Iniciativas estratégicas	
Fortalecimiento a capacidades de medición en calidad e inocuidad en actores de la cadena	Plazo
Productores, comercializadores, almacenistas y transportadores con capacidades en metrología de granos, sanidad e inocuidad de alimentos. Esta iniciativa parte de procesos de sensibilización, levantamiento de información de actores a nivel regional sobre éstas capacidades y promover sesiones de capacitación y extensión con diferentes actores en materia de: > Qué es la calidad del grano /inocuidad. > Cuáles son los estándares de referencia de la calidad/inocuidad. > Calidad y relación con el precio del mercado y su efecto en el precio. > Factores que afectan la calidad del grano: humedad y temperatura. > Instrumentos de medición: cuáles son los instrumentos, denominación, uso, toma de muestras, que son confiables, generación de conocimiento frente a toma de muestra y reconocimiento a quiénes están avalados regionalmente para hacerlo. > Sensibilización en la toma de muestras en micotoxinas. > Demostraciones sobre mediciones en campo dirigidas a los agricultores.	I
Identificación de actores	Plazo
Identificación de actores en medición y comercialización de instrumentos en medición (balanzas, higrómetros, kits de micotoxinas). Esta iniciativa puede desarrollarse a partir de consultas a las autoridades referentes para la comercialización de estas herramientas.	I
Ahondar en procesos de calibración acreditación entorno a mediciones de calidad e inocuidad - micotoxinas	Plazo
Listado de actores avalados para la comercialización u oferta de servicios de medición (ONAC, Invima, ICA).	I
Definir un proceso de calibración y acreditación, inspección y reconocimiento de actores avalados certificados.	M
Posibles actores para relacionamiento: Fenalce, ingenieros regionales, SENA y IMN, Sena: sesiones de metrología; INM: Aval, Fenalce: eventos logística de eventos	

*Plazo: I: corto plazo, M: Mediano plazo, L: largo plazo.

6.5.4 Agregación de valor, mercados y asociatividad

Los procesos de fortalecimiento a la competitividad de la cadena incluyen la adopción de buenas prácticas de agricultura, manufactura e incluso procesos de logística, que pueden facilitar el acceso a mercados, su especialización, posicionamiento e interacción con nichos específicos de mercado para la agregación de valor, a partir de garantizar características específicas del grano y su inocuidad. Para asegurar estos aspectos, la trazabilidad es una herramienta fundamental en la generación de información y su seguimiento, así como de logística en los esquemas en donde se implemente y en la gestión tecnológica para la cadena.

A través de este mecanismo es posible la mejora en la gestión de la oferta. Optimizar la planificación y la programación de la producción (Karlsen *et al.*, 2013), especialmente en certificación de origen, lo que permitiría la clara identificación de los productores por parte de los agentes aguas abajo, ya que actualmente no existe una diferenciación de los campesinos que realizan buenas prácticas y obtienen productos con altos estándares, dada la falta de trazabilidad, los alimentos producidos por ellos se confunden en el

proceso de comercialización y flujo en la cadena de suministro (Rincón, Fonseca y Orjuela, 2017).

Los sistemas de trazabilidad, por sí solos no son los que garantizan seguridad alimentaria o el logro de los objetivos propuestos, son una herramienta de gestión para obtener información a lo largo de la CSA para ser utilizada por los analistas y directivos para la toma de decisiones frente a retos globales (Tabla 55).

Tabla 55. Agregación de valor en la cadena del maíz – iniciativas estratégicas

AGREGACIÓN DE VALOR EN LA CADENA DEL MAÍZ	
Iniciativas estratégicas	
Fortalecer capacidades de inocuidad	Plazo
Identificar capacidades y dar a conocer los aspectos normativos.	I
Contribuir a establecer protocolos o retomar normas técnicas para estandarizar procesos de medición de la humedad y calidad del grano, así como las relacionadas a la determinación del contenido de micotoxinas. En distintos tipos de actores como: extensionistas, técnicos, productores, comercializadores, etc.	M
Fortalecer capacidades de medición de aspectos de la calidad e inocuidad del grano (entorno a micotoxinas) como la humedad del grano y contenido de micotoxinas en extensionistas y productores, comercializadores.	M
Promover la integración de productores, almacenistas y transformadores	Plazo
A partir del fortalecimiento a las capacidades de productores y el reconocimiento de la calidad e inocuidad del maíz, se plantea generar un escenario que permita la integración de eslabones de acuerdo a demandas específicas de la industria, consumidores u otros agentes. Esta propuesta se considera de ejecución posterior a procesos de pilotaje y de reconocimiento de la estrategia.	M/L
Identificar alternativas de agregación de valor entorno a la certificación en BPAs o certificaciones de confianza entorno a procesos de inocuidad	Plazo
Plantear alternativas para la diferenciación de producto y apreciación de las propiedades de los materiales producidos para industrias con necesidades específicas, desde la adopción de buenas prácticas de agricultura y sistemas establecidos de trazabilidad que permiten fortalecer la competitividad de la cadena.	M
Promover procesos futuros de certificación de gestión de buenas prácticas de agricultura y almacenamiento de granos, de su calidad y grado para interconectar la producción con industrias específicas.	L
Fomentar iniciativas para el acceso a plantas de almacenamiento y secado	Plazo
Identificar necesidades de almacenamiento y centros de acopio o logísticos.	I
Fomentar iniciativas de secado y almacenamiento a partir de un enfoque asociativo para la adquisición de tecnología mínima como prelimpiadoras, silos, adecuación de bodegas y mejoramiento de lugares de almacenamiento. Desde esta perspectiva la generación de marcas, mecanismos de trazabilidad pueden entrar a complementar estrategias de fortalecimiento asociativo, generación de valor y aseguramiento de la calidad e inocuidad, en conjunto con procesos que permitan completar volúmenes, seleccionar, clasificar e incorporar valor.	I

Promover la investigación y adopción de sistemas de secado y almacenamiento eficientes, seguros y de bajo costo. En algunas regiones de Colombia, se ha observado que las posibilidades de acceso a condiciones de almacenamiento y secado del grano de manera autónoma o por vía de fortalecimiento tecnológico de asociaciones pueden mejorar la capacidad de negociación de los productores en el mercado, al ofrecerle un marco temporal sobre el cual se pueden dar variaciones favorables en el precio, o a partir de la identificación de otros canales de comercialización favorables, al tener una oferta estable para la cadena de suministro.	M/L
Por otra parte, para pequeños agricultores en el mundo, se han desarrollado procesos de innovación tecnológica en secado a partir del uso de la energía solar.	
Generación de incentivos	Plazo
Generar de incentivos de adopción de BPAs y aseguramiento a la inocuidad a partir de contratos de suministro, acceso a líneas de crédito u otros instrumentos de política encaminados al mejoramiento tecnológico en fases de secado, almacenamiento y agregación de valor que contribuyan al cierre de brechas tecnológicas.	M
Promover esquemas de verificación a parti de terceros en los que se haga verificación del cumplimiento de prácticas de mantenimiento de entidad, segregación y trazabilidad en la cadena de suministro, por medio de procesos de capacitación, visitas y programación de procesos completos de gestión de la calidad de acuerdo a los desarrollos en el marco normativo y a través de sistemas articulados de pruebas para la verificación de reclamaciones. Estos esquemas buscan la agregación de valor y apertura de canales comerciales más transparentes e inclusivos.	M/L
Posibles actores para relacionamiento: MADR, ONAC, Fenalce, ICA, SENA, etc.	

*Plazo: I: corto plazo, M: Mediano plazo, L: largo plazo.

6.5.5 Desarrollo normativo y diplomacia sanitaria

La política de seguridad alimentaria y nutricional plantea la necesidad de establecer esfuerzos en el desarrollo de marcos normativos, de fortalecimiento de capacidades de inspección y equipamiento, así como la necesidad de articulación entre el sector alimentario y de salud tanto en el nivel central como territorial (Conpes 113, 2007).

Si bien existe un marco regulatorio nacional sobre límites permisibles de varias micotoxinas en alimentos para el consumo humano, es necesario complementar el marco para los productos de destinación a la cadena pecuaria, pues en este caso, solo se identificaron límites para AFLA. Además, es necesario definir los procesos obligatorios de seguimiento al maíz importado y de aseguramiento de su uso y destinación en función de salvaguardar la salud pública y de los animales en función de cuidar los intereses productivos de la cadena pecuaria, la cual puede verse afectada económica-

mente e interferir en procesos de admisibilidad de productos terminados. Por supuesto, la vigilancia y el seguimiento también deben desarrollarse tanto en materiales importados como en la producción nacional.

Desde lo normativo, es posible establecer procesos de generación de información con un enfoque de monitoreo a cereales y su control, en donde se dé prioridad a micotoxinas con alto impacto a la salud humana como la AFB1, cuya evidencia científica se considera suficiente para asociarla con efectos cancerígenos en humanos. A la vez, priorizar la categoría de riesgo en arepas por parte del Invima, atendiendo a que la contaminación con AFB1 aumenta el riesgo en la salud pública al ser un carcinogénico potencial. Para éste caso puntual se propuso en su momento la necesidad de legislar sobre los límites de agua (73%) para su vigilancia y control en productos como la arepa (INS, 2015).

Desde los postulados de la Misión para la transformación del campo (2014) se reconoció la importancia de fortalecer los aspectos reglamentarios y normativos en sistemas de comercialización de productos desde una perspectiva integral en las cadenas de suministro¹⁷³, en reconocimiento a que la implementación de estándares es fundamental en el mercado mundial de alimentos. En el caso de la Unión Europea existe el “Libro Blanco sobre Seguridad Alimentaria” y en EE.UU la “Ley de Modernización de la Seguridad Alimentaria de Estados Unidos” (FSMA, 2011). A su vez, la misión reconoció la necesidad de fortalecer el sistema de inspección y control de alimentos como parte del papel de importador y exportador del país, a su vez, el mejoramiento de la reglamentación en la cadena de transporte sobre aspectos que pueden afec-

tar la calidad de los alimentos y la salud, en conjunto con condiciones para su comercialización en centros de logística.

En cuanto a la Diplomacia Sanitaria, uno de los ejes en los que se enmarcan distintas iniciativas actualmente desde el gobierno central, basado en promover la admisibilidad en mercados a partir de mejorar aspectos fitosanitarios como la erradicación de enfermedades y plagas, comprende el conjunto de funciones para el manejo de las relaciones entre los estados y otros actores relevantes vinculados con la salud, que persiguen la búsqueda de soluciones y acuerdos, así como construcción de procesos, y manejo de coaliciones en el marco de negociaciones para la consecución de objetivos compartidos en materia de salud global (Barston, 2006).

Tabla 56. Desarrollo normativo – iniciativas estratégicas

Desarrollo Normativo	
Iniciativas estratégicas	
Reglamentación en materia de trazabilidad e inocuidad	Plazo
Reglamentación del sistema de trazabilidad para maíz. Es posible el planteamiento y consecución de aspectos relacionados que faciliten la generación de resoluciones respectivas, instrumentos, planes o programas definidos por el MADR y demás actores pertinentes. Énfasis en el mejoramiento de las condiciones e infraestructura de secado y almacenamiento.	M
Iniciativas en otros procesos de fortalecimiento normativo	Plazo
Definir, adoptar o reglamentar el proceso de inspección de inspección al maíz en los flujos ocurientes en el país.	I
Promover la acreditación de organismos de certificación en torno a aspectos como calidad del maíz, condiciones de almacenamiento, transporte y prácticas de reducción del riesgo de contaminación con micotoxinas.	M/L
Promover instrumentos regulatorios para esquemas de certificación (Ej. calidad, humedad, contenidos de micotoxinas BPAs).	M/L
Promover el seguimiento a materias primas como maíz de importación requieren fortalecimiento frente a niveles de contaminación de otras micotoxinas como FB1 (Perilla <i>et al.</i> , 1998), que de acuerdo a estudios, ha sido identificada en alimentos para animales pero la normativa actual solo tiene niveles permisibles para AFLA como lo es la (Directiva Dip – 30 - 100 – 002 de ICA). Sin embargo, las NTC 535 -1 y NTC 535 – 2, plantean requerimientos para distintas micotoxinas para maíz como insumo a la producción de piensos.	M
Participar en iniciativas normativas y sectoriales de fortalecimiento al transporte de productos alimentarios para el cumplimiento de las exigencias de la comercialización de productos.	M
Posibles actores para relacionamiento: MADR, ONAC, Fenalce, ICA, Sena, etc. MinTransporte.	

*Plazo: I: corto plazo, M: Mediano plazo, L: largo plazo.

¹⁷³En etapas como la clasificación, almacenamiento, transporte, empaque, etiquetado, pesas y medidas, puntos de venta u otros.

6.5.6 Sensibilización, comunicación y fortalecimiento de la estrategia

Es fundamental la concertación y unificación de conceptos relacionados con la inocuidad, el papel de las micotoxinas en la salud y en las alternativas de manejo. Como eje transversal, busca movilizar esfuerzos institucionales, llegar a productores y demás actores. Incluso, se prevé la necesidad de fomentar el conocimiento sobre la calidad e inocuidad del maíz en consumidores, de modo que puedan captar, apreciar y diferenciar las características y diferencias del maíz para consumo animal y para consumo humano.

Por medio de la sensibilización y la comunicación, se busca la interacción entre distintos actores en un enfoque de “la granja a la mesa”.

También, hace parte de los objetivos de la comunicación garantizar el cumplimiento de las medidas propuestas, fomentar la prevención, actualización tecnológica y normativa desde la generación y difusión de la información tal como se observó en la revisión de esquemas de IVC (*Capítulo 5: Referenciación de esquemas de vigilancia, inspección y control de la contaminación*).

La estrategia incluye y consolida los procesos de adquisición, procesamiento, análisis y difusión efectiva de información pertinente a partir de documentos técnicos de soporte, publicaciones, boletines y demás medios que se puedan considerar relevantes para cumplir los propósitos establecidos.

Tabla 57. Sensibilización, comunicación y fortalecimiento de la estrategia – iniciativas

SENSIBILIZACIÓN, COMUNICACIÓN Y FORTALECIMIENTO	
Iniciativas estratégicas	
Sensibilización y comunicación relacionada	Plazo
Generar materiales impresos y digitales (ej. videos, cartillas, boletines e insumos educativos, documentos técnicos, presentaciones, folletos, guías, conferencias, etc., cursos, <i>workshops</i> técnicos, MSM) que permitan informar a distintos actores (productores, comercializadores, generadores de política pública y demás actores pertinentes) sobre diversas temáticas, entre ellas:	I
➤ Fomento la cultura de la inocuidad a partir de la difusión de conocimiento. ➤ Marco normativo, regulaciones específicas. ➤ Conocimiento técnico sobre agentes de contaminación y medidas para reducción del riesgo.	
Promover la implementación BPAs y prácticas de poscosecha y almacenamiento.	I
Dar a conocer los mecanismos de medición y determinación de la calidad del grano y factores que lo afectan (énfasis en micotoxinas) a distintos tipos de actores (productores, molinerías, trilladoras, silos, etc.)	I
Divulgar y fomentar de herramientas de bajo costo para el seguimiento de variables como la humedad del grano en capo (higrómetros).	I
Divulgar los mecanismos y alternativas de control implementadas (casos), tecnologías apropiadas de almacenamiento y secado, así como de innovaciones identificadas para la disminución al riesgo de contaminación y de mitigación.	I
Divulgar recomendaciones sobre procedimientos de calibración de maquinaria para cosecha u otros equipos que pudiesen afectar la calidad de grano por medio de ruptura física.	I
Divulgación de recomendaciones de manejo en campo, poscosecha para la prevención de la contaminación.	I
Promoción de la calidad de los maíces nacionales y sus propiedades, su calidad e inocuidad en el consumidor nacional.	I

Divulgar los avances, iniciativas, estrategias tecnológicas, innovaciones, casos de éxito sobre el control de la contaminación, el mantenimiento de la calidad e inocuidad en el ámbito nacional e internacional, a partir de seminarios, talleres, capacitaciones y acciones desarrolladas en el marco de la estrategia.	M/L
Fomentar el uso de variedades resistentes o con características que permitan contrarrestar el riesgo de contaminación o daño del grano (Ej. Resistencia mecánica, índice de flotación de acuerdo a Oliveira <i>et al.</i> (2009)).	M
Ofrecer a la población información sobre el manejo y conservación del alimento en los hogares para prevenir la ocurrencia de hongos y producción de AFB1, por lo que es importante concientizar sobre la observación antes del consumo de aspectos de empaques, condiciones de almacenamiento y características del alimento como su color y condición o desarrollo evidente de mohos, etc. (INS, 2015).	M
Sinergias con organismos multilaterales o de cooperación internacional y articulación interinstitucional	Plazo
Identificar actores potenciales del ámbito nacional o internacional que pudiesen brindar un fortalecimiento a la estrategia, o participar activamente en proyectos específicos y convenios para la transferencia de tecnología, búsqueda de alternativas de mejoramiento a las capacidades productivas nacionales y capacidades de extensión y asistencia en lo relativo a enfrentar problemáticas de inocuidad de la cadena.	I
Articular con la empresa privada: existen casos en el mundo en los que a través del apoyo de la empresa privada, los agricultores han logrado el acceso a herramientas para el seguimiento de variables determinantes en la calidad e inocuidad (higrómetros, implementación de mecanismos de secado, implementos de detección de la contaminación de bajo costo). Por medio de pilotos de prueba de tecnologías se hace posible la generación de información y la sensibilización de actores. A través de estos procesos se plantea fomentar la adopción tecnológica y la innovación (Ejemplo: caso de integración entre la Universidad de Purdue, el CIMMYT, KALRO y Bell Industries en la generación de higrómetros de bajo costo para poblaciones rurales).	M
Planteamiento de propuestas de colaboración interinstitucional.	M
Actores para relacionamiento: Fenalce, IICA, Cámaras de comercio, actores departamentales y locales específicos, Universidades, asociaciones locales, SENA: Mesas sectoriales, Agrosavia, ONGs, Cimmyt, empresas privadas de tecnología agrícola.	
Mesas y grupos de trabajo	Plazo
Integrar esquemas de trabajo con actores clave en regiones productoras en función de seguir las actividades y promover iniciativas y tecnologías, así como realizar la correspondiente actualización del estado del arte, relacionamiento con actores interesados bajo el enfoque de cadena productiva y sobre problemáticas productivas, de manera que se establezca el trabajo en red.	M
Desde la conformación del comité de seguimiento y la mesa núcleo de trabajo en función de presentación de resultados, en donde existe la participación articulada, el planteamiento de alternativas y sinergias.	M
Abordar a futuro otros aspectos de la inocuidad del maíz tal como la residualidad de compuestos, metales pesados, OMGs, etc.	L

6.5.7 Financiamiento

La principal fuente de financiamiento para sistemas de control de alimentos por lo general procede de los gobiernos nacionales. Las iniciativas planteadas en el marco de esta estrategia, correspondiente a los procesos de fortalecimiento de la producción nacional, pueden originarse de *recursos de destinación pública* direccionados desde el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, así como de los fondos parafiscales como el Fondo Nacional Cerealista.

Los mecanismos de inspección, vigilancia y control que deban fortalecerse desde la perspectiva del aseguramiento de la importación de materias primas deberán ser financiados o bien desde el nivel central o bajo mecanismos específicos desarrollados a nivel normativo. Este aspecto por supuesto, se requiere del establecimiento de estructuras y la formulación de reglamentaciones respectivas que contribuyan a mantener el nivel adecuado de protección al consumidor, de acuerdo al riesgo y un pleno compromiso de las partes, especialmente a nivel gubernamental para el establecimiento de estas estructuras. Sin embargo, otro mecanismo de financiación pueden ser las *alianzas público privadas* y el planteamiento de proyectos de diversa índole desde iniciativas integrales de *cooperación internacional*.

07

ANEXOS

7.1 Otros antecedentes normativos asociados al maíz en Colombia.

Material de propagación OGMS	
Resolución 716 de 1999 (ICA)	Por la cual se establecen los requisitos para emitir el concepto de evaluación agronómica de genotipos de maíz para comercializar en el territorio colombiano.
Resolución 2894 de 2010 (ICA)	Por medio de la cual se implementa el Plan de manejo, bioseguridad y seguimiento para siembras controladas de maíz genéticamente modificado. Se establece controlar el uso y comercialización de semillas Genéticamente modificadas, evitar la generación de resistencia de plagas de maíz transgénico, evitar el flujo de genes hacia variedades criollas. Con etapas como: 1. Capacitación 2. Establecimiento de esquemas de refugio 3. Monitoreo al desarrollo de posible resistencia por especies plaga objetivo 4. Manejo de malezas, y 5. Aislamiento.
Resolución 1680 de 2008 (ICA)	Por la cual se autorizan Siembras Controladas con semillas de maíz con el evento NK-603 a la empresa DuPont de Colombia S.A. (OGMs).
Resolución 3168 de 2015 (ICA).	Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fito-mejoramiento y se dictan otras disposiciones. Entre la información trazable, se establece que el empaque de las semillas debe contener: 1. No. de lote declarado por el productor, 2. Categoría de la semilla en forma destacada, 3. Nombre del productor responsable de la declaración, 4. Nombre común de la especie, 5. Nombre del cultivar, 6. Semilla pura declarada en porcentaje (%), 7. Mezcla varietal declarada en porcentaje (sem/kg) según el caso, 8. Malezas prohibidas, nocivas y comunes declaradas en porcentaje (sem/kg), 9. Semillas de otros cultivos declaradas en número de semillas por kilo (sem/kg), 10. Germinación declarada en porcentaje (%), 11. Humedad declarada en porcentaje (%), 12. Fecha de producción en campo, 11. Fecha análisis de laboratorio. ICA: asigna un código de identificación alfanumérico y consecutivo a las etiquetas según el empaque autorizado. Empaque autorizado del ICA.
OGMS	
Resolución, 1711 2011 (Invima)	Por la cual se autoriza el uso de líneas de MAÍZ MON 863 (CRW) como materia prima para la producción de alimentos para consumo humano. (OGM).
Ley 4525 de 2005. (Presidencia de la República)	Por el cual se reglamenta la Ley 740 de 2002.
Ley 740 de 2002. (Congreso de la República)	Ratifica el "Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio de Diversidad Biológica". Diario Oficial 44.816, de 29 de mayo de 2002.

7.2 Recomendaciones del Instituto Nacional de Salud - ERIA (2015) en materia de micotoxinas en producto terminado (arepa)

Tipo	Descripción
Legislación	Implementar los análisis microbiológicos correspondientes a recuento de mohos y levaduras en maíz como materia prima de arepas y para producto terminado.
	Contar con datos de control y monitoreo de cereales, donde se realicen análisis de AFB1.
	Que el Invima priorice la categoría de riesgo de las arepas, debido a que la posible contaminación con AFB1 aumenta el riesgo en salud pública por el potencial carcinogénico de esta micotoxina; a su vez, se propone que aumente la vigilancia y control en las empresas productoras de arepa.
	Debido a que se considera el contenido de agua un punto de control para evitar el desarrollo de mohos aflatoxigénicos en la arepa y que el <i>Codex Alimentarius</i> acepta como límite 73% de agua, se recomienda legislar y vigilar este aspecto en arepas.
Producción primaria	Se recomienda que las instituciones que realizan actividades de vigilancia y control en la producción primaria de maíz fortalezcan la implementación de las BPA, debido a que la humedad y la temperatura son puntos de control importantes para evitar el desarrollo de mohos aflatoxigénicos.
Información en la importación de cereales	Teniendo en cuenta que en puertos, aeropuertos y pasos fronterizos no se cuenta con información disponible sobre la vigilancia (detección y cuantificación) de aflatoxinas en maíz importado, se recomienda que se realice dicho análisis y que se tenga disponible esta información.
	Solicitar como parte de los documentos de admisión sanitaria en puertos, aeropuertos y pasos fronterizos como criterio de inocuidad, el certificado de análisis de aflatoxinas, específicamente AFB1, expedido por un laboratorio preferiblemente acreditado en donde se informe sobre los niveles de estas sustancias.
Producción de arepas	Los canales de distribución del maíz en el país deben establecer sus condiciones de transporte y almacenamiento, con el fin de realizar su trazabilidad y detectar problemas potenciales, debidos a la posible carga de mohos o aflatoxinas del alimento.
Información poblacional y de la enfermedad	Es necesario que el país cuente con un sistema de información disponible y actualizado que incluya datos poblacionales, factores de riesgos, consumo y producción industrial de arepa discriminada por regiones del país, con el fin de contar con los elementos que permiten la realización de una evaluación de riesgos cuantitativa.
	Desarrollar programas preventivos de educación y sensibilización en salud pública para la población colombiana, en particular la población de alto riesgo, es decir, pacientes con hepatitis B, VIH y con cirrosis.
	Los sistemas de vigilancia de salud pública en el cual se notifica cáncer hepático, se tenga en cuenta incluir preguntas o información relacionada con el consumo de maíz, arepa y derivados, para contar con información epidemiológica útil en análisis de riesgo cuantitativo.
	Es necesario que las autoridades sanitarias proporcionen a la población general información sobre el manejo y conservación del alimento en los hogares, con el fin de evitar el deterioro del alimento que pueda conducir al crecimiento del moho y a la producción de aflatoxinas, para lo cual se pueden generar campañas de concientización sobre empaques, condiciones de almacenamiento y características del alimento (color, desarrollo evidente de mohos, etc.), que deben evaluarse antes del consumo.

	Es necesario que el país avance en la implementación de pruebas para la determinación de biomarcadores en orina de población de riesgo o expuesta, tales como AFB1 libre, AFM1, AFP1, los cuales son indicadores de detoxificación metabólica y del aducto AFB1-N7 Guanina para exposición crónica.
Laboratorios y técnicas de análisis	Es necesario que los laboratorios de las entidades de vigilancia y control de cadena primaria y de producto terminado de alimentos de consumo humano, dispongan de métodos sensibles y específicos para la detección, identificación y cuantificación de AFB1, así como la identificación de los mohos aflatoxigénicos.
	Promover que los laboratorios privados cuenten con métodos sensibles y específicos para la detección, identificación y cuantificación de AFB1, así como la identificación de los mohos aflatoxigénicos.
	Fortalecer la infraestructura de los laboratorios existentes, para análisis de micotoxinas y plantear la estrategia de tercerización con laboratorios preferiblemente acreditados o pertenecientes a la red de laboratorios.
Agenda de investigación en inocuidad de alimentos para evaluación de riesgos cuantitativa	Investigaciones de micotoxinas con énfasis en AFB1 en los alimentos de consumo infantil, debido a que ésta es una población vulnerable y se tiene información previa sobre contenido alto de micotoxinas en estos alimentos.
	Se recomienda aumentar las investigaciones sobre aflatoxinas y otras micotoxinas como DON, dada su relevancia actual, así como la cobertura a otros alimentos de consumo masivo o de riesgo de contaminación con aflatoxinas, tales como el maní, por su manejo inadecuado en algunas circunstancias.
	• Falta de información de las actividades de vigilancia y control. • Estudios de investigación con información incompleta. • Ausencia de datos sobre la contaminación de los cereales, como maíz, arroz y trigo que ingresan al país

7.3 Recomendaciones FAO/OMS/Pnuma para el control de micotoxinas en países en desarrollo.

Tipo	Actividades Específicas	Documento
1. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	Reducir daños por insectos y hongos adoptando prácticas adecuadas de cultivo (variedades resistentes, rotación, riego adecuado y uniforme, uso prudente de plaguicidas aprobados).	Guía de prácticas recomendadas para prevención de micotoxinas en alimentos, piensos y sus productos Apéndice A.
	Sembrar con el espaciamiento recomendado de cultivo.	
	Adecuado manejo de desechos, arvenses, residuos de cultivos, o controlar plantas hospederas de estos hongos.	
	Aseguramiento de periodos de siembra y recolección con periodos en que infestaciones de mohos sean menores.	
	Reducir daños mecánicos a productos, cultivo, recolección y elaboración.	
	Recolectar cultivos cuando sea posible y en plena madurez.	
	De ser necesario utilizar fungicidas aprobados para evitar la formación de hongos micotoxigénicos.	
	2. Medidas adecuadas de protección vegetal	
	Reducción del daño. Por insectos.	

3. Prácticas de recolección y secado	Después de recolección, no retrasar el secado especialmente si hay niveles altos de humedad.		Guía. Apéndice B.
	Recolectar en épocas secas, a nivel de granja secarla extendidas sobre el suelo pavimentado con movimientos intermitentes.		
	En lugares de recolección: uso de secadores con calefacción artificial.		
	Secar lo más rápido posible. Evitar un secado prolongado en condiciones de humedad elevada ya que puede ser causa de infección.		
	Evitar el re humedecimiento de los granos durante el secado y después de él. El uso de cubiertas de plástico puede hacer que se condense el vapor de agua en las noches.		
	Secar hasta los niveles de humedad inocuos.		
4. Prácticas de almacenamiento en la granja (Nivel rural) mercados y depósitos.	Almacenamiento	Procurar que las estructuras de almacenamiento estén secas, sin entradas de agua por filtración o afloramientos subterráneos.	Guía. Apéndice C
		Hacer pilas de sacos de grano sobre listones o plataformas para evitar movimiento ascendente del agua del suelo a no ser de que exista una membrana impermeable de vapor.	
		Mantener el almacén a temperatura y humedad constantes. Evitar gradientes de humedad y condensación en lotes almacenados para evitar mohos.	
		Aplicar tratamientos protectores de insectos.	
		Almacenamiento en baja temperatura siempre que sea posible debido a la correlación de la contaminación con esta variable (excepto <i>Fusarium</i>), atmósferas nitrogenadas	
	Almacenamiento en la explotación	Si el producto está infectado, fumigar, secar antes de almacenamiento	
		Almacenar productos en estructuras o recipientes hidrófugos y que se presenten a su tratamiento por fumigación.	
		Inspeccionar periódicamente y hacer control con productos adecuados para insectos en caso de requerirse.	
	Almacenamiento a gran escala	No almacenar granos con niveles de humedad superior a lo que se considera inocuo.	
		Aseguramiento del suelo del almacén a prueba de humedad y roedores, utilización de hojas de polietileno o plataformas de madera debajo de pilas, procurar ventilación y hermético para facilitar fumigación en caso de ser necesaria.	
		Usar productos de fumigación adecuados.	
		Aireación para deducir el nivel de humedad.	
Impedir acceso a roedores y aves.			
5. Prácticas de transporte en el plano local, nacional o internacional	Análisis de condiciones en las que se desarrollan durante condiciones de transporte y corrección sobre inconvenientes.		Guía. Apéndice D
	Asegurar prácticas de desinfección periódica de contenedores vacíos o transporte a través de productos adecuados		

2. VIGILANCIA CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN		Asegurar que envíos de alimentos tengan niveles de humedad inocuos antes de almacenamiento. Puede absorberse humedad durante el transporte. Se consideran adecuados el uso de contenedores herméticos y lonas.	
		Utilizar material de embalaje que no permita entrada de insectos o con materiales que permitan hacer control químico.	
	6. Tratamientos posteriores a cosecha (descontaminación de cultivos afectados o susceptibles de serlo)	Proteger los cultivos en cualquier condición que favorezca el desarrollo de hongos.	Guía. Apéndice E.
		Acelerar los procesos de deshidratación, y en especial los que hagan falta después de que se haya producido una rehidratación.	
		Separar por medios físicos la parte de la cosecha que haya sido dañada.	
		Inactivar micotoxinas con métodos adecuados que no entren en la cadena alimentaria humana ni animal.	
	Tipo de recomendación	Actividades Específicas	Documento
	7. Programas de vigilancia	Determinación de la incidencia en lugares de la contaminación por micotoxinas en la cadena alimentaria partiendo de la producción, para acabar, después de pasar por la recolección, el almacenamiento y la elaboración en el consumo. a) Desarrollo de procedimientos adecuados para la captura de muestras representativas con aceptación internacional. b) Suministro de laboratorios equipados en zonas apropiadas. c) Capacitación de personal y dotación para la captura de muestras en terreno. d) Desarrollo de métodos adecuados de perfección y perfeccionamiento cuando hagan falta. Desarrollo de pilotos para productos o grupos de población con riesgo especial.	--
	8. Sistema sólido de control nacional de alimentos y piensos	Que tenga la capacidad de tomar acción eficaz para el control de los contaminantes del medio ambiente como micotoxinas en alimentos y piensos.	
	9. Asistencia técnica	En materia de prevención y control de micotoxinas, estudios de efectos en la salud humana y animal, así como de comercio internacional	
	10. Estudios de mercado y distribución locales, nacionales y de comercio internacional	Sobre el mercadeo y distribución local, nacional e internacional para: a) Organizar programas de investigación y control para ofrecer protección al consumidor. b) Evaluar aspectos toxicológicos y económicos de la utilización de productos contaminados en otros fines que no son consumo directo humano. c) buscar mecanismos de estimulación al productor, al fabricante a eliminar micotoxinas en la cadena alimentaria.	
	11. Favorecer el comercio internacional	En productos susceptibles tomando como aseguramiento la armonización y aceptación internacional (FAO/OMS/Codex alimentarius)	
	12. Normatividad	Revisar normas de referencia sobre micotoxinas.	
	13. Alternativas	Descontaminación tanto para el consumo local como para piensos o abastecimiento de gran escala. A partir de procesos como separación física, enzimáticos, extracción con disolventes (metoxietano) de acuerdo a criterios como: a) Destruir, inactivar o eliminar las micotoxinas.	Guía. Apéndice F.

		b) No producir ni dejar residuos tóxicos o carcinogénicos/mutagénicos en productos acabados o en productos obtenidos de animales alimentados con piensos descontaminados. c) Preservar el valor nutritivo y aceptabilidad del producto. d) No alterar sensiblemente las propiedades tecnológicas importantes del producto. e) Destruir las esporas o micelios fungales que, en circunstancias favorables, podrían multiplicarse y formar nuevas toxinas.	
Tipo de recomendación		Actividades Específicas	Documento
3. CAPACITACIÓN, INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN	14. Programa de capacitación y educación	“Deberán respaldarse y fomentarse, por todos los medios disponibles, programas apropiados de capacitación y educación”...Con enfoque preventivo, eliminación y control de micotoxinas.	--
		a) Establecimiento y provisión de servicios de laboratorios para control y vigilancia, especialmente en países en desarrollo.	
		c) Capacitación de personal en procedimientos de laboratorio para vigilar contaminación de los alimentos.	
		d) Capacitación de personal en servicios de extensión agraria y de otro tipo de medidas para la prevención y control en todas las fases de la cadena.	
		e) Capacitación de científicos del país y oficiales competentes de sanidad pública.	
		f) Capacitación del personal médico y veterinario para el diagnóstico clínico y postmortem de la micotoxiosis.	
	15. Capacitación (extensionistas e inspectores)	Los agentes de extensión rural y de inspección en deben recibir capacitación en:	
		a) BPA	
		b) Métodos adecuados de manipulación, secado y almacenamiento.	
		c) Información sobre micotoxinas en relación con las prácticas de alimentación de animales.	
		d) Información sobre efectos a la salud humana y de animales.	
		e) Información sobre actitudes locales y sistemas tradicionales de prevención.	
	16. Divulgación	Esfuerzos por recoger, reproducir y divulgar investigación adaptable sobre prácticas, procedimientos y métodos con buenos resultados en uno o más países.	
	17. Investigación en alimentos y piensos	En materia de prevención y control de micotoxinas, estudios de efectos en la salud humana y animal, así como de comercio internacional.	
		a) Variedades resistentes	
		b) encuestas para determinación de incidentes, productos, regiones y poblaciones de alto riesgo	
		c) Reducción o eliminación	
		d) Efectos nocivos en animales y humanos	
		e) Efectos en la salud animal (productividad y residuos)	
		f) Factores ambientales para la producción de micotoxinas	
		g) valoración económica y social de la problemática	

		Enfoques	Productos con alta probabilidad de contaminación (muy expuestos):	
			Regiones muy expuesta.	
			Poblaciones muy expuestas.	
			Estado nutricional y efectos nocivos a la salud.	
		Salud humana	Asesoría científica.	
			Prolongación de estudios epidemiológicos.	
			Nuevos métodos de medida y confirmación de micotoxinas en tejidos, excretas .	
		Relaciones entre	aflatoxinas y cirrosis infantil y cáncer primario de hígado.	
			Aflatoxinas y síndrome de Reyl.	
			Ocratoxina A y nefropatía balcánica.	
			Aflatoxinas, cáncer primario de hígado y virus B de la hepatitis.	
			Zearalenona funciones estrogénica.	
		Sanidad y protección animal	Alimentos contaminados y productividad.	
			Riesgos y peligros de residuos de aflatoxinas y otras micotoxinas como la carne, leche y huevos.	
			Medidas terapéuticas, antídotos para contrarrestar efectos nocivos.	
		Prevención	Selección de variedades de cultivos resistentes a hongos e insectos en donde no se comprometan características como rendimiento, composición nutricional.	
			Evaluación de la estabilidad de las características.	
			Función de ácaros nemátodos en los cultivos como agentes que promuevan la contaminación.	
			Prácticas de cultivo que limiten la formación de micotoxinas en variedades susceptibles.	
			Ideación de instalaciones en el almacenamiento en colectividades.	
		Des-contaminación	Métodos enzimáticos, disolventes, mecánicos.	
			Evaluación de silos, abonos orgánicos y soterramiento o eliminación de alimentos y cultivos con hongos toxigénicos a fin de prevenir la difusión de las esporas.	
			Técnicas fiables y de bajo costo para medir actividad del agua y/o contenido de humedad que puedan emplearse a nivel rural para medir la eficacia del secado.	
		Hongos toxigénicos	Determinación de parámetros para la producción de toxinas para planes de limitación de la actividad del agua, almacenamiento anaerobio, fungicidas y prácticas agrícolas.	
		Aspectos económicos	Estudios detallados sobre sistemas de comercialización local, nacional e internacional.	

Fuente: Conferencia mixta FAO/OMS/PNUMA sobre micotoxinas (1978).

08

BIBLIOGRAFÍA

- Abadía, B., Afanador, G., Céspedes, A. y G. J. Díaz. 1997. Ocurrencia natural de aflatoxinas en sorgos híbridos cultivados en la microrregión del Alto Magdalena, Colombia. *Revista Corpoica*. Vol. 2. No. 01. pp. 22 -26.
- Abadía, B y R. Bartosik (Eds.). (2013). *Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos: Hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria*. 1a. Edición Ediciones INTA. - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. ISBN N° 978-987-679-264-6. Consultado en mayo de 2019 en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_buenas_practicas_en_poscosecha_de_granos_reglon_48-2.pdf
- Abdel-Hadi, A., Schmidt-Heydt, M., Parra, R., Geisen, R. and N. Magan. (2012). A system approach to model relationship between aflatoxin gene cluster expression, environmental factors, growth and toxin production by *Aspergillus flavus*. *Journal of the Royal Society Interface*. Vol. 9. No. 69. pp. 757-767. DOI: 10.1098/rsif.2011.0482
- Abid-Esefi, S., Baudrimont, I., Hassen, W., Ovanes, Z., Mobio, T.A., Anane, R., Crppy, E.E. and H. Bacha. (2003). DNA fragmentation apoptosis and cell cycle arrest induced by zearalenone in cultured DOK, Vero and Caco-2 cells; prevention by vitamin E. *Toxicology*. Vol. 192 (2-3). pp. 237-248. DOI: 10.1016/s0300-483x(03)00329-9
- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales*. Vol. 30 .No. 2. Recuperado en 19 de junio de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000200016&lng=es&tlng=es.
- Acuña, C. A., Díaz, J.G y M. E. Espitia (2005). Aflatoxinas en maíz: reporte de caso en la costa atlántica colombiana. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 2005. Vol 52. pp. 156-162. Consulta en mayo de 2019 en: <http://bdigital.unal.edu.co/21446/1/17847-57425-1-PB.pdf>
- Acuña, A., Lozano, M. C. y de García, M. C. y G. J. Díaz. (2005). Prevalence of *Fusarium* species of the Liseola section on selected Colombian animal feedstuffs and their ability to produce fumonisins. *Mycopathologia*. Vol. 160. pp. 63-66. DOI: 10.1007/s11046-005-1590-0
- Administración Federal de Ingresos Públicos, Oficina Nacional de Control Comercial Agropecuario y Subsecretaría de Transporte Automotor. *Transporte de granos. Resolución Conjunta General No. 2595 y 3253 de 2009 y Disposición No. 6 de 2009. Por la cual se establece el uso obligatorio de la Carta de Porte para Transporte Automotor y Ferroviario de Granos*. Buenos Aires, Argentina
- Agrios, G. (1998). *Fitopatología*. 3ra edición. Editorial limusa, México.
- Aiko, V. and A. Mehta. (2015). Occurrence, detection and detoxification of mycotoxins. *Journal of Biosciences*. Vol. 40. No. 5. pp. 943-954. DOI: 10.1007/s12038-015-9569-6
- Almeida-Ferreira, G. C., Barbosa-Tessmann, I. P., Sega, R. and J.M. Machinski. (2013). Occurrence of zearalenone in wheat and corn-based products commercialized in the State of Paraná, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*. Vol. 44. No. 2. pp. 371-375. DOI: 10.1590/S1517-83822013005000037
- Albuquerque, W.F., Calvet, R.M., Rocha, C.A.R., Martins, P.C.C., Nóbrega, M.M.G.P., Costa, A.P.R. y M.C.S., Muratori. (2016). Efeitos da ocratoxina no desempenho do camarão-branco-do-pacífico. (*Litopenaeus vannamei*, Bonne). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. Vol. 68. No. 5. pp. 334-1342. DOI: 10.1590/1678-4162-8525
- Amaral, K. A. S., Nascimento, G. B., Sekiyama, B. L., Janeiro, V. y Jrs. M. Machinski. (2006). Aflatoxinas em produtos à base de milho comercializados no Brasil e riscos para a saúde humana. *Food Science and Technology*. Vol. 26. No. 2. pp. 336-342. DOI: 10.1590/S0101-20612006000200016
- Aquino, S. y M.R. Potenza (2013). Análise da micobiota associada à entomofauna em rações a granel para animais domésticos. *Arquivos do Instituto Biológico*. Vol. 80. No.2. pp. 243-247. ISSN 1808-1657. DOI: 10.1590/S1808-16572013000200016
- AFIP. (2009). *Resolución conjunta general 2595. Transporte de granos. Establécese el uso obligatorio de la Carta de Porte para Transporte Automotor y Ferroviario de Granos. Alcance. Sujetos obligados. Procedimiento*. Administración Federal de Ingresos Públicos, Oficina Nacional de Control Comercial Agropecuario y Subsecretaría de Transporte Automotor. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/150000-154999/152360/texact.htm>

- Alshannaq, A. and J. Yu. (2017). Occurrence, Toxicity, and Analysis of Major Mycotoxins in Food. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 14. No. 6. pp. 632. DOI: 10.3390/ijerph14060632
- Anguiano-Ruvalcaba, G. L., Vargas-Cortina, A. V. y D. Guzmán-De Peña. (2005). Inactivación de aflatoxina B1 y aflatoxicol por nixtamalización tradicional del maíz y su regeneración por acidificación de la masa. *Salud Pública de México*. Vol. 47. No. 5. pp. 369 – 37. DOI: 10.1590 / S0036-36342005000500007
- Bacon, C.W., Yates, I.E., Hinton, D.M. and F. Meredith. (2001). Biological control of *Fusarium moniliforme* in maize. *Environmental Health Perspectives*. Vol.109. pp. 325-332. DOI: 10.1289/ehp.01109s2325
- Bacon, C. W. and P. E. Nelson. (1994). Fumonisin production in corn by toxigenic strains of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum*. *Journal of Food Protection*. Vol. 5. No. 6. pp. 514-521. DOI: 10.4315/0362-028X-57.6.514
- Bandyopadhyay, R., Ortega-Beltran, A., Akande, A., Mutegi, C., Atehnkeng, J. and L. Kaptoge. Biological control of aflatoxins in Africa: Current status and potential challenges in the face of climate change. (2016). *World Mycotoxin Journal*. Vol. 9. No. 5. pp. 771-789. DO: 10.3920/WMJ2016.2130
- Ben Salah-Abbes, J., Abbes, S., Abdel-Wahhab, M.A., and R. Oueslati. (2009). Raphanus sativus extract protects against Zearalenone induced reproductive toxicity, oxidative stress and mutagenic alterations in male Balb/c mice. *Toxicon*. Vol. 53. No. 5. pp. 525-33. DOI: 10.1016/j.toxicon.2009.01.013.
- Benford, D., Boyle, C., Dekant, W., Fuchs, E., Gaylor, DW, Hard, G., Gregory, DB, Pitt, JI, Plestina, R., Shephard, G., Solfrizzo, M., Verger, P.J.P. and R. Walker. (2001). Evaluación de seguridad de la ocratoxina A de ciertas micotoxinas en los alimentos. Serie de aditivos alimentarios de la OMS 47. *FAO Food and Nutrition Paper*. Vol. 74. pp.281 – 415. OMS Ginebra, Suiza.
- Bhadra, R. (2017). Reducing post-harvest loss in developing countries through the feed the future initiative. *Resources Magazine*. Vol. 24. No. 3. pp. 12-15.
- BID. (2012). *Guía práctica para exportar productos agrícolas a Corea del Sur, Japón y Singapur*. Banco Interamericano de Desarrollo - BID. Nota técnica 467. Disponible en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=37222426>
- Biomin. (2019a). 2018 BIOMIN Mycotoxin Survey Results. Consultado en agosto 1 de 2019, en <https://www.biomin.net/es/blog-posts/2018-biomin-mycotoxin-survey-results/>
- Biomin. (2019b). 2018 BIOMIN Mycotoxin Survey in US corn: February 2019 update. Consultado en agosto 1 de 2019, en <https://www.biomin.net/es/blog-posts/2018-biomin-mycotoxin-survey-results/>
- Blanco – Lizarazo, C., Gamboa – Marin, S., Jiménez – Rodríguez, P. and I. Sanchez. (2019). Assessment of dietary exposure to aflatoxin B1 corn arepas in Colombia. *Food Additives & Contaminants: Part A*. Vol. 39. Issue. 7. pp. 1109-1117. DOI: 10.1080/19440049.2019.1615643
- Bradford, K. J., Dahal, P., Van Asbrouck, J., Kunusoth, K., Bello, P. and J. Thompson. (2017). The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 71. pp. 84-93. DOI: 10.1016/J.TIFS.2017.11.002
- Brera, C. Catano, C. de Santis, B., Debegnach, F., de Giacomo, M. and E. Pannunzi. (2006). Effect of industrial processing on the distribution of aflatoxins and zearalenone in corn-milling fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 54. No. 14. pp. 5014-5019. DOI: 10.1021/JF060370S
- Bordini, J. G., Ono, M.A., Garcia, G.T., Fazani, V.H.M., Vizoni, É., Rodrigues, K.C.B. et al. (2017). Impact of industrial dry-milling on fumonisin redistribution in non-transgenic corn in Brazil. *Food Chemistry*. 220 pp. 438-443. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2016.10.028
- Bordini, J.G., Ono, M.A., Garcia, G.T., Vizoni, É., Amador, I.R., Hirozawa, M.T. and E.Y.S. Ono. (2019). Transgenic versus conventional corn: fate of fumonisins during industrial dry milling. *Mycotoxin Research*. Vol. 35. Issue 2, 1. pp. 169-176. DOI: 10.1007/s12550-019-00343-1

- CA. Resolución 1475 de 2010. *Sustitución de la Resolución 1008: "Adopción de Categorías de Riesgo Fitosanitario para el comercio intrasubregional y con terceros países de plantas, productos vegetales y otros artículos reglamentados"*. Comunidad Andina. 29 de mayo de 2012 D.1.10. Consultado en Agosto de 2019 en: <http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Resoluciones/RES01475.pdf>
- CA. Decisión 685. *Glosario Andino de Términos y Definiciones Fitosanitarias*. Comunidad Andina. Consultado en Agosto de 2019 en <http://www.sice.oas.org/trade/JUNAC/Decisiones/DEC685s.pdf>
- Caldas, E. D., Silva C. S. y J. N. Oliveira. (2002). Aflatoxinas e ocratoxina A em alimentos e riscos para a saúde humana. *Revista de Saúde Pública*. Vol. 36. No. 3. pp. 319-323. DOI: 10.1590/S0034-89102002000300010
- Camargos, S.M., Valente-Soares, L. M., Sawazaki, E., Bolonhezi, D., Castro, J. L. y N. Bortolletto. (2000). Fumonisin in corn cultivars in the state of São Paulo. *Brazilian Journal of Microbiology*. Vol. 31. No. 3. pp. 225-228. DOI: 10.1590/S1517-83822000000300015
- CAST. (2003). *Mycotoxins: Risks in plant, animal and human systems. Task force report No. 39*. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa, USA. ISSN 0194-4088. Consultado en agosto de 2019 en <https://www.international-food-safety.com/pdf/Mycotoxins%20-%20Risks%20in%20Plant,%20Animals%20and%20Human%20Systems.pdf>
- Castellari, C.C., Cendoya, M. G, Marcos Valle, F.J., Barrera, V. y A. M. Pacin. (2015). Factores extrínsecos e intrínsecos asociados a poblaciones fúngicas micotoxigénicas de granos de maíz (*Zea mays* L.) almacenados en silos bolsa en Argentina. *Revista argentina de microbiología*. Vol. 47. No. 4. pp. 350-359. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2015.08.003>.
- Castro, J., Alvarado, A., Koga, Y. y R. Tinoco. (2015). Cuantificación de micotoxinas en ingredientes alimenticios utilizados en la dieta de aves comerciales. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. Vol. 26 No. 4. pp. 558 – 564. DOI: 10.15381/rivep.v26i4.11209.
- Cazzaniga, D. Basílico, J.C. González, R.J., Torres, R.L. y D.M. De Greef. (2001). Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour. *Letters in Applied Microbiology*. Vol. 33. Issue 2. pp. 144-147. DOI: 10.1046/j.1472-765X.2001.00968.x
- Céspedes, A. y G. Díaz. (1997). Analysis of aflatoxins in poultry and pig feeds and feedstruffs used in Colombia. *Food chemical contaminants*. Vol. 80 No. 6. pp. 1215-1219.
- CGQV y Dipov. (2020). Indicadores Agricultura. *Coordenação Geral de Qualidade Vegetal - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Consultado en octubre de 2020 en: <http://indicadores.agricultura.gov.br/qualidadevegetal/index.htm>
- Ciegler, A. Lillehoj, E.B., Peterson, R.E. and H.H. Hall. (1966). Microbial detoxification of aflatoxin. *Applied Microbiology*. Vol. 14. No. 6. pp. 934-939.
- Circular 46 de 2014. *Por el cual se establece el modelo de inspección, vigilancia y control sanitario para los productos de uso y consumo humano*. Ministerio de Salud y Protección Social. Diario Oficial No. 49.237 de Agosto 8 de 2014.
- Circular 31 de 2015. *Directrices para la aplicación de la normatividad sanitaria de alimentos de consumo humano*. Ministerio de Salud y Protección Social. Diario Oficial No. 49594 de agosto 4 de 2015.
- Circular 46 de 2016. *Lineamientos complementarios para la articulación y coordinación de las actividades de inspección, vigilancia y control relacionadas con alimentos y bebidas destinados al consumo humano*. Ministerio de Salud y Protección Social. Diario Oficial No. 50.044 del 1 de noviembre de 2016.
- Codex Alimentarius. (2003). *Código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación de los cereales por micotoxinas*. Consultado en junio de 2019 en: http://www.fao.org/input/download/standards/406/CXP_051s_2014.pdf
- Códex alimentarius (S.f). Análisis de riesgos y alimentos: la opinión de los expertos. Grupo de Enlace de Calidad de Alimentos y División de Alimentos y Nutrición. FAO. Consultado en marzo de 2020 en: <http://www.fao.org/3/v9723t/v9723t0a.htm>

- Codex - Stan (193 - 1995). *Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Codex alimentarius*. Adoptada en 1995 Revisión: 1997, 2006, 2008, 2009 Enmienda: 2010, 2012, 2013, 2014, 2015. En FAO. Consulta en marzo de 2020 en: <http://www.fao.org/3/j2262s/j2262s14.htm#TopOfPage>
- Codex Stan (153 - 1985). *Norma del Codex para el maíz. Codex alimentarius*. Adoptado 1985. Revisión 1995.
- Codex - Stan (154 - 1985). *Norma para la harina integral de maíz. Codex alimentarius*. Adoptada en 1985. Revisión 1995.
- Codex - Stan (155 - 1985). *Norma para la harina y la sémola de maíz sin germen. Codex alimentarius*. Adoptada en 1985
- Codex - Stan (188 - 1993). *Norma para el maíz enano. Codex alimentarius*. Adoptada en 1993. Revisión 2005.
- CAC-RCP (51 - 2003). *Código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación de los cereales por micotoxinas, con anexos sobre la ocratoxina a, la zearalenona, las fumonisinas y los tricotecenos. Codex alimentarius*. Adoptado en 2003. Enmiendas 2014.
- CAC-RCP (45 - 1997). *Código de prácticas para reducir la Aflatoxina B1 presente en materias primas y los piensos suplementarios para animales productores de leche. Codex alimentarius*.
- CAC - 40 CRD-23. (2017). *Propuesta para el Establecimiento del Día Mundial de la Inocuidad de los Alimentos*. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comisión del Codex Alimentarius.
- Conpes 113 de 2007. *Política nacional de seguridad alimentaria y nutricional (PSAN)*. Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
- Conpes 3375 de 2005. *Política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias*. Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
- Conpes 3514 de 2008. *Política nacional fitosanitaria y de inocuidad para las cadenas de frutas y de otros vegetales*. Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
- Conpes 3582 de 2009. *Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Departamento Nacional de Planeación – Dirección de Desarrollo Empresarial. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
- Conpes 3918 de 2018. *Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia*. Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Consultado en febrero de 2019 en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>
- Comisión Europea. (2020). *Integrated and innovative key actions for mycotoxin management in the food and feed chain*. Cordis. EU. Research Results. Revisado en marzo de 2020 en: <https://cordis.europa.eu/project/id/678781/es>
- Coromoto - Chavarri, M., Mazzani Cardinalis, C. B., Luzón, O. y M. J. Garrido. (2012). Detección de hongos toxigénicos en harinas de maíz precocidas distribuidas en el estado Aragua, Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*. Vol. 32. No. 2. pp. 126-130. Recuperado en 04 de mayo de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562012000200010&lng=es&tlng=es
- Damianidis, D., Ortiz, B., Windham, G., Bowen, K., Hoogenboom, G., Scully, B., Hagan, A., Knappenberger, T., Woli P. and W. Williams. (2018). Evaluating a generic drought index as a predictive tool for aflatoxin contamination of corn: From plot to regional level. *Crop Protection Journal*. Vol. 113. pp. 64-74. DOI: 10.1016/j.cropro.2018.07.013.
- Díaz G.J. and A. E. Céspedes. (1997). Natural occurrence of zearalenone in feeds and feedstuffs used in poultry and pig nutrition in Colombia. *Mycotoxin Research*. Vol. 13. No. 2. pp. 81-7. DOI: 10.1007/BF02945070.
- Díaz, G.J, Perilla, N.S. and I. Rojas. (2001). Occurrence of Aflatoxins in selected Colombian Foods. *Mycotoxin Research*, Vol. 17. pp. 14-20.
- Díaz, G. J. and E. Espitia. (2006). Occurrence of aflatoxin M1 in retail milk samples from Bogotá, Colombia. *Food Additives and Contaminants*. Vol. 23. No. 8. pp. 811-815.

- Díaz, G. J., Krska, R. and M. Sulyok. (2015) Mycotoxins and cyanogenic glycosides in staple foods of three indigenous people of the Colombian Amazon. *Food Additives & Contaminants: Part B*. Vol. 8. No. 4. pp. 291-297, DOI: 10.1080/19393210.2015.1089948
- Dilkin P., Mallmann, C.A., de Almeida, C. A. A., Stefanon E.B., Fontana, F. Z. and E.L. Milbradt. (2002). Production of fumonisins by strains of *Fusarium moniliforme* according to temperature, moisture and growth period. *Brazilian Journal of Microbiology*. Vol. 33. No. 2. pp. 111-118. DOI: 10.1590/S1517-83822002000200003.
- Dilkin, P., Mallmann, C.A., Santurio, J. M. y J.L. Hickmann. (2000). Classificação Macroscópica, identificação da microbiota fúngica e produção de aflatoxinas em híbridos de milho. *Ciência Rural*. Vol. 30. No.1. pp. 137-141. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000100022>
- Decree AQSIQ No. 177 de 2016. *Administrative Measures of Inspection and Quarantine for Entry and Exit Grain*. Unofficial translation. Consultado en octubre de 2020 en: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/registro/cgc_mapa/exportadores/arquivos_graos-china/DecretoAQSIQ177_2016.pdf
- Decreto No. 1585 de 1996. Poder Ejecutivo Nacional. Buenos Aires, Argentina.
- Decreto No. 3075 de 1997. *Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979 y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Salud Pública. Diario Oficial No. 43.205 de 31 de diciembre de 1997. Bogotá, Colombia.
- Decreto No. 4.680 de 2003. *Regulamenta o direito à informação, assegurado pela Lei No. 8.078, de 11 de setembro de 1990, quanto aos alimentos e ingredientes alimentares destinados ao consumo humano ou animal que contenham ou sejam produzidos a partir de organismos geneticamente modificados, sem prejuízo do cumprimento das demais normas aplicáveis*. Presidência da República. Casa Civil -Subchefia para Assuntos Jurídicos. Consultado en octubre de 2020 en: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4680.htm
- Decreto No. 4149 de 2004. *Por el cual se racionalizan algunos trámites y procedimientos de comercio exterior, se crea la Ventanilla Unica de Comercio Exterior y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Diario Oficial. Año CXL. N. 45762. 14, diciembre, 2004. pp. 26.
- Decreto No. 6.268 de 2007. *Regulamenta a Lei no 9.972, de 25 de maio de 2000, que institui a classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico, e dá outras providências*. Presidência da República. Consultado en octubre de 2020 en: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6268.htm
- Decreto No. 4765 de 2008. *Por el cual se modifica la estructura del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, y se dictan otras disposiciones*. Diario oficial No. 47207 de 2008. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Decreto No. 2078 de 2012. *Por el cual se establece la estructura del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), y se determinan las funciones de sus dependencias*. Ministerio de Salud y Protección Social. Diario Oficial. Año CXLVIII. N. 48577. 8, octubre de 2012. pp.3.
- Decreto No. 1229 de 2013. *Por el cual se establece el modelo de vigilancia y control sanitario para productos de uso y consumo humano*. Ministerio de Salud y Protección Social. Diario Oficial No. 48.771 de 24 de abril de 2013.
- Decreto No. 539 de 2014. *Por el cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los importadores y exportadores de alimentos para el consumo humano, materias primas e insumos para alimentos destinados al consumo humano y se establece el procedimiento para habilitar fábricas de alimentos ubicadas en el exterior*. Ministerio de Salud y Protección Social. Diario oficial. Año cxlix. N. 49090. 12. Marzo de 2014. p. 15.
- Decreto No. 590 de 2014. *Por el cual se modifica el artículo 21 del Decreto número 539 de 2014*. Ministerio de salud y Protección social. Diario oficial. Año cxlix. N. 49103. 25, marzo, 2014. p. 1.
- Decreto No. 1071 de 2015. *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia.

- Decreto No. 2478 de 2018. *Por el cual se establecen los procedimientos sanitarios para la importación y exportación de alimentos, materias primas e ingredientes secundarios para alimentos destinados al consumo humano, para la certificación y habilitación de fábricas de alimentos ubicadas en el exterior o del sistema de inspección, vigilancia y control del país exportador.* Ministerio de Salud y Protección Social. Diario oficial. Año cliv. N. 50.820. 28. Diciembre 28 de 2018. pp. 312.
- Decreto No. 931 de 2018. *Por el cual se crea el Sistema de Trazabilidad Vegetal y se incluye como Título 11 de la Parte 13 del Libro 2 del Decreto 1071 de 2015, Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural.* Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Diario Oficial 50.607 del 28 de mayo de 2018.
- Decreto Nacional 1585 de 1996. Senasa - Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Buenos Aires, Argentina. Diciembre de 1996.
- Denicoff, M.R., Prater, M. E. and P. Bahizi. (2014). *Corn Transportation Profile.* U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, August 2014. Web. Consultado en Febrero de 2019 en: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Corn%20Transportation%20Profile.pdf>
- De la Torre – Hernández, M.E., Sánchez – Rangel, D., Galeana – Sánchez, E. y J. Plasencia - de la Parra. (2014). Fumonisin – Síntesis y función en la interacción. *Fusarium verticillioides – maíz.* Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. Vol. 17. Issue 1. pp. 77-91. [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(14\)70321-3](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(14)70321-3).
- DNP. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad.* República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
- Desjardins, A. E., Plattner, R. D., Nelson, T.C. and J.F. Leslie. (1995). Genetic analysis of fumonisin production and virulence of *Gibberella fujikuroi* mating population A (*Fusarium moniliforme*) on maize (*Zea mays*) seedlings. *Applied and Environmental Microbiology.* Vol. 61. pp. 79-86.
- Duncan, K.E. and R. J. Howard. (2010). Biology of maize kernel infection by *Fusarium verticillioides*. *Molecular Plant-Microbe Interaction.* Vol. 23. pp. 6-16. DOI: 10.1094/MPMI-23-1-0006
- Eriksen G. S. and H. Petterson. (2004). Toxicological evaluation of trichothecenes in animal feed. *Animal Feed Science and Technology.* Vol. 114. pp. 205-239. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2003.08.008
- Echenique, J. Vargas, Z., Estima-Silva, P., Pereira, D. B., Marques, L.S., Ribeiro, L.S. and A.L. Schild. (2019). Leukoencephalomalacia in horses associated with immature corn consumption. *Ciência Rural.* Vol. 49. No. 3. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180925
- Embrapa. (2020). *Trilha Tecnológica: milho.* Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilha-tecnologica/tecnologias/culturas/milho>
- Embrapa. (2020a). *Exportacao: milho.* Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www.embrapa.br/macrologistica/exportacao>
- Embrapa territorial. (2020). *Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrologística Agropecuária brasileira (SITE-MLog).* Campinas. Consultado en octubre de 2020 en: www.embrapa.br/macrologistica
- ENAC. (2015). *Uso del concepto de trazabilidad metrológica para los laboratorios de calibración.* Entidad Nacional de Acreditación – Centro Español de metrología. Consultado en marzo de 2020 en: https://www.enac.es/documents/7020/563119/Doc_ENAC_CEM_trazabilidad/4c53078c-e94a-42ee-a063-cdf4c13f7cb3
- Esper, R.H., González, E., Marques, M.O., Felicio, R.C. and J.D. Felicio. (2014). Potential of essential oils for protection of grains contaminated by aflatoxin produced by *Aspergillus flavus*. *Frontiers in Microbiology.* Vol. 5. No. 269. pp. 1-1. DOI: 10.3389/fmicb.2014.00269
- Espinosa, A y L. Pasculli. (2013). *Vision agrícola del TLC entre Colombia y Estados Unidos: preparación, negociación y aprovechamiento.* Serie Estudios y perspectivas. No. 25. pp 88. (LC/L.3606). Naciones Unidas. Oficina de la CEPAL en Bogotá. ISSN: 1684-9469.

- European Union. (2019). *The Rapid Alert System for Food and Feed 2018 Annual Report*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 53p. ISBN 978-92-76-02637-2
- Fandohan, P., Gnonlonfin, B., Inferno, K., Marasas, W.F.O and M.J. Wingfield. (2006). Impact of indigenous storage systems and insect infestation on the contamination of maize with fumonisins. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 5. No. 7. pp. 546-552. ISSN: 16845315.
- Famic. (2019). Valores estándar para productos químicos agrícolas, metales pesados y venenos de moho en los piensos. *Food and Agricultural Materials Inspection Service – FAMIC* -Japón. Consultado en: http://www.famic.go.jp/ffis/feed/r_safety/r_feeds_safetyj22.html#pesticides2.
- FAO, OMS, Pnuma. (1978). *Informe conferencia sobre micotoxinas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Organización Mundial de la Salud y Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente. ISBN 92-5-300489-4. Consultado en junio 2019 en <http://www.fao.org/3/AM810S/AM810S.pdf>
- FAO y OMS. (2003). *Garantía de la Inocuidad y Calidad de los Alimentos: Directrices para el Fortalecimiento de los Sistemas Nacionales de Control de los Alimentos*. Estudio FAO alimentación y nutrición 76. Organización Mundial para de la Salud, Organización de las Naciones Unidas la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. ISBN 92-5-304918-9.
- FAO. (2003). Capítulo 1. Micotoxinas de importancia mundial. En: *Manual Sobre la Aplicación del Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC) en la Prevención y Control de las Micotoxinas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. ISBN: 92-304611-2. Consultado en junio de 2019 en: <http://www.fao.org/3/Y1390S/y1390s04.htm#bm04.1>.
- FAO. (2004). *Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones en el año 2003*. Estudio FAO: Alimentación y Nutrición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consulta marzo de 2020 en: <http://www.fao.org/3/a-y5499s.pdf>
- FAO y OMS. (2007). *Análisis de riesgos relativos a la inocuidad de los alimentos. Guía para las autoridades nacionales de inocuidad de los alimentos*. Organización Mundial de la Salud, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2007. ISBN 978-92-5-305604-0. Consultado en abril de 2019 en: <http://www.fao.org/3/a-a0822s.pdf>
- FAO y OMS. (2010). *Marco FAO/OMS para desarrollar planes nacionales de intervención en situaciones de emergencia relativas a la inocuidad de los alimentos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organización Mundial de la Salud. Roma. ISBN 978 92 4 150035 7 (NLM classification: WA 701) (OMS) ISBN 978 92 5 306612 4 (FAO).
- FAO y OMS. (2012). *Prevención y reducción de la contaminación de los alimentos y piensos*. Primera edición. Organización Mundial para de la Salud, Organización de las Naciones Unidas la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. ISBN ISBN 978-92-5-307119-7. Consultado en 2019 en: <http://www.fao.org/3/a-i2556s.pdf>
- FAO. (2019). Brasil podría convertirse en el segundo mayor exportador mundial de maíz, dice la FAO. Noticias. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Consultado en octubre de 2020 en: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1194126/#:~:text=Empleo-,Brasil%20podr%C3%ADa%20convertirse%20en%20el%20segundo%20mayor%20exportador%20mundial%20de,29%2C5%20millones%20de%20toneladas>.
- FDA. (2001). *Background Paper in Support of Fumonisin Levels in Corn and Corn Products Intended for Human Consumption*. U.S. Food and Drug Administration (FDA). Consultado en junio de 2019 en: <https://wayback.archive-it.org/7993/20170111170325/http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/NaturalToxins/ucm212899.htm>
- FDA. (2001). *Guidance industry fumonisin levels human foods and animal feeds*. US Food and Drug Administration. Consultado en noviembre de 2019 en <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-fumonisin-levels-human-foods-and-animal-feeds>
- FDA. (2019). CPG Sec. 683.100 Action Levels for Aflatoxins in Animal Feeds. In: *Compliance policy guide*. Food And Drug Administration. Center for Veterinary Medicine, Office of Regulatory Affairs. Consulta en agosto de 2019 en: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/cpg-sec-683100-action-levels-aflatoxins-animal-feeds>

- Fenalce. (2017). *Solicitud de intervención y control técnico de las importaciones de maíz amarillo del TLC con EE.UU.* Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya.
- Fenalce. (2019). Coyuntura cerealista y de leguminosas No. 62. *El Cerealista*. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas – Fenalce. Edición 1290. pp. 34 - 50. ISSN: 0124-2016.
- Fonseca, H. (2002). Sampling plan for the analysis of aflatoxin in peanuts and corn: an update . *Brazilian Journal of Microbiology*. Vol. 33. No.2. pp. 97-105. DOI: 10.1590/S1517-83822002000200001
- FGIS - USDA (2019). *Federal Grain Inspection Service 2018 Annual Report*. Washington D.C. pp.32-38. Consultado en agosto de 2019 en: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/2018FGISAnnualReport.pdf>
- FGIS. (2019). *Federal Grain Inspection Services Yearly Export Grain Totals, data base. Federal Grain Inspeccion Service*. Disponible en: <https://fgisonline.ams.usda.gov/ExportGrainReport/default.aspx>
- Food Code. (2019-57. 2019.7.3.). *Ministry of Food and Drug Safety. Republic of Korea*. Online: https://www.mfds.go.kr/eng/brd/m_15/view.do?seq=69982 or https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Food%20and%20Agricultural%20Import%20Regulations%20and%20Standards%20-%20Narrative_Seoul_Korea%20-%20Republic%20of_1-26-2018.pdf
- Food Sanitation Act. (Act No. 233 of February 24, 1947). *The First Special Diet Session Katayama Cabinet The Food Sanitation Act is hereby promulgated*. Versión oficial en inglés. Consultado en abril de 2019 en <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/hourei/data/fsa.pdf>
- Franco, L.T., Petta, T., Rottinghaus, G.E., Bordin, K., Gomes, G.A. and C.A.F. Oliveira. (2019). Co-occurrence of mycotoxins in maize food and maize-based feed from small-scale farms in Brazil: a pilot study.. *Mycotoxin Research*. Vol. 35. Issue 1, 6. pp. 65-7. DOI: 10.1007/s12550-018-0331-4
- Galić, V., Šimić, D., Franić, M., Brkić, A., Jambrović, A. Brkić, J. and T. Ledenčan. (2019). Analysis of *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination in testcrosses of a maize biparental population. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. Vol. 19. No.1. pp. 40-46. DOI: 10.1590/1984-70332019v19n1a06
- García-Aguirre, G. y R. Martínez-Flores. (2010). Especies de *Fusarium* en granos de maíz recién cosechado y desgranado en el campo en la región de Ciudad Serdán, Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Vol. 81. No. 1. pp. 15-20. Recuperado en 29 de abril de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532010000100003&lng=es&tlng=es.
- GATT. (1994). *Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio de 1994*. Los Resultados de la Ronda de Uruguay de Negociaciones Comerciales Multilaterales. Organización Mundial del Comercio (OMC). Los textos Jurídicos. Consultado en junio de 2019 en: https://www.wto.org/spanish/docs_s/legal_s/ursum_s.htm#bAgreement
- GATT. (1994). *Acuerdo sobre la aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias*. Los Resultados de la Ronda de Uruguay de Negociaciones Comerciales Multilaterales. Organización Mundial del Comercio (OMC). Los textos Jurídicos. Consultado en junio de 2019 en: https://www.wto.org/spanish/docs_s/legal_s/15sps_01_s.htm
- Gelderblom W.C.A. and W.F.O. Marasas. (2012). Controversies in fumonisin mycotoxicology and risk assessment. *Human and Experimental Toxicology*. Vol 3. No. 3. pp. 215 – 235. DOI: 10.1177/09603271110395338
- Gelderblom, W.C.A., Marasas, W.F.O., Lebepe-Mazur, S., Swanevelder, S., Vessey, C.J., and P. De la M Hall. (2002). Interaction of fumonisin B1 and aflatoxin B1 in a short-term carcinogenesis model in rat liver. 2002. *Toxicology*. Vol.171. Issue 2-3. pp. 161-173. DOI: 10.1016/S0300-483X(01)00573-X
- Giannitti, F., Sain Diab, S., Pacin, A. M., Barrandeguy, M., Larrere, C., Ortega, J. and F. A. Uzal. (2011). Equine leukoencephalomalacia (ELEM) due to fumonisins B1 and B2 in Argentina. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. Vol. 31. No. 5. pp. 407-412. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2011000500007>
- Golan, E., Krissoff, B., Kuchler, F., Calvin, L., Nelson, K. y G., Price. (2004). *Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and Industry Studies*. United States Department of Agriculture (USDA). Economic Research Service. Agricultural Economic Report Number 830. Revisado en junio de 2019 en: <https://ageconsearch.umn.edu/bitstream/33939/1/ae040830.pdf/>

- Golan, E., Krissoff, B. and F. Kuchler. (2004). *Food Traceability: One Ingredient in a Safe and Efficient Food Supply*. United States Department of Agriculture Economic Research Service. Revisado en junio de 2019 en: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2004/april/food-traceability-one-ingredient-in-a-safe-and-efficient-food-supply/>
- González, A. y S. Moralejo. (2007). Protocolo de actuación en el diseño de un sistema de trazabilidad para la industria alimentaria. *Agroalimentaria*. Vol. 12. No. 25. pp. 63 - 84. Consultado en febrero de 2019, de http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542007000200005&lng=es&tlng=es.
- González Pereyra, M.L., Chiacchiera, S.M., Rosa, C.A., Sager, R., Dalcero, A.M and L. Cavaglieri. (2011). Comparative analysis of the mycobiota and mycotoxins contaminating corn trench silos and silo bags. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 91. Issue 8. pp. 1474-1481. DOI: 10.1002/jsfa.4336
- Gómez, A.E. (2007). Alimentos y micotoxinas. Implicaciones en la seguridad alimentaria. *Farmacia profesional*. Vol. 21. No. 8. pp. 49-53. Elsevier.
- Govaerts, B., Vega, D., Chávez, X., Narro, L., San Vicente, F., Palacios, N., Pérez, M., González, G., Ortega, P., Carvajal, A., Arcos, A.L., Bolaños, J., Romero, N., Bolaños, J., Vanegas, Y.F., Echeverría, R., Jarvis, A.; Jiménez, D., Ramírez-Villegas, J., Kropff, W., González, C.E., Navarro-Racines, C., Ordóñez, L., Prager, S.D. and J. Tapasco. (2019). *Maíz para Colombia Visión 2030*. Editado por Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo - CIMMYT.
- Guterres, K., Silva, C., Giordani, C., Matos, C., Athayde, C., Dilkin, P., Grecco, F. y M. Cleff. (2017). Surto de aflatoxicose aguda em cães no município de Pelotas/RS. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. Vol. 37. No. 11. pp. 1281-1286. DOI: 10.1590/s0100-736x2017001100014
- Harvey, R.B., Kubena, L.F., Rottinghaus, G.E., Turk, J.R., Casper, H.H., y S.A. Buckley. (1997). Moniliformina del material de cultivo *Fusarium fujikuroi* y deoxinivalenol del trigo contaminado incorporado en las dietas de los pollos de engorde. *Avian Diseases*. Vol. 41. pp. 957-963. DOI: 10.2307/1592352
- He, J. and T. Zhou. (2010). Patented techniques for detoxification of mycotoxins in feeds and food matrices. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*. Vol. 2. No. 2. pp. 96-104.
- Herrera, M. y J. Orjuela. (2014). Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas: un enfoque desde la dinámica de sistemas. *Ingeniería*. Vol. 19. No.2. pp. 63-84. Consultado en marzo de 2019 en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2014000200004&lng=en&tlng=es
- Hidalgo Gallo, R. (2015). Barreras no arancelarias: entre el proteccionismo y la legitimidad. *Revista Cubana de Economía Internacional*. No. 2. Pp. 1-15. ISSN: 2408-9893.
- Hirooka, E.Y. Rossi, C.N. and M.A. Ono. (2011). Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. In: *Mycotoxins in Seeds and Nuts*. pp. 121-127. Publisher: Elsevier Inc. ISBN: 978-012375688-6. DOI: 10.1016/B978-0-12-375688-6.10013-1
- Hussain, A. and G. Luttfallah. (2009). Reduction of Aflatoxin-B-1 and Ochratoxin-A levels in Polished Basmati Rice (*Oryza sativa* Linn). *Oryza sativa* Linn by Different Cooking Methods. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*. Vol. 31. No. 6. pp. 911-5.
- IARC. (1993). *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, World Health Organization. Some naturally occurring substances: food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins*. Geneva: World Health Organization.
- ICA. (s.f.). *Directivas técnicas de alimentos para animales y sales mineralizadas*. Instituto Colombiano Agropecuario. Consultado en junio de 2019 en: <https://www.ica.gov.co/getdoc/7d27ee5e-cfe4-47a2-868e-7c53f4e49473/directivastecnicasalimentosanimales.aspx>
- ICA. (2016). *Plan Estratégico Institucional Instituto Colombiano Agropecuario Plan Diamante 2016 - 2022*. Instituto Colombiano Agropecuario. Oficina de Asesoría de planeación. Consultado en febrero de 2019, disponible en: <https://www.ica.gov.co/getattachment/Modelo-de-P-y-G/Gestion-Misional-y-de-Gobierno/Plan-Estrategico-1/Plan-Estrategico-Ica-2016-2022-1.pdf.aspx>

- ICA. (2017). *Comercio de semillas con Colombia: perspectivas fitosanitarias*. Protección fronteriza. Instituto Colombiano Agropecuario. Presentación consultada en febrero de 2019 disponible en: <http://www.acosemillas.com/wp-content/uploads/2017/10/1.Seed-trade-with-Colombia-Aphytosanitary-perspective-Rafael-Sanmiguel-ICA-Colombia.pdf>
- ILAC. (2013). *Política de ILAC sobre incertidumbre en calibración*. Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios. En ENAC, consultado en marzo de 2020 en <https://www.enac.es/documents/7020/7d1d30d0-30de-4421-8962-90558974e0f1>
- Infosan. (2009). *Nota informativa No. 3/2009*. Aplicación de la Estrategia mundial de la OMS en materia de inocuidad de los alimentos. Red Internacional de Autoridades en materia de Inocuidad de los Alimentos – Infosan. Consultado en mayo de 2019 en: https://www.who.int/foodsafety/fs_management/No_03_strategy_may09_sp.pdf?ua=1
- Inmetro. (2020). Seguridad alimentaria: una comparación internacional muestra la capacidad de Inmetro para medir las micotoxinas. *Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia*. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/noticias/seguranca-alimentar-comparacao-internacional-mostra-capacidade-do-inmetro-na-medicao-de-micotoxinas>
- INM - MinCIT. (s.f.) *Trazabilidad metrológica*. Instituto Nacional de Metrología y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Consultado en febrero de 2020 en: <https://www.ins.gov.co/Direcciones/RedesSaludPublica/GestiondeCalidadLaboratorios/TalleresdeFortalecimiento/3.%20Trazabilidad%20metrologica.pdf>
- INS - ERIA. (2015). *Evaluación de riesgo de carcinoma hepatocelular en población Colombiana por consumo de arepa de maíz contaminada con aflatoxinas B1 (AFB1)*. Ministerio de Salud y Protección Social. Instituto Nacional de Salud (INS), Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA). Bogotá, D.C. República de Colombia. ISBN 978-958-13-0172-0. Consultado en mayo de 2019 en: <https://www.ins.gov.co/Direcciones/Vigilancia/Publicaciones%20ERIA%20y%20Plaguicidas/ER%20AFB1.pdf>
- Instrução Normativa SDA-MAPA No. 42. (2008). *Instituir o Plano Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes em Produtos de Origem Vegetal - PNCRC/Vegetal*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretário de Defesa Agropecuária. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pncrc-vegetal/arquivos/00-in-sda-42-2008.pdf>
- Instrução Normativa MAPA No. 46. (2009). *Regulamento técnico dos cursos de capacitação e qualificação de classificadores de produtos de origem vegetal, subprodutos e resíduos de valor econômico*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Consultado en octubre de 2020 en: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/registro/instrucao-normativa-no-46-de-29-de-outubro-de-2009-cursos_da_classificacao.pdf/view
- Instrução Normativa MAPA No. 60. (2011). *Estabelece o Regulamento Técnico do Milho*. Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=78895>
- Instrução Normativa MAPA No. 61. (2011). *Estabelece o Regulamento Técnico do Milho Pipoca*. Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Consultado en octubre de 2020 en: https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-61-2011_78286.html
- Instrução Normativa MAPA No. 4. (2014). *Altera milho picopa*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/instrucao-normativa-no-04-de-26-de-fevereiro-de-2014-altera-milho-picopa>
- Instrução Normativa MAPA No. 39. (2017). *Manual do Vigiagro*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Secretaria de Defesa Agropecuária. 32 p. ISBN: 978-85-7991-113-2.
- Instrução Normativa Conjunta SDA/MAPA No. 2. (2018). *Define os procedimentos para a aplicação da rastreabilidade ao longo da cadeia produtiva de produtos vegetais frescos destinados à alimentação humana, para fins de monitoramento e controle de resíduos de agrotóxicos, em todo o território nacional*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. Consultado en octubre de 2020: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/fisc_monitoramento/inc-02_2018-rastreabilidade.pdf

- Instrução Normativa CGC/MAPA No. 9. (2019). *Estabelecer a amplitude, os requisitos, os critérios e os prazos para fins de registro no Cadastro Geral de Classificação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (CGC/MAPA) de pessoas físicas ou jurídicas envolvidas no processo de classificação de produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-9-de-21-de-maio-de-2019-136230254>
- Instrução Normativa No. 19. (2019). *Estabelecer os requisitos, critérios e procedimentos para certificação sanitária internacional de produtos de origem vegetal*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. Consultado en: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/exportacao/instrucao-normativa-no19-de-7-de-agosto-de-2019-certificacao-sanitaria-internacional.pdf>
- Instrução normativa No. 97. (2020). *Torna pública a relação de estabelecimentos que devem se registrar no Cadastro Geral de Classificadores do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - CGC/MAPA de acordo com a Instrução Normativa SDA No. 9, de 21 de maio de 2019*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-97-de-25-de-setembro-de-2020-280239567>
- Invima, s.f. *Procedimiento inspección y certificación importaciones y exportaciones de alimentos y bebidas*. Invima. Consultado en mayo de 2020 en: http://www.analdex.org/wp-content/uploads/2000/03/Procedimiento-inspeccion-y-certificacin-Importaciones-y-Exportaciones-dl_.pdf
- Invima. (2017). *Modelo de Riesgos IVC SOA para puertos, aeropuertos y pasos de frontera*. Unidad de Riesgos – Dirección General. Presentación de introducción. Consultado en mayo de 2020 en: <https://www.invima.gov.co/documents/20143/546340/Direcci%C3%B3n+General++Modelo+de+IVC+Puertos.pdf/ab52787f-aa7a-54b5-fa00-76ec3389bcc0>
- Invima. (2014). *Manual de usuario tramites de certificación de inspección sanitaria en puertos de productos alimenticios*. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos Invima. Ing. Libardo López G. Oficina de tecnologías de la información - grupo de informática año 2014. Disponible en: <https://www.invima.gov.co/documents/20143/430828/manualusuariosivicos.pdf/0f04b19f-0151-db3c-b338-b89a8b3b84e6>
- Invima. (2014b). *Modelo SOA (2014)*. Consulta en marzo de 2020 en: <https://www.invima.gov.co/documents/20143/546340/Direcci%C3%B3n+General++Modelo+IVC+SOA.pdf/9550aafc-17f2-2e1f-630d-3d10f071e67a>
- Invima (2014). *Guía Modelo de Inspección, Vigilancia y Control basado en Riesgos - IVC SOA Versión 1.0 - Septiembre 2014*. Instituto Nacional de Vigilancia de Alimentos y Medicamentos.
- Invima. (2016). *Plan nacional subsectorial de vigilancia y control de micotoxinas y conservantes en alimentos procesados para el año 2016*. Grupo del Sistema de Análisis de Riesgos Químicos en Alimentos y Bebidas Dirección de Alimentos y Bebidas Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA. Consultado en mayo de 2020 en: <https://190.216.137.72/documents/20143/441038/Documento-tecnico-micotoxinas.pdf/a8074b89-6a7d-f18b-5bcf-35928e37fbc1>
- Invima. (2017). *Invima adelanta monitoreo a trilladoras y molinos de maíz del país*. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos. Consultado en abril de 2019 en: <https://www.invima.gov.co/invima-adelanta-monitoreo-a-trilladoras-y-molinos-de-ma%C3%ADz-del-pa%C3%ADs>
- Invima. (2017a). *Estrategia de información, educación y comunicación (IEC) en inocuidad y calidad de alimentos y bebidas dirigida a entidades territoriales de salud*. Instituto Nacional de Vigilancia de Alimentos y Medicamentos. Consultado en febrero de 2020 en: <https://www.invima.gov.co/documents/20143/1298731/ESTRATEGIA-IEC-FINAL.pdf/c7c7ccc8-0619-f5bc-a8b9-8e11fcd7e219?t=1563224238251>
- Invima. (2018a). *Informe de resultados del plan nacional subsectorial de vigilancia y control de aflatoxinas y conservantes en arepas 2015 y plan nacional subsectorial de alimentos 2016 de vigilancia y control de micotoxinas*. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – Invima. Grupo del Sistema de Análisis de Riesgos Químicos en Alimentos y Bebidas Dirección de Alimentos y Bebidas. Consultado en Julio de 2019 en: <https://www.invima.gov.co/documents/20143/440892/Informe+Aflatoxinas+y+conservantes+Arepas+2015+y+Micotoxinas+en+Alimentos+2016.pdf/cdfb5f0b-0c57-9521-8475-59b86cd64d3e?t=1560549672899>

- Invima. (2018). *Guía de diligenciamiento de intenciones de importación ante la ventanilla única de comercio exterior (VUCE) - Invima*. Consultado en junio de 2020 en: <https://www.invima.gov.co/documents/20143/349821/pautasdilgenciamientodevistosbuenosdeimportacionfinal.pdf/f9f8e05b-0a43-2aed-13e3-120fe09a23ef>
- Invima (2018b). *Plan nacional subsectorial de vigilancia y control de micotoxinas en alimentos procesados durante el período 2018 - 2019*. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - Invima .Grupo del Sistema de Análisis de Riesgos Químicos en Alimentos y Bebidas Dirección de Alimentos y Bebidas. Consultado en julio de 2020 en https://www.invima.gov.co/documents/20143/1214276/DOCUMENTO-TECNICO-PLAN-MICOTOXINAS_2018-2019_ANEXOS.pdf/131d30b4-5d42-f848-b813-df2f026a4cf6?t=1560289601713
- IPCS-Inchem. (2019). *Criterios de salud ambiental 219: Fumonisin B1*. Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS) y el Centro Canadiense de Salud y Seguridad Ocupacional (CCOHS), Foro Intergubernamental sobre Seguridad Química (IFCS). Consultado en junio de 2019 en: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc219.htm>
- James, A. and V. L. Zikankuba. (2018). Mycotoxins contamination in maize alarms food safety in sub-Sahara Africa. *Food Control*. Vol. 90. pp. 372-381. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.03.018
- Jackson, L.S., Jablonski, J., Bullerman, L.B., Bianchini, A., Hanna, M.A. and K.A. Voss. Reduction of fumonisin B1 in corn grits by twin-screw extrusión. *Journal of Food Science*. Vol. 76. No.6. pp. T150-T155. DOI:10.1111/j.1750-3841.2011.02231.x
- Jackson, L. S., Voss, K.A. and D. Ryu. (2012). Effects of different extrusion conditions on the chemical and toxicological fate of fumonisin B1 in maize: A short review. *World Mycotoxin Journal*. Vol. 5, No. 3. pp. 251-260. DOI: 10.3920/WMJ2012.1431
- Jetro. (s.f). *El Mercado de Alimentos en Japón Consideraciones para la Participación en Foodex Japan*. Japan External Trade Organization (Jetro) - Oficina San José. Consultado en junio de 2019 en: <https://www.jetro.go.jp/costarica/Presentaciones/Foodex1107cr.pdf>
- Joannis-Cassan, C., Tozlovanu, M., Hadjeba-Medjdoub, K., Ballet, N., and A. Pfohl-Leszkowicz. (2011). Binding of zearalenone, aflatoxin B1, and ochratoxin a by yeast-based products: A method for quantification of adsorption performance. *Journal of Food Protection*. Vol. 74. No.7. pp. 1175-1185. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-11-023
- Karlsen, K., Dreyer, B., Olsen, P and E. Elvevoll. (2013). Literature review: Does a common theoretical framework to implement food traceability exist ?. *Food control*. Vol. 32. No. 2. pp. 409-417.
- Karlovsy, P., Suman, M., Berthiller, F., De Meester, J., Eisenbrand, G. and I. Perrin. (2016). Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination .*Mycotoxin Research*. Vol. 32. No. 4. pp. 179-205. DOI:10.1007/s12550-016-0257-7
- Kawashima, L. M. and L.M. Valente Soares. (2006). Incidência de fumonisina B1, aflatoxinas B1, B2, G1 e G2, ocratoxina A e zearalenona em produtos de milho. *Food Science and Technology*. Vol. 26. No.3. pp. 516-521. DOI: 10.1590/S0101-20612006000300005
- Kedera, C.J., Leslie, J.F. and L.E. Claflin. (1994). Genetic diversity of *Fusarium* Section Liseola (*Gibberella fujikuroi*) in individual maize stalks. *Phytopathology*. Vol. 84. pp. 603-607.
- Kobashigawa, E., Corassin, C. H., Franco, L. T., Dutra, R.U. and C. A. Fernandes de Oliveira. (2019). Aflatoxins and fumonisins in feed from a broiler operation system from São Paulo state, Brazil. *Ciência Rural*. Vol. 49. No. 2. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180888
- Kriek, N.P.J., Marasas, W.F.O., Steyn, P.S., Van Rensburg, S.J. and M. Steyn. (1977). Toxicity of a moniliformin-producing strain of *Fusarium moniliforme* var *subglutinans* isolated from maize. *Food and Cosmetics Toxicology*. Vol. 15. No. 6. pp. 579-587.
- Kuiper-Goodman T. (1994). Prevention of human mycotoxicoses trough risk assesment risk management. In: Miller J.D. y H.L.Trenholm (Eds.) *Mycotoxins in Grain, Compouns other than Aflatoxin*. Eagan Press, St. Paul, MN. pp. 439-469.

- Kong, C., Park, C.S. and B. G. Kim. (2016). Evaluation of a mycotoxin adsorbent in swine diets containing barley naturally contaminated with *Fusarium mycotoxins*. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias Sep*. Vol. 29. No. 3. pp. 169 – 177. DOI: 10.17533/udea.rccp.v29n3a02
- Kubena, L.F., Edrington, T.S., Harvey, R.B., Phillips, T.D., Sarr, A.B., Rottinghaus, G.E. and H.Caspers. (1997). Individual and combined effects of fumonisin B1 present in *Fusarium moniliforme* culture material and T-2 Toxin or deoxinivalenol in broiler chicks. *Poult. Sci.* Vol. 76. pp. 1239 -1247.
- Kuiper-Goodman, T., Scott, P.M. and H. Watanabe. (1987). Risk assessment of the mycotoxin zearalenone. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. Vol 7. pp. 253 – 306.
- Labuza, T. P. (1971). *Properties of water and the keeping quality of foods*. Memorias del III Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Washington, D.C., EUA.
- Landeros, P., Reyes, W., de Lucas, E., Albarrán, E., López, Y. y T. Quezada. (2008). Evaluación de dos adsorbentes (manano oligosacáridos y clinoptilolita) en dietas de pollos de engorde contaminadas con fumonisina b1. *Revista de salud animal*. Vol. 30. No. 1. pp. 50-58.
- Lautert, C., Ferreira, L., Zimmermann, C.E.P., Castilhos, L. G., Francielli, P.K. de Jesus, Zanette, R. A., Leal, D.B.R. y J. M. Santurio. (2014). Efeitos in vitro de ocratoxina A, deoxinivalenol e zearalenona sobre a viabilidade celular e atividade de E-ADA em linfócitos de frangos de corte. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. Vol. 34. No.12. pp. 1173-1180. DOI: 10.1590/S0100-736X2014001200005
- Lanza, F. E., Zambolim, L., Costa, R. V., Silva, D. D., Queiroz Vieira, V.A., Ferreira Parreira, D., Martins Mendes, S., Souza, Coelho Sousa, A. G. y L. V. Cota. (2016). Aplicação foliar de fungicidas e incidência de grãos ardidos e fumonisinas totais em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Vol. 51. No. 5. pp. 638-646. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000500026
- Law 48 - 2003. *The Food Safety Basic Law. Japan*. Consultado en abril de 2019 en: http://www.fsc.go.jp/sonota/fsb_law1807.pdf
- Larsen, T.O., Gareis, M. and J. C. Frisvad. (2002). Cell cytotoxicity and mycotoxin and secondary metabolite production by common penicillia on cheese agar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 50. No. 21. pp. 6148-6152. DOI: 10.1021/jf020453i
- Lei No. 9.972. (2000). *Institui a classificação de produtos vegetais, subprodutos e resíduos de valor econômico, e dá outras providências*. Presidência da República. Consultado en octubre de 2020 en: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9972.htm
- Leoni, L. A. B. and L.M. Valente Soares. (2003). Survey of moniliformin in corn cultivated in the state of São Paulo and in corn products commercialized in the city of Campinas, SP. *Brazilian Journal of Microbiology*. Vol. 34. No.1. pp. 13-15. DOI: 10.1590/S1517-83822003000100004
- Ley 9 de 1979. *Por la cual se dictan Medidas Sanitarias*. Congreso de Colombia. Diario Oficial No. 35308, del 16 de julio de 1979.
- Ley 24449 de 1994. *Ley de transito*. Buenos Aires, Argentina. Boletín Oficial del 23 de Diciembre de 1994.
- Ley 1122 de 2007. *Por la cual se hacen algunas modificaciones en el Sistema General de Seguridad Social en Salud y se dictan otras disposiciones*. El congreso de la Republica de Colombia. Diario Oficial No. 46.506 de 9 de enero de 2007.
- Ley 1450 de 2011. *Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014*. El Congreso de la República de Colombia. Diario Oficial No. 48.102 de 16 de junio de 2011.
- Ley 1480 de 2011. *Por medio de la cual se expide el Estatuto del Consumidor y se dictan otras disposiciones*. Congreso de la República. Diario Oficial No. 48.220 de 12 de octubre de 2011.

- Ley 1659 de 2013. *Por la cual se crea el Sistema Nacional de Identificación, Información y Trazabilidad Animal*. Congreso de la República de Colombia. Diario Oficial No. 48.852 de junio de 2013.
- Ley 170 de 1994. *Por medio de la cual se aprueba el Acuerdo por el que se establece la "Organización Mundial de Comercio (OMC)", suscrito en Marrakech (Marruecos) el 15 de abril de 1994, sus acuerdos multilaterales anexos y el Acuerdo Plurilateral anexo sobre la Carne de Bovino*. Congreso de la República de Colombia. Diario Oficial No. 41.637, de 16 de diciembre de 1994.
- Ley 1753 de 2015. *Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014- 2018 "Todos por un nuevo país"*. Congreso de la República de Colombia. Diario Oficial No. 49.538 de 9 de junio de 2015.
- Ley 1876 de 2017. *Por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones*. Congreso de la República de Colombia. Diario Oficial No. 50.461 de 29 de diciembre de 2017
- Liu, Y. and F. Wu. (2010). Global burden of aflatoxin-induced hepatocellular carcinoma: a risk assessment. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 118. No. 6. pp. 818-24. DOI: 10.1289/ehp.0901388.
- Londoño-Cifuentes, E. M. y M. M. Martínez-Miranda. (2017). Aflatoxinas en alimentos y exposición dietaria como factor de riesgo para el carcinoma hepatocelular. *Biosalud*. Vol. 16. No. 1. pp. 53-66. DOI: 10.17151/biosa.2017.16.1.7
- Mallmann, C.A., Dilkin, P., Giacomini, L. Z., Rauber, R. H., Pereira, C.E. (2007). Micotoxinas en ingredientes para alimento balanceado de aves. En: *XX Congreso Latinoamericano de Avicultura. Porto Alegre, Brasil*.
- Marasas, W.F.O., Riley, R.T., Hendricks, K.A., Stevens, V.L., Sadler, T.W., Gelineau-van Waes, J., Missmer, S. A., Cabrera, J., Torres, O., Gelderblom, W.C.A., Allegood, J., Martinez, C., Maddox, J., Miller, J.D., Starr, L., Sullards, M.C., Roman, A., Voss, K.A., Wang, E. and A.H. Merrill. (2004). Fumonisin disrupt sphingolipid metabolism, folate transport, and neural tube development in embryo culture and in vivo: a potential risk factor for human neural tube defects among populations consuming fumonisin - contaminated maize. *The Journal of Nutrition*. Vol.134. No. 4. pp. 711-716. DOI: 10.1093/jn/134.4.711
- Marasas, W.F.O., Gelderblom, W.C.A., Shephard, G.S. and H.F. Vismer. (2008). Mycotoxins: A global problem. (Book Chapter). *Mycotoxins: Detection Methods, Management, Public Health and Agricultural Trade* 29. pp. 29-39.
- MADR. (2004a). *El agro colombiano frente al TLC con los estados unidos*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural República de Colombia. Bogotá. Consultado en mayo de 2020 en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6076/1/122.pdf>
- MADR. (2004b). *Plan nacional para la implementación de buenas prácticas agrícolas*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Minagricultura. Bogotá, Colombia. Consultado en marzo de 2019 en: <http://hdl.handle.net/11348/3726>
- MAPA. (2017). Importação de produtos de origem vegetal importados. Produtos de origem vegetal importados. Taxas para a classificação. Vinhos e bebidas importados. Padrões oficiais brasileiros. Importação sem fins comerciais. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/importacao>
- MAPA. (2020). *Qualidade Vegetal. Classificação. Certificação da identidade e da qualidade. Segurança e qualidade dos produtos vegetais*. Consultado en octubre de 2020 en: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/qualidade-vegetal>
- Marin S., Ramos A.J., Cano-Sancho G. y V. Sanchis. (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food Chem. Toxicol.* Vol. 60. pp. 218–237. DOI: 10.1016/j.fct.2013.07.047.
- Marques, O. J., Vidigal Filho, P. S., Dalpasquale, V. A., Scapim, C. A., Pricinotto, L. F. & J.M. Machinski. (2009). Incidência fúngica e contaminações por micotoxinas em grãos de híbridos comerciais de milho em função da umidade de colheita. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Vol 31. No. 4. pp. 667-675. DOI: 10.1590/S1807-86212009000400018
- Martínez, M., Moschini, R., Barreto, D. Bodega, J., Comerio, R., Forjan, H., Piatti, F., Presello, D. y O. Valentinuz (2010). Factores ambientales que afectan el contenido de fumonisina en granos de maíz. *Tropical Plant Pathology*. Vol. 35. No. 5. pp. 277 – 284. DOI: 10.1590/S1982-56762010000500002

- Martínez, P., Hadassa, Y., Hernández, S., Reyes y G. Vázquez. (2013). El género *Aspergillus* y sus micotoxinas en maíz en México: problemática y perspectivas. *Revista mexicana de fitopatología*. Vol. 31. No. 2. pp. 126 – 146.
- Martínez, G. M. (2014). *Caracterización y Evaluación de Alternativas Tecnológicas de Secamiento y Almacenamiento de Maíz a Implementar en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Administración Maestría en Ingeniería Agroindustrial Palmira, Colombia. 132. p.
- Martos, P. A., Thompson, W. and G.J. Díaz. (2010). Multiresidue mycotoxin analysis in wheat, barley, oats, rye and maize grain by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *World Mycotoxin Journal*. Vol.3 No. 3. pp. 205-223. Wageningen Academic Publishers. ISSN 1875-0710 print, ISSN 1875-0796 online, DOI 10.3920/WMJ2010.1212 205
- Medina, A., Gilbert, M. K. ., Mack, B.M., OBrian, G.R. ., Rodríguez, A., and D. Bhatnagar. (2017). Interactions between water activity and temperature on the *Aspergillus flavus* transcriptome and aflatoxin B1 production. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 256. pp. 36-44. DOI: 10.1016/J.IJFOODMICRO.2017.05.020
- Mejía, L. E., Alvarado, R., Martínez, A. and D. Blas. (2008). Inhibition of *Aspergillus flavus* growth and aflatoxin b1 production in stored maize grains exposed to volatile compounds of *Trichoderma harzianum* rifai. *Interciencia*. Vol. 33 No.3. pp. 219-222. Consultado en junio de 2019 en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000300012&lng=es&tlng=en.
- Mendoza, A., La Manna, A., Mieres, J. y Y. Acosta. (2014). Evaluación del consumo de deoxinivalenol y de un adsorbente comercial de micotoxinas en vacas lecheras a pastoreo. *Agrociencia Uruguay*. Vol. 18. No. 1. pp. 133 – 140.
- Mendoza R. S., Rodríguez Alvarado, G., Fernández Pavía, S.P., Vázquez Marrufo, G., Montero Castro, J. C. y J. Benítez Malvido. (2017). Micotoxinas: ¿Qué son y cómo afectan a la salud pública?. *Revista Digital Universitaria - Universidad Nacional Autónoma de México*. Vol. 16. No.6. ISSN: 1607 - 6079
- Meirelles, P.G., Ono, M.A., Ohe, M.C.T., Maroneze, D.M., Itano, E.N., Garcia, G.T., Sugiura, Y., Ueno, Y., Hirooka, E.Y. and E.Y.S. Ono. (2006). Detection of *Fusarium* sp. contamination in corn by enzyme-linked immunosorbent assay. *Food and Agricultural Immunology*. Vol. 17. Issue 2. pp. 79-89. DOI: 10.1080/09540100600688754
- MHLW. (2018a). *Inspection Results of Imported Foods Monitoring and Guidance Plan for FY 2018. Interim Report*. Food Inspection and Safety Division Pharmaceutical Safety and Environmental Health Bureau. Ministry of Health, Labour and Welfare. Consultado en abril de 2019 en: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/18/18-06.html>
- MHLW. (2018b). *Implementation of "Imported Foods Monitoring Plan for FY 2018"*. Schedule 1. Consultado en abril de 2019 en: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/18/s01.html>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo - Mincomercio. (2006a). Capítulo Seis: Medidas Sanitarias y Fitosanitarias. En: *Acuerdo de promoción comercial entre Colombia y los Estados Unidos*. Consulta en junio de 2020 en: http://www.tlc.gov.co/TLC/media/media-TLC/Documentos/Capitulo-Seis_1.pdf
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo - Mincomercio. (2006b). Carta Adjunta sobre Obligaciones Adicionales en materia de MSF. En: *Acuerdo de promoción comercial entre Colombia y los Estados Unidos*. Consulta en junio de 2020 en: <http://www.tlc.gov.co/TLC/media/media-TLC/Documentos/Carta-Adjunta-sobre-Obligaciones-Adicionales-en-materia-de-MSF.pdf>
- Milanez, T. V. and L.M. Valente-Soares. (2006). Gas chromatography: mass spectrometry determination of trichothecene mycotoxins in commercial corn harvested in the state of São Paulo, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. Vol. 17. No. 2. pp. 412-416. DOI: 10.1590/S0103-50532006000200028
- Misión para la Transformación del Campo. (2014). *Propuesta para desarrollar un modelo eficiente de Comercialización y Distribución de Productos (Documento técnico para la Misión para la Transformación del Campo)*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - Argentina. *Granos exportados por destino durante enero – diciembre de 2019*. Subsecretaría de mercados agropecuarios. Consultado en agosto de 2019 en: https://www.agroindustria.gob.ar/new/0-0/programas/dma/regimenes_especiales/Transporte_embarques/granos.php

- MFDS. (2019). *Imported food safety*. Ministry of Food and Drug Safety. Korea. Consultado en abril de 2019 en: http://www.mfds.go.kr/eng/wpge/m_47/de011033l001.do
- MFDS. (2019b). *Imported Food Safety*. Ministry of Food and Drug Safety. Republic of Korea. Consultado en junio de 2019 en: http://www.mfds.go.kr/eng/wpge/m_11/denofile.do
- MHLW. (2019). *Imported Foods Inspection Services Home*. Ministry of Health, Labour and Welfare Home Page. Ministry of Health, Labour and Welfare Home Page. Consultado en mayo de 2019 en: <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/importedfoods/index.html>
- MinSalud. (Sf). *Salud Pública: Calidad e inocuidad de alimentos. Sistema de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias – MSF*. Consultado en mayo de 2016 en: <https://www.minsalud.gov.co/salud/Documents/general-temp-jd/SISTEMA%20DE%20MEDIDAS%20SANITARIAS%20Y%20FITOSANITARIAS%20-%20MSF.pdf>
- MinSalud. (Sf). *Salud Pública: Calidad e inocuidad de alimentos. La inocuidad de alimentos y su importancia en la cadena agroalimentaria*. Consultado en mayo de 2016 en: <https://www.minsalud.gov.co/salud/Documents/general-temp-jd/LA%20INOCUIDAD%20DE%20ALIMENTOS%20Y%20SU%20IMPORTANCIA%20EN%20LA%20CADENA%20AGROALIMENTARIA.pdf>
- Minsalud. (2018). *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional 2015*. Ministerio de Salud. Colombia. Informe consultado en febrero de 2019 en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/ensin-colombia-2018.pdf>
- Mitchell N. J., Bowers E., Hurburgh C. and F. Wu. (2016). Potential economic losses to the US corn industry from aflatoxin contamination. *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment*. Part A. Vol. 33. No. 3. pp. 540–550. DOI: 10.1080/19440049.2016.1138545m
- Molina, L.F., Chaparro, L.Y. y L.N. Linares. (2019). *Plan de negocio de producción y comercialización arepas “CHAMY” en la ciudad de Villavicencio*. Trabajo de grado. Universidad Cooperativa de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables. 114 p.
- Moreno, E.C., Garcia, G.T., Ono, M.A., Vizoni, E., Kawamura, O., Hirooka, E.Y. and E.Y.S. Ono. (2009). Co-occurrence of mycotoxins in corn samples from the Northern region of Paraná State, Brazil. *Food Chemistry*. Vol. 116, Issue 1. pp. 220-226. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.02.037.
- Moreno-Limón, S., González-Solís, L.N., Salcedo-Martínez, S.M., Cárdenas-Avila, M.L. y A. Perales-Ramírez. (2011). Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición in vitro de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. *Polibotánica*. No. 32. pp.193 – 205.
- Morris, L. F. (2011). *Determinación de aflatoxinas en muestras de maíz (Zea mays) y arroz (Oryza sativa) para consumo humano en cinco departamentos de la Costa Caribe Colombiana mediante cromatografía de alta eficiencia durante seis meses en 2011*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/4908/>
- Murcia - Gutiérrez, H. W. (2010). *Identificación funcional de citocromos involucrados en la biotransformación in vitro de AFB1 por medio de sustratos modelo e inhibidores específicos en cuatro especies de aves: gallinas, pavos, patos y codornices*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- Nazareth, T.M., Corrêa, J.A.F., Pinto, A.C.S.M., Palma, J.B., Meca, G., Bordin, K., Luciano, F.B. (2014). Evaluation of gaseous allyl isothiocyanate against the growth of mycotoxigenic fungi and mycotoxin production in corn stored for 6 months. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 98. Issue 14. pp. 5235-5241. DOI: 10.1002/jsfa.9061
- OCDE, FAO. (2017). *Guía OCDE-FAO para las cadenas de suministro responsable en el sector agrícola*. Éditions OCDE, París. Consultado en febrero 2019 en <http://dx.doi.org/10.1787/9789264261358-es>
- Oficina Nacional de Control Comercial Agropecuario. *Resolución 7953 de 2008. Registro único de operadores de la cadena comercial agropecuaria alimentaria – creación*. Buenos Aires, Argentina. Publicada en el Boletín Nacional del 04 de diciembre de 2008.
- Ogodo, A. and O. Ugbo. (2016). Public health significance of aflatoxin in food industry—a review. *European Journal of Clinical and Biomedical Sciences*. Vol. 2. No. 5. pp. 51-58.

- Olsen, P. and M. Borit. (2018). The components of a food traceability system. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 77. pp. 143-149. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.05.004
- de Oliveira Rocha, L., Reis, G.M., da Silva, V.N., Braghini, R., Teixeira, M.M.G. y B. Corrêa. (2011). Molecular characterization and fumonisin production by *Fusarium verticillioides* isolated from corn grains of different geographic origins in Brazil. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 145. Issue 1, 31. pp. 9-21
- Oliveira, T.R., Jaccoud-Filho, D. S., Henneberg, L., Michel, M. D., Demiate, I. M., Teixeira Barbosa, P.A., Machinski, J. M. and A.C. Barana. (2009). Maize (*Zea Mays* L.) landraces from the southern region of Brazil: contamination by *Fusarium* sp, zearalenone, physical and mechanical characteristics of the kernels. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 52 (spe). pp. 11-16. DOI: 10.1590/S1516-89132009000700002
- OMS. (2010). *Inocuidad de los alimentos*. Informe de la Secretaría. 63ª Asamblea Mundial de la Salud. Disponible en: http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA63/A63_11-sp.pdf
- OMS. (2018). *Micotoxinas*. Centro de prensa. Notas descriptivas. 9 de mayo de 2008. Organización Mundial de la Salud. Consultado en Junio de 2019 en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>
- OMS. (2020). *Inocuidad de los alimentos*. Organización mundial de la Salud – OMS. Consultado en mayo de 2029 en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- OMS-FAO. (2019). *Guía para el Día Mundial de la Inocuidad de los Alimentos 2019*. Inocuidad de los alimentos, un asunto de todos. Organización Mundial de la Salud. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Ono, E.Y.S., Biazon, L., Da Silva, M., Vizoni, É., Sugiura, Y., Ueno, Y. and E.Y. Hirooka. (2006). Fumonisin in corn: Correlation with *Fusarium* sp. count, damaged kernels, protein and lipid content. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 49. Issue 1. pp. 63-71. DOI: 10.1590/S1516-89132006000100008.
- Ono, E.Y.S., da Silva, M., Ribeiro, R.M.R., Ono, M.A., Hayashi, L., Garcia, G.T. and E.Y. Hirooka. (2010). Comparison of thin-layer chromatography, spectrofluorimetry and bright greenish-yellow fluorescence test for aflatoxin detection in corn. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 53. Issue 3. pp. 687-692. DOI: 10.1590/S1516-89132010000300025
- Pandey, I. and S. Chauhan. (2007). Studies on production performance and toxin residues in tissues and eggs of layer chickens fed on diets with various concentrations of aflatoxin AFB1. *British Poultry Science*. Vol. 48, Issue 6. pp. 713-723
- Papageorgiou, M. y A. Skendi. (2018). Introduction to cereal processing and by-products 1. In: *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-Products*. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/B978-0-08-102162-0.00001-0.
- Peluque, E., Neres, N. B., Michelin, E.V., Reis, T.A., Rosim, R.E., Oliveira, C.A.F., Sousa, R.M.L., Corrêa, B. y A. M. Fernandes. (2014). Fumonisin B1 in Cereal Mixtures Marketed in Brazil. *Food Addit Contam Part B Surveill*. Vol 7. No. 1. pp. 46-8. DOI: 10.1080/19393210.2013.841294
- Pearson, T.C., Wicklow, D.T. and D.L. Brabec. (2009). Technical Note: Characteristics and sorting of white food corn contaminated with mycotoxins. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 26. No.1. pp. 109-113. DOI: 10.13031/2013.29463
- Pereyra, M.L.G., Alonso, V.A., Sager, R., Morlaco, M.B., Magnoli, C.E., Astoreca, A.L., Rosa, C.A.R., Chiacchiera, S.M., Dalcero, A.M. and L.R. Cavaglieri. (2008). Fungi and selected mycotoxins from pre- and postfermented corn silage. *Journal of Applied Microbiology*. Vol. 104. Issue 4. pp. 1034-1041. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2007.03634.x
- Perilla N. S. and G. J. Díaz. (1998). Incidence and levels of fumonisin contamination in Colombian corn and corn products. *Mycotoxin Research*. Vol. 14 No. 2. pp. 74-82. DOI: 10.1007/BF02945096
- Perilla, N. S. and G. J. Díaz. (1998). Incidence and levels of fumonisin contamination in Colombian corn and corn products. *Mycotoxin Research*. Vol. 14 No. 2. pp. 74-82. DOI: 10.1007/BF02945096

- Perusia, O. R. y A. R. Rodríguez. (2001). Micotoxicosis. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. Vol. 12. No. 2. pp. 87-116. Consultado el 3 de agosto de 2020 en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172001000200013&lng=es&tlng=es.
- Peterson, S.W., Ito, Y., Horn, B.W. and T. Goto. (2001). *Aspergillus bombycis*, a new aflatoxigenic species and genetic variation in its sibling species, *A. nonius*. *Mycologia*. Vol. 93. pp. 689-703.
- Pierron, A. Alassane-Kpembé, I. and I. Oswald. (2016). Impact of two mycotoxins deoxynivalenol and fumonisin on pig intestinal health. *Porcine Health Management*. Consultado en agosto de 2019 en https://www.researchgate.net/publication/305878165_Impact_of_two_mycotoxins_deoxynivalenol_and_fumonisin_on_pig_intestinal_health
- Prathapkumar, S., Rao, V., Paramkishan, R. and R. Bhat. (1997). Disease outbreak in laying hens arising from the consumption of fumonisin contaminated food. *British Poultry Science*. Vol. 38. pp. 475-479.
- Price, W.D., Randall, R. A. y D. G. McChesney. (1993). Toxinas naturales en piensos: centro para la perspectiva de la medicina veterinaria. *J. Anim. Sci.* Vol. 71. pp. 2,556 mil - 2,562 mil.
- ProColombia. (2018). *Ley de inocuidad alimentaria de Estados Unidos incorpora siete nuevos reglamentos*. Noticia. Consultado en mayo de 2019 en: <http://www.procolombia.co/actualidad-internacional/agroindustria/ley-de-inocuidad-alimentaria-de-estados-unidos-incorpora-siete-nuevos-reglamentos>
- Ramírez Salazar, M. P. y M. García Valderrama. (2010). La Alianza Universidad - Empresa-Estado: una estrategia para promover innovación. *Revista EAN*. No. 68. pp. 112-133.
- Ramírez-Miranda, M., Cruz y Victoria, M.T., Vizcarra-Mendoza, M.G. y I. Anaya-Sosa. (2014). Determinación de las isoterms de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 13. No. 1. pp. 165-178.
- Ramos, A. J. y E. Hernández. (1997). Prevention of aflatoxicosis in farm animals by Means of hydrated sodium calcium aluminosilicate addition to feedstuffs: a review. *Animal Feed Science and Technology*. Vol. 65, No.1- 4, pp. 197-206. DOI: 10.1016/S0377-8401(96)01084-X
- Reglamento (CE) No. 1881 de 2006. *Contenidos máximos de determinados contaminantes en los productos alimenticios*. Comisión de las Comunidades Europeas. Diario Oficial de la Unión Europea L 364/15, 20.12.2006.
- Resolución No. 44. (1994). *Créase el registro de controladores y certificadores de granos y subproductos con destino a la exportación, que como anexo I forma parte integrante de la presente resolución*. Instituto Argentino de Sanidad y Calidad Vegetal. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa). Buenos Aires, Argentina.
- Resolución Senasa No. 61 de 2000. Boletín Oficial N° 29553 (26/12/2000). Buenos Aires, Argentina.
- Resolución 2906 de 2007. *Por la cual se establecen los límites máximos de residuos de plaguicidas, LMR, en alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Ministerio de la Protección Social. Diario Oficial Año CXLIII No. 46.735 de 29 de agosto de 2007. pp. 1.
- Resolución 1167 de 2010. *Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro y control de personas que se dediquen a la comercialización de insumos agropecuarios y/o semillas para siembra a través de establecimientos de comercio*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Bogotá, Colombia. Consultada en noviembre de 2019 en <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/control-tecnico-a-la-comercializacion-y-distribuci/res-1167-almacenes-1.aspx>
- Resolución 1558 de 2010. *Por medio de la cual se dictan disposiciones para la importación y exportación de plantas, productos vegetales, artículos reglamentados, animales y sus productos*. ICA. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/getattachment/0d6da7bf-7366-45e9-a1e4-139a57501f9e/2010R1558.aspx>
- Resolução No. 7. (2011). *Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos*. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Consultado en octubre de 2020 en: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/res0007_18_02_2011_rep.html

- Resolución No. 38 de 2012. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina. Buenos Aires, Argentina.
- Resolución 4506 de 2013. *Elementos contaminantes, contaminación de alimentos, instituto nacional de salud, medidas sanitarias, medidas fitosanitarias, salud pública, intervinientes en el comercio exterior, permiso de comercialización de alimentos, ministerio de salud y protección social, vigilancia de la salud pública*. Ministerio de Salud y Protección Social. Diario Oficial N°48.960 de octubre 31 de 2013.
- Resolución 5296 de 2013. *Por la cual se crea la lista de establecimientos y/o predios con hallazgos de excesos de residuos o contaminantes en los productos alimenticios destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Ministerio de Salud y Protección social. Diario Oficial No. 49.063 de 13 de febrero de 2014.
- Resolución 1229 de 2013. *Por la cual se establece el modelo de inspección, vigilancia y control sanitario para los productos de uso y consumo humano*. Ministerio de Salud y Protección Social. Bogotá, Colombia.
- Resolución 2674 de 2013. *Por la cual se reglamenta el artículo 126 del Decreto Ley 019 de 2012 y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Salud y Protección Social. Bogotá, Colombia.
- Resolución 2671 de 2014. *Por la cual se modifican y adicionan unos numerales en el Capítulo Primero del Título X de la Circular Única de la Superintendencia de Industria y Comercio*. Ministerio de Salud y Protección Social. Diario Oficial. Año CXLIX. N° 49.048 de 9 de enero de 2014.
- Resolución 770 de 2014. *Por la cual se establecen las directrices para la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de los Planes Nacionales Subsectoriales de Vigilancia y Control de Residuos en Alimentos y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Ministerio de Salud y Protección Social. Diario Oficial No. 49.137 de 29 de abril de 2014.
- Resolución 3709 de 2015. *Por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 4506 de 2013 modificada por la Resolución número 2671 de 2014*. Ministerio de salud y Protección social. Diario Oficial No. 49.645 de 24 de septiembre de 2015.
- Resolución 517 de 2015. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Buenos Aires, Argentina.
- Resolución 30021 de 2017. *Por medio de la cual se establecen los requisitos para la certificación en Buenas Prácticas Agrícolas en producción primaria de vegetales y otras especies para consumo humano*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Bogotá, Colombia. Consultada en noviembre de 2019 en: <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/inocuidad-agricola/res-030021-abril-2017-certificacion-en-bpa.aspx>
- Resolución 069245 de 2020. *Por medio de la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro ante el ICA de las empresas almacenadoras de producto terminado, gránulos y materias primas de productos farmacéuticos, cosméticos, desinfectantes, ectoparasitocidas con y sin clasificación toxicológica de uso veterinario*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Reyes-Velázquez, W. P., Anguiano-Sevilla, C. N., Anguiano-Estrella, R. and F.G. Rojo. (2018). Association of acute equine leukoencephalomalacia (ELEM) with fumonisins concentrations in corn stover in an outbreak in the state of Jalisco, México. *Austral journal of veterinary sciences*. Vol. 50. No. 2. pp. 111-113. DOI: 10.4067/S0719-81322018000200111
- Robens, J. and K.Cardwell. (2003). The Costs of Mycotoxin Management to the USA: Management of Aflatoxins in the United States. *Journal of Toxicology Toxin Reviews*. Vol. 22. No. 2. pp. 139-152. Consultado el 01/08/2019 en https://www.researchgate.net/publication/232079441_The_Costs_of_Mycotoxin_Management_to_the_USA_Management_of_Aflatoxins_in_the_United_States
- Rincón, D., Fonseca, J. y J. Orjuela. (2017). Hacia un Marco Conceptual Común Sobre Trazabilidad en la Cadena de Suministro de Alimentos. *Ingeniería*. Vol. 22. No. 2. pp. 161-189. DOI: 10.14483/udistrital.jour.reving.2017.2.a01

- Rocha, L.O., Nakai, V.K., Braghini, R., Reis, T.A., Kobashigawa, E. y B. Corrêa. (2009) Mycoflora and Co-occurrence of fumonisins and aflatoxins in freshly harvested corn in different regions of Brazil. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 10. No.11. pp. 5090-5103.
- Roll, V.F.B., Lopes, L.L., Rossi, P., Anciuti, M.A., Rutz, F., Xavier, E.G. y S.S. Silva. (2010). Hematología de frangos alimentados com dietas contendo aflatoxinas e adsorvente de toxinas. *Archivos de Zootecnia*. Vol. 59. No. 225. pp. 93 - 101.
- Rosa, C.A.R., Keller, K.M., Keller, L.A.M., González Pereyra, M.L., Pereyra, C.M., Dalcero, A.M., Cavaglieri, L.R. y C.W.G. Lopes. (2009). Mycological survey and ochratoxin A natural contamination of swine feedstuffs in Rio de Janeiro State, Brazil. *Toxicon*. Vol. 53, Issue 2. pp. 283-288. DOI: 10.1016/j.toxicon.2008.11.015
- Roscoe, V., Lombaert, G.A., Huzel, V., Neumann, G., Melietio, J., Kitchen, D., Kotello, S., Krakalovich, T., Trelka, R. and M. P. Scott. (2008). Mycotoxins in breakfast cereals from the Canadian retail market: a 3-year survey. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. Vol. 25 No.3. pp. 347-55. DOI: 10.1080/02652030701551826.
- Rossi, P., Nunes, J.K., Rutz, F., Reis, J.S., Boursheidt, D., Rocha, A.A., Moraes, P.V.D., & Anciuti, M.A. (2013). Glucomanano esterificado e selênio orgânico em frangos alimentados com dietas com aflatoxinas. *Archivos de Zootecnia*. Vol. 62. No. 237. pp. 33-43. DOI:10.4321/S0004-05922013000100004.
- Saavedra, D., Ojeda, Á., Luzón, O. y C. Mazzani. (2014). Efecto de un secuestrante de micotoxinas sobre la producción de gas y degradación ruminal *in vitro* de harina de maíz con aflatoxina B1. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. Vol. 55. Np. 2. pp. 96-103.
- Salazar González, C. E. (2016). *Caracterización molecular y morfológica de aislamientos de Fusarium spp. productores de micotoxinas*. Tesis de doctorado en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.
- Samapundo, S., De Meulenaer, B., Atukwase, A., Debevere, J. and F. Devlieghere. (2007). The influence of modified atmospheres and their interaction with water activity on the radial growth and fumonisin B1 production of *Fusarium verticillioides* and *F. proliferatum* on corn. Part I: The effect of initial headspace oxygen concentration. *International Journal of Food Microbiology*. Vol.114. pp. 160-167.
- Sánchez, M. P. (2014) *Determinación de niveles de aflatoxina M1 en leche materna: estudio observacional descriptivo en muestras recolectas en un hospital pediátrico de referencia de la ciudad de Bogotá, durante el año 2013*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- Sánchez-Bautista, A., De León García-de Alba, C., Cuca-García, J. M. y A. Hernández-Anguiano. (2012). Efecto tóxico de *Acremonium zeae* en pollos de engorda en iniciación. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 23. No. 1. Pp. 141-150. Consultado en junio de 2019 en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212012000100015&lng=en&tlng=es.
- Santurio, J.M. (2000). Micotoxinas e Micotoxicoses na Avicultura. *Brazilian Journal of Poultry Science*. Vol. 2. No.1. pp. 01-12.
- Sarantis, K. (2019). Efectos de las micotoxinas en la fertilidad de los cerdos. *Science & Solutions*. Vol. 64. pp. 9. Consultado en agosto de 2019 en: https://issuu.com/biomin/docs/mag_sciisol_64_s_0119_es_mx?embed_cta=read_more&embed_context=embed&embed_domain=www.biomin.net&embed_id=9472432%2525252F47748828
- Schwarzer, K. (2009). Harmful effects of mycotoxins on animal physiology. In: *17th Annual ASAIM SEA Feed Technology and Nutrition*. Workshop, Hue, Vietnam.
- Secilio, G. (2005). *La calidad en alimentos como barrera para-arancelaria*. Serie estudios y perspectivas No. 30. Pp.104. LC/L.2403-P. Naciones Unidas. Oficina de la CEPAL en Buenos Aires. ISSN electrónico 1684-0356
- Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca (SAGyP). *Resolución No. 302 de 1991*. Buenos Aires, Argentina.
- Senasa. (2012). *Protocolo de requisitos fitosanitarios para la exportación de maíz desde Argentina a China entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República de Argentina y la Administración General de Supervisión de Calidad, Inspección y Cuarentena de la República Popular de China*. Consultado en marzo de 2019 en: http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/ARBOL_SENESA/INFORMACION/PORTAL_CERTI/china_1_protocolo_maiz_aqsiq-magyp_firmado.pdf

- Senasa. (s.f). Firmas controladoras y certificadoras de granos y subproductos para exportación. *Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria*. Sistema de registros. Consultado en mayo de 2019 en: https://aps2.senasa.gov.ar/registros/faces/publico/personas/tc_certificadoraspublico.jsp
- Senes, C. E. R., Saldan, N. C., Costa, W. F., Svidzinski, T.I. E. y C.C. Oliveira. (2018). Identification of *Fusarium oxysporum* Fungus in Wheat Based on Chemical Markers and Qualitative GC-MS Test. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. Vol. 29. No. 12. pp. 2626-2635. DOI: 10.21577/0103-5053.20180143
- Serrano-Coll, H. A. y N. Cardona-Castro. (2015). Micotoxicosis y micotoxinas: generalidades y aspectos básicos. *Revista CES Medicina*. Vol. 29. No. 1. pp. 143-151.
- Sewram, V., Mshicileli, N., Shephard, G.S. and W.F.O. Marasas. (2003). Fumonisin mycotoxins in human hair. *Biomarkers*. Vol. 8, Issue 2. pp. 10-118.
- Sewram, V., Mshicileli, N., Shephard, G.S., Vismer, H.F., Rheeder, J.P., Lee, Y.-W., Leslie, J.F. and W.F.O. Marasas. (2005). Production of fumonisin B and C analogues by several *Fusarium* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 53. Issue 12. pp. 4861- 4866.
- Shephard, G.S., Van Der Westhuizen, L., Gatyeni, P.M., Somdyala, N.I.M., Burger, H.-M. and W.F.O. Marasas. (2005). Fumonisin mycotoxins in traditional Xhosa maize beer in South Africa. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 53. Issue 24. 30. pp. 9634-9637.
- da Silva, M.S.J., Jobim, C.C., Poppi, E.C., Tres, T.T. and M.P. Osmari. (2015). Production technology and quality of corn silage for feeding dairy cattle in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Vol. 44. Issue 9. pp. 303-313. DOI: 10.1590/S1806-92902015000900001
- Smith, G. (2018). *Fumonisin*. Chapter 71. Veterinary Toxicology-Basic and Clinical Principles, section XV Mycotoxins. 3rd Edition. 1003-1018.
- Small, I.M., Flett, B.C., Marasas, W.F.O. A. and A.Viljoen. (2012). Use of resistance elicitors to reduce *Fusarium* ear rot and fumonisin accumulation in maize. *Crop Protection*. Vol. 41. pp. 10-16. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.05.016
- Small, I.M., Flett, B.C., Marasas, W.F.O., McLeod, A., Stander, M. A. and A. Viljoen. (2012). Resistance in maize inbred lines to *Fusarium verticillioides* and fumonisin accumulation in South Africa. *The American Phytopathological Society. Plant Disease*. Vol. 96 No. 6. pp. 881-888. DOI: 10.1094/PDIS-08-11-0695.
- Soriano del Castillo J.M., et al. (2007). *Micotoxinas en alimentos*. Ediciones Díaz de Santos, (2007), pp. 3-16.
- Tafur Garzón, Mc allister. (2009). La inocuidad de alimentos y el comercio internacional. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 22. No. 3. pp. 330 - 338. Consultado en August 21 de 2019 en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902009000300009&lng=en&tIng=es.
- Temba, B.A., Sultanbawa, Y. Kriticos, D.J., Fox, G.P., Harvey, J.J.W., and M.T. Fletcher. (2016). Tools for defusing a major global food and feed safety risk: Nonbiological postharvest procedures to decontaminate mycotoxins in foods and feeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 64. No. 47. pp. 8959-8972. DOI:10.1021/acs.jafc.6b03777
- Thakur, M., Mosher, G. A., Brown, B.R., Bennet, G.S. and H.E. Shepherd. (2009). Food Safety Series—Traceability in the Bulk Grain Supply Chain. *Agricultural and Biosystems Engineering Publications*. Agricultural and Biosystems Engineering at Iowa State University Digital Repository. https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1693&context=abe_eng_pubs
- Thiel, P.G., Meyer, C.J. and W.F.O. Marasas. (1982). Natural Occurrence of Moniliformin together with Deoxynivalenol and Zearalenone in Transkeian Corn. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 30. No. 2. pp. 308-312.
- Torres-Sánchez, L. y L. López-Carrillo. (2010). Consumo de fumonisinas y daños a la salud humana. *Salud Pública de México*. Vol. 52 No.5. pp. 461-467. Consultado en junio de 2019, en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342010000500014&lng=es&tIng=es

- Torres, M.R., Ramos, A.J., Soler, J., Sanchis, V. and S. Marín. (2003). SEM study of water activity and temperature effects on the initial growth of *Aspergillus ochraceus*, *Alternaria alternata* and *Fusarium verticillioides* on maize grain. *International Journal of Food Microbiology*. Vol 81. No. 3. pp. 185-93. DOI: 10.1016/s0168-1605(02)00226-x.
- Tubbs, T., Baributsa, D. and C. Woloshuk. (2016). Impact of opening hermetic storage bags on grain quality, fungal growth and aflatoxin accumulation. *Journal of Stored Products Research*. Vol. 69. pp. 276-281. DOI: 10.1016/J.JSPR.2016.10.003
- UPRA – Fenalce. (2017). *Cultivo comercial de maíz tecnificado de clima cálido. Identificación de zonas aptas para Colombia escala 1:100.000*. Federacion Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas, Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.
- Urrego, J.R. y G. J. Díaz. (2006). Aflatoxinas: Mecanismos de toxicidad en la etiología de cáncer hepático celular. *Revista de la Facultad de Medicina Universidad Nacional de Colombia*. Vol. 54 No. 2. pp 108-116. ISSN electrónico 2357-3848.
- USDA. *Export elevator overview*. United States Department of Agriculture. Consultado en Febrero de 2019 en: <https://www.ams.usda.gov/resources/export-elevator-overview>
- USDA. *Automated weight monitoring systems*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. Consultado en Febrero de 2019 en: <https://www.ams.usda.gov/resources/automated-weight-monitoring-systems>
- USDA. (2013). *Agricultural Marketing Service analysis of data from USDA National Agricultural Statistics Service State and county level statistics 2013, and Federal Grain Inspection Service port inspection data, 2013*. United States Department of Agriculture. *Grain Consuming Animal Unit.
- USDA. (2015). *GIPSA's Role in Aflatoxin Testing*. United States Department of Agriculture Agricultural Marketing Service –USDA. Consultado en mayo de 2019 en: <https://www.gipsa.usda.gov/fgis/aflatoxin.aspx>.
- USDA. (2019). *Grains Inspected And/Or Weighed For Export By Region And Country Of Destination January 2018 - December 2018*. United States Department of Agriculture. Consultado en: https://www.ams.usda.gov/mnreports/wa_gr153.txt
- USDA. (2019a). *Corn Supply and Disappearance: Selected Exporters*. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. Consultado en octubre de 2020 en: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
- USDA. (2020). *Grains Inspected And/Or Weighed For Export By Region And Country Of Destination January 2019 - December 2019*. United States Department of Agriculture. Consultado en: https://www.ams.usda.gov/mnreports/wa_gr153.txt
- U.S. Grains Council. (2019a). *Corn Harvest Quality Report 2018/2019*. Consultado en agosto 1 de 2019, en https://grains.org/corn_report/corn-harvest-quality-report-2018-2019/7/
- U.S. Grains Council. (2019b). *Corn Export Cargo Quality Report 2018/2019*. Consultado en agosto 1 de 2019, en https://grains.org/corn_report/corn-export-cargo-quality-report-2018-2019/
- Vaccari, I. C.M., Duarte, V., Russi Rodrigues, D., Ramos dos Santos, F. and C. Silva. (2017). Association of the severity of tongue lesions in broiler chickens with the quality of corn in feed. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Vol. 52. No.10. pp. 942-945. DOI: 10.1590/s0100-204x2017001000014
- Vardon, P., McLaughlin, C. and C. Nardinelli. (2003). Chapter 10: Potential economic costs of mycotoxins in the United States. Council of Agriculture, Science, and Technology. En: CAST: 2003. *Mycotoxins: Risks in plant, animal and human systems (Task force report)*. pp. 136–142. Consultado en agosto de 2019 en <https://www.international-food-safety.com/pdf/Mycotoxins%20-%20Risks%20in%20Plant,%20Animals%20and%20Human%20Systems.pdf>
- Vargas, H., Torres, D., Madrigal, P., Tunarosa, M. y P.L., Bello. (2019). Coyuntura cerealista y de leguminosas No. 62. *El Cerealista*. Federeacion Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas – Fenalce. Edición 1290. pp. 34 - 50. ISSN: 0124-2016.

- Vargas, H., Aponte, S., Bello, P.L., Madrigal, P.S. y M.C. Ochoa. (2020). Coyuntura cerealista y de leguminosas No. 65. *El Cerealista*. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas – Fenalce. No. 132. pp. 28-55. ISSN: 0124-2016.
- Villa Lenis, A. F. (2008). *Estudio microbiológico y calidad nutricional de ensilaje de maíz cosechado en dos ecorregiones de Colombia / Study of microbiological and nutritional quality of corn silage in two Colombian ecosystems*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- World Health Organization. (1997). *Programme of Food Safety and Food Aid, Global Environment Monitoring System. Food Contamination Monitoring and Assessment Programme & Joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. Committee on Pesticide Residues*. Orientaciones para predecir la ingestión alimentaria de residuos de plaguicidas / preparadas por el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente - Programa de Vigilancia y Evaluación de la Contaminación de los Alimentos (Simuvima/Alimentos); en colaboración con el Comité del Codex sobre Residuos de Plaguicidas, Rev.ed. Ginebra: Organización mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/63788>
- World Health Organization (WHO - OMS). (2002). *Estrategia global de la OMS sobre inocuidad de los alimentos: Alimentos más sanos para una salud mejor*. Organización Mundial de la Santé. Ginebra, Suiza
- Yepes, C. A. (2014). El Tratado de Libre Comercio Colombia-Estados Unidos: análisis crítico del discurso (ACD). *Suma de Negocios*. Vol. 5. Issue 10. pp. 12-21. DOI: 10.1016/S2215-910X(14)70004-7
- Zain, M. (2010). Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*. Vol. 15. pp. 129–144. DOI: 10.1016/j.jscs.2010.06.006
- Zaki, M. El-Midany, S., Shaheen, H. and L. Rizzi. (2012). Mycotoxins in animals: Occurrence, effects, prevention and management. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*. Vol. 4. No. 1. pp. 13-28
- Zaviezo, D. (2019). Micotoxinas en aves. Consideraciones técnicas. *Nutricionanimal.info*. Consultado el 01/08/2019 en <https://nutricionanimal.info/micotoxinas-en-aves-consideraciones-tecnicas/>
- Zhang, G. L., Feng, Y.L., Song, J.L. and X.S. Zhou. (2018). Zearalenone: a mycotoxin with different toxic effect in domestic and laboratory animals' granulosa cells. *Frontiers in Genetics*. Vol. 9. pp. 667. DOI: 10.3389/fgene.2018.00667
- Zlotowski, P., Corrêa, A. M. R., Rozza, D. B., Driemeier, D., Mallmann, C. A. and F. A. Migliavacca. (2004). Surto de aflatoxicose em suínos no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. Vol. 24. No. 4. pp. 207-210. DOI: 10.1590/S0100-736X2004000400007

09

SITIOS WEB
CONSULTADOS

Adams Land & Cattle	https://adamslandandcattle.com
Banco Mundial	https://datos.bancomundial.org
BCRC	https://www.bcrc.firdi.org
Biomin	https://www.biomin.net
Bolsa del Rosario	https://bcr.com.ar/es/mercados/mercado-de-granos
Bolsa de Chicago	https://www.cmegroup.com
Cooper Farm Inc	http://www.cooperfarmsgrain.com
Codex alimentarius	http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/es/
FAO	http://www.fao.org
Fenavi	https://fenavi.org/estadisticas/informacion-estadistica-publica/
Fedegán	https://www.fedegan.org.co/estadisticas/consumo-0
Fenalce	http://fenalce.org/nueva/index.php
FGIS	https://fgisonline.ams.usda.gov/ExportGrainReport/default.aspx
Grand Junction, IA.	http://www ldcgrandjunction.com
GIPSA	https://www.gipsa.usda.gov/fgis/aflatoxin.aspx
IPCS- INCHEM	www.inchem.org/
Ingredion	https://sellyourcorn.ingredion.com
Icontec	https://www.icontec.org/
Instituto Nacional de Cancerología	http://infocancer.co
ICA	https://www.ica.gov.co/
Invima	https://www.invima.gov.co
INS	https://www.ins.gov
Lakeview grains	http://www.threeriversenergyllc.com
MycoBank Database	http://www.mycobank.org/
MycoKey	http://www.mycoskey.eu/
MyToolBox	https://www.mytoolbox.eu/
MinSalud	https://www.minsalud.gov
MHLW	https://www.mhlw.go.jp/english/index.html
MFDS	https://www.mfds.go.kr/eng/wpge/m_11/denofile.do
OEC	https://oec.world/es/profile/country
One Earth Energy	http://www.oneearthenergy.com
OMS	http://www.oms.org
	https://extranet.who.int/gemsfood/Default.aspx#
Premier Cooperative	http://www.premiercooperative.net

Plataforma Scienti	https://www.colciencias.gov.co/scienti
ProColombia	http://www.procolombia.co
RASFF	https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/portal/?event=Search-Form&cleanSearch=1
Repositorio UNAL	http://www.bdigital.unal.edu.co/
Tate & Lyle	https://tateandlylegrain.com
The Toxin and Toxin Target Database (T3DB)	http://www.t3db.ca/toxins
Simuvima	https://www.who.int/health-topics/food-safety/
Scopus	www.scopus.com
Scielo	www.scielo.com
USDA	https://www.usda.gov/ https://apps.ams.usda.gov/elearning/Misc/QL.html https://www.ams.usda.gov/about-ams/fgis-program-directives
Valero renewables	https://valero-jefferson.aghostportal.com

La inocuidad y la calidad del maíz son aspectos fundamentales para la salud pública y tienen relación directa con la seguridad alimentaria y nutricional. En Colombia, durante los últimos años se ha incrementado el volumen de las importaciones de maíz como efecto del aumento de la demanda desde la cadena pecuaria y la disminución progresiva de aranceles como parte del acuerdo de cooperación comercial con Estados Unidos.

La publicación plantea diversos puntos de reflexión. Aborda información sobre el mercado de maíz, los impactos a la salud y de índole económica frente a la contaminación con micotoxinas, así como los respectivos lineamientos sanitarios y de inocuidad en este mercado. A su vez, identifica tendencias en la producción científica y alternativas tecnológicas junto con esquemas de referencia para la inspección y control en países productores e importadores. Finalmente, propone ejes de trabajo en el marco de una estrategia orientada a la prevención del riesgo de contaminación y al fortalecimiento de la producción primaria nacional a partir del fomento a la modernización de la infraestructura de secado y almacenamiento, el desarrollo de mercados, entre otros.



ISBN: 978-958-57618-6-5

