



Inoquidad y Trazabilidad en los alimentos mexicanos

EDITORAS:

Dra. Ofelia Yadira Lugo Melchor,
Dra. Claudia Alvarado Osuna,
M.C. Elsa Leticia Ramirez Cerda.



INOCUIDAD Y TRAZABILIDAD EN LOS ALIMENTOS MEXICANOS

Editoras

**Dra. Ofelia Yadira Lugo Melchor
Dra. Claudia Alvarado Osuna
M.C. Elsa Leticia Ramírez Cerda**

Primera Edición 2017

D.R. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.
(CIATEJ).

Avenida Normalistas 800, Colonia, Colinas de la Normal 44270, Guadalajara, Jalisco
México

ISBN 978-607-97548-0-8

Editores: Ofelia Yadira Lugo Melchor, Claudia Alvarado Osuna, Elsa Leticia Ramírez Cerda
Diseño de portada: Jorge Valente García Hernández

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra – incluido el diseño tipográfico o de portada – sea cual fuere el medio electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito de los editores.

Los recursos gráficos con que se ilustra la portada y contraportada son por cortesía de www.pixabay.com y www.freepik.com.

Autores

Ofelia Yadira Lugo Melchor
Evaristo Urzua Esteva
Elsa Leticia Ramírez Cerda
Claudia Alvarado Osuna
María Dolores García Parra
María Luisa Sahagun Aguilar
Gerardo Manuel Nava Morales
Yajaira Esquivel Hernández
Maria Patricia Chombo Morales
Evelin Martinez Benavidez
Maria de los Angeles Sánchez Contreras
Juan Campos Guillen
Sergio Romero Gómez
Erika Álvarez Hidalgo
Ivan Arvizu Hernández
Rosa Calvillo Medina
Moisés Alejandro Vásquez Cruz
Alfonso Torres Ruiz
Ana Gabriel Estrada Martínez
José de Jesús Arriaga Varela
Domingo Ausin Gomez
Antonio Escobedo Reyes
Jacobo Rodriguez Campos
Erika Nahomy Marino Marmolejo
Teresa del Rosario Ayora Talavera
Ana Luisa Ramos Díaz
Jesús Alfonso Patrón Vazquez
Neith Aracely Pacheco López
Ingrid Mayanin Rodriguez Buenfil
Manuel Octavio Ramírez Sucre
Zahaed Evangelista Martínez
Teresa del Rosario Ayora Talavera
Nohemí del Carmen Reyes Vázquez
Antonia Gutiérrez Mora
Silvia Maribel Contreras Ramos
Octavio Gaspar Ramírez
María Elena Heras Ramírez
Víctor Manuel Alcántar Rosales
Ángela Suarez Jacobo

Índice

Introducción	5
Inocuidad Alimentaria en el Mercado Mexicano	7
Sistemas para Garantizar la Inocuidad de alimentos	30
Inocuidad de Carne de Res en México	56
Carne y Subproductos como Vehículo de <i>Salmonella entérica</i> en México	72
Producción y Manejo Inocuo de Leche y Productos de Leche en México	84
Productos Apícolas: Miel y Polen	106
Calidad Microbiológica del Polen	120
Inocuidad en la acuicultura y pesca mexicana	145
Inocuidad en Aguacate	165
Inocuidad en Granos	187
Inocuidad de Chile Habanero en la Producción Primaria	205
Inocuidad del Chile Habanero Procesado	219
Inocuidad en Frutillas (Berries)	242
Situación actual de plaguicidas de uso citrícola en México	266

Introducción

La rápida globalización de la producción y comercialización de los alimentos ha aumentado la probabilidad de que se produzcan rechazos internacionales relacionados con alimentos contaminados. Hoy en día, la inocuidad de los alimentos utilizados por hombres es un tema cada vez más importante a nivel mundial. La inocuidad alimentaria, en su definición básica, significa la garantía de que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se preparen y/o consuman de acuerdo con el uso a que se destinan. Esto se puede alcanzar minimizando los riesgos biológicos, químicos y físicos en los procesos de producción hasta su consumo. Otro de los puntos clave para asegurar la inocuidad de los alimentos es la trazabilidad como mecanismo para el seguimiento y conocimiento de la historia de un alimento, la cual ha sido ampliamente reconocida por distintas organizaciones de ámbito internacional. Todo esto se traduce en que es necesario establecer mayor control, vigilancia, reglamentaciones y por sobretodo una excelente coordinación de acciones, adecuadas a esta nueva era. Una condición imprescindible para alcanzar los puntos mencionados anteriormente es la cooperación y participación activa de todas las partes interesadas implicadas en la alimentaria, “de la granja a la mesa”.

En México, la inocuidad alimentaria es un tema que ha ido adquiriendo una importancia creciente debido principalmente a la dinámica que ha alcanzado el comercio nacional e internacional de alimentos, a la globalización de los mercados y la generación de una actitud más reflexiva y atenta en torno a éste tema, por parte de los consumidores. En el siguiente libro se menciona el estado del arte de la inocuidad y trazabilidad de los diferentes alimentos que se producen en México por los principales sectores agrícola, pecuario, acuícola, apícola, y alimentos procesados además de los diferentes sistemas de calidad en inocuidad alimentaria así como se está comportando el mercado mexicano en la producción de alimentos.

El primer capítulo muestra el valor y volúmenes de los productos mexicanos complementado con la producción de alimentos acorde a las exigencias de los mercados, siendo la calidad e inocuidad los principales atributos que rigen la oferta y la demanda de los productos a nivel mundial. Otro de los puntos importantes que se toca en otro de los capítulos es una breve introducción a los sistemas para garantizar la inocuidad alimentaria tanto certificaciones nacionales: TIF, México Calidad Suprema y los sistemas de reducción de riesgo de SENASICA, como las internacionales: HACCP, SQF e ISO 22000. Se mencionarán los retos que representan para las empresas y microempresas mexicanas la búsqueda, implementación y mantenimiento de acciones para garantizar que los alimentos producidos no ocasionarán enfermedades a los consumidores. Finalmente se mencionarán algunas estrategias para transmitir el conocimiento sobre inocuidad alimentaria que ha resultado beneficiosas de acuerdo a la experiencia de CIATEJ.

El libro cuenta con una sección pecuaria en donde se describen los diferentes tipos de contaminantes tanto químicos como biológicos asociados a productos cárnicos comercializados en México, además de productos derivados como por ejemplo los productos lácteos que para considerarlos inocuos no debe contener residuos ni sedimentos; ni tener color y olor anormales; debe tener un contenido de bacterias bajo; no debe contener sustancias químicas (por ejemplo, antibióticos y detergentes), y debe tener una composición y acidez normales. La calidad higiénica de la leche es un factor determinante en la inocuidad de los productos lácteos. Para lograrlo, se han de aplicar buenas prácticas de higiene y manejo a lo largo de toda la cadena láctea. Factores como la contaminación y el crecimiento de patógenos, los aditivos químicos, la contaminación ambiental y la descomposición de los nutrientes pueden tener impacto negativo en el producto y en la salud de los consumidores.

Dentro del sector apícola la inocuidad de la miel ha sido de suma importancia ya que la contaminación procede generalmente de manejos inadecuados por parte de los apicultores y durante su proceso de envasado. Por lo tanto, es de gran importancia garantizar que el producto esté libre de contaminantes físicos derivados de la cosecha o extracción; químicos provenientes de residuos de medicamentos usados en el control de enfermedades de las abejas y/o agroquímicos utilizados en la agricultura. Además, de garantizar la ausencia de microorganismos procedentes de fuentes primarias o secundarias. Hoy en día, el por todas sus propiedades benéficas se ha sugerido su uso como suplemento dietario y se consumen de manera directa o después de tratamientos térmicos o de radiación muy suave para preservar sus características nutricionales y controlar o disminuir eficazmente la microbiota por tal motivo en esta sección se describe que se necesita para mantener la vigilancia y asegurar la inocuidad adecuada para su consumo.

El sector acuícola constituye un recurso alimentario de suma importancia en el país debido a que cuenta con amplios litorales y aguas interiores sin embargo es necesario fortalecer la vigilancia de la inocuidad en productos frescos. En el capítulo que contempla este sector se retoma un enfoque desde la perspectiva HACCP de prevención y se proponen estrategias dirigidas a la contención de peligros potenciales para la inocuidad de los productos de pesca frescos de acuerdo a las regulaciones internacionales.

El libro también cuenta con varios capítulos del sector agrícola donde se explican cuáles son las principales causas de contaminación que normalmente resultan con pérdidas de inocuidad de los granos, aguacate, chile habanero, frutillas o berries y cítricos. En estos capítulos se describen cuáles son los principales contaminantes físicos, químicos y biológicos, los principales puntos críticos de control para la inocuidad en la cadena productiva, los diferentes problemas fitosanitarios a los que se enfrentan y los pesticidas regulados con máximos niveles de residuos permitidos (MRLs). Así como, su enfoque en recopilar información que existe en México y en otros países acerca de la presencia de los diferentes tipos de contaminantes y las regulaciones que existen para mantener la inocuidad de estos productos que en la actualidad son claves para el éxito en el comercio internacional agrícola.

Inocuidad Alimentaria en el Mercado Mexicano

Urzua-Esteva Evaristo J.^{1*}, Lugo-Melchor O. Yadira²

¹Vinculación y Transferencia de Tecnología, ²Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ). Av. Normalistas #800, Col. Colinas de la Normal. Guadalajara Jalisco. C.P.44270. *Correspondencia: eurzua@ciatej.mx

Resumen

México cuenta con una amplia diversidad de climas y condiciones favorables para la producción primaria, lo que ha favorecido que sea un importante productor y proveedor de alimentos a nivel internacional. En el presente capítulo se muestra el valor y volúmenes de los productos mexicanos complementado con la producción de alimentos acorde a las exigencias de los mercados, siendo la calidad e inocuidad los principales atributos que rigen la oferta y la demanda de los productos a nivel mundial.

Introducción

Para los gobiernos de cada país, la salud de sus habitantes resulta una prioridad que se atiende según las capacidades técnicas y económicas con las que cuenta. Mientras que en los países desarrollados la inversión en salud puede ser superior al 10% del producto interno bruto, en países en vías de desarrollo puede ser cercana al 6% o menor. En el caso de México esta fue de 6.2% en el 2013 (Figura 1).

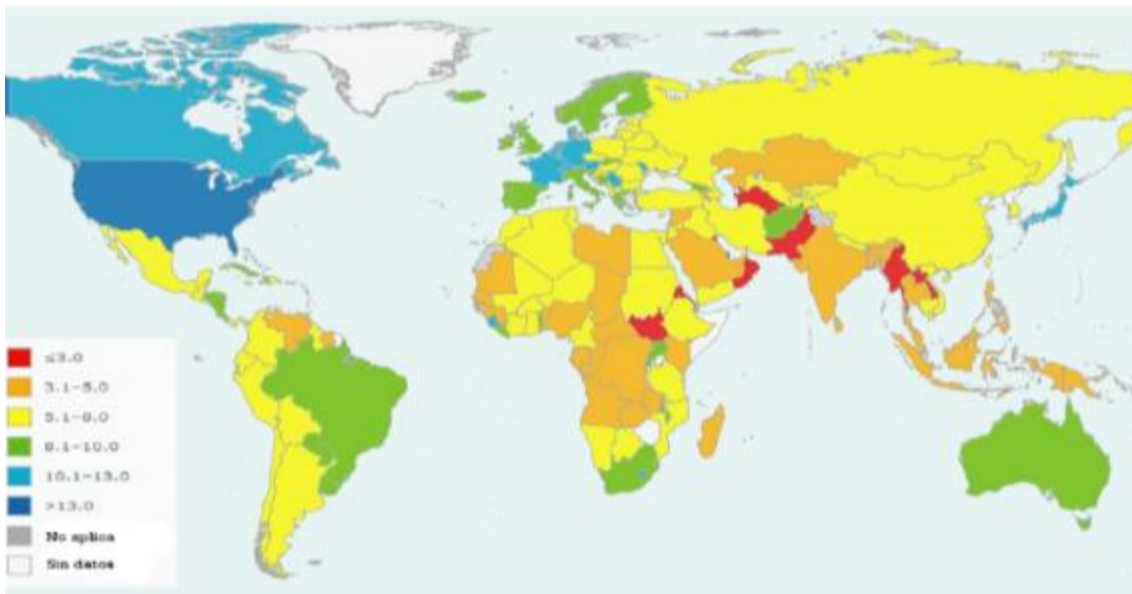


Figura 1. Gasto en salud como porcentaje del PIB (Fuente: Organización Mundial de la Salud, 2014)

Entonces el reforzamiento de las medidas de prevención en temas de salud resulta de vital importancia en los programas nacionales, lo cual incluye crear la infraestructura, legislaciones, y concientización de la población necesarias para cumplir con los mismos.

El tema de inocuidad alimentaria es parte de las estrategias que se deben atender para asegurar que la población se mantenga sana (Unnevehr, 2015). No solo desde el punto de vista de la afectación hacia la población por el problema sanitario, sino también por cuestiones de seguridad alimentaria y la disponibilidad de alimentos de con suficiente valor nutricional.

La situación de la inocuidad en México

La industria alimentaria en México, como en otros países, se distingue por los mercados a los que se dirige, esto es, aquellos productos que van dirigidos al consumo interno y aquellos que son de exportación. Ya que mientras el mercado nacional se rige por lo señalado en la legislación mexicana, los productos de exportación deberán cumplir con los requisitos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la Comisión Europea, o de la agencia reguladora del país de destino. Esta situación genera una problemática a nivel nacional debido a las grandes diferencias que existen entre la legislación nacional e internacional, en especial con los países desarrollados (Dou *et al.*, 2015).

Los gobiernos de los países desarrollados exigen a los exportadores mexicanos la implementación de métodos de prevención y control como HACCP, además de sistemas de muestreo y análisis más extensivos de los que se establecen en las normas nacionales. Esto no solamente aumenta la necesidad de una infraestructura mayor para respaldar la inocuidad del producto, sino de la capacitación a lo largo de toda la cadena productiva ya que muchas de estas regulaciones no son obligatorias para los productos nacionales dando como resultado diferencias notables entre la calidad de los productos (Rubio Lozano, 2013).

En tanto que el producto tiene demanda y su importancia crece en función de los valores de exportación, las necesidades de lograr garantizar las exigencias de los compradores extranjeros aumentan. Adicionalmente a este factor, en los países desarrollados las tolerancias de los elementos contaminantes disminuyen, incrementando así la presión sobre los productores en cumplir los requerimientos de los mercados. En 2015 las exportaciones agropecuarias fueron de 12.86 mil millones de pesos (Banco de México, 2016), lo cual representó el 3.6% de las exportaciones totales no petroleras y un aumento del 5.6% en relación con el año anterior.

En México es SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria), una división de la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), quien se encarga de regular las acciones para garantizar la sanidad en la producción agropecuaria a nivel

nacional, y son auxiliados por los diferentes comités estatales de sanidad, que agrupan a los productores de los distintos sectores, sumándose a las autoridades estatales involucradas en la materia.

En SENASICA, apoyando al laboratorio central ubicado en el estado de Morelos, existe una red de laboratorios de terceros autorizados para realizar distintas pruebas. Algunos de estos laboratorios son de tipo público, pertenecientes a asociaciones de productores, universidades, centros de investigación e institutos tecnológicos. Y algunos otros son laboratorios privados, los cuales en su mayoría cuentan con pruebas acreditadas por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). Dentro de esta red se encuentran:

- 125 Laboratorios autorizados de diagnóstico clínico animal que se concentran 19 pruebas, en su mayoría brucelosis, tuberculosis, influenza aviar y detección de clenbuterol. Los cuales incluyen dos laboratorios centrales regionales, uno en Nuevo León y otro en Jalisco, que son parte de los 4 aprobados para diagnóstico en muestras biológicas.
- 17 laboratorios de constatación autorizados para pruebas en químicos, farmacéuticos y alimentos
- 9 para constatación de calidad de productos veterinarios con 42 pruebas, principalmente bromatológicas.
- 14 laboratorios de constatación para realizar análisis de residuos tóxicos y contaminantes de carne así como de constatación de productos veterinarios.
- 14 Laboratorios de diagnóstico fitosanitario para la detección de bacterias, virus, nematodos y otros patógenos que afectan a los distintos cultivos

Adicionalmente SENASICA cuenta con los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de Diagnóstico para la Detección de Organismos Patógenos
 - Detección de *Escherichia coli* O157:H7 y *Salmonella* spp.
 - Identificación de *Salmonella* spp.
 - Identificación de *Escherichia coli* O157:H7
 - Determinación de Clorhidrato de Clenbuterol en fluidos de ganado bovino
- Centro Nacional de Referencia en Detección de Organismos Genéticamente Modificados tejido vegetal, granos, semillas y harinas. Donde se detectan 12 eventos de maíz, 9 de algodón, 1 de soya y 1 de trigo
- Centro Nacional de Referencia de Plaguicidas y Contaminantes donde se analizan la presencia de plaguicidas:
 - a) Organonitrogenados por cromatografía de gases en productos agrícolas

- b) Organofosforados por cromatografía de gases en productos agrícolas
- c) Organoclorados por cromatografía de gases en productos agrícolas

Estos laboratorios y los esfuerzos de la institución no han sido suficientes para lograr que los estándares de algunos de los productos mexicanos cumplan con los requerimientos internacionales, y puedan librar las restricciones para ser exportados a ciertos países. Las historias sobre prohibición de entrada de productos mexicanos a Estados Unidos por cuestiones de inocuidad es larga, e incluyen entre otros (US Food And Drug Administration -FDA , 2016):

- **Cilantro fresco** – infecciones de ciclosporiasis por contaminación con heces humanas en los campos de cultivo
- **Nopal** – altas concentraciones de plaguicidas
- **Pepino** – contaminación por *Salmonella* Poona
- **Queso** – contaminación por *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli* enterotoxigenica, *E. coli* enterohemorrágica, enterotoxina estafilocócica, *E. coli* y *S. aureus*.
- **Productos del Mar por Acuicultura** – Uso de fármacos no aprobados
- **Papaya** – contaminación por *Salmonella*

Estados Unidos es el socio comercial más importante para México en productos agropecuarios, ya que representa el 80% del valor total de las exportaciones de este grupo y donde la exportación de hortalizas y frutos ocupa los primeros lugares (United Nations, 2016). La Tabla 1 muestra su participación en las diferentes fracciones arancelarias.

Tabla 1. Valor en dólares de las exportaciones agropecuarias de México (Fuente UN trade, 2014).

Exportaciones desde México en 2014 (dólares)	Estados Unidos	Todo el Mundo	Participación
Cereales	28,901,207	622,255,279	5%
Café, Té, Mate y Especies	354,244,006	510,533,586	69%
Leche y productos lácteos; huevos de ave; miel natural	116,982,842	295,523,287	40%
Frutas y frutos comestibles	3,459,912,070	4,082,560,304	85%
Hortalizas, plantas, raíces y tubérculos alimenticios	5,084,141,513	5,419,988,677	94%
Pescados y crustáceos, moluscos y demás invertebrados acuáticos	564,671,750	922,003,653	61%
Animales vivos	771,036,602	772,413,624	100%
Carne y despojos comestibles	844,500,760	1,437,335,256	59%
Total general	11,224,390,750	14,062,613,666	80%

A pesar de la importancia en las exportaciones, el consumo interno de la mayoría de los productos es predominante. A continuación se describe la situación de la balanza comercial de varios de los principales productos agropecuarios de México y la relación de la exportación con la producción nacional.

Carne de Canal

Bovino

En el caso de la carne de canal de bovino, se exportó el 7.5% del volumen de la producción, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Balanza comercial de carne de bovino (Fuente Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA).

Carne de canal Bovino	2014		Saldo Balanza	Variación % (2013-2014)	
	Importaciones	Exportaciones		Importaciones	Exportaciones
Volumen en Toneladas	148,859	137,178	-11,681	-9.6	17.0
Valor Millones de Dólares	998.8	907.4	-91.4	11.1	39.9
Carne de canal Bovino	Producción 2014		Contribución de las exportaciones		
Volumen en Toneladas	1,827,152		7.5%		
Valor Millones de Dólares	6,738.0		13.5%		

La producción nacional de carne de bovino ha mantenido niveles estables en los últimos cuatro años con un promedio de 1.81 millones de toneladas con variaciones anuales alrededor del 1%. Es el principal tipo de carne producida en México en término de su valor y exportación. Y aunque prácticamente en todo el territorio nacional se genera este tipo de producto, son siete estados los que representan más del 50% de su generación. Tal como se muestra en la Figura 2.

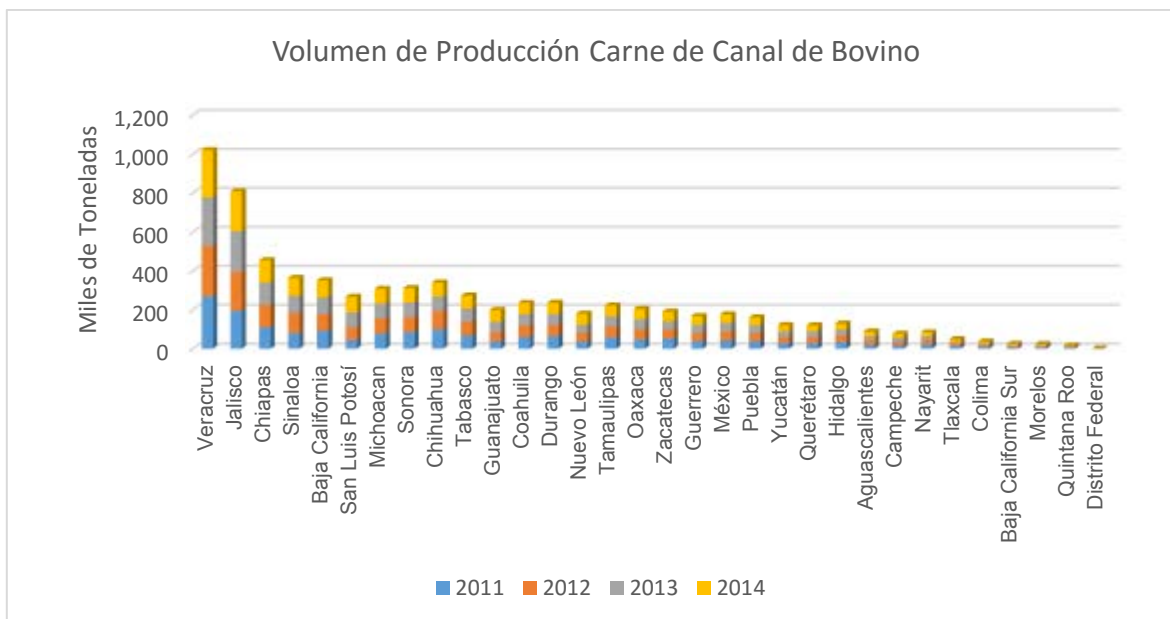


Figura 2. Volumen de producción de carne de bovino en México 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014)

Ave

La carne de ave, en su mayoría pollo, es un producto donde el abasto no llega a cubrir el consumo interno y cada año se importan más de 600 mil toneladas. Durante la epidemia de influenza aviar en el 2012 la importación de pollo fresco aumento en un 20% para poder cubrir la demanda como se muestra en la Tabla 3. El promedio anual de producción oscila alrededor de los 2.8 millones de toneladas, aunque en 2014 tuvo un crecimiento de 2.5% en relación con el año anterior.

Tabla 3. Balanza comercial de carne de ave (Fuente: Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA)

	2014			Variación % (2013-2014)	
	Importaciones	Exportaciones	Saldo Balanza	Importaciones	Exportaciones
Carne de canal Ave					
Volumen en Toneladas	609,235	1,575	-607,660	5.9	0.1
Valor Millones de Dólares	555.4	2.1	-553.3	-3.2	-39.5
Carne de canal Ave		Producción 2014	Contribución de las exportaciones		
Volumen en Toneladas		2,879,686	0.1%		
Valor Millones de Dólares		6,609.1	0.0%		

Al igual que en el caso de la carne de bovino, existe producción en la mayor parte de los estados, sin embargo la mayor parte se concentra en Jalisco, Durango, Veracruz, Aguascalientes y Querétaro. Y son los últimos dos estados mencionados los que han aumentado su infraestructura productiva de tal forma que lograron incrementos superiores al 18% en el período 2011-2014, tal como se muestra en la Figura 3.

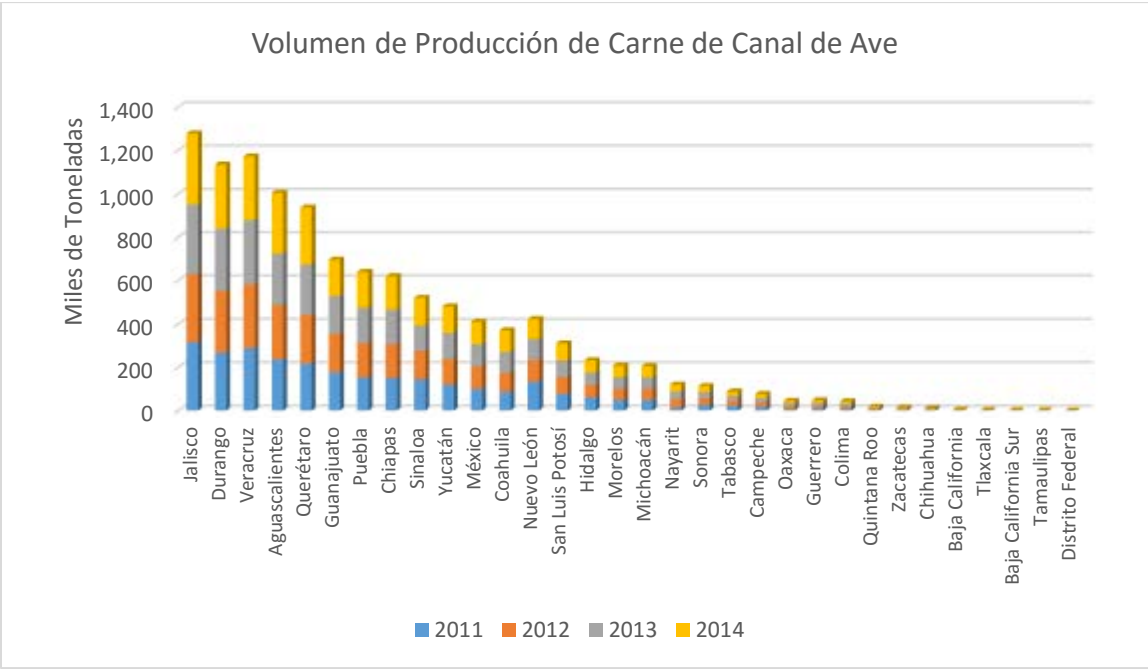


Figura 3. Volumen de producción de carne de ave en México 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

Porcino

El caso de la carne de porcino es similar a la de ave, donde la producción nacional no es suficiente para lograr el abasto nacional. Sin embargo, la demanda de Japón y Corea ha permitido mejorar las condiciones para las exportaciones. La tabla 4 muestra la balanza comercial de carne de porcino y su comparación con la producción nacional.

Tabla 4. Balanza comercial de carne de porcino (Fuente: Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA)

	2014		Variación % (2013-2014)		
Carne de canal Porcino	Importaciones	Exportaciones	Saldo Balanza	Importaciones	Exportaciones
Volumen en Toneladas	601,640	89,396	-512,244	4.6	5.9
Valor Millones de Dólares	1,546.1	429.1	-1,117.0	31.6	-3.5
Carne de canal Porcino	Producción 2014		Contribución de las exportaciones		
Volumen en Toneladas	1,290,591		6.9%		
Valor Millones de Dólares	3,631.6		11.8%		

Jalisco es el principal productor a nivel nacional, seguido de Sinaloa, Puebla, Veracruz y Yucatán (Figura 4). La carne de porcino ha tenido mayores crecimientos que otras, con un acumulado del 2011 al 2014 del 7%. En 2014 SAGARPA lanzó una alerta sanitaria por el virus de Diarrea Epidémica Porcina (DEP) que afectaba a varios países, esta situación generó un aumento en el precio internacional de la carne.

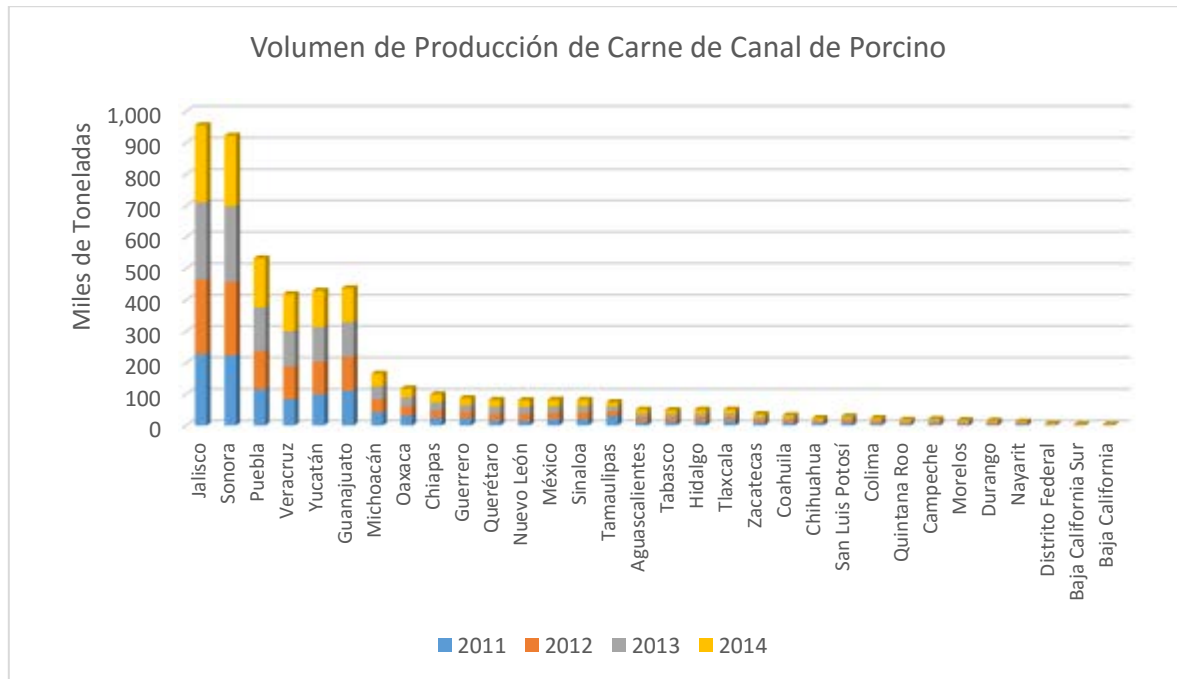


Figura 4. Volumen de producción de carne de porcino en México 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

Lácteos

Leche de Bovino

Al igual que en otros productos, México no ha logrado una autosuficiencia en la producción de leche, por lo cual ha tenido que importarla para lograr su abasto (Tabla 5), en especial la leche en polvo. Durante el 2014 México ocupó el quinto lugar a nivel mundial en importadores de leche (Trademap, 2016). La importación de productos lácteos y sucedáneos, y el precio controlado de la leche ha provocado un desaliento en la producción y un mínimo crecimiento en el volumen nacional, con menos del 1% anual en el periodo del 2011 al 2014. Una circunstancia adicional que afecta este sector es el cambio climático, pues disminuye la disponibilidad de pastizales y agua, y además fomenta enfermedades como mastitis, reduciendo así la producción lechera (Gauly *et al.*, 2013).

Tabla 5. Balanza comercial de leche de bovino (Fuente: Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA)

Leche de Bovino	2014			Variación % (2013-2014)	
	Importaciones	Exportaciones	Saldo Balanza	Importaciones	Exportaciones
	123,722	29,635	-94,087	-4.3	0.7
	232	50	-181.9	4.9	-8.0
Leche de Bovino	Producción 2014		Contribución de las exportaciones		
	11,129,622		0.3%		
	4,814.8		1.0%		

El principal estado productor es Jalisco, seguido de Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato, que en 2014 representaron más del 50% de la producción nacional (Figura 5).

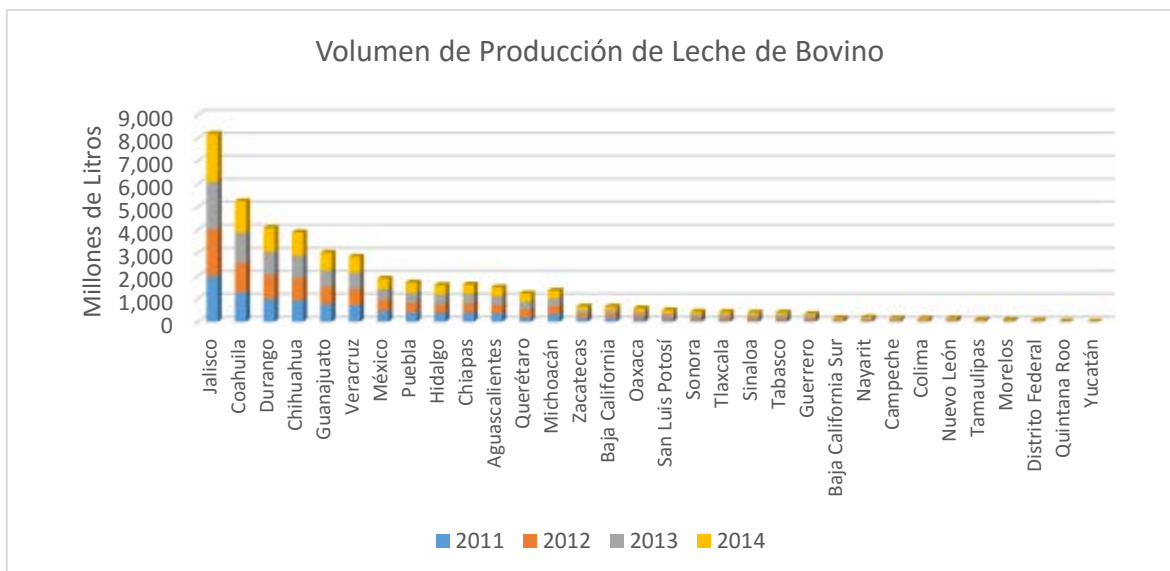


Figura 5. Volumen de producción de leche de bovino en México 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

Huevo para plato

México es el 5^{to} productor de huevo a nivel mundial y es autosuficiente en la producción de huevo fresco para consumo humano (Tabla 6). Sin embargo, el brote de influenza aviar en 2012, generó la necesidad de importar 12,979 toneladas de producto para asegurar el abasto, y ha continuado importando hasta 2015, alcanzando su nivel máximo en 2013 con 47 mil toneladas (Secretaría de Economía, 2016).

Tabla 6. Balanza comercial de huevo para plato (Fuente: Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA)

Huevo para plato	2014			Variación % (2013-2014)	
	Importaciones	Exportaciones	Saldo Balanza	Importaciones	Exportaciones
	26,744	19	-26,725	-43.5	-68.0
	46.7	0.3	46.3	-35.0	25.5
		Producción	Contribución de las exportaciones		
Huevo para plato		2,567,199	0.0%		
		3,885.1	0.0%		

La principal producción de huevo se da en Jalisco, que junto con Puebla abastecen el 72% de la demanda nacional (Figura 6). Y aunque el volumen de la producción creció solamente un 4% entre 2011 y 2014, el valor, por la situación de la importación, aumento un 61% en el mismo periodo.

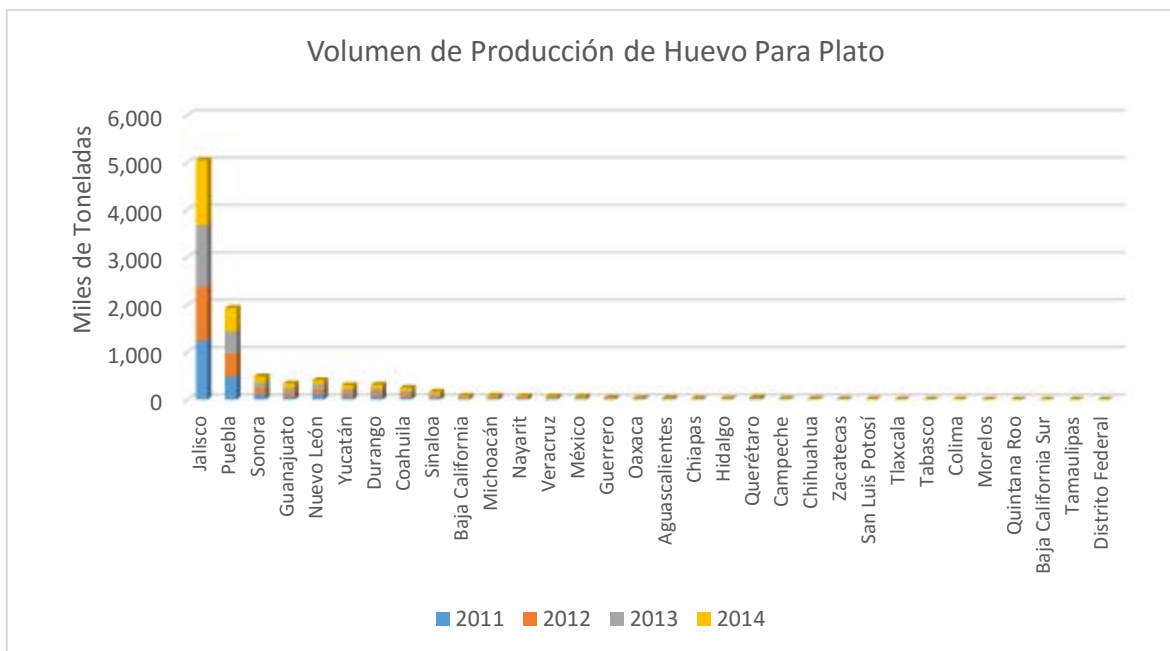


Figura 6. Volumen de producción de huevo para plato en México 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

Miel de Abeja

La miel es un artículo cuya producción se realiza de forma pulverizada y artesanal, más del 75% de los productores en México buscan complementar sus ingresos a través de esta práctica (Guzmán Novoa, 2004). En 2010 se reportaban un total de 41,000 apicultores existentes, con 1.8 millones de colmenas (ASERCA, 2010), lo cual representa en promedio 43 colmenas por apicultor. Para el 2015 el reporte era de 45,000 productores con 1.98 millones de colmenas, (SIAP, 2016) resultando en el mismo promedio. De esta forma cada colmena estaría produciendo anualmente cerca de 30 kilos de miel. Adicionalmente a esta situación, hasta el 2015 no existía una agrupación de apicultores que tuviera representatividad de todos los estados, dando pie a que hubiera distintos grupos diseminados en el territorio nacional, siendo la principal la Organización Nacional de Apicultores.

Dada esta situación, la mayor parte de la oferta de exportación se hace a través de acopiadores y para los mercados nacionales las grandes marcas realizan convenios con algunos productores, mientras que otros envían su producto a centrales de abasto.

Tabla 7. Balanza comercial de miel (Fuente: Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA)

Miel Natural	2014			Variación % (2013-2014)	
	Importaciones	Exportaciones	Saldo Balanza	Importaciones	Exportaciones
	0.3	39,154	39,153	-71.7	16.9
	0.003	147	147.047	-84.0	30.8

Miel Natural	Producción 2014	Contribución de las exportaciones
	60,624	64.6%
	169.2	86.9%

Actualmente más del 60% de la producción es de exportación (Tabla 7), donde el principal destino es Alemania, lo cual genera ciertas condiciones de demanda que deben ser resueltas para competir en este mercado. Una de estas situaciones es la característica de producción orgánica, que los consumidores aprecian más y están dispuestos a pagar un sobre precio por ella. Sin embargo, esto requiere controlar el entorno de alcance de cada colmena, lo cual puede resultar complicado. En Yucatán, principal productor nacional de miel, existe un conflicto entre los productores y la empresa Monsanto debido a la autorización de SAGARPA para sembrar soya transgénica, pues el polen que pudiera acarrear la abeja sería transgénico, lo cual limitaría sus posibilidades de comercialización.

Por otro lado, la amenaza de reducción en las poblaciones de abejas por distintos patógeno y pestes resulta cada vez presente ante la situación que prevalece a nivel mundial (Genersch, 2010)

Pesca

México cuenta con una Zona Económica Exclusiva de 3 millones 149 mil 920 km² en la que se desarrolla la actividad pesquera. En ella, año con año se capturan entre 1.2 y 1.5 millones de toneladas de especies, gracias a una flota pesquera que rebasa las ochenta mil embarcaciones, siguiendo un esquema de vedas diseñado para explotar sustentablemente la riqueza marina (Figura 7).

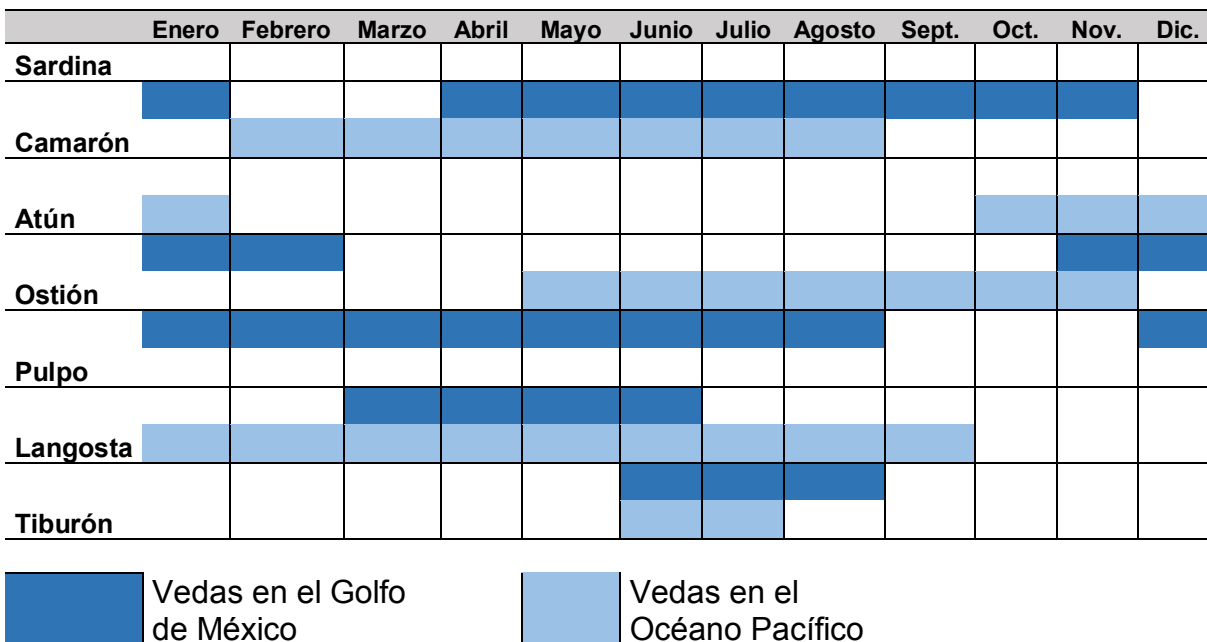


Figura 7. Vedas para distintas especies (Fuente Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca, 2014 CONAPESCA)

Las tres entidades federativas del país más importante por volumen en peso vivo por captura en el 2014 están en el litoral Pacífico: Sonora (507,736 toneladas), Sinaloa (339,227 toneladas) y Baja California Sur (159,670 toneladas).

En los últimos años la producción pesquera de captura tuvo un comportamiento positivo de 1.4% en el volumen y 6.8% en el valor. En el 2014, la producción pesquera en volumen fue de 1,426,949 toneladas mientras que su valor fue de 13,786 millones de pesos. El noroeste mexicano presenta una mayor vocación pesquera, esta región es líder en la producción de sardina, atún y camarón. Entre las especies de interés que generan el mayor valor de producción en miles de pesos se encuentran: camarón (3,573), atún (1,361), pulpo (1,073), langosta (639), guachinango (551) y el resto de las especies (6,589). Las principales especies capturadas son la macarela (42,779 toneladas), anchoveta (44,525 toneladas), camarón (71,178 toneladas), atún (154,074 toneladas) y sardina (562,872 toneladas) (SIAP/CONAPESCA, 2014).

El volumen de atún que México importa supera al comercializado con el exterior; no obstante los mayores precios de venta nacional determinan un saldo comercial favorable para el país por 94 millones de dólares. España es el país al cual se destina el mayor volumen de atún mexicano, mientras que los principales proveedores de las compras externas son Estados Unidos y Corea del Sur. Paulatinamente la actividad camaronícola mexicana está alcanzando sus niveles históricos de producción, para satisfacer parte de la demanda interna de camarón se adquirieron del exterior poco más de 22 mil toneladas en 2014. México es el 7°

productor mundial produciendo 127,517 toneladas por lo tanto aporta el 2.4% de la oferta internacional de camarón. El principal destino con un 97.4% exportado es a Estados Unidos (Atlas Agroalimentario, 2015).

Aguacate

México es el principal productor de aguacate a nivel mundial, donde en 2013, con 1.467 millones de toneladas, su seguidor más cercano era República Dominicana, con 0.387 (SAGARPA, 2015). Estados Unidos es el principal destino de este cultivo a donde se va el 80% de las exportaciones (Trademap, 2016) que en 2014 representaron el 49% del volumen cosechado. Es el tercer cultivo de importancia en México, detrás del maíz y la caña de azúcar, pero el valor de sus exportaciones es equivalente al total de la producción nacional (Tabla 8). Durante el periodo 2011 a 2014 el volumen de la producción creció un 20% y en relación con el 2003, ha tenido un incremento de casi 800%.

Tabla 8. Balanza comercial de aguacate (Fuente: Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA)

Aguacate	2014			Variación % (2013-2014)	
	Importaciones	Exportaciones	Saldo Balanza	Importaciones	Exportaciones
	73	746,967	746,894	-96.7	15.5
	0.1	1,622.7	1,622.6	-96.2	27.7
Aguacate	Producción 2014		Contribución de las exportaciones		
	1,520,695		49.1%		
	1,534.5		105.7%		

La liberación de la entrada de aguacate a Estados Unidos en 1997 junto con la implementación del tratado de América del Norte unos años antes, después de una prohibición de 83 años, ha permitido este crecimiento exponencial. El argumento, referente a la presencia de la mosca de la fruta en Michoacán fue desechado, lo cual dio paso a que éste estado se convirtiera en el principal productor, concentrando el 80% del total nacional (Figura 8), ya que es el único autorizado por la USDA. Aun así, el resto de los estados mexicanos no pueden exportar aguacate, aunque se está realizando la gestión para que Jalisco pueda hacerlo.

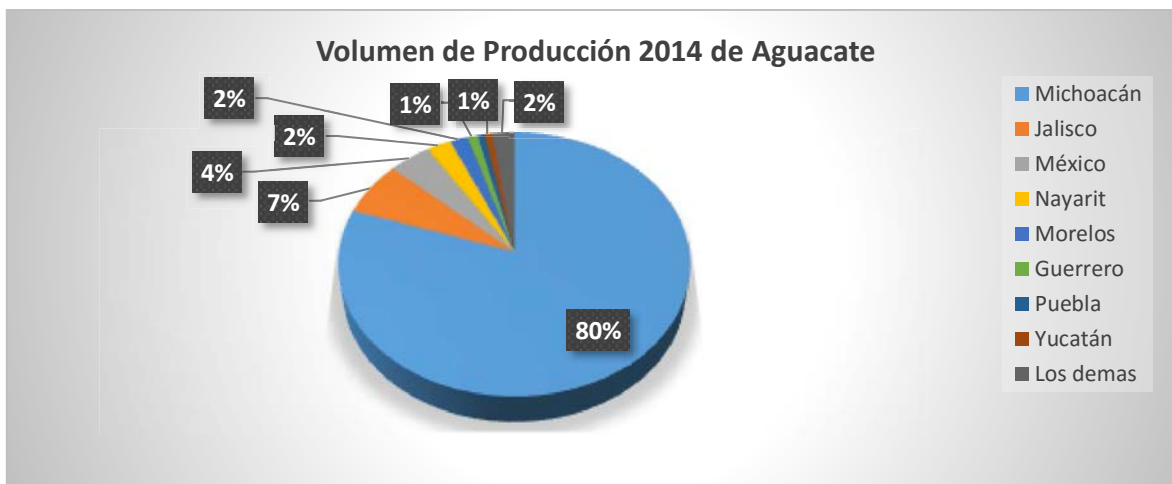


Figura 8. Distribución del volumen de producción de aguacate por estado en México 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

Granos

México produce una gran variedad de granos de muy alta calidad, actualmente ocupa el tercer lugar en producción de alimentos en Latinoamérica y el décimo segundo en el mundo. Los principales granos que México produce son: trigo, maíz, avena, arroz, amaranto, soya y centeno. Hasta el 2014, México destinaba aproximadamente 10 millones de hectáreas para su cultivo (SAGARPA, 2015).

La producción nacional de maíz en los últimos tres años se encuentra ligeramente por arriba del promedio. Sin embargo, son poco motivante para los productores los bajos precios internacionales. El estado con mayor producción de maíz en grano en México es Sinaloa con un 89% de la superficie sembrada con cultivo de riego, seguido por Jalisco y Michoacán. México es el 7º. Productor Mundial con 22,663,953 toneladas, el valor de las exportaciones de maíz grano en el 2014 alcanzó 137.3 millones de dólares, aunque el déficit en su balanza comercial fue de 1,921 millones de dólares (SAGARPA, 2015).

Un cereal de importancia alimentaria para México lo es el trigo grano, su producción superó al volumen anual cosechado en los últimos tres periodos dando como resultado de mayores volúmenes en Guanajuato, Sinaloa y Michoacán. Sonora es el estado con mayor valor de producción de trigo aportando casi 6 mil millones de pesos. Alrededor del 80% del trigo se destina para la industria de la panificación. En el ranking mundial del 2013, México aparece como 31º productor mundial de trigo con 3,357,307 toneladas que representa un 0.5% de la oferta mundial (SAGARPA, 2015).

El comportamiento favorable de la cosecha de avena grano en el año agrícola 2014, fue resultado del incremento de la superficie sembrada principalmente en Hidalgo. Más de la mitad de la producción de avena grano se cultiva en Chihuahua con un

volumen de 47,717 toneladas. En el 2014, las importaciones de avena grano fueron mucho mayores a las exportaciones, por lo que se presentó un déficit comercial de casi 53 millones de dólares (SAGARPA, 2015).

El incremento del volumen de arroz cosechado en el país durante 2014, es resultado de una mayor superficie sembrada y mejores rendimientos. El estado líder en este cultivo es Nayarit con el 19.5% del valor de la producción seguido Michoacán y Veracruz con un 16.3% y 14.8%, respectivamente (SAGARPA, 2015).

En los últimos diez años se registró la producción más alta de amaranto, siendo Tlaxcala y Puebla los estados que aportan 87% del volumen nacional. El valor de las exportaciones de amaranto en el 2014 fue de 132 mil dólares lo que indica que el mercado del amaranto creció casi 52% con respecto al año anterior (SAGARPA, 2015).

En 2014, el volumen cosechado de soya alcanzó un excelente nivel, resultado del incremento de la superficie sembrada, principalmente en Campeche, Tamaulipas, Veracruz y Sonora. Tamaulipas es líder en volumen y valor de la producción de la oleaginosa generando 791 millones de pesos en el 2014 (SAGARPA, 2015).

Chile Habanero

Hasta hace algunos años la producción de chile habanero se había concentrado (97%) en los estados del sureste de México, con el estado de Yucatán a la cabeza. Sin embargo, a pesar de la denominación de origen, otros estados han iniciado una participación activa en generar un mayor volumen de producción, cuestión que puso a Tabasco a la cabeza de la producción nacional desde el 2012 (Figura 9). Aun con ello, solo 14 estados del total nacional generan este cultivo.

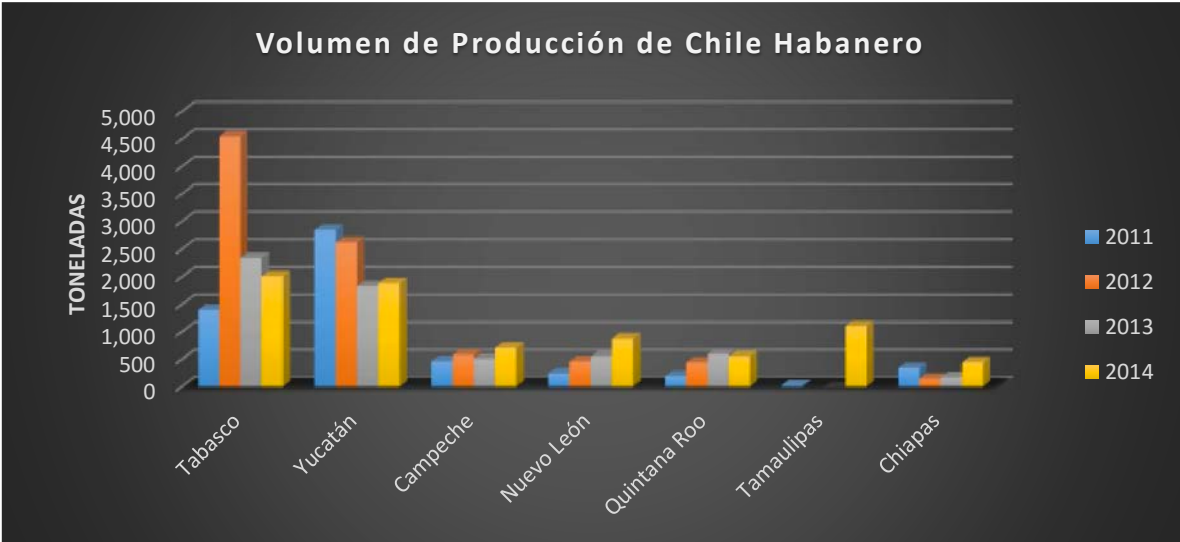


Figura 9. Volumen de producción de chile habanero por estado del 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

La cipermetrina, carbendazim, tiofanato-metilo, piridaben, triazofos, folpet, metamidofos y acefato son solo algunos de los plaguicidas encontrados por la FDA en chiles habaneros que entran a Estados Unidos y que han causado la detención del producto (US Food And Drug Administration -FDA , 2016). Aunque no todos han procedido de México, ya que Republica Dominicana también exporta el producto, lo cierto es que el uso local de ciertos plaguicidas, y que son prohibidos en otros países, ha sido una de las prácticas de los campesinos yucatecos y que han limitado su crecimiento (Ríos Urcelay, 2015).

Ya que en muchos casos estos chiles son utilizados para fabricar salsas, cuando un lote está contaminado con un plaguicida, o con otro compuesto químico, es posible que el problema se esté trasladando al siguiente eslabón de la cadena. En el año 2004 la Corte Superior del Estado de California estableció una serie de lineamientos tanto para procesadores de dulces picantes mexicanos, como para proveedores de chile en polvo, debido a que consideró que contenían plomo en exceso de lo establecido por la normatividad existente (People of the State of California vs Alpro Alimento Proteinicos et al., 2004). Es posible que parte del plomo existente en los chiles procedan de los campos mismos, que en algún momento fueron regados con aguas contaminadas (Sánchez, 2011) y que fueron absorbidos por la planta y expuesto en el fruto (Antonious & Kochhar, 2009). El resultado de la contaminación fueron pérdidas millonarias por el cierre temporal de fronteras a dulces mexicanos y el establecimiento de procedimientos de análisis por laboratorios certificados

Frutillas (Berries)

Las frutillas o berries, como se le conoce en el lenguaje común, se refiere a las frutas comestibles que no se cultivaban sino que crecían en arbustos silvestres, y no a lo que en botánica puede confundirse con bayas. Estas comprenden, entre otras, al arándano (arándano rojo), blueberry (mora azul), frambuesa, fresa y zarzamora. Aunque estas plantas no son nativas de México, y en su mayoría proceden de Estados Unidos, se han logrado adaptar a sus distintas condiciones de cultivo a través del uso de la tecnología en el desarrollo de variedades y de aplicaciones en el campo.

Fresa

Uno de los primeros de estos cultivos que se desarrolló en el país fue la fresa, en el año de 1960, con la introducción de instalaciones de congelamiento a la ciudad de Irapuato en Michoacán (Runsten, 1994) donde se desarrollaron a los productores bajo el esquema de cultivo por contrato.

La fresa en fresco o congelada está señalada como uno de los cultivos más peligrosos en términos de inocuidad (Centers for Science in the Public Interest, 2012). En Estados Unidos y Alemania existen casos de Hepatitis A, Norovirus y *E. coli* O157:H7 asociados con el consumo de la fruta importada.

En el 2014 México se colocó como el tercer exportador de fresa en fresco a nivel mundial (Trademap, 2016), donde los municipios de Ensenada (Baja California) y Zamora (Michoacán) tuvieron la mayor participación como productores (Figura 10).

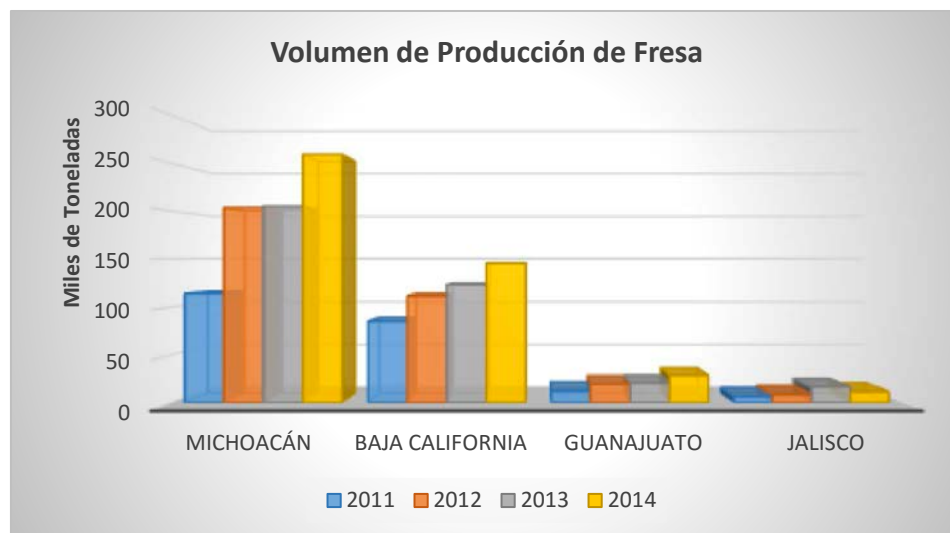


Figura 10. Volumen de producción de fresa de los principales estados 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

En términos de exportación, Estados Unidos es el principal destino de la fruta, fresca y congelada (Tabla 9).

Tabla 9. Balanza comercial de fresa fresca y congelada (Fuente: Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA)

Fresa	2014			Variación % (2013-2014)		
	Importaciones	Exportaciones	Saldo Balanza	Importaciones	Exportaciones	Producción
	19,234	247,856	228,621	0.4	7.6	458,972
	33.2	456.4	423.2	-1.5	18.9	

Arándano, Blueberry, Frambuesa, y Zorzamora

Con respecto al resto de la berries, ha sido la Zorzamora la que mayor tiempo se ha cultivado, donde en 1985 se iniciaron los trabajos de introducción en el estado de Morelos (Perez Barraza & Vazquez Valdia, 2004) y para 1993 ya existían 380 hectáreas cultivadas en Michoacán. De ahí que sea la que mayormente se produce (figura 11).

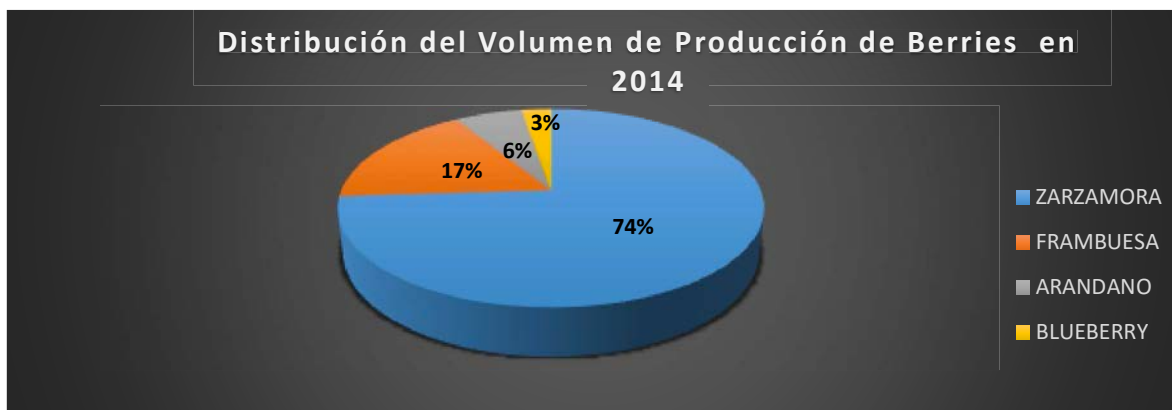


Figura 11. Participación en el volumen de producción de los distintos tipos de berries (Fuente: Sistema de Información Agroalimentario y Pesquera, 2014)

En 2014 Michoacán reportó 11,891 hectáreas sembradas (SIAP, 2016), lo cual equivalía al 95% de la superficie nacional. Donde solo Jalisco y Colima añaden un volumen significativo a la producción total de 152,921 toneladas, con poco menos del 4% entre ambos (Figura 12).

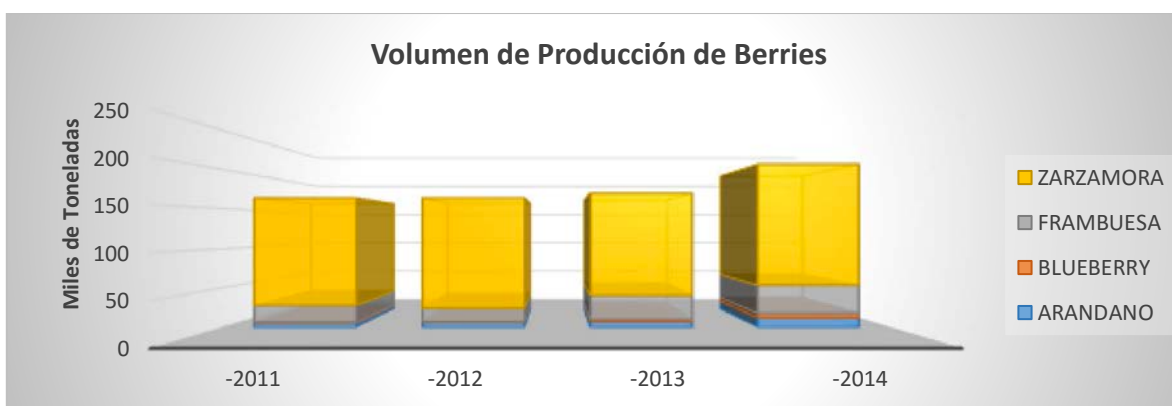


Figura 12. Volumen de producción de los distintos tipos de berries (Fuente: Sistema de Información Agroalimentario y Pesquera, 2014)

El cultivo de Frambuesa es uno de los recién llegados a México, con aproximadamente 15 años de haber iniciado, seguido del arándano y blueberry con 10, donde además de Michoacán, se destacan las producciones de Jalisco, Colima y Baja California. La producción total de berries en el 2014 fue de 206,579 toneladas (Tabla 10).

Tabla 10. Balanza comercial de berries frescas y congeladas (Fuente: Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA)

Berries	2014		Saldo Balanza	Variación % (2013-2014)		
	Imp.	Exp.		Imp.	Exp.	Producción
	870	132,057	131,186	0.5	24.3	206,579
	4.1	742.4	738.4	23.3	30.2	

A diferencia de la fresa, dadas sus condiciones de cultivo donde el fruto crece en el árbol en lugar de ser a nivel de tierra, las berries tienden a presentar una mayor contaminación por pesticidas y por otros agentes aerobios como la ciclospora. (Center for Disease Control and Prevention, 2016)

Cítricos

Los cítricos en México comprenden diferentes cultivos, aunque los principales, de acuerdo al volumen de producción, son naranja, limón, toronja y mandarina, cada uno con distintas variedades. Los cuales han adquirido importancia no solo como alimento en fresco, sino también por la diversidad de aplicaciones en diferentes tipos de industrias.

A nivel internacional, de acuerdo con datos de la FAO, México ocupó los primeros lugares de producción en cada uno de estos cultivos (Tabla 11). Aunque la mayor parte del producto en fresco se destina a los mercados nacionales, y solo en limón se tiene una participación destacable (Tabla 12), donde México es el segundo exportador a nivel mundial. Aunque en 2014 se reportó (Trademap, 2016) que el 93% del volumen exportado tuvo como destino Estados Unidos y 6% a la Unión Europea, y donde el limón persa es la principal variedad exportada.

Tabla 11. Principales países productores de cítricos (Fuente: FAO, 2013)

Volumen de Producción 2013 (Toneladas)					
Limón		Naranja		Toronja	
India	2,523,500	Brasil	17,549,536	China	3,802,324
México	2,138,737	EE.UU.	7,574,094	EE.UU.	1,074,108
China	1,937,880	China	7,469,840	Vietnam	439,602
Argentina	1,301,902	India	6,426,200	México	425,433
Brasil	1,169,370	México	4,409,968	Sudafrica	325,746

Tabla 12. Balanza comercial de cítricos frescos (Fuente: Atlas Agroalimentario 2015, SAGARPA)

	2014			Variación % (2013-2014)		
	Imp.	Exp.	Saldo Balanza	Imp.	Exp.	Producción
Limón	2,887	525,482	522,595	137.9	-1.5	2,187,257
	2.8	373.2	370.4	197.0	30.4	
Naranja	26,179	48,998	22,819	-6.2	67.9	4,533,428
	8.4	19.6	11.2	1.9	133.9	
Toronja	1,725	14,325	12,600	-22.6	-18.5	424,678
	0.4	5.1	4.7	-24.9	-47.5	

En términos de producción, el estado de Veracruz es el principal productor del cítricos del país, seguido de Tamaulipas y Michoacán (SIAP, 2016). Produciendo más del 50% del total de naranja Valencia y limón persa. Michoacán por su parte es el productor principal de limón agrio (mexicano). Cabe mencionar que la producción de Colima de este último cultivo, aunque es el segundo productor nacional, se ha visto diezmada desde el 2010 por la bacteria del Huanglongbing (HLB) la cual redujo la producción al 50%. Las Figuras 13 a la 15 muestran los principales estados productores de limón, naranja y toronja de acuerdo a su volumen de producción y en el total de variedades.

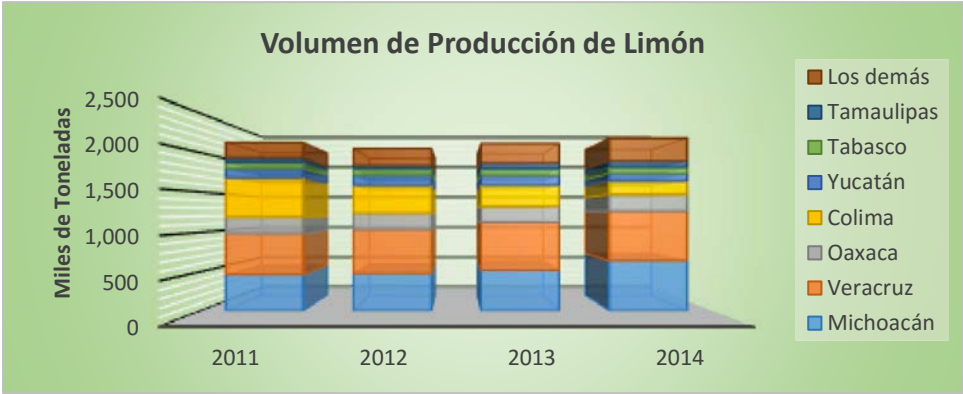


Figura 13. Volumen de producción de limón de los principales estados 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

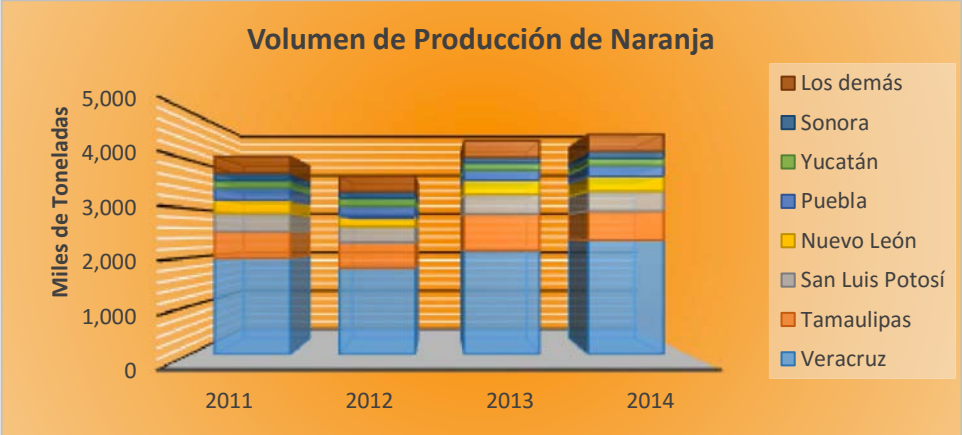


Figura 14. Volumen de producción de naranja de los principales estados 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

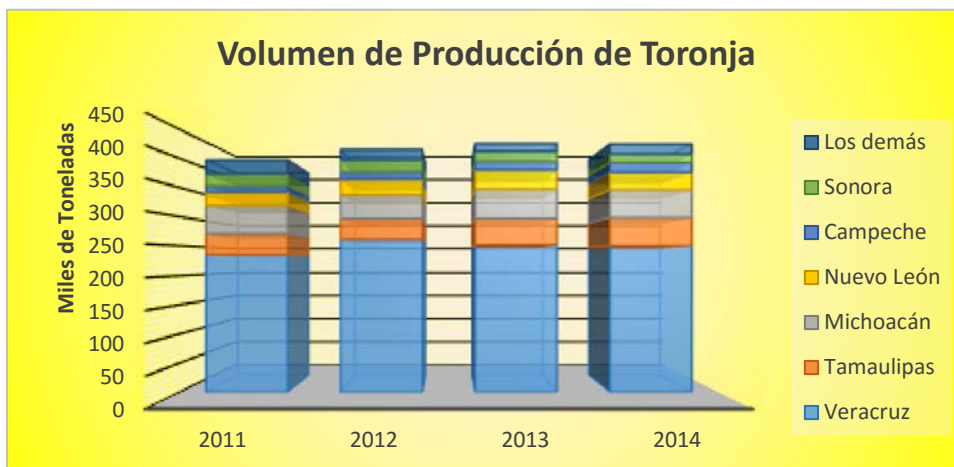


Figura 15. Volumen de producción de toronja de los principales estados 2011-2014 (Fuente Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2014).

Conclusiones

El valor del mercado interno resulta muy superior al valor de exportación de los principales productos agropecuarios, sin embargo representa una entrada de divisas importante para el país y una oportunidad de mejorar las condiciones de vida de muchos productores. Fomenta además la adopción de tecnologías y estándares de operación que permiten una mayor inocuidad. Los cultivos con mayor nivel de exportación han crecido en prácticas que benefician también la salud del consumidor nacional. Dada la variedad de cultivos que existen en el país, la capacidad de producción y las regiones del mundo en las cuales México aún no tiene una presencia notable, el implementar medidas a nivel nacional que aseguren la inocuidad bajo estándares internacionales, es una inversión que permitirá aspirar a mercados de mayor valor.

Bibliografía

- Antonious, G., & Kochhar, T. 2009. Mobility of Heavy Metals from Soil into Hot Pepper Fruits: A Field Study. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 82(1), 59-63.
- ASERCA. 2010. Situación y Perspectiva de la Apicultura en México. *Claridades*, 30-33.
- Banco de México. 2016. *Banco de México*. Obtenido de Balanza comercial de mercancías de México : <http://www.banxico.org.mx>
- Center for Disease Control and Prevention. 2016. *Center for Disease Control and Prevention*. Obtenido de U.S. Foodborne Outbreaks of Cyclosporiasis—2000–2014: <http://www.cdc.gov/parasites/cyclosporiasis/outbreaks/foodborneoutbreaks.html>

- Centers for Science in the Public Interest. 2012. *The Ten Riskiest Foods Regulated By The U.S. Food And Drug Administration*. Washington: Centers for Science in the Public Interest.
- Dou, L., Yanagishima, K., Li, X., Li, P., & Nakagawa, M. 2015. Food safety regulation and its implication on Chinese vegetable exports. *Food Policy*, 57, 128-134.
- Gaul, M., & et al. 2013. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe—a review. *Animal*, 7(5), 843-859.
- Genersch, E. 2010. Honey bee pathology: current threats to honey bees and beekeeping. *Applied microbiology and biotechnology*, 87(1), 87-97.
- Guzmán Novoa, E. 2004. La Investigación Apícola en México. *Imagen Veterinaria*, 4(2), 44-48.
- People of the State of California vs Alpro Alimento Proteinicos et al., BC 318207 (Suprema Corte del Estado de California 09 de 07 de 2004).
- Perez Barraza, M., & Vazquez Valdia, V. 2004. *Zarzamora (Rubus spp), Su Cultivo y Producción en el Trópico Mexicano*. Santiago Ixcuincla: INIFAP.
- Ríos Urcelay, M. A. 2015. Producción de chile habanero requiere cambios para su exportación. (J. C. Gutiérrez Castillo, Entrevistador) Mérida, Yucatán, México: Notimex. Recuperado el 09 de 03 de 2016
- Rubio Lozano, M. S. 2013. Detection of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* and *Yersinia enterocolitica* in beef at points of sale in Mexico. *Rev. mex. de cienc. pecuarias (online)*, 4(1), 107-115. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000100009&lng=es&nrm=iso
- Runsten, D. 1994. Transaction Costs in Mexican Fruit and Vegetable Contracting: Implications for Asociación en Participación., 10, pág. 12. Atlanta.
- SAGARPA. 2015. *Atlas Mundial Agroalimentario*. Ciudad de México.
- Sánchez, A. C. 2011. *La Jornada*. Obtenido de <http://www.jornada.unam.mx/2011/03/12/estados/032n1est>
- Secretaría de Economía. 2016. Obtenido de Sistema de Información Arancelaria Via Internet (SIAVI): <http://www.economia-snci.gob.mx/>
- SIAP. 2016. *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de <http://www.siap.gob.mx/poblacion-ganadera/>
- Trademap. 2016 Obtenido de Trade statistics for international business development: <http://www.trademap.org/>
- United Nations. (06 de 03 de 2016). *UN Comtrade Database*. Obtenido de <http://comtrade.un.org/data/>
- Unnevehr, L. 2015 Foodsafety in developing countries: Moving beyond exports. *Global Food Security*, 4, 24-29.
- US Food And Drug Administration -FDA . (06 de 03 de 2016). *Import Alerts By Country*. Obtenido de http://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/country_MX.html

Sistemas para Garantizar la Inocuidad de alimentos

Ramírez-Cerda Elsa L.¹, Alvarado-Osuna Claudia^{2*}

¹Servicios Analíticos y Metrológicos, Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, Jal. ²Unidad de Biotecnología Industrial Camino al Arenero 1227, El Bajío del Arenal, Zapopan, Jal. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. *Correspondencia: calvarado@ciatej.mx

Resumen

“Todas las personas tienen derecho a esperar que los alimentos que comen sean inocuos y aptos para el consumo” reza la declaración sobre inocuidad alimentaria plasmada en el CODEX Alimentarius. Sin embargo en la práctica se tienen registrados miles de intoxicaciones e infecciones de origen alimentario solamente en México. ¿Cómo evitar infecciones, como alcanzar los estándares de inocuidad? El presente capítulo incluye una breve introducción a los sistemas para garantizar la inocuidad alimentaria tanto certificaciones nacionales: TIF, México Calidad Suprema y los sistemas de reducción de riesgo de SENASICA, como las internacionales: HACCP, SQF e ISO 22000. Se mencionarán los retos que representan para las empresas y microempresas mexicanas la búsqueda, implementación y mantenimiento de acciones para garantizar que los alimentos producidos no ocasionarán enfermedades a los consumidores. Finalmente se mencionarán algunas estrategias para transmitir el conocimiento sobre inocuidad alimentaria que ha resultado beneficiosas de acuerdo a la experiencia de CIATEJ.

Introducción

El CODEX ALIMENTARIUS plasma las aspiraciones esenciales de cualquier sistema de inocuidad de alimentos: “Todas las personas tienen derecho a esperar que los alimentos que comen sean inocuos y aptos para el consumo. Las enfermedades de transmisión alimentaria y los daños provocados por los alimentos son, en el mejor de los casos, desagradables, y en el peor pueden ser fatales”. Sin embargo dada la enorme diversidad de tipos de alimentos, ambientes, niveles educativos del personal que manipula los productos, así como costumbres y recursos, la puesta en práctica de tal aspiración resulta de mayor complejidad que lo esperado.

En la actualidad la globalización y el comercio internacional están influyendo para que los temas de calidad e inocuidad sean un factor determinante para la competitividad y la permanencia de las empresas a largo plazo. Esto ha ocasionado que se incrementen las exigencias de la autoridades y de los mismos mercados para que se cumplan los requisitos de inocuidad alimentaria, siendo más fuerte para quienes están en el mercado internacional y quienes sean proveedores de empresas transnacionales y líderes en el mercado.

Para asegurar la inocuidad del alimento, en cada uno de los eslabones de la cadena productiva es necesario implementar acciones que ayuden a prevenir y controlar la presencia de posibles peligros químicos, microbiológicos, físicos o radiológicos que pudieran incorporarse de manera no intencional durante su proceso productivo. Una alternativa para lograrlo es implementando un sistema de gestión de inocuidad de alimentos. Aunque todos los sistemas tienen el mismo objetivo que es garantizar alimentos inocuos, las guías en las que se basa la premisa son dispersas y diferentes. La selección del sistema adecuado para cada empresa es un reto que deben resolver los empresarios, quienes en la mayoría de las ocasiones se enfrentan al desconocimiento y desinformación sobre los códigos de inocuidad y tornando la decisión en un conflicto. En esta sección se abordarán los sistemas de gestión de inocuidad más representativos en México, los elementos básicos de su estructura, pros y contras así como algunas problemáticas comunes presentadas en empresas mexicanas de alimentos.

Retos de la implementación en empresas alimentarias establecidas

En México, aproximadamente un 20% de las micro, pequeñas y medianas empresas del sector alimentario “están aplicando” un sistema de gestión de inocuidad y calidad alimentaria; otro porcentaje similar apenas se está preparando para hacerlo; mientras que el resto no lo hace o no sabe sobre el tema.

Lo que marca la pauta para implementar estos sistemas es el mercado, cuando el empresario tiene la necesidad de acceder a una cadena comercial o exportar, busca el programa de Inocuidad Alimentaria más adecuado a sus necesidades.

Entre las problemáticas que enfrenta la micro y pequeña industria mexicana cuando decide trabajar en la inocuidad se encuentran con que la mayoría de las veces el propietario no cuenta con los conocimientos en tecnología de alimentos, sanidad, o microbiología lo que dificulta entender algunos conceptos. Los establecimientos no son apropiados en su diseño o construcción y los defectos frecuentes están relacionados con la falta de higiene del personal, con el manejo del alimento sin empleo de guantes y con un diagrama de flujo del personal sumamente accidentado que ocasiona contaminación cruzada.

En base a experiencias directas con este tipo de empresas se favorece iniciar con programas de inocuidad sencillos, basados en HACCP que además incluyan elementos muy básicos sobre Organigrama de puestos (niveles de autoridad), definir reglas claras, que el encargado de inocuidad mantenga una canal de comunicación directo con gerencia o dirección. Personal destinado exclusivamente para la limpieza, disponer de guías o documentos en español, impartir capacitación en inocuidad de manera constante.

Empresas grandes: Pueden incorporar sistemas avanzados (SQF, FSSC22000, BRC), solo es importante verificar el Organigrama de puestos y el personal

responsable de Inocuidad debe reportar directo a la dirección, no depender de Control de Calidad.

Certificaciones Nacionales

En México existen normas asociadas a la inocuidad de alimentos, siendo dos los organismos que las regulan. Para el sector primario se promueve la aplicación y certificación de los sistemas de reducción de riesgos de contaminación de los alimentos. Esto es a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica), órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). A su cargo tiene el tema de reducción de riesgos de contaminación en frutas y verduras, productos pecuarios y otras muy específicas como las Buenas Prácticas en el Manejo y Envasado de la Miel y las Buenas Prácticas Pecuarias (leche y otros productos).

Actualmente se han posicionado 3 sellos de certificación que son sinónimo de calidad, inocuidad, higiene y buenas prácticas en el sector agroalimentario mexicano: México Calidad Suprema, Certificación Tipo Inspección Federal y México-GAP (Good Agricultural Practice). Este último es homologado al EurepGAP y es operado por México Calidad Suprema.

Para la parte de alimentos procesados, la dependencia es la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), que es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud. Se rige con la NOM-251-SSA1-2009 que define las directrices para garantizar la inocuidad a través de las prácticas de higiene durante el proceso de alimentos, bebidas y suplementos alimenticios. En este documento se contempla la aplicación de sistemas de gestión que cuiden la inocuidad como el HACCP. Se trata de una recomendación más formal, sin embargo todavía no es obligatoria, si bien ya existe el marco legal como la Ley de Sanidad Animal así como en la Ley de Sanidad Vegetal donde se señala que los alimentos tienen que tener algún sistema de reducción de riesgo de contaminación, trazabilidad, etc. En este momento solo es obligatoria para moluscos y productos del mar.

Para ello el sector gubernamental nacional ha desarrollado normas que garanticen la calidad e inocuidad de los alimentos que se comercializan, así como sellos de diferenciación de producto.

Certificación Tipo Inspección Federal (TIF)

La certificación TIF es un reconocimiento de inocuidad e higiene voluntario otorgada por la SAGARPA a los establecimientos que sacrifican, producen, procesan, almacenan y/o distribuyen alimentos cárnicos y sus derivados al cumplir con los requisitos establecidos en el siguiente marco regulatorio:

- NOM-008-ZOO-1994, especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de los establecimientos para el sacrificio de los animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos.
- NOM-009-ZOO-1994, regula el proceso sanitario de la carne.
- NOM-033-ZOO: Requisitos referentes al sacrificio humanitario de animales.
- Ley Federal de Sanidad Animal
- Reglamento para la Industrialización Sanitaria de la Carne, que establece lineamientos generales sobre el proceso de la carne.

Consiste en un conjunto de medidas, controles y vigilancia de la calidad higiénico-sanitaria de los bienes de origen animal, de sus instalaciones, equipo y proceso productivo para que se ajusten a las disposiciones de sanidad animal y de buenas prácticas pecuarias. Para ello cuenta con manuales de inspección, algunos de ellos fueron desarrollados siguiendo los lineamientos que solicitaron los países importadores de productos como el gobierno norteamericano a través de la APHIS/USDA.

El primer requisito para poder ser elegible de exportar carne o productos cárnicos es contar con la certificación TIF. México tiene firmados acuerdo de reconocimiento de equivalencia entre los sistemas de inspección veterinaria con Estados Unidos, Japón y Canadá que le da una aceptación internacional. Bajo este esquema y previo acuerdo con la autoridad sanitaria de ambos países, el país de destino reconoce como equivalente al sistema de inspección veterinario mexicano, lo que le permite a los establecimientos ser autorizados desde el país de origen sin necesidad de visita por parte de la autoridad sanitaria del país de destino. La vigilancia sanitaria por parte del país de destino, se efectúa mediante auditorias anuales al Sistema de Inspección Veterinaria del país de origen a fin de constatar el cumplimiento y aplicación de las disposiciones normativas establecidas por el país de destino.

También es factible exportar a países con los cuales no se cuenta con equivalencia entres sistemas de inspección veterinaria. Bajo este esquema los establecimientos son inspeccionados uno a uno por la autoridad sanitaria del país de destino. Las visitas de inspección son atendidas en base a la solicitud efectuada por la autoridad sanitaria del país de origen. Los establecimientos son evaluados individualmente y como resultado de la visita de inspección pueden o no ser autorizados como elegibles para exportar. Por lo general la autorización otorgada a cada establecimiento tiene una vigencia de dos años.

Para que una planta sea reconocida y verificada como TIF debe cumplir con los criterios de instalaciones, maquinaria de trabajo, origen de las materias primas, , buenas prácticas de manufactura o manejo, HACCP, Procedimientos de Operación Estándar de Sanidad (POES), control de proceso de producción y empaque, así como personal capacitado.

De acuerdo a la Asociación Nacional de Establecimientos Tipo Inspección Federal (ANETIF) en el 2015 se encuentran registrados 422 establecimientos TIF activos,

de los cuales los exportadores comercializaron subproductos cárnicos mexicanos de las especies bovina, porcina, equina, caprina, y avícola, así como ovoproductos a 50 países con destinos principales a EEUU, Japón, Corea, la Unión Europea, Guatemala, Vietnam y Hong Kong.

Entre los beneficios que se obtienen con la certificación es que se permite la movilización dentro del país de una manera más fácil ya que cuenta con la garantía de la calidad sanitaria con la que fue elaborado el producto y las posibilidades de exportación.

Certificación México Calidad Suprema (MCS)

Es un reconocimiento voluntario por el cual se asegura que un producto, proceso, sistema o servicio mexicano se ajusta a las normas, lineamientos o recomendaciones de organismos dedicados al establecimiento de normas nacionales o internacionales. El SENASICA en conjunto con MCS ha concretado estrategias de certificación y supervisión de las buenas prácticas de manejo, para asegurar que los productos estén libres de plagas y agroquímicos no permitidos. La organización que se adhiere a este esquema es auditada bajo pliegos de condiciones específicos para cada producto (Tabla 1), en los cuales se establecen los parámetros y reglas mínimas, así como características que deberá cumplir en materia de inocuidad (buenas prácticas de producción, agrícola, acuícola y pecuaria), sanidad (requisitos fito y zoonosanitarios, cumplimiento de normas en materia de control de plagas y enfermedades en frutas, hortalizas y animales) y calidad basada en atributos como: color (madurez, grados brix), tamaño (calibre, diámetro, peso), defectos (deformaciones, materias extraña, consistencia, daños causados por humedad, golpes, cicatrices, heridas, quemaduras por sol) textura y empaque, entre otros. Los requisitos de SENASICA son la parte fundamental del pliego de condiciones ya que cubren el 60 % de los requisitos

Tiene como alcance la certificación de productos pecuarios, acuícolas y agroalimentarios y aplica a productores, empacadores y procesadores. Mediante esta marca oficial se busca distinguir los productos alimentarios de la mejor calidad y facilitar el intercambio comercial.

Los requisitos generales para lograr la certificación y el uso de la marca oficial MCS son:

- Conocer los documentos normativos de México Calidad Suprema:
 - Pliego de condiciones específico al producto
 - Manual de Uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema
 - Puntos de Control y Criterios de Cumplimiento de MCS
 - Lista de verificación
- Aplicar los puntos de control de calidad, inocuidad y sanidad que indican los documentos normativos en la producción, cosecha y empaque de frutas y hortalizas y hacer una autoevaluación previa a la auditoría de certificación

- Gestionar con organismo aprobado auditoria al sistema de aseguramiento de calidad, inocuidad y sanidad. Esta puede incluir pruebas al producto.
- En base al informe de la evaluación, realizar acciones correctivas

Tabla 1. Principales pliegos de condiciones evaluados por el esquema de México Calidad Suprema (<http://mexicocalidadsuprema.org/> consulta mayo 2016).

Productos origen vegetal		Productos origen animal	Otros
Aguacate	Limón Persa	Atún	Aceite de Cártamo
Ajo	Mandarina	Carne De Bovino	Arroz
Apio	Mango	Camarón	Leche
Berenjena	Manzana	Carne De Cerdo	Miel
Brocoli	Naranja	Tilapia	Mole
Café verde	Nopal	Trucha Arcoiris	
Cebollín	Pepino		
Chayote	Perejil		
Chile Poblano, Serrano y Jalapeño	Pimiento Morrón		
Cilantro	Piña		
Coliflor	Plátano Cavedish		
Ejote	Plátano Dominico		
Espárrago	Sandía		
Frambuesa	Tomate		
Lechuga	Tuna		
Lechuga	Uva de mesa		
Limón Mexicano			

Los productores pueden elegir entre diferentes organismos de certificación como: ANCE, Normex, SGS, Primuslab, Cofocalec, Farming global services, Ocetif, Cosafi, IMNC, CIAD, Organismo de certificación de uva de mesa de Sonora, Bureu Veritas, Factual services. MCS tiene alianzas con sistemas de certificación internacional como GLOBAL GAP y SQF, lo que permite que los productores tengan una certificación comercial requerida por compradores e importadores.

Para el caso de productos agrícolas (frutas y hortalizas), productos pecuarios y acuícolas, se establece como prerequisite el cumplimiento de los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación de SENASICA/SAGAPRA, la implementación del programa buen uso y manejo de agroquímicos y herramientas metodológicas basadas en puntos de control y criterios de cumplimiento durante la

producción primaria, empaque y cosecha. Así como la certificación TIF para las plantas congeladoras y/o procesadoras de productos de origen animal.

Sistema de Reducción de Riesgos de Contaminación

Los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación del SENASICA, (SRRC) son las medidas y procedimientos establecidos por la Secretaría en normas oficiales Mexicanas y demás disposiciones legales aplicables para garantizar que, durante el proceso de producción primaria, los productos de origen agrícola, pecuario, acuícola y pesquero obtienen óptimas condiciones sanitarias al reducir contaminación física, química y microbiológica a través de la aplicación de Buenas Prácticas.

Las empresas y productores dedicados a la producción primaria de productos agrícolas este Sistema se implementa bajo las modalidades de Campo, Cosecha, Empaque, Áreas Integrales y Áreas con Aplicación de Buen Uso y Manejo de Agroquímicos.

Para la producción y procesamiento primario de alimentos de origen Pecuario están disponibles recomendaciones plasmadas en los Manuales de Buenas Prácticas que edita el SENASICA, aplicables para los siguientes programas de Certificación:

* Buenas Prácticas de Producción

- Engorda de ganado bovino en confinamiento
- Leche Bovina
- Leche Caprina
- Granjas Porcícolas
- Pollo de Engorda
- Huevo para Plato
- Carne de Conejo

* Buenas Prácticas de Manufactura

- Manejo y Envasado de Miel

En lo que respecta a la producción y Procesamiento Primario de Alimentos de origen Acuícola y Pesquero actualmente se encuentran en marcha los siguientes programas de Reconocimiento:

* Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia, Trucha, Bagre, Camarón y Moluscos Bivalvos

* Buenas Prácticas de Manufactura en el Procesamiento Primario de Productos Acuícolas

* Buenas Prácticas de Manejo Abordo para Embarcaciones Camaroneras

Para participar en el programa voluntario sobre el sistema se deben seguir los siguientes pasos:

1. Registrar oficialmente a la empresa agrícola en la página web de SENASICA (<http://senasica.gob.mx/?id=3451>) y hacer de su conocimiento que ha iniciado con la implementación de los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación en la producción primaria de productos de origen agrícola, en las unidades productivas que la integran o áreas integrales e imprimir los números de registro asignados a la empresa y a las(s) sección(es) de campo, cosecha y/o empaque.

2. Asignar un responsable del SRRC, encargado de la aplicación y seguimiento de las actividades relacionadas con el sistema en la producción primaria de alimentos de origen agrícola.

3. Implementar un programa de Reducción de Riesgos de Contaminación en la(s) sección(es) de campo, cosecha y/o empaque de acuerdo a lo establecido en los requisitos para la implementación de los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación en la producción primaria de alimentos de origen agrícola.

La evaluación a los productores es realizada por terceros especialistas autorizados por el SENASICA.

Certificaciones Internacionales

En los principales gobiernos compradores se ha detectado un aceleramiento en la búsqueda de normativas que garanticen la inocuidad de los alimentos que se comercializan y se consumen, con el objetivo final de proteger la salud del consumidor. Para ello se encuentran disponibles varios esquemas con reconocimiento internacional que son aplicados por empresas mexicanas como: EurepGAP, Global GAP, TESCO, SQF, Prosafe, ISO 22000, David fresh technologies, entre otros.

En general los procesos de certificación implican:

- Gran esfuerzo e inversión de tiempo y dinero
- Organización y sistematización de los procesos de producción
- Adecuaciones estructurales y organizativas
- Educación y capacitación
- Desarrollo e innovación tecnológica

En mayo de 2000, un grupo de minoristas internacionales identificó la necesidad de mejorar la inocuidad alimentaria, garantizar la protección y el fortalecimiento de la seguridad del consumidor. Por este motivo, trataron de establecer una herramienta para la armonización de las normas mundiales de inocuidad alimentaria que podría proporcionar mejoras en la eficiencia de costos en toda la cadena de suministros. The Food Business Forum, es una red independiente de comercializadores de productos basados en la paridad, tiene más de 400 miembros que representan a 70 países desarrolló una plataforma para ayudar a las partes interesadas a trabajar juntos con el fin de:

- Reducir los riesgos de la inocuidad alimentaria
- Proporcionar productos de mejor calidad para los consumidores
- Aumentar la transparencia entre todos los eslabones de la cadena alimentaria

Así surgió la Global Food Safety Initiative (GFSI por sus siglas en inglés), cuyos objetivos son:

- Convergencia entre las normas de inocuidad alimentaria a través del mantenimiento de un proceso de evaluación comparativa entre los diferentes protocolos.
- Mejorar la eficiencia de costos en toda la cadena de suministros de alimentos mediante la adopción de los estándares reconocidos por GFSI por los minoristas de todo el mundo.
- Proporcionar una única plataforma internacional de partes interesadas para networking, intercambio de experiencias y de mejores prácticas e información para la inocuidad alimentaria.

Con la aceptación global de los estándares reconocidos por GFSI, por las principales redes de distribución internacionales, grandes industrias de alimentos y bebidas, empresas de alimentos y, más recientemente, los fabricantes de embalajes, el análisis comparativo realizado por los propietarios y los principales partes interesadas alcanza un punto de convergencia. Cada norma fue alineada con criterios comunes definidos por expertos en inocuidad alimentaria, con el objetivo de hacer su producción lo más segura posible. Busca crear confianza en la certificación de terceros y reducir ineficiencias en los sistemas de inocuidad y por ende auditorías, de ahí su lema *“Una vez certificado, aceptado en todas partes”*. En la siguiente figura se muestran algunos de los esquemas de inocuidad reconocidos por la GFSI, información actualizada puede ser consultada en la liga <http://www.mygfsi.com/schemes-certification/recognised-schemes.html>:

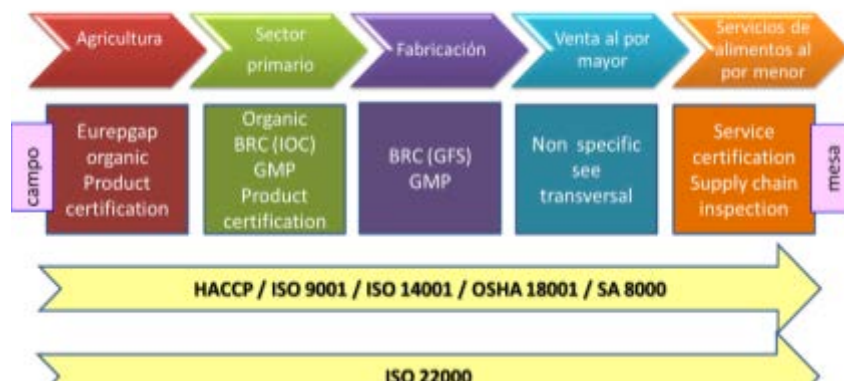


Figura 1. Sistemas de inocuidad alimentaria reconocidos por GFSI.

En la Tabla 2 se describen algunas de las No Conformidades más comunes encontradas en pre-auditorías (> 1600) de certificación reportadas por BRC food

issue, identificando que el 52 % de los encuestados tienen algún problema con el HACCP.

Tabla 2. No Conformidades frecuentes encontradas en pre-auditorías de inocuidad alimentaria reportadas por BRC.

Grupos NC	Posición	USA	UK	LATAM	China
HACCP	1	1	1	1	1
Construcción de edificios	2	2	3	4	2
Control de plagas	3	6	5	9	3
Limpieza e higiene	4	3	2	3	5
Compromiso de la dirección	5	7	4	2	4
Mantenimiento	6	5	7	12	10
Instalaciones personal	7	10	8	6	8
Trazabilidad	8	11	12	11	6
Auditorias internas	9	4	6	5	22
Vidrio, plástico duro	10	12	11	14	7

Sistema HACCP

El Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP por sus siglas en inglés) es un Sistema de inocuidad alimentaria creado en 1959 por la empresa Pillsbury a solicitud de la NASA. El objetivo central fue el de garantizar que los alimentos para los astronautas de los viajes espaciales no ocasionaran ninguna enfermedad. Las reglas generales para los sistemas HACCP se encuentran señaladas en el CODEX ALIMENTARIUS CAC/RCP 1-1969, en México en la NOM-251-SSA1-2009 e incluidas dentro de numerosas legislaciones de higiene y sanidad alrededor del mundo. De igual manera, existen docenas de libros especializados, cursos de capacitación, esquemas de certificación incluso programas informáticos y aplicaciones de dispositivos móviles que incluyen los 7 principios HACCP:

PRINCIPIO 1) Realizar un análisis de peligros

PRINCIPIO 2) Determinar los puntos críticos de control (PCC)

PRINCIPIO 3) Establecer un límite crítico para los PCC

PRINCIPIO 4) Establecer un sistema de vigilancia del control de los PCC

PRINCIPIO 5) Establecer las medidas correctivas cuando la vigilancia indica que un PCC salió de control

PRINCIPIO 6) Establecer procedimientos de comprobación para confirmar que el Sistema HACCP funciona eficazmente

PRINCIPIO 7) Establecer un sistema de documentación sobre todos los procedimientos y los registros apropiados para estos principios y su aplicación

Conceptos centrales

De manera práctica el aprendizaje de HACCP inician con la clasificación genérica de los peligros alimentarios posibles: químicos, físicos, biológicos y radiológicos. El objetivo es establecer un lenguaje común para el desarrollo del análisis de peligros. El concepto de Peligro queda definido en el CODEX como « Un agente biológico, químico o físico presente en el alimento, o bien la condición en que éste se halla, que pueda causar un efecto adverso para la salud».

Los ejemplos más característicos dentro de cada peligro son los siguientes:

- Peligros Químicos: Plaguicidas y herbicidas, hormonas y aceleradores del crecimiento, alérgenos, aflatoxinas, metales pesados y plastificantes procedentes de los materiales de empaque se encuentran entre los más icónicos.
- Peligros Físicos: Vidrio, madera, partículas metálicas e insectos como materia extraña.
- Peligros Biológicos: *E. coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio cholerae*, *Clostridium botulinum*, *Campylobacter jejuni*, Hepatitis A, *Entamoeba hystolítica*, *Giardia lamblia*, *Ascaris lumbricoide*, *Taenia solium*.
- Peligros Radiológicos: radiaciones procedentes de ambientes contaminados o de métodos de descontaminación que utilizan radiación.

El análisis de peligros inicia con las características del alimento de estudio o bien de un alimento modelo. Se construye un diagrama de flujo para el proceso seleccionado. En la Figura 2 se ejemplifican las etapas básicas de dos procesos, uno primario (producción de carne) y uno secundario (alimento procesado con

proceso térmico), a fin de describir los elementos esenciales de aplicación de HACCP.

En seguida se analiza etapa por etapa del proceso, para lo cual se utiliza una tabla de apoyo como la mostrada en la Tabla 3, que constituye el análisis de peligros. En cada etapa deberá determinarse si los peligros son significativos para la inocuidad, basando la respuesta en la severidad y la probabilidad de ocurrencia de dicho peligro.

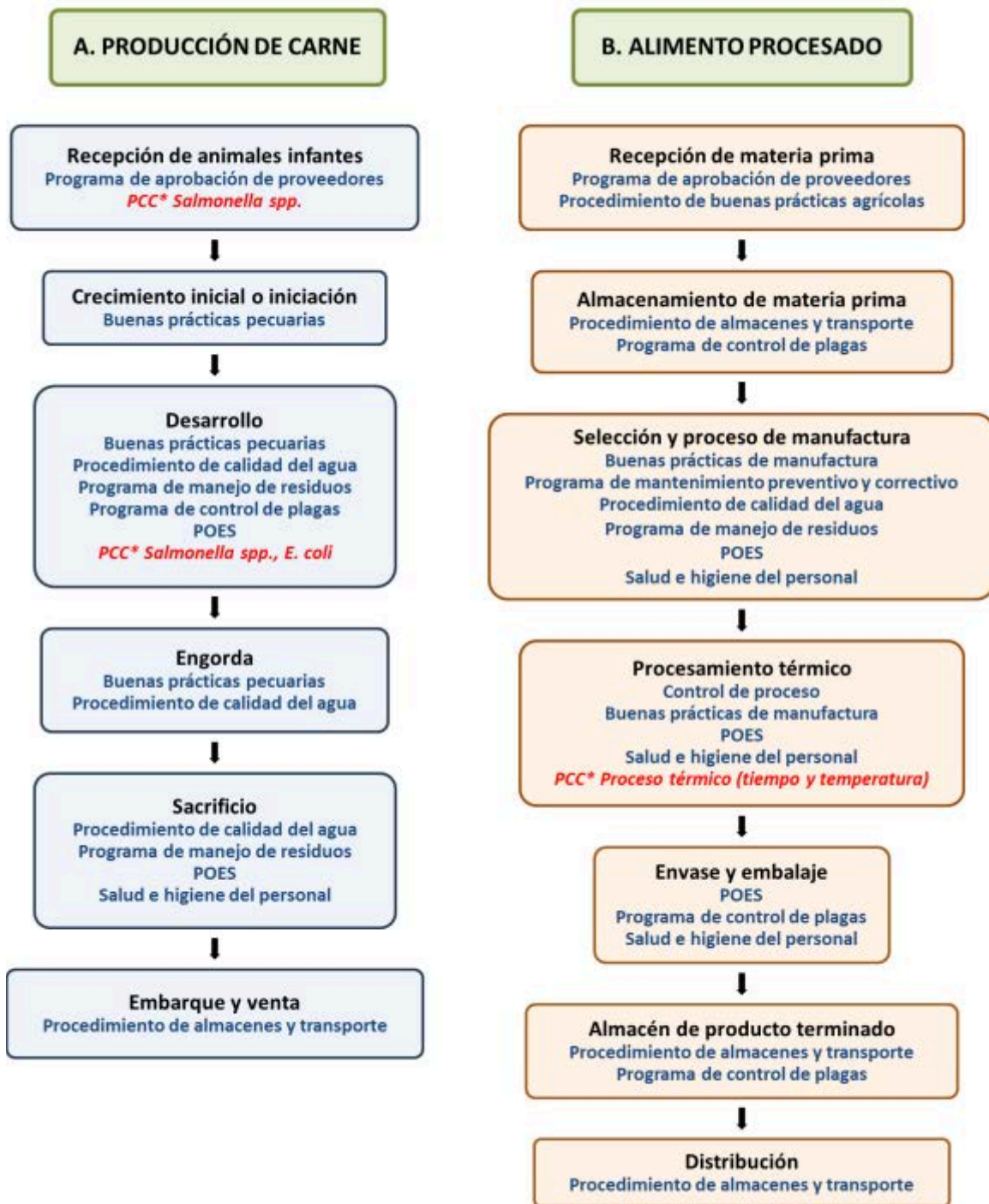


Figura 2. Diagrama de proceso genérico de dos alimentos para detección de peligros en inocuidad]: A) un proceso de producción primario y B) un proceso secundario de transformación del alimento. Debajo de cada etapa del proceso se ejemplifican los Programas Pre-Requisito generalmente asociados. En rojo se ejemplifican los Puntos Críticos de Control PCC más frecuentes en estos tipos de procesos.

ANÁLISIS DE PELIGROS

PASO DEL PROCESO	PELIGRO POTENCIAL INTRODUCIDO EN ESTE PASO	SEVERIDAD DEL PELIGRO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	¿ES SIGNIFICATIVO PARA LA INOCUIDAD DICHO PELIGRO?	¿QUÉ PPR'S PUEDEN UTILIZARSE PARA SU CONTROL?	¿EL PELIGRO SERA CONTROLADO EN ESTE PASO O EN SUBSECUENTES?	¿ESTE PASO ES UN PCC?
1.	Biológico						
	Químico						
	Físico						
2.	Biológico						
	Químico						
	Físico						
3.	Biológico						
	Químico						
	Físico						
4.	Biológico						
	Químico						
	Físico						
5.	Biológico						
	Químico						
	Físico						
6.	Biológico						
	Químico						
	Físico						
7.	Biológico						
	Químico						
	Físico						
8.	Biológico						
	Químico						
	Físico						

Tabla 3. Formato de tabla para análisis de peligros.

RESUMEN DE PLAN HACCP

PELIGROS ESPECÍFICOS DEL PLAN	PCC	LIMITE CRÍTICO DEL PCC	MONITOREO Ó VIGILANCIA				ACCIÓN CORRECTIVA	VERIFICACIÓN O COMPROBACIÓN	REGISTROS
			QUE	COMO	FRECUENCIA	QUIEN			

Tabla 4. Formato de resumen de Plan HACCP.

Para la toma de decisiones sobre severidad y ocurrencia, se pueden utilizar diferentes enfoques que permitan decidir si el peligro de cada etapa es o no significativo para la inocuidad del proceso.

1. Referencias bibliográficas de literatura científica, de autoridades en la materia y de universidades
2. Regulaciones sanitarias
3. Estándares internacionales
4. Reportes de autoridades sanitarias y gubernamentales así como datos epidemiológicos sobre incidencia de casos asociados a brotes
5. Consulta con expertos independientes
6. Colecta y análisis de datos de las condiciones de operación y validaciones de la industria
7. Información recolectada por los fabricantes de equipos

Con este conocimiento se tiene que el análisis de peligros derivará en 2 tipos de información:

A) Un grupo de requisitos previos que se transformarán en “Programas pre-requisito (PPR)” indispensables para controlar los peligros generales del proceso en cuestión. Pueden verse ejemplos de los PPR para dos tipos de proceso de producción de alimentos ilustrados en la Figura 2 en letra cursiva.

B) Un grupo de “Puntos Críticos de Control (PCC)” que serán sujetos a análisis exhaustivo por los 7 principios HACCP y a los cuales deberán establecerse límites críticos para su control. Ejemplos de PCC se muestran en rojo en la Figura 2.

Independientemente del proceso alimentario en cuestión, existe información general que identifica las fuentes más conocidas de peligros en las industrias de alimentos y que se dividen a continuación:

- **PRODUCCIÓN MATERIA PRIMA**

Lugar y condiciones de los empaques
Libres de basura, escombros y buen drenaje
Control de plagas
Lejos de áreas de producción pecuaria o basureros: Peligros Biológicos
Control de contaminantes agroquímicos
- **RECEPCIÓN Y PRESELECCIÓN**

Limpieza del producto, integridad visual, eliminar producto deteriorado.
Contenedores limpios
Personal de lavado o preselección sin contacto con post-lavado de producto.
Mala limpieza: Peligro químico
Sanidad de los trabajadores, procedimientos de trabajo, equipo contaminado o sucio: P. biológicos
- **USOS DEL AGUA**

Calidad del agua
Abastecimiento del agua
Lavado, enfriamiento, desinfección del producto
Utilización de hielo

- EMPAQUE

Secado, separación, otros
Tipo de empaque

- ALMACENAMIENTO

Características del producto, volumen.
Temperatura, supervisión periódica de condiciones de almacenamiento
Programa de limpieza frecuente de almacenes
Límites críticos de deterioro: Aflatoxinas, hongos y levaduras
Control de plagas

Una vez realizado el análisis de peligros, la información derivada se concentra en un RESUMEN HACCP como el mostrado en la Tabla 4.

Dentro de las bondades del enfoque HACCP es que involucra a personal de todos los departamentos de la empresa, que para el análisis de peligros se puede utilizar información existente de procesos y brotes ocurridos en otras partes del mundo y que está diseñado para aplicarse en una enorme gama de ambientes, procesos y culturas. Las áreas de oportunidad que consideramos para su aplicación específica en México es que requiere de entrenamiento previo por personal experto en inocuidad lo que puede ser costoso para la empresa, que cuando se desarrolla el análisis de peligros por personal inexperto pueden proponerse PCC y límites críticos de control (LCC) desligados del peligro real y se ha observado la falta de apoyo y recursos para validar los LCC para la garantía de que controlarán el peligro.

Código SQF

El código SQF proviene de las siglas en inglés Safety Quality Food y es un estándar de certificación de productos y procesos. El código incluye un sistema de gestión de la calidad y de la inocuidad de los alimentos que está basado en HACCP. SQF es un código que está aprobado por la iniciativa mundial de inocuidad de alimentos Global Food Safety Initiative (GFSI) para el nivel 2.

Las versiones del código SQF se van actualizando y se muestran de manera libre en el sitio del Instituto SQF <http://www.sgfi.com/>. Al momento de la escritura del presente libro, corre la edición 7.2 que salió desde julio de 2014. En dicha versión se incluyeron aspectos no considerados en versiones anteriores sobre Buenas Prácticas de Manufactura con los que debían contar los comercializadores de alimentos (brokers), los distribuidores y los proveedores de temporada. También

delinea aspectos de la auditoría de seguimiento y emite el protocolo para las auditorías sorpresa para las recertificaciones.

El código está constituido esencialmente de dos grupos de Módulos que se deben cubrir y que se muestran en la Tabla 5.

Mientras que el módulo 2 homogeneiza algunos aspectos generales que deben mantenerse para cualquier proceso de producción, los módulos del 3 al 16 garantizan un nivel avanzado de control de los procesos ya que se atiende las particularidades de cada uno.

En el código SQF se define al “Practicante SQF” quien es la persona designada por el proveedor para desarrollar, implementar, revisar y mantener el Sistema SQF de la empresa. Tiene la función de asegurar la integridad del sistema, atiende las auditorías y comunica al personal relevante información para la implementación eficaz del mismo. Debe ser un empleado de tiempo completo del proveedor, ocupar un cargo de responsabilidad dentro de la inocuidad de alimentos, haber realizado un curso de capacitación en HACCP y ser competente para implementar el sistema SQF. Debe mantenerse en constante entrenamiento y se le aplican exámenes.

Tabla 5. Módulos solicitados por el código SQF. En la columna izquierda el módulo obligatorio y en la derecha los módulos por tipo de alimento.

MODULOS INDISPENSABLE PARA TODOS	SELECCIONAR UNO EN BASE AL TIPO DE ALIMENTO O EMPRESA
Módulo 2: Elementos del Sistema	Módulo 3. Alimentación animal
2.1 Compromiso de la Gerencia	Módulo 4. Alimento para mascotas
2.2 Control de documentos y registros	Módulo 5. Ganadería y productos animales
2.3 Especificaciones y desarrollo de producto	Módulo 6. Acuicultura
2.4 Producción de alimentos inocuos	Módulo 7. Producción agrícola de vegetales
2.5 Verificación del sistema SQF	Módulo 8. Producción de granos y leguminosas
2.6 Trazabilidad, retiro y recuperación de productos	Módulo 9. Pre-procesamiento de productos animales.
2.7 Seguridad del sitio (Defensa de alimentos)	Módulo 10. Pre-procesamiento de productos vegetales.
2.8 Alimentos de identidad conservada (HALAL, Kosher, GMO). Alérgenos	Módulo 11. Procesamiento de productos alimenticios
2.9 Capacitación	Módulo 12. Transporte y distribución de alimentos
	Módulo 13. Producción de empaques para alimentos
	Módulo 14. Comercializadores y agentes distribuidores
	Módulo 15. Abastecedores, mayoristas y minoristas
	Módulo 16. Programas multi-sitios controlados por un distribuidor central

El manejo de los principios HACCP se realiza de la misma manera que lo señalado en el apartado correspondiente. La diferencia es que el análisis de peligros se realiza sobre la inocuidad y la “calidad de alimentos”.

El código tiene la opción de seleccionar el nivel de la certificación, conforme se avanza en la madurez el grado de dificultad aumenta. Los 3 niveles son los siguientes:

- Nivel 1. Fundamentos de inocuidad de alimentos: empresas nuevas y en desarrollo y cuenta con BPA, BPM o BPP.
- Nivel 2. Planes de inocuidad de alimentos basados en HACCP certificados.
- Nivel 3. Sistema integral de gestión de la inocuidad y la calidad de los alimentos.

Dentro de las ventajas más destacadas del código SQF es que se tiene una especialización de los procesos, revisándose a detalle las particularidades de cada uno y garantizando un análisis exhaustivo de puntos críticos de un proceso particular. De esta manera el código SQF se convierte en una de las certificaciones más competitivas y más ampliamente aceptadas a nivel internacional.

ISO 22000

La ISO 22000 establece los requisitos para la administración de sistemas de inocuidad alimentaria dentro de empresas que se encuentren en cualquier punto a lo largo de la cadena alimentaria. Se incluyen empresas que producen piensos para animales, productores primarios, empresas manufactureras de alimentos, transportadoras y almacenes de alimentos, ventas al mayoreo y al menudeo, así como ingredientes, aditivos, agentes de limpieza, equipo, grasas y materiales de empaque en contacto con alimentos.

La guía incluye cuatro elementos clave para alcanzar su objetivo:

- Comunicación entre los participantes de la cadena de suministros
- Sistema de gestión de la inocuidad
- Programas Prerequisito
- HACCP

La forma en que se integran estos elementos se muestran a partir del punto 4 de la ISO 22000. Los puntos del 1 al 3 son: los alcances, las referencias normativas y las definiciones. A continuación se mencionan los puntos clave de la guía:

4. Sistema de gestión de la inocuidad alimentaria

Incluye los requisitos documentales tales como establecimiento de una política de inocuidad escrita y el manejo de un control de documentos y registros.

5. Gestión de responsabilidades

Establece el compromiso escrito de la administración, política y objetivos de inocuidad, planes de inocuidad, señala de necesidad de un líder o gerente del

equipo de inocuidad. Este punto considera también emergencias y manejo de crisis, y revisiones por la dirección.

El punto 5.6 enfatiza sobre la importancia de la comunicación: hacia el interior, a proveedores, clientes, autoridades regulatorias y otras organizaciones que pueden estar involucradas. La comunicación interna debe ser efectiva y garantizar que el equipo HACCP se mantiene informado de nuevos productos, materia prima, ingredientes, servicios, sistemas de producción, equipos, instalaciones que afectan la inocuidad, programas de lavado y sanitizado, empaque, almacenamiento, distribución, capacitación de personal, niveles de autoridad y responsabilidad, requisitos regulatorios, conocimiento de las medidas de control de inocuidad, clientes, quejas, etc.

6. Recursos para la gestión

La organización debe proveer los recursos para establecer, implementar, mantener y actualizar el sistema de gestión de la inocuidad a través de:

- i) la constante capacitación del personal involucrado
- ii) del establecimiento de la infraestructura necesaria para cumplir con la ISO 22000
- iii) un ambiente laboral que permita las condiciones para establecer, mantener y gestionar la ISO 22000

7. Planeación y realización de productos inocuos

Debe incluirse los programas prerrequisito (PPRs) para monitoreo de actividades así como plan HACCP. Los PPRs básicos son:

- i) Construcción y planos de instalaciones
- ii) Programas de calidad de agua y suministros
- iii) Manejo y disposición de desechos
- iv) Programa de mantenimiento preventivo y correctivo
- v) Programas de limpieza y sanitización
- vi) Procedimiento de aprobación de proveedores
- vii) Programas de control de plagas
- viii) Salud e higiene del personal
- ix) Prevención de contaminación cruzada
- x) Otros

En la planeación deben incluirse los pasos preliminares para el análisis de peligros: Conformación del equipo HACCP, descripción de las características del producto, definición del uso previsto del producto, diagrama de flujo del proceso con descripción de pasos y medidas de control. Finalmente el análisis de peligros.

El punto 7.6 es el establecimiento del plan HACCP que contiene los 7 principios mencionados en el apartado HACCP.

Adicionalmente se debe mantener actualizada la información que alimenta al plan HACCP (7.7), verificar continuamente el plan (7.8), establecer los mecanismos para

la trazabilidad del sistema (7.9) y determinar lo conducente en caso de que los límites críticos de control sean excedidos (7.10).

8. Validación, verificación y mejora del sistema de gestión.

El estándar ISO 22000 es de los más conocidos y aceptados a nivel internacional. Es un sistema robusto ya que contiene elementos de un sistema de gestión, combinados con HACCP y los PPRs. Es versátil y puede constituir el paso siguiente una vez que se cuenta con HACCP.

Cuadro comparativo de sistemas

La certificación de alimentos puede basarse, según los casos, en una serie de actividades de inspección, en la verificación de los sistemas de garantía de calidad y en los análisis de los productos terminados.

ELEMENTOS DEL SISTEMA	HACCP	México calidad suprema	TIF	ISO22000	SQF
Sistema de gestión general	no	no	no	si	si
Sistema para mejora de la calidad	no	parcial	parcial	no	si
Compromiso de la gerencia	no	no	no	si	si
Manejo integral de la comunicación	no	no	no	si	parcial
BPM/ BPP/ BPA	general	si	si	si	si
Programas prerequisite	si	si	si	si	no
Control de documentos y registros	si	si	si	si	si
Gestión de quejas del cliente	no	parcial	parcial	parcial	si
Plan de inocuidad de alimentos	si	si	si	si	si
Control de materias primas	no	si	si	si	si
Control de materiales de empaque	no	si	si	si	si
Trazabilidad y retiro de producto	general	si	no	si	si
Defensa alimentaria	no	no	no	no	si
Planes de limpieza y sanitización	general	si	si	general	si
Transporte y distribución	general	si	si	general	si
Planes específicos por sector	no	no	no	no	si
Acuicultura	no específico	si	no	no específico	si
Ganadería	no específico	si	si	no específico	si
Agrícola	no específico	si	no	no específico	si
Manufactura de alimentos	no específico	no	si	no específico	si
Venta a mayoreo y menudeo	no específico	no	no	no específico	si
Alimentos especiales (HALAL, Kosher, GM)	no	no	no	no	si

Ley de modernización en inocuidad alimentaria

Otro motivo por el cual las empresas mexicanas están optando por la certificación en sistemas de inocuidad fue por el surgimiento de la Ley de modernización en inocuidad alimentaria (FSMA por sus siglas en inglés) en Estados Unidos de Norteamérica, publicada en enero de 2011, la cual plantea la extra-territorialidad de

la FDA para vigilar en otros países el suministro de alimentos. Su objetivo es la prevención de Enfermedades Transmitidas por Alimentos protegiendo la salud pública mediante el fortalecimiento del sistema de inocuidad alimentaria.

Si analizamos la cantidad de productos que se exportan a EUA, aprox. 50% de las frutas frescas y el 20% de vegetales frescos consumidos en los hogares de los Estados Unidos son importados y México es el principal proveedor de alimentos para humanos (> 30 %).

Está dirigida a productores agrícolas que cultivan, cosechan y/o empacan productos frescos (frutas y hortalizas, hongos, hierbas, nueces, excluye productos que no se consumen en fresco y granos) en EUA o exportadores.

Para lograr lo anterior se enfoca en cuatro elementos principales descritos en tres títulos que son mostrados en la tabla 6.

PREVENCIÓN	DETECCIÓN Y RESPUESTA	CONTROL DE IMPORTACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Inspección de registros • Registro de establecimientos • Análisis de peligros y controles preventivos basados en riesgos • Normas para productos agrícolas • Protección contra la contaminación intencional • Estrategia nacional de agricultura y defensa alimentaria 	<ul style="list-style-type: none"> • Acreditación de laboratorios • Vigilancia • Autoridad para el retiro obligatorio • Detención administrativa de alimentos • Mejora en la capacitación de oficiales de inocuidad alimentaria 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa de verificación de proveedor extranjero • Programa voluntario de importador calificado • Autoridad para requerir certificaciones para la importación • Aviso previo de importación de alimentos • Construcción de capacidad de gobiernos extranjeros • Inspección de establecimientos en el extranjero • Acreditación de auditores de tercera parte • Oficinas de la FDA en el extranjero • Contrabando de alimentos

Tabla 6. Títulos de enfoque central de la nueva ley en inocuidad alimentaria de USA (FSMA).

Requerimientos de FSMA

- Contar con un padrón de Plantas de alimentos.
- Programa de inspección basado en riesgo.
- Programa para retiro de alimentos, atención de quejas de consumidores y quejas de la inspección a la industria de alimentos.
- Evaluación sistemática de las actividades de inspección y toma de muestra.
- Supervisión de los instrumentos de evaluación para asegurar que se llevaron a cabo conforme a lo establecido en los lineamientos.
- Resguardo de documentos escritos relacionados con el programa de inspección (evaluación del programa de inspección, los programas de

auditorías, registros de evaluaciones previas, plan de mejora que resulte y/o planes de acciones correctivas).

- Estrategias de vigilancia establecidas para cumplir las actividades de inocuidad alimentaria.
- Mecanismo para rastrear infractores e infracciones críticas y crónicas.
- Uso de un sistema basado en riesgo para determinar cuándo se requieren actividades de seguimiento o re-inspección.
- Procedimiento para gestionar acciones de vigilancia progresivas.
- Procedimientos para comunicar las políticas de control y guías al personal gerencial y no gerencial.
- Contar con elementos especiales de programa para sistemas de inocuidad de alimentos específicos como HACCP, BPA, BPM.
- Revisión periódica de acciones de vigilancia para evaluar áreas que requieran mejora o acciones correctivas y mejorar las políticas y prácticas basadas en los hallazgos.
- Procedimientos escritos que describen el cumplimiento y la vigilancia de los programas y registros de revisión periódica y actividades de seguimiento.

En 2013 a 2014 se emitieron propuestas de reglamentos y solicitud de comentarios y para 2015-2016 es la fecha límite para la emisión de los reglamentos finales. Desde enero de 2013, FDA ha propuesto siete reglamentos para implementar FSMA: controles preventivos (alimentos para humanos y animales), reglamentos para productos frescos, programa de verificación de proveedor extranjero, la propuesta de transporte sanitario y de adulteración intencional. Cuatro de los reglamentos propuestos se actualizaron en septiembre de 2014, con base en los comentarios aportados por las partes interesadas, para ser más flexible, práctico y eficaz. Se incluyen los reglamentos de controles preventivos, verificación de proveedores extranjeros y la regla de inocuidad de productos frescos agrícolas. Mayor información en Web site: <http://www.fda.gov/fsma>

Empleo de materiales didácticos en la enseñanza de la inocuidad

Existen enormes retos para la transmisión del conocimiento y su implementación en las empresas. Los esquemas convencionales de capacitación, aunque familiares y rápidos de preparar, ofrecen poca efectividad sobre todo para las empresas con personal con una media escolar rondando la primaria-secundaria.

En la búsqueda de alternativas para llegar hasta los capacitados, considerando la diversidad de niveles educativos, funciones dentro del proceso y limitaciones de tiempo de capacitación, el personal de CIATEJ ha diseñado un juego de cartas. El juego es *per se* una herramienta que apoya al desarrollo del pensamiento y estimula la participación del individuo. En temas de compleja transmisión como lo son los conceptos de Proceso de Producción y Programas Pre-Requisito (PPR), consideramos que el juego abre las puertas de la percepción, eliminando conceptos preconcebidos y facilitando la recepción de la información.

El juego denominado PROCESOS Y PELIGROS cuenta con 3 elementos básicos:

- 1) Un tablero que representa las etapas en el proceso de producción de alimentos.
- 2) Un mazo de cartas Peligro que representa los peligros biológicos, químicos o físicos que pueden aparecer en el proceso y que retan al participante, mismo que no podrá avanzar en el tablero si no quedan controlados.
- 3) Un mazo de cartas Poder en representación de los PPR que proporcionarán al participante el poder de controlar el Peligro y la posibilidad entonces de avanzar en el tablero.

La Figura 3 muestra ejemplos de las cartas Peligro, la Figura 4 muestra ejemplos del mazo de cartas Poder, es decir los PPR.

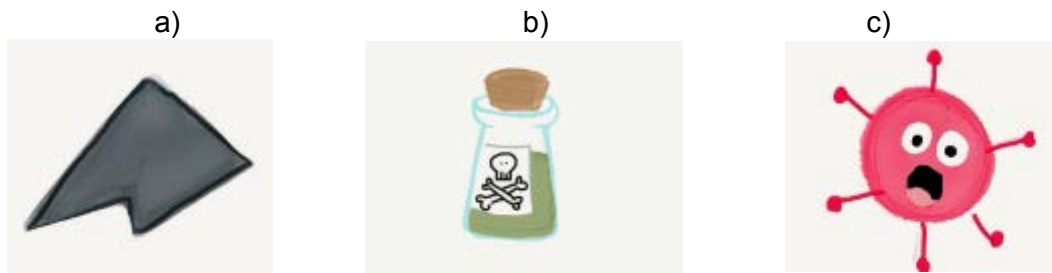


Figura 3. Ejemplos de la pictórica de los Peligros a) Físicos, b) Químicos y c) Biológicos

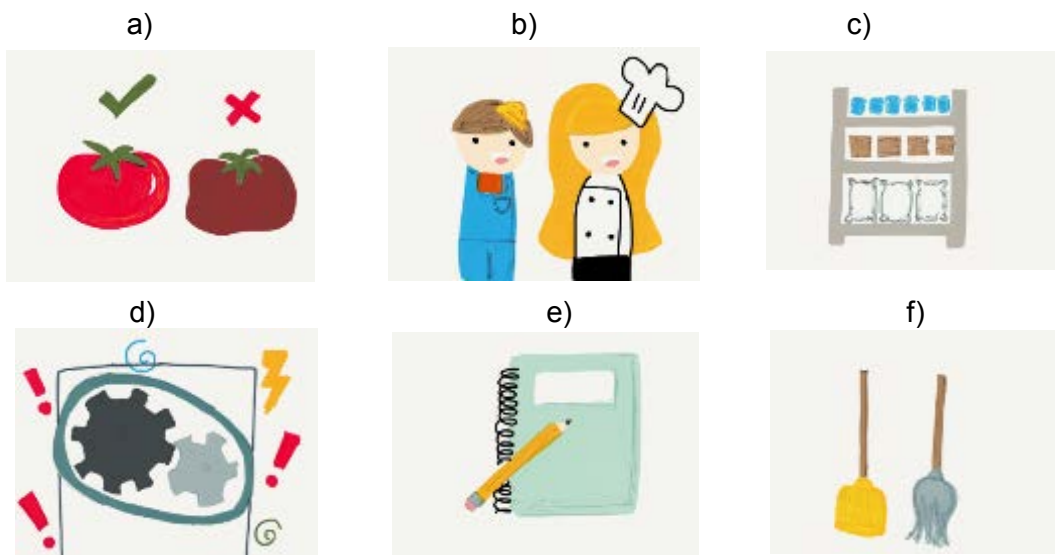


Figura 4. Ejemplos de la pictórica para las cartas Poder, que representan a los Programas Prerequisito a) Procedimiento de aprobación de proveedores, b) Higiene y Salud del Personal, c) Procedimiento de Almacenes, d) Programa de Mantenimiento Preventivo y Correctivo, e) Programas de Capacitación, f) POES.

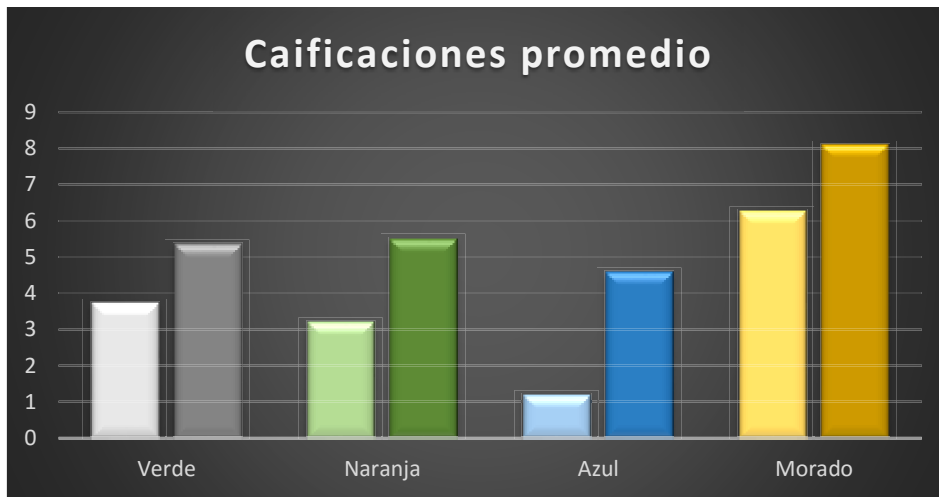


Figura 5. Promedio de calificaciones antes y después del juego PROCESOS Y PELIGROS.



Figura 6. Comparativos en el tiempo de adiestramiento en temas de inocuidad alimentaria para 4 empresas. En azul capacitación sin utilizar juego, en rojo utilizando el juego. La empresa denominada verde tuvo 2 capacitaciones en años diferentes, primero se capacitó sin juego y a otro grupo de personal y año se utilizó juego.

La evaluación de la efectividad del juego en términos de incremento promedio de calificaciones tras aplicación de examen y en la reducción del tiempo de capacitación se muestra en las Figuras 5 y 6. El comparativo de calificaciones de la figura 5 muestra un incremento promedio de 2 puntos, observándose el mayor incremento en calificaciones en el grupo azul, que tenía el más bajo nivel educativo de todos los grupos.

La Figura 6 muestra el tiempo promedio en horas tomado en la capacitación sobre los programas prerrequisito en 4 empresas. Las diferencias esenciales en los cursos fueron la reestructura del programa y la inclusión del juego Procesos y Peligros. La columna azul muestra grupos donde no se aplicó el juego y la capacitación tardó entre 15 a 22 h. La columna en rojo es el tiempo de capacitación con la utilización del juego, donde se tardó entre 6 a 8 horas para el mismo tipo de conocimientos. En la empresa “verde” se capacitaron 2 grupos de trabajadores con un año de diferencia y el tiempo de capacitación disminuyó aproximadamente 7 h.

Ante el reto de transmitir conceptos altamente especializados como la inocuidad, a personal con una gran diversidad de niveles escolares, el desarrollo de material didáctico podría significar un facilitador de considerarse.

Conclusiones

Los productores de alimentos interesados en tener un mejor acceso a los mercados, tienen disponibles varios esquemas de inocuidad que han sido probados y su efectividad demostrada para mitigar riesgos y facilitar su implementación. Por lo regular son implementados por empresas exportadoras de alimentos del sector primario, semi-procesados y procesados. Algunos de ellos combinan elementos de calidad e inocuidad y principalmente involucran etapas de documentación, cumplir lineamiento o estándares del programa, sistema o normativa, capacitación, revisión periódica, auditorías

Entre los beneficios de su implementación se encuentran una mejor gestión de actividades, evidenciar que operan de una manera segura y responsable, mayor acceso a mercados, mejora continua y reducción de costos.

México ha iniciado un programa de armonización de sistemas que tiene por objeto facilitar la aceptación de todos los códigos mencionados con los elementos básicos, transmitir a las empresas dichos principios, evitando la rigidez y adaptando por tipo de empresa facilitar su implementación y el escalamiento a sistemas más complejos.

Bibliografía

- CAC/RCP 1-1969. 2003. Principios generales de higiene de los alimentos. CODEX Alimentarius. International Food Standards. WHO/FAO. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/list-of-standards/en/>
- ISO 22000. 2005. Food safety management systems. Requirements for any organization in the food chain. ISO. <http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso22000.htm>
- Ley Federal de Sanidad Animal. Última reforma publicada el 7 de junio de 2012.

NOM-008-ZOO-1994. 1999. Norma Oficial Mexicana. Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos. Modificación 1999-02-10. Diario Oficial de la Federación. México.

NOM-009-ZOO-1994. Proceso sanitario de la carne.

NOM-033-SAG/ZOO-2014 Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres.

NOM-251-SSA1-2009. 2010. Norma Oficial Mexicana. Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. Diario Oficial de la Federación. México. DF.

Reglamento para la Industrialización Sanitaria de la Carne. DOF publicado 13 de febrero de 1950.

SQF Código. 2014. Código de aseguramiento del proveedor basado sobre HACCP para la industria alimentaria. Safe Quality Food Institute. Arlington USA. <http://www.sqfi.com/standards/sqf-code/downloads/>

Inocuidad de Carne de Res en México

García-Parra M. Dolores^{1*}, Sahagun-Aguilar María L.¹, Lugo-Melchor O. Yadira²

¹Unidad de Tecnología Alimentaria Camino al Arenero 1227, El Bajío del Arenal, Zapopan, Jal. ²Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos, Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, Jal. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. *Correspondencia: dgarcia@ciatej.mx

Resumen

La preocupación sobre la calidad e inocuidad alimentaria es un tema sumamente importante para los consumidores, por lo que debe haber interés en asegurar que las prácticas de producción garantizan la calidad final del producto y cumplen con las expectativas del mercado. En el siguiente capítulo se toca el tema la inocuidad alimentaria la cual implica dedicar atención y monitorear la calidad a lo largo de la cadena productiva desde la granja hasta el consumidor. Todo esto permitirá obtener un producto de res de calidad para ofrecer a sus respectivos mercados.

Introducción

La calidad y la inocuidad de los alimentos son los principales atributos que rigen la oferta y la demanda de los productos a nivel mundial. El comercio internacional de alimentos permite a los consumidores tener acceso a una gran cantidad de opciones de productos dentro de estos se encuentran los de origen animal. La exportación de productos representa una gran oportunidad de crecimiento para el sector alimentario mexicano. Sin embargo, es también un gran reto, ya que depende de su capacidad para ajustarse a las normas internacionales de calidad e inocuidad de los alimentos. Por ello, es importante reconocer que en México la cultura de la inocuidad de los alimentos requiere ser reforzada en todos los niveles de la producción de alimentos; desde el campo hasta la mesa. Con la educación adecuada y suficiente en cada uno de los participantes de la cadena alimentaria se requiere tomar conciencia de las acciones necesarias para garantizar la prevención y salud de las personas.

Algunos países en vías de desarrollo, incluyendo México, con ayuda técnica de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), han adoptado y aplicado normas nacionales completas sobre calidad e inocuidad de los alimentos. Con ese propósito, a inicios de la década de los años sesenta se creó un marco normativo internacional, denominado **Codex Alimentarius**, que elabora normas, directrices y códigos de prácticas alimentarias internacionales armonizadas destinadas a proteger la salud de los consumidores y garantizar la aplicación de prácticas leales en el comercio de alimentos.

Codex Alimentarius

El Codex Alimentarius, o código alimentario, se ha convertido en un punto de referencia mundial para los consumidores, los productores y elaboradores de alimentos, los organismos nacionales de control de los alimentos y el comercio alimentario internacional. Ha tenido una gran influencia sobre la visión de la calidad e inocuidad de los consumidores además en todas aquellas personas que intervienen en la producción y elaboración de alimentos. Su influencia se extiende a todos los continentes así como su contribución a la protección de la salud de los consumidores y a la garantía de unas prácticas equitativas en el comercio alimentario. La importancia del Codex Alimentarius para la protección de la salud de los consumidores fue subrayada por la Resolución 39/248 de 1985 de las Naciones Unidas; en dicha Resolución se adoptaron directrices para elaborar y reforzar las políticas de protección del consumidor. En las directrices se recomienda que, al formular políticas y planes nacionales relativos a los alimentos, los gobiernos tengan en cuenta la necesidad de seguridad alimentaria de todos los consumidores y apoyen en la medida de lo posible, adopten las normas del Codex Alimentarius o, en su defecto, otras normas alimentarias internacionales de aceptación general.

La finalidad del Codex Alimentarius es garantizar alimentos inocuos y de calidad a todas las personas y en cualquier lugar del mundo; durante el último siglo, los alimentos se han comercializado a nivel internacional y su venta ha crecido exponencialmente y, hoy en día, una gran cantidad y variedad de alimentos antes nunca imaginada circula por todo el planeta.

El Codex frecuentemente es el centro de los debates mundiales en temas relativos, a cuestiones de inocuidad de los alimentos. Las normas del Codex se basan en información científica, respaldada por órganos internacionales independientes de evaluación de riesgos o consultas especiales organizadas por la FAO y la OMS. Aunque se trata de recomendaciones cuya aplicación por los miembros es facultativa, las normas del Codex sirven en muchas ocasiones de base para la legislación nacional. Los miembros del Codex abarcan el 99 % de la población mundial. El hecho de ser miembro activo del Codex ayuda a los países a competir en los complejos mercados mundiales y a mejorar la inocuidad alimentaria para su propia población. Paralelamente, los exportadores saben lo que demandan los importadores, los cuales, a su vez, están protegidos frente a las remesas que no cumplan las normas. Toda la información relativa al Codex es pública y gratuita.

Las normas del Codex garantizan que los alimentos sean saludables y puedan comercializarse. Los 187 miembros del Codex han negociado recomendaciones con fundamento científico en todos los ámbitos relacionados con la inocuidad y calidad de los alimentos: higiene de los alimentos; límites máximos para aditivos alimentarios, residuos de plaguicidas y medicamentos veterinarios; y límites máximos y códigos para la prevención de la contaminación química y microbiológica. Los textos del Codex sobre inocuidad de los alimentos son una referencia en la solución de diferencias comerciales.

Obtención de carne de bovino en México

México en el 2014 fue el sexto productor mundial de carne en canal de bovino con una producción de 1,806,758 toneladas, este volumen representa el 2.8% de la producción mundial. Todas las entidades federativas de México con diversas escalas de producción, generan carne de la especie bovina, en 18 de ellas la producción de 2014 resultó superior al año previo como se aprecia en la Figura 1.

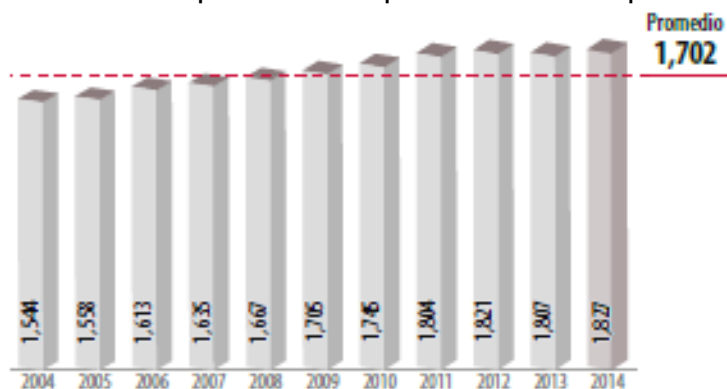


Figura 1. Volumen de producción nacional de carne en canal de bovino

Los principales productores de carne de bovino en canal en el 2014 fueron Veracruz, Jalisco y Sinaloa, como se observa en la Tabla 1. Este tipo de carne es uno de los que más se comercializa en México encontrándose valores per cápita de 15.4kg.

Tabla 1. Volumen de producción de diferentes entidades productoras.

Rank	Entidad federativa	Volumen (toneladas)	Variación (%) 2013-2014
	Total nacional	1,827,152	1.1
1	Veracruz	243,779	-2.0
2	Jalisco	204,651	-2.1
3	Chiapas	113,534	-2.2
4	Sinaloa	91,938	3.7
5	Baja California	87,078	-0.7
6	San Luis Potosí	79,924	4.4
7	Michoacán	74,768	-3.3
8	Sonora	72,964	-4.7
9	Chihuahua	72,387	-3.4
10	Tabasco	67,224	-0.3
	Resto	718,905	5.1

La carne de bovino mexicana ha registrado mayor aceptación en los mercados internacionales, esto se ve reflejado en el incremento del volumen de exportación del 17% en el 2014 (Atlas agroalimentario 2014).

Estados Unidos adquiere 83.5% de las exportaciones de carne en canal de bovino, el resto lo comparten 12 países. La exportación de carne de bovino en canal representa un valor comercial de 907.4 millones (Atlas agroalimentario 2014).

Generalmente en México los animales que son sacrificados para la obtención de carne son de bovino son aquellos que han alcanzado un peso de aproximadamente 500 kg, son llevados a la planta de faenado (también llamada rastro o planta de beneficio) para su sacrificio y se inicia el corte de la carne.

Tipos de rastros en México

En México hay dos tipos de rastros bien diferenciadas según sus características sanitarias. Hay carne que se obtiene de la faena municipal y otra que proviene de la faena en rastros Tipo Inspección Federal (TIF). Los sistemas regulatorios que rigen al sistema municipal, y en consecuencia a las medidas sanitarias y de bienestar animal, son por completo diferentes de los del sistema TIF. En México, el 52% del ganado bovino se sacrifica en rastros municipales y sólo el 48% en plantas TIF.

La carne obtenida de un rastro TIF es más higiénica por contar con inspecciones veterinarias, por el mayor número de controles sanitarios, y porque no se pierde la cadena de frío durante todo su procesamiento, generalmente tiene como objetivo final la venta en cadenas de supermercados, carnicerías selectas o exportación.

Carne de bovino con calidad de exportación

La carne de bovino con calidad de exportación es obtenida del ganado criado bajo producción intensiva (engorda en corral), transformado por el sistema TIF (Tipo inspección federal), que se caracteriza por la calidad e inocuidad que se efectúa durante el sacrificio y procesamiento de la carne (SIAP datos SENASICA 2014).

El desarrollo y crecimiento de los animales para obtención de carne para exportación llevan un riguroso control desde el destete que se lleva a cabo aproximadamente a los 18-20 meses de edad (pastoreo o concentrado), hasta los 240-280 kg según la región y sistema de producción; la engorda se da a partir de los 21 meses de edad (alimento balanceado de 3 a 5 meses), hasta los 450-500 kg, durante todo este periodo los animales son cuidadosamente vigilados en cuestiones de calidad e inocuidad; los productos que están registrados que se exportan son los siguientes: carne en canal, medias canales, cortes primarios, cortes secundarios y productos con valor agregado (SIAP con datos SENASICA 2014).

La carne de rastro municipal está destinada a carnicerías locales y a mercados sobre ruedas, donde en la mayoría de los casos no se mantiene en refrigeración.

En una planta de faenado se lleva a cabo la transformación del animal vivo a carne. Esto se logra mediante el aturdimiento (que provoca inconsciencia, inmovilidad e

insensibilidad) de los animales y su posterior procesado hasta producir una CANAL, es decir el cuerpo del animal sin cabeza, piel ni patas. Posteriormente, la canal se divide (longitudinalmente) en dos mitades, y por último se cuartea para separar los cuartos trasero y delantero.

En los rastros TIF la carne se debe enfriar hasta por un lapso de 36 horas, para luego venderse en canal o cortes a carnicerías, o bien continuar un proceso hasta terminar envasada, normalmente al alto vacío, y se mantiene bajo refrigeración durante todo el recorrido hasta el destino final. Todo esto, evidentemente ayuda a mantener la higiene de la carne, permitiendo que llegue al consumidor en óptimas condiciones.

En México no todos los rastros que son TIF, generalmente no entregan la carne refrigerada, por lo que en muchos lados la carne se transporta, se corta y expende a temperatura ambiente. Esto reduce sustancialmente la seguridad alimentaria de la carne. A este proceso se le llama de “carne caliente”. En muchas partes del mundo está prohibido este proceso, pero en México se conserva por tradición, ignorancia o incluso por falta de capacidad para enfriar la carne. Sin embargo la certificación TIF es un sello de calidad que brinda seguridad y apertura a diversos mercados nacionales e internacionales.

Marco regulatorio

Las principales leyes y normas que entran en acción para el cumplimiento y buen funcionamiento de los estatutos para la obtención del sello TIF son:

- Ley Federal de Sanidad Animal, que faculta a la SAGARPA a emitir las normas oficiales mexicanas en materia de sanidad animal.
- Reglamento para la Industrialización Sanitaria de la Carne, que establece lineamientos generales sobre el proceso de la carne.
- NOM-008-ZOO-1994, son especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de los establecimientos para el sacrificio de los animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos.
- NOM-009-ZOO-1994., regula el proceso sanitario de la carne.
- NOM-004-ZOO-1996, marca los límites máximos permisibles de residuos tóxicos y procedimientos de muestreo en grasa, hígado, músculos y riñones de aves, bovinos, caprinos cérvidos, equinos, ovinos y porcinos.
- NOM-033-ZOO-1995, se refiere al sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres.

Procedimiento a seguir para poder ser elegible de exportar productos cárnicos:

- El primer requisito es contar con la certificación TIF.
- Es indispensable que el establecimiento cuente con un historial de trabajo antes de solicitar la elegibilidad para exportar.

- Contar con un plan HACCP, sí como POES (Procedimientos de Operación Estándar de Sanidad)
- Toda la documentación es dictaminada a nivel central de acuerdo a los lineamientos que dicte cada país de destino.
- Los únicos países con los cuales se tiene un reconocimiento de equivalencia entre los sistemas de inspección son Estados Unidos y Canadá.
- Una vez que autorizado el establecimiento para exportar, esto será notificado vía oficial por la DGIAAP.
- Cabe hacer mención que para ferias y exposiciones, algunos países como Japón y Estados Unidos de América, requieren que los establecimientos TIF cuenten con la autorización previa para exportar; dichos envíos, aun siendo muestras, se deberán manejar como exportaciones comerciales formales.

El programa nacional de residuos tóxicos ocupa un lugar preponderante en la posibilidad de acceder a mercados internacionales como país, por lo que el cumplimiento de la NOM-004-ZOO-1994 juega un papel indirecto de alta prioridad en toda exportación realizada.

El sello TIF, que es un sinónimo de excelencia, significa que el producto que se está adquiriendo y consumiendo es auténtica garantía de calidad y salud. Para las marcas productoras y comercializadoras de cárnicos, dicha certificación representa, pues, un orgullo obtenerlo, pues confirma que cumplen con la normatividad internacional de procesado y empaque en sus productos, todo esto representa un gran esfuerzo que se traduce en grandes beneficios, cuyo resultado son la reducción de microorganismos indeseables, garantía en ofrecer productos excelentes y, con ello, protección al consumidor.

El Sistema HACCP

Inicialmente fue creado como un programa de tipo voluntario, sin embargo al notarse el beneficio de su utilización en los años 70's la Food and Drug Administration (FDA) de Estados Unidos lo hace reglamentario para la prevención del peligro de la toxina de *Clostridium botulinum* en conservas de baja acidez. Más adelante ante el brote más amplio de *E. coli* O157:H7 en la historia de los Estados Unidos por consumo de hamburguesas contaminadas en el año 1993, la legislación estadounidense obligó a las industrias cárnicas a implementar el plan HACCP en sus plantas, así como a las empresas extranjeras que desearan exportar a ese país. Desde 1995 no se han reportado brotes asociados con hamburguesas consumidas en restaurantes de comida rápida, demostrando que este sistema es funcional y efectivo (CDC.1993). En Estados Unidos desde el año 2000 todas las empacadoras de carne tienen implementados programas HACCP de acuerdo a los lineamientos de la USDA (Alarcon y Janacua. 2007).

En nuestro País aún existe mucha renuencia por parte de rastros y plantas empacadoras de carne para aplicar el sistema HACCP en sus procesos, en un estudio realizado por Maldonado, et al. (2005) encontraron que de los rastros TIF existentes en México para el 2005 solo un 18% de ellos tuvieron el sistema

operando en su totalidad en sus plantas, un 57% estaban por implementarlo o tenían planes de hacerlo, y un 25% restante manifestaron nulo interés en adoptarlo debido a que los costos de operación los consideraron fuera de su presupuesto, no contaron con información suficiente, los clientes no lo solicitaban y no es obligatorio en México; los mataderos con HACCP se concentraron en la frontera norte del país donde radica la mayor actividad de exportación hacia los EUA, se encontró que los mayores costos en la adopción del sistema fueron el tiempo requerido por el personal en la documentación del HACCP y las pruebas microbiológicas de los productos, mientras que la reducción en los conteos microbiológicos fue el principal beneficio. De acuerdo con estos autores la mayoría de los mataderos mexicanos TIF no podrán acceder hacia el comercio internacional ni a los nichos de mercado nacional de alta demanda de calidad, por no contar en el futuro cercano con sistemas que aseguren la calidad e inocuidad en sus procesos.

Estos autores señalaron que los mataderos que operaron el sistema en su totalidad destinaron en promedio un 14% de sus ventas a los mercados de exportación, particularmente a USA y Asia y los que estuvieron en proceso de implementación del sistema lograron colocar hasta el 6% de sus ventas hacia clientela en USA, Japón y Corea, así como a restaurantes y cadenas de comida rápida del mercado nacional.

Por otro lado, empresas productoras de productos cárnicos (Miranda et al., 2003) y lácteos (Henson et al., 1999) que operan el sistema HACCP reportaron que en el corto plazo registraron una reducción paulatina esencial en sus costos de producción, presentaron una mejor eficiencia interna en la planta, mayor habilidad para retener a sus clientes y atraer nuevos, se incrementó la motivación del personal administrativo y de producción, se mejoró la competitividad, se facilitó la aprobación de permisos para la producción y obtención de una prima en precio se cubrieron los requerimientos de la clientela y autoridades gubernamentales y se mejoró la calidad del producto, además de una reducción en los conteos microbiológicos.

Al respecto Oscar (1999) encontró que con el sistema se redujo el número de patógenos en las canales de aves, se minimizó la contaminación con patógenos entéricos durante el procesamiento por lo que ocurrió una disminución significativa de riegos al consumidor. Así mismo Modelos de evaluación de riesgos en el sistema producción-consumo de aves realizados por el USDA predijeron una reducción de contaminación por Salmonella al final del procesamiento de hasta un 20% y una disminución de exposición al consumidor en un tercio, lo cual se tradujo en una reducción significativa de riesgos para el mismo.

Aunque en México aún no se exige el HACCP en las explotaciones ganaderas, es ventajoso pensar en su aplicación ya que de esta manera se cubre toda la cadena de producción de carne garantizando su calidad e inocuidad, haciendo más competitiva la empresa. En un proyecto realizado por Fernández y Quiñonez. (2003), diseñaron un plan HACCP para el proceso de obtención de carne bovina, estos autores dividieron el proceso de producción en dos secciones el de producción primaria o prebeneficio y el de beneficio o faenado de la carne, hicieron un estudio

descriptivo de cada etapa y se aplicaron los siete principios del sistema, documentaron que en la sección de prebeneficio la etapa de cuarentena constituyó el único punto crítico de control debido a su importancia para prevenir el ingreso de los animales a etapas siguientes con enfermedades adquiridas en etapas anteriores, en el área de beneficio la inspección antemortem y postmortem son puntos críticos tipo dos y uno, la etapa de embarque de la carne para consumo representó, en algunos casos uno de los puntos críticos de mayor importancia debido a los procedimientos antihigiénicos de embarque y transporte del producto que representa una contaminación potencial.

Los puntos críticos los describimos a continuación:

1. Diseño de un programa de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), de Producción (BPP) e higiene (BPH) para el área de Sacrificio y empaque de carne de bovino: Se elaborará un programa sobre las BPM, BPP y BPH que deben seguirse en estos procesos basado en el Boceto de códigos de normas de higiene para la carne propuesta por el Codex Alimentario (FAO/WHO. 2004) y en las NOM vigentes como la NOM-009-ZOO-1994 y la NOM-251-SSA1-2009 Prácticas de Higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios, estas considerarán de manera general: la higiene del personal, condiciones de planta y equipos, control del proceso en cada etapa de producción (recepción-distribución), control de materia prima, control de proveedores, control de plagas, manejo de producto etc. Con esta información se elaborara un Manual de BPM, BPP y BPH para estas áreas así como formatos y bitácoras de registro diario que son necesarios para su evaluación.

2. Diseño de un programa de Procedimientos Operacionales Estandarizados de Sanitización (POES) para el área de Sacrificio y empaque de carne de bovino: El propósito de estos procedimientos es reducir la posibilidad de que el alimento se contamine debido al contacto con superficies y utensilios. Se elaborara un manual de procedimientos de operación sobre limpieza y desinfección de instalaciones, equipos y utensilios adaptado a la empresa. Se consideraran tanto los POES preoperacionales como los operacionales en ambas plantas. Se incluirá el procedimiento, la frecuencia, lugar o área donde se realizará, quien lo realizará y verificará, fecha de elaboración, los límites del proceso, acciones correctivas etc. Se diseñaran formatos de registro y bitácoras para su evaluación diaria de rutina. Además se elaboraran desplegados con instrucciones sencillas que será colocados en áreas visibles clave en la planta para que el operador sea más consiente sobre la importancia de la higiene en su trabajo y para una mejor orientación sobre cómo realizarlas correctamente.

3. Diseño del Plan HACPP para el área de Sacrificio y empaque de carne de bovino: Se elaborara un manual con el plan HACCP tanto para las canales como para la carne empacada, adaptado a los condiciones de la empresa basado en el Modelo HACCP general para el sacrificio de reses (USDA-

FSIS.1999) y en las guías publicadas por el Codex Committee of Food Hygiene de la Organización Mundial de la Salud (1993). De manera general este incluirá los siguientes apartados: Selección del equipo HACCP, composición del producto, identificación del uso esperado del producto y los posibles consumidores, elaboración de un diagrama de fabricación y aplicación de los principios del HACCP etc. Esta información se comparará y verificará con la operación real de la planta y se realizarán los cambios necesarios para adaptarla al funcionamiento de la empresa. Se elaborarán los formatos de documentación y verificación que serán necesarios una vez que el sistema se encuentre en operación.

4. Primera evaluación de los prerrequisitos (BPM y POES) en la planta de sacrificio y empacado de la carne: Esta evaluación se realizará de acuerdo a la metodología reportada por Suarez et al., (2007) para conocer el grado de cumplimiento que realmente se tiene en la planta de las BPM Y POES para ello se realizará una supervisión de cada etapa del proceso tecnológico (recepción de animales, estadía, sacrificio, faenado, almacenamiento y distribución), así como de aspectos de las características de instalaciones, equipos y utensilios, higiene, administrativos, entre otros. Se utilizará un cuestionario diseñado para tal efecto que incluye aspectos a evaluar y la calificación a otorgar. Como la evaluación es cualitativa se otorga calificación de Bien (B), Regular (R) o Mal (M) a cada una de las operaciones supervisadas, se califica como B si cumple adecuadamente con las normas, R si cumple satisfactoriamente y M si no hay cumplimiento, se obtiene un porcentaje en cada criterio que evidencian la existencia o no de los prerrequisitos y si es posible implementar o no el Plan HACCP.

En esta etapa se realizarán monitoreos microbiológicos de:

Agua utilizada en el proceso, de superficies de equipo después de sanitizados y manos de personal del área de producción durante la operación para detectar presencia de coliformes fecales, coliformes totales, mesófilos aerobios, hongos y levaduras. El agua será muestreada en bolsas estériles y las superficies vivas e inertes mediante el uso de esponjas para muestreos microbiológicos. Para verificar el buen saneamiento de equipos y superficies se realizarán pruebas rápidas para detectar presencia de proteína con hisopos especiales hechos para tal efecto como los de la marca RIDA CHECK o luminiscencia.

De la canal y de la carne, se realizarán pruebas rápidas para detección de *Listeria*, *Salmonella* y *E. coli* O157:H7 mediante el uso de tiras de flujo lateral que están avaladas por la AOAC las cuales reducirán significativamente el tiempo para obtener los resultados en el proceso lo que permitirá realizar las acciones correctivas necesarias para disminuir su presencia lo más rápido posible. Además, se tomarán muestras y se enviarán a laboratorios que estén acreditados por SAGARPA y autorizados por SSA, para realizar los análisis correspondientes que avalen los resultados que servirán para la certificación

futura de la planta. También se harán muestreos para detectar presencia de residuos tóxicos, tales como antibióticos, plaguicidas y metales pesados en la carne. Las canales serán muestreadas al salir del proceso y la carne al final del empaque.

Los muestreos para análisis microbiológicos y de residuos tóxicos se realizarán una vez por semana durante dos meses en los puntos antes mencionados tanto en la fase previa a la implementación de las BPM y POES como en las etapas post implementación de estos sistemas de calidad y del HACCP al final del estudio.

6. Implementación de las BPM Y POES: Se realizarán al menos 2 talleres de capacitación tanto a personal administrativo como operativo para dar a conocer las BPM Y POES que deben ser utilizadas en el proceso y sobre la importancia de su uso y repercusiones en la calidad de la carne. Se sugerirán a la gerencia los cambios que sean necesarios para lograr la implementación exitosa de estos prerrequisitos y que son imprescindibles para el buen funcionamiento del Plan HACCP. Se aplicarán las BPM y POES en la planta.

7. Segunda evaluación de los prerrequisitos (BPM y POES) en la planta de sacrificio y empacado de la carne: Una vez que el personal se encuentre capacitado y se encuentren operando las BPM Y POES en el proceso se realizará una segunda evaluación de estos prerrequisitos de acuerdo a la metodología de Suarez et al., (2007) antes descrita y un segundo muestreo para análisis microbiológico de agua, equipos, manos de operadores y carne, bajo el mismo esquema de muestreo antes mencionado para verificar el grado de aplicación de las BPM y POES y determinar si la planta se encuentra lista para la implementación del Plan HACCP.

8. Formación del equipo HACCP: Se formará el equipo HACCP con personal de la gerencia o administrativo, control de calidad y operativo, el cual tendrá la función de evaluar y verificar la implementación y operación del sistema HACCP en la planta.

9. Implementación del Sistema HACCP: Se realizarán al menos 2 talleres de capacitación para el equipo HACCP, personal administrativo y operativo de la planta, para dar a conocer en qué consiste el sistema, como debe operarse y verificarse y la importancia de su implementación

10. Aplicación de los 7 principios del plan HACCP en el proceso de sacrificio y empacado de carne de ganado bovino: En conjunto con el equipo HACCP se aplicarán los 7 principios del plan HACCP en el proceso de acuerdo al modelo reportado por la USDA-FSIS (1999) y la Guía de implementación HACCP reportada por APA y ASPROCER (2003). Además se realizará un tercer muestreo para análisis microbiológico de agua, equipos, manos de operadores y carne, y un análisis de residuos de antibióticos en carne para verificar el grado de inocuidad de la carne después de la implementación del

Plan HACCP. En este punto de manera general se identificarán todos los peligros físicos, químicos, radioactivos y biológicos que puedan existir en cada etapa del proceso, donde exista un peligro significativo se decidirá si es un Punto Crítico de Control (PCC) (punto en el proceso productivo donde se puede aplicar un control y así prevenir o reducir un peligro a niveles aceptables), se establecerán los límites Críticos (LC) para cada PCC que tenga relevancia científica para la seguridad del producto, para cada LC se identificarán los parámetros que deberán ser medidos así como las acciones correctivas para cada PCC para determinar cómo será corregido el proceso si ocurre una desviación. Para cada PCC se identificará cuáles son los registros que se van a necesitar para documentar que su monitoreo tuvo lugar e identificar al personal responsable del mantenimiento de los registros, para cada PCC se identificarán los procedimientos de corto y largo plazo que respaldarán la verificación del plan HACCP.

Contaminantes biológicos

Los productos cárnicos de origen vacuno pueden contaminarse en cualquiera de las etapas de procesamiento, ya que este tipo de ganado es un reservorio natural de microbiota intestinal y patógenos para el humano, por lo que sus heces son fuente significativa de microorganismos. Así, la carne fresca puede resultar contaminada en el ambiente del rastro al momento del sacrificio, por lo que los agentes patógenos pueden permanecer en la superficie de la carne o penetrar con algún utensilio en el tejido muscular.

Dentro de las principales bacterias y las cuales están incluidas en los análisis rutinarios solicitados por el Anexo Técnico 1 de SAGARPA para la certificación de un cultivo se encuentran *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* y *Escherichia coli*. Sin embargo, se ha descrito un grupo de cepas de *E. coli* enteropatógenas, que son responsables de un elevado número de infecciones gastrointestinales, en el que el serotipo de *E. coli* O157:H7 es considerado como uno de los principales patógenos relacionados con brotes por el consumo de carne contaminada, principalmente en poblaciones rurales de Estados Unidos de América y Escocia, y en países con patrones estacionales muy claros, como Australia. Actualmente se establece que la carne de res ofrece un ambiente altamente nutritivo a la microflora contaminante, pudiendo satisfacer las necesidades básicas para su persistencia y crecimiento.

Escherichia coli O157:H7 pertenece al grupo de bacterias enterohemorrágicas productoras de toxinas que ocasionan colitis hemorrágica. La toxi-infección se caracteriza por dolor abdominal, diarrea acuosa con sangre y poco o nada de fiebre. Algunas personas infectadas (sobre todo cuando ocurre en los niños) pueden desarrollar el Síndrome Urémico Hemolítico (SUH), una enfermedad grave en humanos, caracterizada por insuficiencia renal y anemia temporal. En México, no existen registros que asocien los casos de SUH con infecciones por *E. coli* O157:H7, situación que aún no se ha explicado. En la industria cárnica es de vital importancia debido a que puede estar presente en el ganado. Las tasas de

portadores de esta bacteria entre animales como de res, de cerdo, de pollos y carneros son 3.7, 1.5, 1.5 y 2% respectivamente (Hancock *et al.*, 1997).

Además de la *E. coli* O157:H7, hay serogrupos de *E. coli* llamados no *E. coli* O157:H7 la FDA ha identificado seis serogrupos: *E. coli* O26, O45, O103, O111, O121 y O145 (Son *et al.*, 2014). Estos seis serogrupos se han encontrado en alimentos en Estados Unidos, que causan 37,000 por año en Estados Unidos (Richardson *et al.*, 2013). También son llamadas Big-six son consideradas adulterantes cuando se encuentran en carne cruda o en carne manipulada (Luchansky *et al.*, 2013). Diversas investigaciones muestran como eliminar las no *E. coli* O157

Utilizando un procesamiento con alta presión se comparó la inactivación de *E. coli* O157:H7 contra las no O157:H7 en carne molida, usando procesamiento de alta presión a temperatura de refrigeración (4-7°C). En donde se observó, en general que las Big six son más sensibles al estrés de la presión. A una presión de 250 MPa por 30 min se inactivan solo 2.3 log ufc de las Big six contra 1 log de *E. coli* O157:H7. Lo cual indica que las altas presiones es efectivo para la reducción de Big six (Hsu *et al.*, 2015). Luchansky *et al.*, 2013 observo que el tiempo de cocinado y la temperatura en carne molida, contribuyen a una efectiva inactivación del serotipo O157:H7 así como de los serogrupos no-O157-H7. Probaron tres temperaturas con diferentes tiempos: 54.4°C/90min, 60°C/4min y 65.6°C/0.26min, donde hubo una reducción 0.7 a 6.7UFC/g, 1.1 a 6.1UFC/g y 0.8 a 6.8UFC/g respectivamente.

Problemas de calidad del producto

El estrés durante el transporte también puede cambiar los niveles de ácido o el pH de la carne, el cual puede endurecerla y darle un color oscuro. Algunas veces este cambio en el color es suficiente para que la carne no sea aceptada por el consumidor, o no se pueda exportar. Las cicatrices de heridas o marcas del rancho en la piel bajarán la calidad de éstas y esas pieles no podrán ser usadas en la elaboración de ropa fina. Si los hígados están llenos de abscesos, no podrán ser usados para elaboración de alimentos de calidad.

Contaminantes físicos

Los contaminantes físicos incluyen trozos de alambres y residuos de plomo de la bala de aturdimiento. Con frecuencia éstos no pueden ser vistos hasta que la carne está en la carnicería lo cual puede causar reclamaciones serias por parte del consumidor. En este caso la empresa y el consumidor son bastante afectados. Los residuos de la bala pueden ser tan pequeños que se pueden pasar aún por las máquinas del procesado y quizá llegar hasta el plato del consumidor. Los alambres se pueden moler en el proceso y llegar a quebrar las navajas de una mezcladora o a dañar un molino en la elaboración de embutidos echando a perder grandes cantidades de carne procesada. Este problema ha conducido a que los procesadores tengan que pasar todas las cajas de carne por un detector de metales.

Presencia de sustancias químicas

Otro riesgo que se necesita controlar en la carne de res es la presencia de sustancias químicas dañinas para el hombre como son los antibióticos que se describen en la Tabla 1 donde se presenta el tipo de sustancia que está controlada así como la concentración mínima permitida.

Tabla 1. Concentración mínima permitida de antibióticos en carne.

Familia	Compuesto	Matriz	µg/Kg
B-lactámicos	Penicilina	Hígado	50
		Riñón	50
		Musculo	50
	Ampicilina	Leche	4.0
		Hígado	10
		Riñón	10
	Dicloxacilina	Musculo	10
		Leche	4.0
		Hígado	300
		Riñón	300
		Musculo	300
		Leche	30
Oxacilina	Hígado	300	
	Musculo	300	
	Cloxacilina	Hígado	300
		Musculo	300
	Estreptomina y dihidroestreptomina solas o en combinación	Hígado	600
		Riñón	1000
Musculo		600	
Leche		200	
Neomicina		Hígado	500
		Riñón	10000
Dioxiclina	Musculo	1500	
	Leche	100	
	Hígado	300	
	Musculo	300	
Tetraciclinas	Tetraciclina y sus 4 epimeros	Musculo	
	Clorotetraciclina y sus 4 epimeros	Musculo	
	Oxitetraciclina y sus 4 epimeros	Musculo	
Macrólidos	Eritromicina	Hígado	200
		Riñón	200
		Musculo	2000
Sulfonamidas	Sulfadimetoxina	Leche	40
		Musculo	100
		Hígado	100
		Leche	100

	Musculo	100
Sulfapiridina	Hígado	100
	Leche	100
	Musculo	100
Sulfametazina	Hígado	100
	Leche	25
	Musculo	100
Sulfatiazol	Hígado	100
	Leche	100
	Musculo	100
Sulfadoxina	Hígado	100
	Leche	100
	Musculo	100
Sulfamerazina	Hígado	100
	Leche	100
	Musculo	100
Sulfacoloropiridazina	Hígado	100
	Leche	100
	Musculo	100
Sulfadiazina	Hígado	100
	Leche	100
	Musculo	100
Sulfisoxasol	Hígado	100
	Leche	100
	Musculo	100
Sulfaquinoxaleina	Hígado	100
	Leche	100

El Clenbuterol, 19-nortestosterona, trembolona, etinilestradiol, triamcinolona, fenilbutazona, boldenona, dexametazona, zilpaterol, ractopamine, acetato de melengestrol son sustancias β -agonista del grupo de los β -adrenérgicos. Su uso como aditivo alimenticio en la engorda de ganado genera un efecto anabólico también se les denomina como agente de repartición en virtud de que reduce la grasa a la vez que fomenta la síntesis proteínica, debido a que los β -agonistas pueden incrementar el flujo sanguíneo a ciertas regiones del cuerpo. La utilización de estas sustancias presenta una serie de ventajas relacionadas no sólo con la mejora de productividad, sino también de la calidad de la carne. Sin embargo, a finales de la década de los 80's, se identificó que también tenía efectos secundarios en los consumidores de la carne y vísceras de animales expuestos a estas sustancias ocasionando intoxicaciones agudas.

En México se han emitido Normas que prohíben el empleo de algunas sustancias de grupo de los β -adrenérgicos como el clenbuterol en la alimentación de los animales domésticos, así como su importación, comercialización, transportación y suministro en todo el territorio nacional. No obstante a su prohibición, se tiene conocimiento de su utilización en la engorda de ganado bovino, incluso se han detectado casos de intoxicación de humanos por el consumo de carne con contenido de clenbuterol en el área Metropolitana de la Ciudad de México, por lo que se requiere realizar un monitoreo de su posible presencia en la carne y leche

de bovino que se comercializa en esta zona. Es de enorme importancia que se establezcan procedimientos eficaces de detección de su uso, a fin de evitar que la carne, las vísceras y despojos comestibles lleguen al público consumidor.

Conclusiones

La producción de carne para el consumo humano es uno de los renglones importantes dentro de la economía de un país, tiene una gran importancia socioeconómica ya que sirve como base para el desarrollo, generación de empleo y sostenibilidad. Establecer sistemas de calidad como TIF y HACCP son puntos muy importantes a seguir para dar valor agregado a la carne que se comercializa tanto a nivel nacional como internacional. Los monitoreos regulares de contaminantes físicos, biológicos y químicos son de suma importancia para mantener la inocuidad y calidad de la carne.

Bibliografía

- Ardila Sergio, 2006, El sector rural en México: Desafíos y Oportunidades, Nota política del Banco Interamericano de Desarrollo (RE2/NE2).
- CE. 2005. Commission Regulation (CE) No 2073/2005 of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuffs. *Official Journal of the European Union*. 338:1-26.
- FAO. 1997. Sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP) y directrices para su aplicación. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/y1579s/y1579s03.htm>. Consultado el 19 de mayo de 2016.
- Fernández E. E. 2008. *Microbiología e Inocuidad de los Alimentos* (3 ed). Universidad Autónoma de Querétaro.
- Hancock D., Rice D., y Thomas L. 1997. Epidemiology of *Escherichia coli* O157 in feedlot cattle. *Journal Food Protection*. 60:363-366.
- Hsu H., Sheen S., Sites J., Cassidy J., Scullen B. 2015. Effect of High Pressure Processing in the survival of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* (Big Six vs. O157:H7) in ground beef. *Food Microbiology*. 48:1-7.
- FAO. 1997. Sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP) y directrices para su aplicación. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/y1579s/y1579s03.htm>. Consultado el 19 de mayo de 2016.
- ICMSF. 1996. Microorganisms in foods 5. Microbiological specifications of food pathogens. ICMSF (ed), Blackie Academic & Professional, Suffolk.
- Jarvis N., OBryan C., Ricke C., Johnson M., y Crandall G. 2016. A review of minimal and defined media for growth of *Listeria monocytogenes*. *Food Control*. 256-269.
- Luchansky J., Porto A., Shoyer B., Phillips J., Eblen D., Evans P., y Bauer N. 2013. Thermal Inactivation of a Single Strain Each of Serotype O26:H11, O45:H2, O103:H2, O104:H4, O121:H19, O145:NM, and O157:H7 Cells of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* in Wafers of Ground Beef. *Journal of Food Protection*. 76: 1434-1437.

- Randall L., Cooles S., Osborn M., Piddock L., y Woodward M. 2004. Antibiotic resistance genes, integron and multiple antibiotic resistances in thirty-five serotypes of *Salmonella enterica* isolated from humans and animals in the UK. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 53:208-216.
- Richardson Susanna, Schneider Renée, y Schneider Keith. 2013. Preventing Foodborne Illness: *E. coli* "The Big Six". *Food Science and Human Nutrition Department*, UF/IFAS. 1-5.
- SAGPyA- Programa Calidad de los Alimentos Argentinos. Direccion de programación de la calidad alimentatia.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2012, Comunicado 463/12 Presidencia de la República, disponible en: <http://www.presidencia.gob.mx/2012/08/alcanzan-los-10-principales-productos-exportaciones-por-5-6-mil-millones-de-dolares>
- Son I., Binet R., Maounounen A., Lin A., Hammack T., y Kase J. 2014. Detection of five Shiga toxin-producing *Escherichia coli* genes with multiplex PCR. *Food Microbiology*. 40:31-40.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2012, Comunicado 463/12 Presidencia de la República, disponible en: <http://www.presidencia.gob.mx/2012/08/alcanzan-los-10-principales-productos-exportaciones-por-5-6-mil-millones-de-dolares>

Carne y Subproductos como Vehículo de *Salmonella* entérica en México

Esquivel-Hernández Y., Nava-Morales G. M*.

Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro. 76010. *Correspondencia: gerardomnava@gmail.com

Resumen

Los productos cárnicos son una fuente importante de *Salmonella enterica* para el ser humano. En México, a diferencia de algunos países miembros de la Unión Europea y los EE.UU., no existen bases de datos donde se detalle el número de brotes y casos de salmonelosis asociadas al consumo de alimentos. Sin embargo, existen algunos reportes de estudios epidemiológicos realizados por las autoridades sanitarias del país e investigadores asociados a universidades públicas. En esta sección del libro, se describe y discute la información más relevante de prevalencia y diversidad de *S. enterica* asociada a productos cárnicos comercializados en México. En 1993, investigadores de la Secretaría de Salud, México reportaron que entre 1980 y 1989 ocurrieron 58 brotes de enfermedades transmitidas por alimentos causando 2,490 casos y 46 defunciones. El 31.0% de los brotes, 23.9% de los casos y 8.7% de las defunciones fueron atribuidos a *S. enterica*; y específicamente, el 12.1% asociados al consumo de carne contaminada por *S. enterica*. También, se ha reportado que los productos cárnicos frecuentemente contaminados con este patógeno son chorizo, longaniza, carne cruda, moronga y paté; y los serotipos más prevalentes en México son Agona, Anatum, Bredeney, Derby, Enteritidis, Give, Infantis, London, Montevideo, Muenster, Reading y Typhimurium. Esta información exhibe el potencial riesgo a contraer salmonelosis por consumir productos cárnicos mal procesados. Es fundamental que autoridades sanitarias, industria de alimentos y universidades unan esfuerzos para implementar estrategias y disminuir la prevalencia de *S. enterica* en productos cárnicos.

Introducción

La carne de pollo, res y cerdo es un vehículo importante para la transmisión de *Salmonella* en humanos. Si bien, el proceso de cocimiento elimina en su totalidad al patógeno, la contaminación cruzada de alimentos es la principal causa de salmonelosis en humanos. La contaminación cruzada ocurre cuando la carne no cocida es manipulada con utensilios, y estos funcionan como vehículo para contaminar alimentos no procesados (ej. ensaladas, pan, frutas, etc.). La importancia de la carne o subproductos como fuente de *Salmonella* ha sido claramente documentada por un estudio realizado por la Secretaría de Salud, México (SSA). Investigadores del Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos (InDRE) y la Dirección General de Epidemiología de la SSA analizaron 24,394 aislamientos de *S. enterica* recuperados de muestras humanas y no humanas (alimentos, agua y ambiente), que fueron aisladas entre los años 1972

y 1999 en laboratorios privados y de salud pública (Gutiérrez-Cogco *et al.* 2000). Este trabajo reveló que 4,926 (20.2%) aislamientos fueron recuperados de alimentos, y de estos, 2,217 (9.1%) fueron obtenidos de carne y subproductos. También, este estudio reveló que los serotipos Derby y Anatum fueron los más prevalentes en muestras no humanas (Gutiérrez-Cogco *et al.* 2000). Aunque estos datos no comparan las prevalencias de *S. enterica* entre diferentes alimentos, proveen algunas claves sobre posibles riesgos al consumidor.

En 1993, un estudio epidemiológico realizado por el Laboratorio Nacional de Salud Pública de la SSA reportó que entre 1980 y 1989 ocurrieron 58 brotes de enfermedades transmitidas (ETA) por alimentos causando 2,490 casos y 46 defunciones (Parrilla-Cerrillo *et al.* 1993). De estos números, el 31.0% (18/58) de los brotes, 23.9% (596/2,490) de los casos y 8.7% (4/96) de las defunciones fueron atribuidos a *S. enterica*. Específicamente, el 12.1% (7/58) de los brotes de ETA fueron asociados al consumo de carne contaminada por *S. enterica* (Parrilla-Cerrillo *et al.* 1993). En conjunto, los datos publicados por la SSA, exhiben claramente el potencial riesgo a contraer salmonelosis por manipular inadecuadamente o consumir productos cárnicos mal procesados.

Prevalencia y diversidad de *Salmonella enterica* en plantas de procesamiento en México.

En México, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) y su Programa Nacional de Control de Patógenos, lleva a cabo la vigilancia microbiológica en plantas de procesamiento. El personal del Servicio de Inspección autorizado de la SENASICA, asegurará el cumplimiento del programa y establece la vigilancia para evitar que los productos destinados al consumo humano contengan microorganismos patógenos (ej. *Salmonella* y *Campylobacter*) (código: DI-004-2014).

Según el “Programa Nacional de Control de Patógenos en Establecimientos Tipo Inspección Federal (TIF) de Sacrificio de Aves y Productos de Huevo” (DI-004-2014) los establecimientos dedicados al faenado y procesamiento de pollo de engorda deben analizar al menos 51 muestras, lavados de la canal o técnica de esponjado, al año. De estas, el número de muestras positivas no debe exceder el 20% (DI-004-2014).

Datos de prevalencia de *S. enterica* en plantas de procesamiento en México son escasos o nulos. En nuestro grupo de trabajo hemos iniciado con los primeros estudios en este ámbito. Resultados preliminares de nuestras evaluaciones microbiológicas han revelado una prevalencia de *S. enterica* en piezas de pollo del 33.0% (81/254 muestras) (datos no publicados). Estos niveles, están por encima del nuevo límite (15.4%, 8/52 muestras) establecido para piezas de pollo en EE.UU. (FSIS–2014–0023, 2016). Sin embargo, en México no existe regulación al respecto.

En el caso de ganado bovino y porcino, también la SENASICA ha establecido estándares para la vigilancia de *Salmonella* sp. en plantas procesadoras de carne de res y cerdo. Según los lineamientos del Reglamentos Sobre Reducción de Patógenos, Pruebas de Detección de *Salmonella* (códigos: 310.25 y 381.94) de la SAGARPA (<http://anetif.org/files/pages/0000000024/salmonella.pdf>), el porcentaje de muestras permitido en carne de res proveniente de animales jóvenes y adultos es de 1% y 2.7%, respectivamente. En cerdos, límite permitido es 8.7%. Para el caso de carnes molidas de res, pollo y pavo, los límites permitidos son 7.5%, 44.6% y 49.9%, respectivamente (Tabla 1) (Reglamentos SENASICA códigos: 310.25 y 381.94).

Tabla 1. Muestreo oficial para plantas de procesamiento tipo TIF en México según el Programa Nacional de Control de Patógenos.

Producto	Estándar de positivos (%)	Muestras por año	Máximo de muestras positivas permitidas
Novillos/vaquillas	1	82	1
Vacas/toros	2.7	58	2
Carne molida de res	7.5	53	5
Cerdos	8.7	55	6
Salchichas de carne fresca de cerdo	ND	ND	ND
Pollos de engorda	20	51	12
Pollo molido	44.6	53	26
Pavo molido	49.9	53	29
Pavos	ND	ND	ND

ND: No determinado.

Datos obtenidos del programa código: DI-004-2014 y Reglamentos 310.25 y 381.94 de la SAGARPA (<http://anetif.org/files/pages/0000000024/salmonella.pdf>).

De acuerdo a nuestro mejor conocimiento, no existe una base de datos que detalle muestreos, número de muestras y prevalencia de patógenos en rastros municipales y/o TIF. La mayoría de los datos de vigilancia disponibles han sido generados por universidades públicas. Por ejemplo, un estudio realizado por Narvaez-Bravo y colaboradores reveló una prevalencia de *S. enterica* en canales de ganado bovino en pre-evisceración del 49.2% (123/250 muestras). El 92.4% (231/25) de la piel removida fue positiva a *S. enterica*. Al final del proceso, solo se detectó el patógeno en el 6% (15/250) de la carne refrigerada. Esto sugiere que las medidas sanitarias en la planta de procesamiento reducen la prevalencia del patógeno, sin embargo el número de muestras está por arriba de los límites permitidos (Narvaez-Bravo *et al.* 2013).

Otro muestreo realizado en el estado de Jalisco reveló prevalencias de 15.5% (78/505 muestras) en canales de ganado bovino. Este estudio también identificó a los serotipos de *S. Give* (24.4%) y *Typhimurium* (17.9%) como los más prevalentes en la planta de procesamiento (Pérez Montaña 2012). Un estudio independiente, en el estado de Hidalgo, reportó una prevalencia de *S. enterica* de 13.8% (5/36 muestras) en canales de res (Castro-Rosas *et al.* 2007). La prevalencia de estos dos estudios es superior al límite máximo permitido por la SENASICA. Lo que indica que es necesario mejorar e implementar las medidas sanitarias para el control de *S. enterica* en carne de res.

En una planta empacadora de carne de cerdo ubicada en la Ciudad de México, se estudió la prevalencia de *S. enterica* en cinco lotes de muestras (n = 323) y dos tipos de chorizo. La prevalencia del patógeno en chorizo fresco con envoltura artificial fue de 6.6% (11/166 muestras), mientras que en chorizo maduro con envoltura natural fue de 4.9% (8/164 muestras) (Salgado-Mancha *et al.* 1999). Aunque estos datos no permiten hacer un análisis crítico sobre el riesgo de usar envoltura natural (intestino de cerdo), los niveles de *S. enterica* en la planta empacadora son menores a los reportados en puntos de venta. Este estudio también identificó a los serotipos Heidelberg (52.6%), Derby (21.1%), Typhimurium (15.8%), Stanley (5.3%) y Brandenburg (5.3%). Estos serotipos también han sido reportados por otros estudios en plantas de procesamiento y puntos de venta.

En plantas de procesamiento ubicadas en el Estado de México, se han observado prevalencias de 26.9% (86/320 muestras) en canales de cerdo. Además, los serotipos más comunes fueron Typhimurium (41.9%), London (17.4%), Agona (8.1%) Anatum (7.0%) y Bredeney (7.0%) (Talavera 2004). En conjunto, los estudios de vigilancia epidemiológica descritos en el presente capítulo indican que la prevalencia de *S. enterica* es mayor a los límites permitidos en plantas de procesamiento. Estos datos también resaltan la necesidad de desarrollar nuevas estrategias para identificar la diversidad genética de los aislamientos y llevar a cabo la trazabilidad de los patógenos. Este último hecho, con la finalidad de conocer el origen de *S. enterica* que circula en plantas de procesamiento y puntos de venta. Finalmente, sería pertinente considerar si los niveles establecidos por la SENASICA son alcanzables para los sistemas de producción animal del país.

Prevalencia y diversidad de *Salmonella enterica* en puntos de venta en México.

En México, la vigilancia epidemiológica de *S. enterica* en puntos de venta está a cargo de la Comisión Federal Para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). La COFEPRIS es la dependencia de la SSA responsable de la regulación, control y fomento sanitario de productos y servicios, de su importación y exportación, así como de los establecimientos dedicados al proceso de los mismos (<http://www.cofepris.gob.mx>). Para la certificación de alimentos, la COFEPRIS vigila la aplicación de las normas oficiales como la NOM-210-SSA1-2014, "Productos y

servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos”; NOM-114-SSA1-1994, “Bienes y servicios. Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos”, y la NOM-213-SSA1-2002, aplicable a productos cárnicos procesados. En estos documentos oficiales, se describen los procedimientos microbiológicos implementados para la vigilancia epidemiológica de *S. enterica* en puntos de venta y rastros. Así como los límites máximos permisibles para productos cárnicos crudos y procesados (NOM-213-SSA1-2002) (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Límites máximos permisibles para productos cárnicos crudos y procesados según la NOM-213-SSA1-2002.

Producto cárnico	<i>Salmonella</i> sp. en 25 g de producto
Cocidos	Ausente
Crudos	Ausente
Curados	Ausente
Marinados o en salmuera	Ausente
Fritos	NA*

*NA = No aplica

Tabla 3. Límites máximos permisibles de *Salmonella* en mamíferos y aves domésticas según la NOM-114-SSA1-1994

Producto cárnico	<i>Salmonella</i> sp. en 25 g de producto
Congelado	Ausente
Refrigerado	Ausente
Carne molida refrigerada	Ausente
Envasado al vacío o en atmósfera modificada	Ausente

De acuerdo a nuestro mejor conocimiento, no existe una base de datos que describa prevalencia, tipo de muestras y número de muestras analizadas en puntos de venta por las COFEPRIS. La mayoría de los datos disponibles de prevalencia de *S. enterica*, solo han sido publicados en revistas científicas.

El estudio más grande de prevalencia de *S. enterica* en productos cárnicos comercializados en México (de acuerdo a nuestro mejor conocimiento) fue realizado en la SSA por Parrilla y colaboradores en 1978. En este trabajo, se analizaron 9,322 muestras de carne no cocida de res y cerdo, embutidos crudos (chorizo y longaniza), embutidos escaldados y cocidos (fiambre, moronga, mortadela, pastel de carne, pate, salami y salchichas) y no embutidos (entrecot, jamón, queso de puerco y

tocino). La mayor prevalencia de *S. enterica* se observó en longaniza (36.0%), seguida por chorizo (33.6%), carne no cocida (27.6%) y moronga (14.7%) (Tabla 4). Este trabajo también reveló que los serotipos más prevalentes fueron Derby (29.6%), London (16.8%), Give (7.3%), Anatum (7.0%), Agona (6.7%), Typhimurium (6.7%) e Infantis (5.1%) (Tabla 5) (Parrilla *et al.* 2014)

Tabla 4. Prevalencia de *Salmonella enterica* en carne y subproductos* comercializados en México.

Producto	Positivas/total de muestras	Porcentaje muestras positivas
Longaniza	457/1272	36.0
Chorizo	295/877	33.6
Carne cruda	488/1762	27.6
Moronga	44/299	14.7
Paté	13/169	7.6
Entrecot	15/218	6.8
Queso de puerco	43/660	6.5
Salchicha	38/982	3.9
Fiambre	15/395	3.7
Jamón	60/1628	3.6
Tocino	11/247	4.4
Otras	21/813	2.5
Total	9322	
Promedio		12.6

*Datos extraídos:(Parrilla *et al.* 2014)

Tabla 5. Serotipos de *Salmonella enterica* prevalentes en carne y subproductos comercializados en México*

Serotipo	No. de cepas aisladas	%
Derby	109	29.6
London	62	16.8
Give	27	7.3
Anatum	26	7.0
Agona	25	6.7
Typhimurium	25	6.7
Infantis	19	5.1
Heidelberg	14	3.8
Bovis Morbificans	12	3.2
Meleagridis	7	1.9
Brandenburg	6	1.6
Newport	6	1.6
Worthington	4	1.0
Oranienburg	3	0.8
Muenchen	3	0.8
Muenster	3	0.8

*Datos extraídos: (Parrilla *et al.* 2014).

En 1990, Bello-Pérez y colaboradores publicaron un reporte donde analizaron 336 muestras de carne comercializada en 9 localidades del estado de Guerrero. El estudio reveló que el 32.4% (109/336) de las muestras fueron positivas a *Salmonella* sp. La mayor prevalencia del patógeno se observó en muestras de chorizo y longaniza (46.8%) (Tabla 6) (Bello-Pérez & Ortiz-Dillanes 1990).

Tabla 6. Prevalencia de *Salmonella enterica* en pollo, res y cerdo puntos de venta en el estado de Guerrero*

Producto	Porcentaje muestras positivas
Chorizo y longaniza	46.8
Carne de cerdo	13.8
Cecina	12.8
Carne de res	10.9
Carne molida de cerdo	3.7
Menudencia de cerdo	3.7
Hígado de pollo	1.8
Carne molida de res	1.8
Carne de pollo	0.9
Hígado de res	0.9
Filete de pescado	0.9

*Datos extraídos de (Bello-Pérez & Ortiz-Dillanes 1990).

En 1994, Kuri y colaboradores realizaron un estudio en puntos de venta de la Ciudad de México donde se evaluaron 50 muestras de carne de cerdo, 25 de chorizo artesanal y 25 de chorizo de marca comercial. La prevalencia de *S. enterica* fue 76%, 72% y 20% respectivamente (Kuri *et al.* 1996). Además, este estudio reveló que los serotipos más prevalentes en los dos productos analizados fueron Derby, Anatum, Bredeney, Agona, Heidelberg, Muenster, Worthington y Saintpaul (Kuri *et al.* 1996). Otros autores también han realizado vigilancia epidemiológica de *S. enterica* en varios estados del país. Los productos cárnicos comúnmente analizados son chorizo, carne pollo, res y cerdo. De estos, la mayor prevalencia se ha observado en chorizo (rango 36.0-88.3%) seguida por carne de pollo (rango 35.3-63.0%), cerdo (rango 1.6-58.1%) y res (rango 1.2-54.0%) (Tabla 7) (Torres-Vitela *et al.* 2011; Rubio Lozano *et al.* 2013).

Tabla 7. Prevalencia de *Salmonella* enterica en chorizo, carne de pollo, res y cerdo en México.

Producto	Estado	Positivas/total de muestras	Porcentaje muestras positivas	Bibliografía
Chorizo	Ciudad de México	23/50	46.0	(Kuri <i>et al.</i> 1996)
	Jalisco	53/60	88.3	(Escartin <i>et al.</i> 1999)
	Jalisco	18/50	36.0	(Torres-Vitela <i>et al.</i> 2011)
	Querétaro	33/80	41.3	(Escartin <i>et al.</i> 1999)
Pollo	Mérida	117/295	39.7	(Zaidi <i>et al.</i> 2006)
	Hidalgo	41/116	35.3	(Miranda <i>et al.</i> 2009)
	Coahuila	48/76	63.0	(Gomez-Hernández 2015)
Res	Mérida	68/126	54.0	(Zaidi <i>et al.</i> 2006)
	Ciudad de México	1/40	2.5	(Rubio Lozano <i>et al.</i> 2013)
	Nuevo León	1/30	3.3	(Rubio Lozano <i>et al.</i> 2013)
	Tabasco	6/20	30.0	(Rubio Lozano <i>et al.</i> 2013)
	Hidalgo	11/73	15.1	(Miranda <i>et al.</i> 2009)
	Ciudad de México	3/101	3.0	(Pond <i>et al.</i> 2016)
	Nuevo León	2/171	1.2	(Pond <i>et al.</i> 2016)
	Jalisco	3/86	3.5	(Pond <i>et al.</i> 2016)
Cerdo	Mérida	197/339	58.1	(Zaidi <i>et al.</i> 2006)
	Hidalgo	14/81	17.3	(Miranda <i>et al.</i> 2009)
	Ciudad de México	6/66	9.1	(Pond <i>et al.</i> 2016)
	Nuevo León	2/124	1.6	(Pond <i>et al.</i> 2016)
	Jalisco	4/71	5.6	(Pond <i>et al.</i> 2016)

Los datos de la Tabla 7 podrían ejemplificar variaciones regionales en prevalencia de *S. enterica* en productos cárnicos; sin embargo, también es muy probable que estos números sean generados por diferencias en tamaño de muestra y métodos microbiológicos empleados para el aislamiento del patógeno. En este contexto, a

nivel mundial, no existe un consenso acerca del método más adecuado para la detección de *S. enterica* a partir de productos cárnicos u otras matrices alimenticias. La selección de métodos de cultivo, principalmente se basada en preferencias personales. Las normas oficiales de México, están fundadas prácticamente en su totalidad, en las recomendaciones publicadas por el Bacteriological Analytical Manual, Chapter 5: *Salmonella* (<http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm070149.htm>); documento que también carece de una estricta evaluación de desempeño microbiológico. Si se realizará un análisis exhaustivo de la literatura, se descubriría que no existe suficiente evidencia que respalde el uso de un método específico de cultivo para *S. enterica* [ej. (Moats 1978; Rybolt *et al.* 2004; Rybolt *et al.* 2005; Hyeon *et al.* 2012; Zhang *et al.* 2013)].

Conclusiones

El análisis exhaustivo de los reportes de prevalencia de *S. enterica* en México revela que los productos cárnicos son un vehículo importante para la trasmisión de este patógeno. Sorpresivamente, no existen reportes oficiales actuales de brotes, casos y alimentos asociados al desarrollo de salmonelosis en humanos. La información revisada en esta sección se colectó durante los 1972 a 1999, y se publicó en el año 2000. Es importante que la SSA a través de la COFEPRIS y la SAGARPA a través de la SENASICA reporten los resultados de sus muestreos en laboratorios de salud pública, plantas de procesamiento y puntos de venta para conocer la magnitud del problema que enfrentamos.

Como se documentó en esta sección, los productos cárnicos como chorizo, longaniza, carne cruda, moronga y paté son una fuente importante de *S. enterica* de los serotipos Agona, Anatum, Bredeney, Derby, Enteritidis, Give, Infantis, London, Montivideo, Muenster, Reading y Typhimurium. Microorganismos que recientemente están emergiendo como bacterias multi-resistentes. Por esta razón es fundamental que el sector salud, la industria de alimentos y las universidades unan esfuerzos para vigilar y desarrollar estrategias encaminadas a reducir la prevalencia de estos patógenos. Se requiere de una mayor cantidad de estudios para conocer la prevalencia y diversidad de *S. enterica* que circula en la industria cárnica nacional.

Bibliografía

- Bello-Pérez L.A. & Ortiz-Dillanes D.M. (1990) Salmonella en carnes crudas: un estudio en localidades del estado de Guerrero. *Sal Públ. Méx.* **32**, 74-9.
- Castro-Rosas J., Hernández-Sanjuan S., Román-Gutiérrez A.D., Sánchez Ortega I., Santos-López E. & Zúñiga-Estrada A. (2007) Microbiological conditions during the slaughter process at a municipal slaughterhouse in Hidalgo, Mexico. *Vet. Méx.*, **38**, 187-95.

- Escartin E.F., Castillo A., Hinojosa-Puga A. & Saldana-Lozano J. (1999) Prevalence of Salmonella in chorizo and its survival under different storage temperatures. *Food Microbiol.* **16**, 479-86.
- Gomez-Hernández F.J. (2015) Determinación de Salmonella spp en pollo de venta en la comarca lagunera durante la estación de verano. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Gutiérrez-Cogco L., Montiel-Vázquez E., Aguilera-Pérez P. & González-Andrade M.C. (2000) Serotipos de Salmonella identificados en los servicios de salud de México. *Sal. Públ. Méx.* **42**, 490-5.
- Hyeon J.Y., Park J.H., Chon J.W., Wee S.H., Moon J.S., Kim Y.J. & Seo K.H. (2012) Evaluation of selective enrichment broths and chromogenic media for Salmonella detection in highly contaminated chicken carcasses. *Poult Sci* **91**, 1222-6.
- Kuri V., Madden R.H. & Collins M.A. (1996) Hygienic quality of raw pork and chorizo (raw pork sausage) on retail sale in Mexico City. *J. Food Prot.* **59**, 141-5.
- Miranda J.M., Mondragon A.C., Martinez B., Guarddon M. & Rodriguez J.A. (2009) Prevalence and antimicrobial resistance patterns of Salmonella from different raw foods in Mexico. *J. Food Prot.* **72**, 966-71.
- Moats W.A. (1978) Comparison of four agar plating media with and without added novobiocin for isolation of salmonellae from beef and deboned poultry meat. *Appl Environ Microbiol* **36**, 747-51.
- Narvaez-Bravo C., Miller M.F., Jackson T., Jackson S., Rodas-Gonzalez A., Pond K., Echeverry A. & Brashears M.M. (2013) Salmonella and Escherichia coli O157: H7 prevalence in cattle and on carcasses in a vertically integrated feedlot and harvest plant in Mexico. *J. Food Prot.* **76**, 786-95.
- Parrilla-Cerrillo M.C., Vázquez-Castellanos J.L., Saldate-Castañeda E.O. & Nava-Fernández L.M. (1993) Brotes de toxiinfecciones alimentarias de origen microbiano y parasitario. *Sal. Públ. Méx.* **35**, 456-63.
- Parrilla M.C., Saldate-Castañeda C.O. & Nicoli-Tolosa L.M. (2014) Incidencia de Salmonella en productos cárneos. *Sal. Públ. Méx.* **20**, 569-74.
- Pérez Montañó J.A. (2012) Presencia de salmonella en canales de bovino, análisis de sus patrones de resistencia antimicrobiana y de sus propiedades de adhesión en comparación con las de microorganismos sustitutos. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Pond A., Miller M.F., Echeverry A., Huerta N., Calle A., Lozano M.S.R., Chavez A., Brashears T. & Brashears M.M. (2016) Salmonella and E. coli O157: H7 Prevalence and Generic E. coli and Coliform Quantitative Baseline in Raw Pork and Beef in Retail Channels in Mexico. *Food Prot. Trends* **36**, 8-17.
- Rubio Lozano M.S., Bruno M., Fernando J., Hernández Castro R., Bonilla Contreras C., Méndez Medina R.D., Núñez Espinosa J.F., Echeverry A. & Brashears M.M. (2013) Detección de Listeria monocytogenes, Salmonella y Yersinia enterocolitica en carne de res en puntos de venta en México. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* **4**, 107-15.
- Rybolt M.L., Wills R.W. & Bailey R.H. (2005) Use of secondary enrichment for isolation of Salmonella from naturally contaminated environmental samples. *Poult Sci* **84**, 992-7.

- Rybolt M.L., Wills R.W., Byrd J.A., Doler T.P. & Bailey R.H. (2004) Comparison of four Salmonella isolation techniques in four different inoculated matrices. *Poult Sci* **83**, 1112-6.
- Salgado-Mancha J.S., Jaramilli-Arango C.J., Nuñez-Espinosa J.F. & Mora-Medina P. (1999) Salmonella sp en tres tipos de chorizos, como peligro dentro de un sistema de análisis de riesgos e identificación de puntos críticos de control (HACCP), en una empacadora de la ciudad de México. *Vet. Méx* **30**, 157-64.
- Talavera M. (2004) Análisis epidemiológico molecular de Salmonella spp. y su relación con la resistencia antibiótica en cerdos de abasto en rastros del Valle de Toluca, México. Universidad de Colima.
- Torres-Vitela M.R., Navarro V.M., López A.V. & Rodríguez M.A.O. (2011) Prevalencia de Salmonella y Staphylococcus aureus en chorizo y longaniza. *Nacameh* **5**, 96-107.
- Zaidi M.B., McDermott P.F., Fedorka-Cray P., Leon V., Canche C., Hubert S.K., Abbott J., León M., Zhao S. & Headrick M. (2006) Nontyphoidal Salmonella from human clinical cases, asymptomatic children, and raw retail meats in Yucatan, Mexico. *Clin. Infect. Dis.* **42**, 21-8.
- Zhang G., Thau E., Brown E.W. & Hammack T.S. (2013) Comparison of a novel strategy for the detection and isolation of Salmonella in shell eggs with the Food and Drug Administration Bacteriological Analytical Manual method. *Poult Sci* **92**, 3266-74.

Producción y Manejo Inocuo de Leche y Productos de Leche en México

Chombo-Morales M. Patricia^{1*}, Ramírez-Cerda Elsa. L²

¹Unidad de Tecnología Alimentaria Camino al Arenero 1227, El Bajío del Arenal, Zapopan, Jal. ²Servicios Analíticos y Metrológicos, Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, Jal. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. *Correspondencia: pchombo@ciatej.mx

Resumen

La leche cruda de buena calidad no debe contener residuos ni sedimentos; ni tener color y olor anormales; debe tener un contenido de bacterias bajo; no debe contener sustancias químicas (por ejemplo, antibióticos y detergentes), y debe tener una composición y acidez normales. La calidad higiénica de la leche es un factor determinante en la inocuidad de los productos lácteos. Para lograrlo, se han de aplicar buenas prácticas de higiene y manejo a lo largo de toda la cadena láctea. Factores como la contaminación y el crecimiento de patógenos, los aditivos químicos, la contaminación ambiental y la descomposición de los nutrientes pueden tener impacto negativo en el producto y en la salud de los consumidores.

Introducción

La leche es la única sustancia que ha sido creada por la naturaleza para funcionar exclusivamente como alimento (Jay, 2000), así para el ser humano la leche materna es nutrimentalmente insustituible durante los primeros meses de vida; en cambio el papel de la leche de bovino y otras especies en la nutrición humana actualmente es objeto de debate, no obstante su composición se reconoce como fuente de valiosos nutrimentos como el calcio, el magnesio, el selenio, la riboflavina (vitamina B2), la vitamina (B12) y el ácido pantoténico (vitamina B5), además del balance de los macronutrientes como la grasa, el azúcar y las proteínas, las que en conjunto permiten el desarrollo del cuerpo humano, cuando la leche se incorpora a una dieta equilibrada (FAO, 2010).

Los derivados de la leche, particularmente los lácteos fermentados como el yogur y los quesos son igualmente nutritivos, en ocasiones son inclusive fuente de probióticos y compuestos bioactivos. Debido precisamente a la riqueza de su composición, su deterioro es inminente, son horas las necesarias para que la leche o el queso fresco pierdan su calidad o sean contaminados, sobre todo en los climas cálidos tanto tropicales como áridos y semiáridos, que predominan en nuestro país.

En la leche obtenida higiénicamente dominan las bacterias ácido-lácticas (BAL), en cambio en una leche de pobre calidad una gran diversidad de microorganismos deterioradores o patógenos como las enterobacterias, pueden desarrollarse rápidamente en la leche y sus derivados, lo que provoca que su deterioro se precipite, o peor aún que enfermen al consumidor (Bourdichon et al., 2012).

Para evitar los riesgos sanitarios en el consumo de los lácteos es fundamental que la producción y el manejo de la leche, desde la explotación lechera hasta las instalaciones de procesamiento, siga procedimientos de higiene. Es por ello que en los siguientes apartados se describirán los factores y las condiciones que se deben manejar para que la leche sea obtenida con un alto grado de calidad, para posteriormente describir los principales controles de proceso que se deben seguir para obtener productos también de alta calidad sanitaria. Debido a la gran diversidad de productos que se pueden desarrollar a partir de la leche, este capítulo sólo se enfocará a la leche bronca como materia prima y a los quesos como ejemplo de derivado lácteo. Para ello se abordará la diversidad microbiana del ambiente lácteo, enseguida se presentarán los sistemas de control, como los prerrequisitos el HACCP, para finalizar con la contribución del control de las operaciones que se deben de seguir en la producción de quesos.

Microbiología de la leche y derivados

Procedencia de los microorganismos asociados al ambiente lechero

El alto valor nutritivo de la leche, su contenido de agua y su medio casi neutro (pH= 6.6) la hacen un sustrato ideal para que una gran diversidad de microorganismos se desarrolle (Quigley et al., 2011), de hecho la calidad de la leche depende del tipo de microorganismos que ahí habitan. Los géneros que se han asociado al ambiente lácteo son: *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Microbacterium*, *Oerskovia*, *Propionibacterium*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomona*, *Bacillus*, *Listeria* y algunas especies de Enterobacterias (Jay, 2000). A ello se suman microorganismos según el tipo de producto y ambiente en el que se procesen, por ejemplo en el caso de los quesos se encuentran *Clostridiales*, *Lactobacillales*, *Enterobacteriales*, *Pseudomonales* y *Bacillales*; familias como, *Staphylococcaceae*, *Planococcaceae*, *Streptococcaceae*, *Clostridiaceae* *Enterobacteriaceae* y *Pseudomonaceae*; finalmente el género *Exiguobacterium*, *Kurthia*, *Clostridia*, *Raoultella*, *Pseudomonas*, *Lactococcus*, *Staphylococcus* y *Enterobacteriaceae* las cuales también fueron diferentes entre muestra y muestra de queso (Lusk et al., 2012).

Dentro de todas las especies microbianas capaces de desarrollarse en un medio lácteo, las bacterias ácido-lácticas (BAL) constituyen en la actualidad el grupo de interés más investigado, su importancia radica en su aplicación en tecnologías para la producción de diversos productos lácteos fermentados como el yogur, el kéfir, las cremas ácidas y maduradas, algunos quesos frescos y los madurados. Las BAL pertenecen a una gran diversidad de familias: *Lactobacillaceae*, *Aerococcaceae*, *Carnobacteriaceae*, *Enterococcaceae*, *Leuconostocaceae* y *Streptococcaceae*. De ellas, varios géneros se han identificado en procesos lácteos, como *Pediococcus*, *Lactococcus*, *Weisella*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus*, *Enterococcus Carnobacterium*, *Aerococcus* y *Streptococcus*. Algunas especies de estos géneros se producen a escala industrial y se distribuyen liofilizados, por ejemplo cepas de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus* son

utilizadas ampliamente en la producción de yogur. Cabe señalar que en México todos los cultivos lácticos comerciales se importan de países como Francia, Dinamarca, Italia y Estados Unidos. Varias especies como *Lactobacillus lactis ssp lactis*, el *Streptococcus thermophilus* son responsables de la fermentación de la leche en el proceso de obtención del yogur. En la actualidad la industria biotecnológica los produce a escala industrial. Otros tipos de microorganismos no contribuyen a la calidad, tampoco la perjudican ni son patógenos, pero su presencia en cantidades significativas es indicativo de malas prácticas de ordeña y/o procesamiento, como lo son algunas levaduras como la *Kluyveromisis lactis*.

Las fuentes de microorganismos de la leche cruda son de muy diversas orígenes para comenzar la salud del ganado, la cual debe ser óptima ya que cualquier infección que tenga el animal se extenderá a la leche, siendo algunas de extremo cuidado como la tuberculosis o la brucelosis; enseguida el mantenimiento de la ubre durante la ordeña cobra importancia, ya que su anatomía favorece el ensuciamiento así como el mismo tipo de ordeña ya sea manual o mecánica, esta última por ejemplo requerirá de un protocolo de limpieza y desinfección cuidadoso para evitar la formación de bio-películas de patógenos o de material orgánico a través de las tuberías por donde la leche pasa, que coadyuve a su contaminación, de igual manera en esta operación, al menos tres aspectos se deben considerar para obtener una leche de calidad microbiológica: 1) la ordeña debe ser rápida; 2) debe ser completa, es decir extraer toda la leche de la ubre y 3) debe realizarse de forma cuidadosa, evitar maltratar o lastimar la ubre. La destreza del ordeñador está ligada a la calidad de la leche extraída, de ahí que el oficio de ordeñador demanda meticulosidad en la higiene y gran acumulo de paciencia (Montel, 2014). Después de la ordeña, la calidad microbiológica de la leche después dependerá de la eficiencia en las prácticas de higiene y de limpieza de los contenedores y de las áreas donde se procesa la leche, también la facilidad de limpieza y desinfección de los materiales de los equipos y utensilios será determinante para lograr su eficiente lavado y desinfección; finalmente la pureza del aire y el tipo y frecuencia de las actividades humanas que rodea al ambiente lechero tendrán impacto en la diversidad y cantidad de las poblaciones microbianas que se desarrollan en la leche y de ahí en los productos derivados (Tabla 1).

Tabla 1. Fuentes de microorganismos de la leche cruda

Ganado.- Evitar incluir al proceso de acopio o de procesamiento leche de ganado enfermo, convaleciente o en tratamiento farmacológico.

Técnica de ordeña.- Considerar los requerimientos de higiene de la ordeña manual y de la ordeña mecánica.

Condiciones de limpieza de las áreas y equipo de ordeña. Evitar por ejemplo la cercanía a basureros, a criaderos de animales, a fábricas o tratamiento de efluentes, etc.

Condiciones de limpieza de las áreas de recolección, acopio y proceso.- Evitar por ejemplo la cercanía a basureros, a criaderos de animales, a fábricas o tratamiento de efluentes, etc.

Material de fabricación de los utensilios, los contenedores y equipo de proceso.- Plástico, madera, poroso, reutilizado, acero inoxidable, etc.

Pureza del aire.- Ambiente interior e interior de la sala de ordeña y de la planta, actividades circunvecinas, etc.

Presencia del hombre. Higiene del ordeñador, las condiciones de su ropa, de sus manos, de salud.

Fuente: Jay, 2000

La anatomía de la ubre nos permite entender dónde puede iniciar la contaminación de la leche. Para comenzar, el pezón tiene un canal hacia el exterior controlado por un esfínter que permite la salida de la leche durante la ordeña, ese canal es la fuente inicial de contaminación microbiana de la leche que desciende estéril a la parte baja de la ubre de un animal sano (Figura 1). Antes de ser extraída por la cría o por la máquina ordeñadora, diversas especies de Actinobacteria y Firmicutes (*Chlostridiaceae*, *Staphylococcaceae* principalmente y menos frecuentemente *Lactobacillaceae*, *Enterococcaceae*), seguidos de *Protobacteria* se han aislado de esta zona de la ubre. En cambio, la piel del exterior del pezón contribuye con *Staphylococcaceae*, *Coryneformbacterium* y *Enterococcaceae*, algunas de ellas son bacterias deterioradoras de los productos como las *Pseudomonas* sp. y bacterias ácido lácticas (BAL) ejemplo: *Lactococcus lactis* (Montel et al., 2014) (Tabla 2).

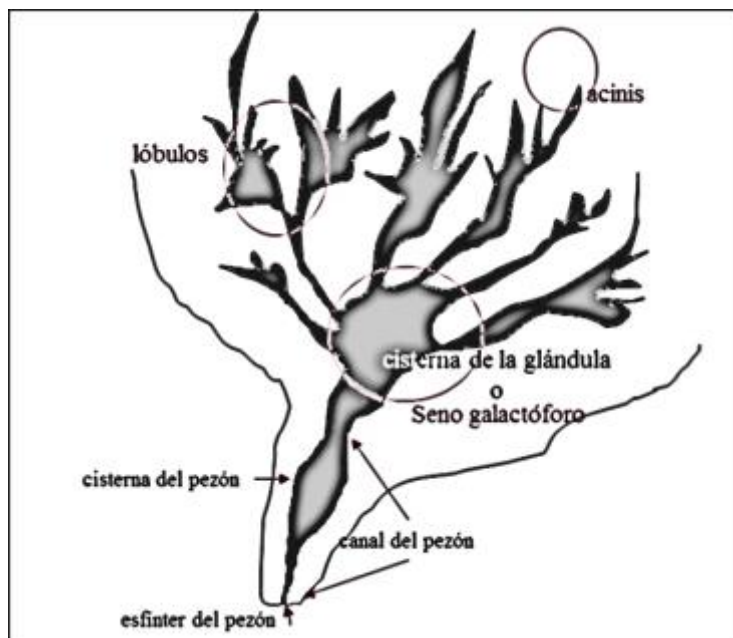


Figura 1. Esquema del corte transversal de un cuarto de una ubre bovina.

Tabla 2. Microorganismos asociados al ambiente lácteo.

Familias	Géneros	Especies
Pseudomonaceae	<i>Pseudomonas</i>	<i>aeruginosa, fluorescens, putida, fragi, maltophilia, cepacia, putrefaciens</i>
Enterobacteriaceae	<i>Brucella</i>	<i>abortus, melitenses</i>
	<i>Escherichia</i>	<i>coli</i>
	<i>Salmonella</i>	<i>dublin, tiphymurium</i>
	<i>Enterobacter</i>	<i>aerogenes, cloacae</i>
Yersiniaceae	<i>Yersinia</i>	<i>pestis, pseudotuberculosis, enterocolitica</i>
	<i>Vibrionaceae</i>	<i>Aeromonas</i> <i>Flavobacterium</i> y <i>Chromobacterium</i>
Neisseriaceae	<i>Neisseria</i>	
	<i>Branhamella</i>	
	<i>Moraxella</i>	
	<i>Acinetobacter</i>	
Micrococcaceae	<i>Paracoccus</i> y <i>Lampropedia</i>	
	<i>Micrococcus</i>	<i>luteus, varians</i>
Streptococcaceae	<i>Staphylococcus</i>	<i>aureus, epidermis</i> <i>saprophyticus</i>
	<i>Planococcus</i>	
	<i>Streptococcus</i>	<i>pyogenes, equisimilis,</i> <i>zooepidemicus,</i>

	<i>Leuconostoc</i>	<i>dysgalactiae, mesenteroides, dextranicum, lactis, paramesenteroides, cremoris, acidominimus, bovis, thermophilus, faecalis, uberis, cremoris lactis, lactis-subsp diacetylactis</i>
<i>Bacillaceae</i>	<i>Bacillus</i>	<i>cereus, subtilis, stearothermophilus, coagulans</i>
	<i>Clostridium</i>	<i>thermosaccharolitium, butyricum, byrobutyricum, sporogenes, jugurti</i>
<i>Lactobacillaceae</i>	<i>Lactobacillus</i>	<i>lactis, bulgaricus, helveticus, acidophilus, casei, plantarum, brevis curvatus, fermentum, monocytogenes</i>
Coryneformes	<i>Listeria</i> <i>Corynebacterium</i> <i>Arthrobacter</i> <i>Microbacterium</i>	<i>pyogenes, bovis,</i>
Propionibacteriaceae	<i>Propionibacterium</i>	<i>freundenreichii subsp shermanii</i>
Mycobacteriaceae	<i>Mycobacterium</i>	<i>tuberculosis, bovis,</i>

Otros

Campylobacter spp Actinomyces bovis, Nocardia rubropertincta, Coxiella burnetii Debaryomyces hansenii, Kluyveromyces fragilis, Kluyveromyces lactis, Sacharomyces cerevisiae, Candida lipolytica var. lipolytica, flavovirus, virus de la hepatitis, bacteriofagos de las bacterias lácticas.

Fuente: Robinson, 2000

Microorganismos zoonóticos del ganado lechero.

Género *Brucella*

La *Brucella abortis* produce abortos en ganado bovino e infecciones en el hombre, mientras que la especie *melitenses* es patógena para el ganado caprino y ovino incluyendo el ganado bovino y al hombre del ganado puede causar aborto. La brucelosis se transmite entre los animales por contacto con los tejidos y fluidos del ganado enfermo. El hombre también puede contraer esta enfermedad mediante el consumo de leche cruda y sus derivados sin pasteurizar. Cualquiera de los tres tipos de *Brucella* (*melitensis*, *abortus* y *suis*) puede provocar la enfermedad en el hombre, pero la *melitensis* es la más virulenta para el ser humano (SAGARPA, 2011). De acuerdo con los datos estimados por esta entidad, se calcula que en México la proporción de vacas no vacunadas que eliminan el agente infeccioso es del 15 al 35%, inclusive se estima que la cantidad de leche infectada por *Brucella* que llega a la industria es mayor que la que contiene bacilos tuberculosos.

Género *Mycobacterium*

El *Mycobacterium tuberculosis* afecta gravemente al hombre, aunque en menor grado al ganado bovino, caprino y ovino, pero el *M. bovis* afecta tanto al hombre como al ganado con un periodo de incubación de tres semanas. La leche cruda y los derivados sin pasteurizar provenientes de animales infectados son el vehículo más reconocido de esta enfermedad.

La Tuberculosis en México es considerada la causante del mayor número de defunciones por enfermedades infecciosas registradas. Aunque la tuberculosis meníngea y la pulmonar parecían haber decrecido en la década de los años 90, desde entonces otros tipos de manifestaciones de la tuberculosis se han incrementado, siendo las poblaciones rurales, indígenas e inmunocomprometidas las más afectadas en nuestro país. La Organización Mundial de la Salud (OMS) como un problema de Salud Pública reemergente (SINAVE/DGE/SALUD/Perfil Epidemiológico de la Tuberculosis en México, 2012).

Derivado de estas zoonosis, la leche cruda, sus derivados no pasteurizados y sus subproductos, son considerados muy peligrosos precisamente por la transmisión de estas enfermedades por animales infectados.

Microorganismos indicadores

Existen microorganismos que ponen de manifiesto deficiencias en la calidad microbiológica de un determinado alimento que son denominados indicadores. Por ejemplo, la presencia de bacterias del grupo coliformes en la leche pasteurizada, en número que exceda a un valor de referencia experimentalmente establecido, puede advertir de diversas deficiencias de este producto ocasionadas por:

- un tratamiento térmico insuficiente
- una contaminación posterior al tratamiento
- un almacenamiento del producto final a una temperatura demasiado elevada

Existe otro grupo cuya presencia en un alimento puede correlacionar la existencia simultánea de microorganismos patógenos ecológicamente relacionados. Así, por ejemplo, *E. coli* ha venido utilizándose como índice de posible presencia de patógenos de procedencia entérica (entre ellos, *Salmonella*) en alimentos.

Los grupos de microorganismos indicadores más frecuentes en leche y sus derivados son:

- Bacterias mesofílicas aerobias (BMA): En los productos perecederos como en el caso de la leche pasteurizada, pueden indicar condiciones inadecuadas de proceso relacionadas principalmente con la intensidad del tratamiento térmico (tiempo/temperatura). A menudo indican materias primas excesivamente contaminadas. Las condiciones durante el almacenamiento y el transporte en tanques refrigerados de la leche cruda hacen que la microbiota cambie de predominantemente de Gram-positivos a organismos Gram-negativos hasta un nivel que representan más del 90% de la población microbiana en la leche cruda fría almacenada. Por otro lado en otros derivados de la leche, como el queso, mantequilla o el yogur, la presencia de

BMA son posibles y hasta deseables si pertenecen a las familias de las bacterias ácido-lácticas (BAL). Por otra parte, los microorganismos que causan daño al consumidor (patógenos) y a los alimentos (deterioradores) no pueden diferenciarse de la flora nativa o propia y buena parte de ellos son BMA.

- Mohos y levaduras: Este grupo de microorganismos está regulado para todo tipo de leche, también en algunos tipos de queso porque pueden causar problemas tanto económicos como sensoriales. Los hongos que están presentes en la leche cruda no sobreviven la pasteurización; cuando se encuentran en la leche tratada térmicamente y otros productos lácteos su presencia puede ser ocasionada por contaminación cruzada durante la fabricación y prevalecer en el ambiente de la planta, en paredes y estantes de las cámaras de maduración, aire, equipos, agua, leche, salmuera y reaparecer periódicamente. Algunos hongos se les ha relacionado con aflatoxinas, sobre todo, si tienen contacto con productos almacenados en condiciones de humedad y temperatura inadecuadas. En el caso de las levaduras por sí mismas no son comúnmente la causa de defectos en los productos lácteos, a menos que fermenten la lactosa. En este caso, pueden crecer rápidamente y producir un sabor a levadura o con sabor a fruta característico y formación de gas. También producen metabolitos, por ejemplo, ácidos grasos de cadena corta y otros compuestos, con efectos tóxicos contra los microorganismos del tracto intestinal.
- Bacterias entéricas indicadoras como *E. coli*, coliformes y *Enterobacteriaceae*: *E. coli* tiene como hábitat natural el tracto intestinal de hombre y animales, por lo tanto se le relaciona como un indicador de contaminación fecal. *E. coli* es el indicador clásico de la posible presencia de patógenos entéricos en el agua y productos lácteos. En los alimentos que han recibido un tratamiento para garantizar su sanidad, la presencia de niveles considerables de *Enterobacteriaceae* o de coliformes indica: 1) Tratamiento inadecuado y/o contaminación posterior al tratamiento, más frecuentemente a partir de materias primas, equipos sucios o manejo no higiénico. 2) Multiplicación microbiana que pudiera haber permitido el crecimiento de toda la serie de microorganismos patógenos y toxigénicos.

La evaluación de la presencia de un número específico de microorganismos es por lo tanto una parte importante del control de calidad o de los planes de aseguramiento de calidad en las plantas industriales que puede ser aplicado a varias áreas como: materias primas, materiales intermedios, producto terminado, sitios específicos de equipos o medio ambiente. Tomando en consideración su aplicación, las instancias gubernamentales han definido criterios que permitan garantizar al consumidor la inocuidad y calidad de los productos. Dentro de la Normatividad Oficial Mexicana se describen límites de microorganismos indicadores para leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y otros derivados lácteos (Tablas 3 y 4) (NOM-243-SSA1-2010).

Tabla 3. Límites máximos de contenido microbiano para derivados lácteos.

Microorganismo	Límite máximo	Productos
Organismos Coliformes totales	≤100 UFC/g o mL	Helados y sorbetes. Quesos de suero
	≤50 UFC/g o mL	Bases o mezclas para helados.
	≤20 UFC/g o mL	En punto de venta: Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado; pasteurizados.
	≤10 UFC/g o mL	En planta: Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado; pasteurizados o deshidratados. Mantequilla, cremas, leche condensada azucarada, leche fermentada o acidificada, dulces a base de leche.
<i>Staphylococcus aureus</i>	≤10UFC/mL por siembra directa	Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado pasteurizado.
	≤100 UFC/g o mL	Mantequilla, cremas, leche condensada azucarada, leche fermentada o acidificada, dulces a base de leche. Quesos madurados y quesos procesados
	1000 UFC/g	Quesos frescos y quesos de suero
<i>Salmonella spp</i>	Ausente en 25g o mL	Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado: pasteurizados y deshidratados. Quesos frescos, madurados y procesados. Quesos de suero. Cremas, leche fermentada o acidificada, dulces a base de leche*, helados, sorbetes y bases para helados. Mantequillas.
<i>Escherichia coli</i>	100 UFC/g o mL	Quesos frescos.
	< 3 NMP/g o mL	Leche utilizada como materia prima para la elaboración de quesos. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado; deshidratados.
	< 10 NMP/g	Quesos madurados y procesados
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ausente en 25g o mL	Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado; pasteurizados ** Quesos. Quesos de suero. Helados, bases para helados y sorbetes.**.
Enterotoxina estafilococcica	Negativa	Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado; deshidratados y la que se emplee como materia prima para elaboración de quesos. Quesos frescos, madurados y procesados. Helados, sorbetes y bases para helados.

Mohos y levaduras	500 UFC/g o mL	Quesos frescos, madurados*** y quesos de suero.
	100 UFC/g o mL	Quesos procesados.
	50 UFC/g o mL	Bases o mezclas para helados.
Mesofílicos aerobios	200,000 UFC/g o mL	Helados y sorbetes.
	100,000 UFC/g o mL	Bases para helado.

* Para aquellos que contienen chocolate, cocoa, coco, huevo y semillas.

** Se determinará únicamente en situaciones de emergencia sanitaria

. *** Aquellos productos que para su maduración requieren de hongos, pudieran estar fuera de este límite.

Tabla 4. Especificaciones sanitarias para leche y derivados lácteos

Parámetro	Límite máximo	Productos
Inhibidores bacterianos (Derivados Clorados, Sales cuaternarias de amonio, Oxidantes, Formaldehído, Antibióticos)	Negativo	Leche pasteurizada
	Negativo	Leche ultrapasteurizada
	Negativo	Leche esterilizada
Fosfatasa residual	4 UF/g	Leche, fórmula láctea o producto lácteo combinado pasteurizado
	12 UF/g	Quesos frescos, madurados y procesados
	4 UF/g	Quesos de suero
	4 UF/g	Helados de crema, de leche o grasa vegetal, sorbetes y bases o mezclas para helados
	4 UF/g	Mantequilla y cremas pasteurizada**
Materia extraña	Ausente	Leche y productos lácteos
Aflatoxina M1	0.5 µg/L	Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado
Plomo	0.1 mg/kg	Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado
	0.5 mg/kg	Quesos
Arsénico	0.1 mg/kg	Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado, quesos
Mercurio	0.05 mg/kg	Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado

Vitamina A de forma natural o por restauración	310 a 670 µg equivalentes de retinol/L (1033 a 2233 UI/L)	Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado
Vitamina D3	5 a 7,5 µg/L (200-300 UI/L) (200-300 UI/L)	Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado
Humedad	≤ 4 %	Productos deshidratados, cremas deshidratadas
Acidez titulable expresada como ácido láctico	≤ 0.5 %	Leche fermentada o acidificada
pH	≤ 4.5	Leche fermentada o acidificada

* No aplica para este tipo de productos ultrapasteurizados, esterilizados y deshidratados.

** No aplica para leche condensada azucarada, leche fermentada o acidificada y dulces a base de leche

Estándares de calidad

El sector lechero al igual que todos los sectores relacionados con la alimentación, está sujeto a ordenamientos oficiales tanto de tipo sanitario como comercial, los cuales ejercen una regulación y control directo sobre los productos y procesos productivos, sin embargo, estos requerimientos no son los únicos que deben considerarse, ya que existen otras disposiciones que establecen los requisitos en cuestiones de seguridad e higiene de los trabajadores y cuidados al medio ambiente.

En México existen dos agencias principales encargadas de la inocuidad de los alimentos frescos y procesados: la Secretaría de Salud (SSA), a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y la SAGARPA que se encarga de los aspectos de inocuidad a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Sin embargo, a pesar de que el objetivo de estos organismos sea reducir los riesgos de contaminación a lo largo de todas las etapas de la producción de alimentos, también está en las manos de los fabricantes fortalecer el sistema de abastecimiento alimentario.

De esta forma las empresas buscan dar valor agregado a sus productos haciendo mención de reconocimientos otorgados por organismos de tercera parte sobre el cumplimiento de especificaciones. Al disponer de alimentos de diversos orígenes, calidad y precio el consumidor puede tomar una mejor decisión de compra cuando se conocen las características del producto como su valor nutrimental o si cuenta con alguna certificación de calidad o inocuidad del proceso, materias primas o producto. Por otro lado las empresas exportadoras deben cumplir con la normativa del país al cual se dirige el producto.

En la Tabla 5, se describen las claves de las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas que consideran requisitos sanitarios, nutrimentales, de calidad e información comercial, aplicables a leche y productos lácteos.

Tabla 5. Normas vigentes en México aplicables a leche y productos de leche.

Productos descritos en el Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios	Normas Oficiales Mexicanas	Normas Mexicanas
Crema	NOM-243-SSA1-2010 NOM-251-SSA1-2009 NOM-051-SCFI/SSA1-2010	NMX-F-731-COFOCALEC-2009
Dulces de leche	NOM-193-SCFI-2014 NOM-243-SSA1-2010 NOM-251-SSA1-2009 NOM-051-SCFI/SSA1-2010	NMX-F-709-COFOCALEC-2011 NMX-F-743-COFOCALEC-2011
Grasa butírica	NOM-243-SSA1-2010 NOM-251-SSA1-2009 NOM-051-SCFI/SSA1-2010	NMX-F-727-COFOCALEC-2013
Helados y bases para helados	NOM-243-SSA1-2010 NOM-251-SSA1-2009 NOM-051-SCFI/SSA1-2010	NMX-F-714-COFOCALEC-2012
Jocoque	NOM-243-SSA1-2010 NOM-251-SSA1-2009 NOM-051-SCFI/SSA1-2010	NMX-F-703-COFOCALEC-2012
Leche acidificada	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-703-COFOCALEC-2012
Leche condensada azucarada	NOM-251-SSA1-2009	
Leche cultivada o fermentada	NOM-051-SCFI/SSA1-2010	
Leche deshidratada,	NOM-155-SCFI-2012	
Leche evaporada	NOM-181-SCFI-2010	
Leche pasteurizada y ultrapasteurizada		
Leche combinada		
Leche recombinada		
Leche reconstituida		
Leche rehidratada		
Mantequilla	NOM-243-SSA1-2010 NOM-251-SSA1-2009 NOM-051-SCFI/SSA1-2010	NMX-F-729-COFOCALEC-2013
Queso	NOM-243-SSA1-2010 NOM-251-SSA1-2009 NOM-051-SCFI/SSA1-2010	NMX-F-713-COFOCALEC-2014 NMX-F-733-COFOCALEC-2010 NMX-F-735-COFOCALEC-2011 NMX-F-738-COFOCALEC-2011 NMX-F-742-COFOCALEC-2012 NMX-F-745-COFOCALEC-2011 NMX-F-746-COFOCALEC-2013 NMX-F-749-COFOCALEC-2014
Producto lácteo y producto lácteo combinado	NOM-243-SSA1-2010 NOM-251-SSA1-2009	NMX-F-703-COFOCALEC-2012

	NOM-051-SCFI/SSA1-2010	
	NOM-183-SCFI-2012	
Caseína de grado alimentario o caseinatos de grado alimentario	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-723-COFOCALEC-2013
Yogur, Yogurt o Yoghurt	NOM-251-SSA1-2009	
	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-703-COFOCALEC-2012
	NOM-251-SSA1-2009	
	NOM-051-SCFI/SSA1-2010	
	NOM-181-SCFI-2010	
Suero	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-721-COFOCALEC-2012
	NOM-251-SSA1-2009	
	NOM-243-SSA1-2010	
Producto lácteo y producto lácteo combinado	NOM-251-SSA1-2009	
	NOM-051-SCFI/SSA1-2010	
	NOM-183-SCFI-2012	
Mezcla de leche con grasa vegetal	NOM-243-SSA1-2010	
	NOM-251-SSA1-2009	
	NOM-051-SCFI/SSA1-2010	
	NOM-190-SCFI-2012	
Leche cruda o bronca	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-730-COFOCALEC-2008
		NMX-F-700-COFOCALEC-2012
		NMX-F-728-COFOCALEC-2007
Requesón	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-713-COFOCALEC-2005
	NOM-251-SSA1-2009	
	NOM-051-SCFI/SSA1-2010	

NOTA – Para mayor información sobre los documentos normativos, puede consultarse el catálogo de normas de la Secretaría de Economía (www.economia.gob.mx) o para normas mexicanas en el Consejo para fomento lechero (www.cofocalec.org.mx).

Tecnologías para el control sanitario de la leche y de sus derivados

La diversidad de la microbiota de la leche depende del grado de higiene durante la ordeña, la limpieza y tipo de equipo de ordeño y factores tecnológicos como el tiempo y temperatura de enfriamiento de la leche antes de procesarse, la temperatura de sostenimiento durante la pasteurización (si esta fue efectuada), y del manejo posterior al tratamiento térmico, así como de la higiene de los envases. Otra fuente de contaminación que ha cobrado importancia en los últimos años son las biopelículas, que son capas formadas de microorganismos y desecho orgánicos que se depositan en los utensilios, tuberías, paredes de los equipos, etc., independientemente del material del que estén hechas (acero inoxidable, de madera, de plástico, de vidrio, de silicón, etc.) y como resultado de las prácticas y materiales de limpieza (Detæe, 2009).

Algunas películas pueden reservar las especies que favorecen un proceso fermentativo o de maduración de un queso, no obstante en la mayoría de las ocasiones son consideradas riesgos sanitarios y su eliminación es un problema

biológico y técnico complejo, sobre todo cuando la película se compone de estratos de microorganismos patógenos.

De esta maneja las tecnologías aplicables a la reducción de los riesgos sanitarios son además de las de procesamiento que permite la reducción o eliminación de microorganismos, están las tecnologías de limpieza y desinfección de equipos, utensilios, superficies, cámaras de maduración, ambientes de proceso y las tecnologías de empaque, que incluye las atmosferas controladas, la inocuidad y funcionalidad de los materiales de empaque y los procesos de sellado y etiquetado, entre otros más.

Enfriamiento

La mayoría de los países enfrían la leche antes de colectarla y procesarla. En el mercado mexicano de leche fluida el enfriamiento de la leche se ha extendido para poder comercializarse, a partir de los años 90 del siglo pasado. El sistema de enfriamiento se realiza en tanques individuales de un productor particular o en tanques colectivos, donde varios productores entregan su leche. Una vez dentro del tanque, sistemas de serpentines con medio enfriador dispuestos en el interior del tanque, bajan la temperatura de la leche hasta 7- 5°C. El enfriamiento de la leche permite que sea recogida y transportada a la planta procesadora en un margen de 2 a 6 días.

Si bien la introducción de los sistemas de enfriamiento controló las cuentas estándar de microorganismos, dentro de ellos las enterobacterias, también derivó en la proliferación de microorganismos psicrófilos, resistentes al enfriamiento, de los géneros *Pseudomonas*, *Acinobacter*, *Falvobacterium*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus* y *Arthrobacter*. Algunos de ellos presentan alta actividad proteolítica y lipolítica, esta característica tiene un efecto adverso en la calidad sensorial de leches ultrapasteurizadas y también en los quesos. Por otra parte, los microorganismos se desarrollarán en la leche dependiendo de las condiciones ambientales de la unidad de producción y de la higiene con la que haya sido obtenida, trasladada y conservada (Robinson, 2000).

Pasteurización.

La pasterización es un proceso térmico convencional que buscan conservar la leche y evitar que microorganismos patógenos, su fundamento es la relación inversa de las condiciones temperatura/tiempo aplicado a la leche, a mayor temperatura el tratamiento se aplicará en menor tiempo, y viceversa; cualquiera que sea la combinación debe garantizar la eliminación del bacilo de la tuberculosis (*Mycobacterium*), con base en la muerte térmica. Todo tratamiento térmico tiene efecto en la físico-química de los componentes de la leche, también tiene efecto diferenciador en la microbiota original. En la Tabla 6 se presentan las condiciones del tratamiento térmico de la leche destinada la producción de diferentes productos lácteos.

Normalmente, en planta procesadora se establecen las condiciones de que logren ambos objetivos: la eliminación de los patógenos con el mínimo de daño a los componentes de la leche. Esto implica que salvo la esterilización de la leche, el resto de los productos tiene una vida de anaquel relacionada con la intensidad del tratamiento térmico y la calidad sanitaria de la materia prima (Leche bronca).

Tabla 6. Tratamientos térmicos para leche destinada a diferentes productos lácteos.

Producto final	Tratamiento	Condiciones
Leche pasteurizada	HTST	72°C/15 s
Leche ultrapasteurizada	UHT	132°C/2s
Leche en polvo	Pre calentamiento	88°C/3min
	Secado por aspersión	250-300°C
Queso	LT/LT	63- 65°C/30min
	HTST	70°C 15-20s
Mantequilla	Calentamiento	95°C 15-20s
	Enfriamiento	60-65°C
Crema	Calentamiento	95°C/15-20s
	Enfriamiento	20°C luego 7-8°C

Tratamientos complementarios, alternativos y emergentes.

Varias tecnologías se han desarrollado para eliminar los microorganismos patógenos y evitar la proliferación de otros organismos que perjudiquen la calidad de la leche se aplican en otros países y están regularizados, en México hay que aplicar la normatividad correspondiente.

Altas Presiones hidrostáticas (APH)

Las primeras aplicaciones de la tecnología de altas presiones datan de finales del siglo XIX y principios del XX, cuando se demostró que la vida útil de la leche y otros alimentos se extendía al someterlos a alta presión. Sin embargo la tecnología se comercializó en 1991 en conservas de dulce, en Japón. Actualmente, varios otros alimentos se conservan con altas presiones (pasta de aguacate, arroz, jugos de frutas, entre otros), mientras que los países como EEUU, España, Francia y Japón son los que llevan la vanguardia tanto en la investigación como en la puesta en el mercado de productos procesados con esta tecnología.

Las presiones a las que se someten los alimentos por esta tecnología van del rango de 100 a 1000 MPa durante un tiempo dado, aunque las presiones utilizadas en los sistemas comerciales comúnmente oscilan entre 400 y 600 MPa. El procesamiento de los alimentos por altas presión se considera una tecnología no térmica. En la actualidad estas tecnologías están consideradas emergentes porque buscan sustituir las que conservan los alimentos de manera térmica, debido al daño que el calor ocasiona a los nutrientes y componentes que dan vida los atributos sensoriales de los alimentos. No todos los alimentos se pueden procesar por altas presiones,

pero se pretende sacar ventaja de la inactivación microbiana y la desnaturalización enzimática que conlleva su aplicación. Algunas ventajas sobre la calidad de los alimentos tratados por APH son que los productos demuestran una mejor retención de nutrientes, sabor, y color que los productos tratados térmicamente.

Las investigaciones continúan para su mejor aplicación. En la Tabla 7 se puede encontrar un concentrado de los efectos que han reportado varios investigadores sobre de los componentes de la leche y otros productos, además del efecto que diferentes tratamientos ha tenido sobre del control dela viabilidad de microorganismos de interés.

Tabla 7. Investigaciones sobre efecto de la tecnología de APH en productos lácteos.

Componente	Tipo de producto	Condiciones de APH	Efectos
Micelas de caseína	Leche descremada	250 MPa	Los tamaños observados fueron dependientes de la temperatura de tratamiento (160 y 185 nm a 4 y 20 ° C, respectivamente
		400 y 600 MPa	Produjeron tamaños mínimos (~ 100 nm)
	Leche sin tratar	250 MPa	Eran más gruesa y tenía grandes espacios intersticiales
		400Mpa y 600 MPa	
Leche descremada de cabra	300 y 350 MPa		El tamaño disminuyó con el aumento de la presión, excepto cuando la temperatura del tratamiento fue de 45 ° C
		(400-500 MPa)	Tamaños más pequeños que no fueron afectadas por la temperatura
Proteínas de suero	β -lactoglobulina	> 100 MPa	Se desnaturaliza
	α -lactalbúmina y albúmina de suero bovino	\leq 400 MPa / 60 min a temperatura ambiente.	No se desnaturaliza

	α -lactalbúmina	300 MPa, 50 a 60 °C. 400 MPa, 60 °C	Se desnaturaliza
Glóbulos de grasa	Leche de oveja	100 a 500 MPa durante 10 y 30 minutos a 4, 25, y 50 ° C	La presurización a 25 y 50 ° C causó un ligero aumento en el número de glóbulos de grasa de leche; una disminución de los glóbulos de grasa entre 2 y 10 minutos; mientras que a 4°C una tendencia opuesta fue observada. Este efecto fue más notable en 200 y 300 MPa, lo que sugiere que podría haber un efecto endurecimiento a 400 y 500 MPa en la membrana del glóbulo de grasa de la leche que no permitía la coalescencia o la fisión de los glóbulos.
	Leche	200, 400 o 600 MPa durante 0-60 minutos.	No hubo cambios significativos en la grasa de la leche
Inactivación microbiana	Esporas microbianas	Presión de 1200 MPa.	Resisten presiones
	Bacterias aerobias en la leche	14.03, 9.00, y 3.04 mins a 300, 400, y 600 MPa, respectivamente	14.03 min a 300 MPa fue considerablemente más bajo
	Leche de oveja	Presión de ; 250 MPa 300 MPa	<i>Pseudomonas fluorescens</i> fue más sensible que <i>E. coli</i> en condiciones analizadas
	Virus	≤ 450 MPa	Reduce hasta 7 ciclos de registro

Maduración de maduración	Queso Cheddar	0,1 - 300 MPa durante 3 días a 25 ° C	El producto fue similar al queso comercial de seis meses de edad.
--------------------------	---------------	---------------------------------------	---

Luz ultravioleta

El uso de luz ultravioleta está orientado a reducir bacterias, hongos y levaduras de espacios o ambientes lácteos. Por ejemplo, se utiliza para irradiar campanas de siembra de cultivos; proteger las entradas de aire a laboratorios, cámaras de maduración y áreas de proceso de plantas fermentadoras; para limpiar los espacios libres de tanques de almacenamiento de jarabes, néctares y para irradiar materiales de envase antes de envasar.

Su manejo es delicado y la exposición del personal a las radiaciones debe estar controlado.

H₂O₂

Como potente agente oxidante, este compuesto se utiliza como bactericida eficaz en los espacios libres de los empaques tetrapack, no se utiliza directamente en la leche porque afecta sus propiedades sensoriales y pueden inhibir el crecimiento del cultivo iniciador, generando pérdidas en la industria quesera y de yogur y productos fermentados. En México está prohibido su uso. En la leche bronca es considerado un adulterante.

Sistemas de gestión de inocuidad alimentaria: HACCP

Los sistemas de gestión de inocuidad alimentaria en la industria han sido diseñados y establecidos en las últimas cuatro décadas con varias actualizaciones; por lo regular incluyen actividades de control y de aseguramiento. Las actividades de control tienen el propósito de reducir o controlar de peligros y están típicamente relacionados con el producto y control del proceso. La industria lechera desde sus inicios vio la necesidad de establecer controles rigurosos en el proceso y algunos de estos sistemas le permiten actuar de manera proactiva mediante la identificación de peligros físicos, químicos o biológicos por lo tanto, la aplicación del sistema de análisis de peligros y puntos críticos de Control (HACCP por sus siglas en inglés) es una alternativa para garantizar que los productos lácteos al ser alimentos listos para consumo sean seguros para todos los grupos que regularmente los consumen (niños, adultos, ancianos). Es un método sistemático, preventivo y basado en la ciencia en el cual se deben identificar los riesgos y su manejo.

Las medidas preventivas son conocidas como programas pre-requisitos e incluyen: limpieza y desinfección, control de temperatura del ambiente de producción, higiene de los trabajadores, etc. Disponer de una secuencia ordenada del proceso favorece el control de la contaminación y de presencia de microorganismos. La intervención en el proceso está más enfocada en la reducción o eliminación de contaminación

por ejemplo por tratamiento térmico. Por el contrario las actividades de aseguramiento en un sistema de administración de la inocuidad tienen el objetivo de proporcionar evidencia objetiva que los productos y procesos están dentro de especificaciones. Entre sus actividades incluyen el muestreo, validación, verificación, documentación.

Los sistemas de calidad y el HACCP tienen un enfoque preventivo y de control contribuyendo a su reducción. Varios peligros comunes en estos productos se muestran en la Tabla 8. La mayoría de los peligros potenciales identificados son microbiológicos. Por lo tanto, los tratamientos de temperatura (p. ej. pasteurización, ultra alta temperatura) o control de la temperatura (refrigeración, congelación) son consideradas críticas para la inocuidad del producto y una mayor vida útil. La pasteurización ha demostrado ser un punto crítico de control (PCC) para las zoonosis clásicas por ejemplo las ocasionadas por *Brucella*, así como nuevos patógenos alimentarios. Las técnicas de filtración se utilizan conjuntamente con la pasteurización y permiten reducir aún más cuentas por bacterias en el producto final por ejemplo, leche pasteurizada.

Los peligros microbiológicos post-pasteurización pueden darse por la contaminación cruzada y generalmente se controlan aplicando estrictas normas de limpieza y desinfección como requisito previo del programa, mientras que la correcta acidificación, salado y uso de salmuera aseguran, especialmente en la fabricación de queso, la proliferación de la microflora deseada (Papademas y Bintsis 2010).

Los contaminantes químicos de la leche constituyen peligros que pueden introducirse durante la producción de leche, procesamiento de lácteos o empaque. Si bien los metales pesados, radionuclidos, micotoxinas y pesticidas pudieran encontrarse a nivel de trazas en la alimentación animal y generar algunos residuos en leche, no son los principales agentes de riesgo que pudieran estar presentes en este producto. Entre los más polémicos se encuentran los antimicrobianos, como los antibióticos, los cuales son esenciales para tratar las infecciones causadas por las bacterias. Sin embargo, su utilización excesiva o errónea en la medicina veterinaria se ha vinculado a la aparición y propagación de bacterias resistentes, que hacen que los tratamientos de enfermedades infecciosas en los animales y en el hombre dejen de ser eficaces, estos pueden ser frecuentes en el ganado lechero (Chandan et al. 2008).

En lo que respecta a la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en la leche es un tema que sigue siendo vigilado sobre todo en los países en vía de desarrollo, a diferencia de países desarrollados en los cuales ha disminuido considerablemente el uso de dichos compuestos (Baranowska et al., 2005). Estos han sido sustituidos por otras categorías de compuestos con menor persistencia. Los organoclorados se almacenan principalmente en tejidos ricos en grasa y se transportan a través de las grasas y de las lipoproteínas circulantes del organismo, de ahí la importancia de su vigilancia en la leche. En México estos compuestos representados por el diclorodifenil-tricloroetano (DDT) y el hexaclorociclohexano (HCH) fueron ampliamente utilizados para actividades agrícolas y para el control de

vectores de enfermedades como el paludismo. A partir del año 2000 algunos de ellos entraron en la categoría de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) en el marco del Convenio de Estocolmo suscrito por México, se controló su uso y algunos de ellos fueron prohibidos.

Tabla 8. Peligros biológicos, físicos y químicos asociados comúnmente a productos lácteos

Leche fluida		Quesos	Helados	Leche en polvo	Productos condensados
Biológicos	Químicos	Biológicos	Biológicos	Biológicos	Biológicos
<i>Salmonella</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i> <i>S. enterotoxin</i> <i>C. perfringens</i> <i>E. coli</i> <i>Yersinia</i> <i>Campylobacter</i> <i>B. cereus</i> <i>Shigella</i> <i>Brucella</i>	Antibióticos Pesticidas Sulfonamidas	<i>Salmonella</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i> <i>S. enterotoxin</i> <i>E. coli</i> <i>Campylobacter</i> <i>Shigella</i> <i>Brucella</i> <i>C. botulinum</i>	<i>Salmonella</i> Esporas de hongos <i>L. monocytogenes</i> <i>E. coli</i> <i>S. aureus</i>	<i>Salmonella</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i> <i>S. enterotoxin</i> <i>E. coli</i> <i>C. botulinum</i> <i>C. perfringens</i>	<i>Salmonella</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i> <i>S. enterotoxin</i> <i>C. perfringens</i> <i>Yersinia</i> <i>Campylobacter</i> <i>B. cereus</i> <i>Shigella</i> <i>Brucella</i>
	Físicos	Químicos	Químicos	Químicos	Químicos
	Insectos Tierra Vidrio Fragmentos de metal Astillas de madera	Aflatoxinas, nitratos, nitritos	Vapores químicos de no alimentos	Sulfonamidas Antibióticos Pesticidas	Antibióticos Pesticidas

Yaman and Gulsunoglu, 2012

Entre 2006 y 2007 Schettino y *col* realizaron un muestreo quincenal durante seis meses, para dos marcas comerciales de leche pasteurizada orgánica y dos marcas comerciales de leche pasteurizada convencional en la Ciudad de México. Los valores encontrados para leche pasteurizada orgánica fueron los siguientes respectivamente: ($\alpha + \beta$) HCH: 0.134 $\mu\text{g/g}$, 1.34, 83.3 %, Lindano, 0.010 $\mu\text{g/g}$, 0.05,

16.6 %. Para leche pasteurizada convencional los resultados fueron: ($\alpha + \beta$) HCH: 0.2836 $\mu\text{g/g}$, 2.84, 75 %, Lindano: 0.046 $\mu\text{g/g}$, 0.23, 21 %, DDT (isómeros) 0.065 $\mu\text{g/g}$, 0.052, 62.5 %. Se observó que los valores promedio de ($\alpha + \beta$) HCH para ambos tipos de leche sobrepasaron los límites permisibles. Los valores promedio de plaguicidas organoclorados fueron más altos para la leche pasteurizada convencional que para la leche orgánica.

Conclusiones

Debido a la vulnerabilidad sanitaria de la leche y sus derivados, la industria lechera es muy susceptible de incidentes que afectan la calidad e inocuidad de sus productos, es muy fácil que no se cumpla con las normas sanitarias y comerciales establecidas. Por lo que es necesario que no se escatimen esfuerzos para lograr el control de las etapas que afectan las características de calidad del producto y el proceso de producción, que por un lado tienen una asociación directa con la preocupación del consumidor, derivado de ello lo más importante es que la industria lechera avance en su organización hasta lograr implementar los sistemas de gestión que garanticen la inocuidad de los productos.

Bibliografía.

- Baranowska I, Barchańska H, Pyrsz A. 2005. Distribution of pesticides and heavy metals in trophic chain *Chemosphere*. 60, 1590-1599
- Chandan Ramesh and Arun Kilara. 2013. Dairy Processing and Quality Assurance. Wiley Blackwell. Second edition
- FAO, 2010. Leche y Productos lácteos. Organización mundial de la salud. Segunda edición.
- Godič Torkar K. and Slavica. 2008. The microbiological quality of raw milk after introducing the two day's milk collecting system. *Acta agriculturae Slovenica*, 1, 61–74
- Jay, J. M. 2000. Microbiología moderna de los alimentos. 3ed Acribia. Zaragoza, España.
- Martínez López, & et al. 2011 Mejora continua de la calidad higiénico-sanitaria de la leche de vaca. Manual de capacitación INIFAP México.
- Mrema E.J, & et al. 2013. Persistent organochlorinated pesticides and mechanisms of their toxicity. *Toxicology* 307, 74-88.
- Papademas, P. and Bintis. 2010. Food safety management systems (FSMS) in industry: a review. *International Journal of Dairy Technology* 63, 489-503
- Quigley L., & et al. 2011. Review. Molecular approaches to analyzing the microbial composition of raw milk and raw milk cheeses. *International Journal of Food Microbiology*, 150, 81-94
- Robinson R. K. 2000. Microbiología Lactológica Volumen I Microbiología de la Leche Ed. Acribia. Zaragoza.
- Schettino B., & et al. 2014. Niveles de residuos de plaguicidas organoclorados en leche Pasteurizada orgánica y convencional comercializada en ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Memorias congreso inocuidad alimentaria.

SINAVE/DGE/SALUD (2012) Perfil Epidemiológico de la Tuberculosis en México.
Disponible en
[http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/infoepid/publicaciones/2012/
Monografias5 Tuberculosis Mex junio12.pdf](http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/infoepid/publicaciones/2012/Monografias5_Tuberculosis_Mex_junio12.pdf)

Yaman Keskin and Zehra Gulsunoglu. 2012. Quality Management Systems in Dairy Industry. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, July 3 – 6, 2012.

Productos Apícolas: Miel y Polen

Sánchez-Contreras Angeles^{1*}, Martínez-Benavidez Evelin²

¹Unidad Sureste, Parque Científico Tablaje catastral 31264 Km 5.5, carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto, CP. 97302. ²Servicios Analíticos y Metrológicos, Normalistas No. 800. Colonia Colinas de la Normal, CP. 44270, Guadalajara, Jal. Centro de Investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco. *Correspondencia: msanchez@ciatej.mx

Resumen

La miel por su composición natural no representa en absoluto un peligro para el consumo humano. Sin embargo, esta característica puede perderse con mucha facilidad por la presencia de residuos indeseables, sustancias químicas y microorganismos patógenos encontradas en pequeñas cantidades. Las contaminaciones proceden generalmente de manejos inadecuados por parte de los apicultores y durante su proceso de envasado. Por lo tanto, es de gran importancia garantizar que el producto esté libre de contaminantes físicos derivados de la cosecha o extracción; químicos provenientes de residuos de medicamentos usados en el control de enfermedades de las abejas y/o agroquímicos utilizados en la agricultura. A los riesgos anteriores se agrega la importancia de garantizar la ausencia de microorganismos procedentes de fuentes primarias o secundarias. La presencia de contaminación en la miel afecta su calidad e inocuidad, y al mismo tiempo, es factor para su rechazo por parte de los países importadores. México es el segundo exportador de miel a la Unión Europea, por lo que debe cumplir con los requerimientos de los mercados nacional e internacional para garantizar la inocuidad y calidad de la miel. Actualmente, las disposiciones internacionales recomiendan la aplicación de estrategias orientadas a lograr mejores alimentos sin riesgos para la población. En México, se ha puesto en marcha un programa voluntario con el objetivo de que los apicultores apliquen el Manual de Buenas Prácticas Pecuarías en la Producción de Miel, este instrumento facilita la capacitación de los apicultores y la incorporación de Buenas Prácticas que permiten procesos inocuos en sus apiarios.

Introducción

La miel según el “Codex alimentarius se define como una sustancia dulce producida de manera natural por las abejas *Apis mellifera* y sus diferentes subespecies, a partir del néctar de las plantas o de secreciones de partes vivas de éstas o de excreciones de insectos succionadores de plantas que quedan sobre partes vivas de las mismas y que las abejas recogen, transforman y combinan con sustancias específicas propias y depositan, deshidratan, almacenan y dejan en el panal para que madure y añeje” (Codex, 2001). La miel se compone principalmente de diferentes azúcares, se han identificado más de 22 azúcares, sin embargo, la fructosa y glucosa son los compuestos predominantes, además contiene otros constituyentes como enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, caroteonoides, vitaminas, minerales, sustancias

aromáticas y partículas sólidas derivadas de la recolección (da Silva *et al.*, 2016; El Sohaimy *et al.*, 2015).

Su composición, color, aroma y sabor depende de la floración, región geográfica, clima y especie de abeja involucrada en la producción. También es afectada por condiciones ambientales, manipulación, empaçado y tiempo de almacenamiento (da Silva *et al.*, 2016). Así mismo, cada variedad de miel tiene propiedades específicas. Entre estas destaca el conferido por su origen botánico. Atendiendo a su origen botánico, podemos clasificar a la miel en tres grupos (Ramos-Díaz *et al.*, 2015):

- Miel de flores o de néctar: es la miel obtenida principalmente de los néctares de las plantas.
 - 1) Miel uniflorales o monoflorales. Cuando el producto procede primordialmente del origen indicado (Naranja, Romero, Brezo, Espliego, Eucalipto, Tahonal, etc) y posee las características organolépticas, físico-químicas de su origen.
 - 2) Miel multiflorales, poliflorales o milflorales: cuando en la mezcla de pólenes no hay una especie floral predominante o mayoritaria.
- Miel de mielada: es la miel obtenida en su mayor parte de excreciones de insectos chupadores de plantas presentes en las partes vivas de las plantas o de secreciones de partes vivas de las plantas. Su color varía del pardo claro o pardo verdoso a casi negro.
- Miel de bosque: es una mezcla de miel de flores y miel de mielada.

Según su uso se puede distinguir de la miel para consumo directo, de la que se emplea en la industria como materia prima para la elaboración de infinidad de productos para aseo personal, entre los que se encuentran jabones, shampoo, tónicos, cremas y pomadas y otros productos alimenticios procesados como vinos, jarabes y aderezos, entre otros. Cabe aclarar que aun la miel procesada debe cumplir cabalmente las exigencias en normatividad vigente de acuerdo a código de arancel.

México es el segundo exportador de miel a la Unión Europea, al concentrar el 15 % de lo que dicha región importa, sólo superado por China, que exporta 45 %, catalogado como el tercero a nivel mundial. En México, se producen anualmente alrededor de 50 mil toneladas de miel, y los principales destinos de exportación son Alemania y el Reino Unido (SAGARPA, 2012). Por lo que los requisitos y lineamientos para su exportación se alinean a la regulación europea. Sin embargo, dado que uno de los principales riesgos de la inocuidad de la miel envasada, ya sea para exportación o venta nacional, se encuentra principalmente por medio en la aplicación de buenas prácticas de fabricación (BPF), en el reglamento Mexicano de control sanitario de productos y servicios, se presenta el ordenamiento vigente para la regulación, control y fomento sanitario de los procesos, para importación y

exportación, así como de las actividades, servicios y establecimientos, relacionados con los productos de la colmena y otros dentro de este sector.

En México los apicultores están organizados bajo diferentes figuras jurídicas, que comprenden desde los productores primarios, hasta los que integran a los agentes de comercialización y exportación de la miel. Tratando de cumplir con estos requisitos, en los últimos 10 años, la apicultura ha enfrentado diversos retos, por parte de SAGARPA, se han establecido lineamientos para cada uno de los integrantes de la cadena de producción y comercialización, a fin de que cumplan con los requerimientos de los mercados nacional e internacional, así como de las medidas de inocuidad y calidad que los países importadores exigen para su distribución y más insipientemente en cuanto a trazabilidad para garantizar en un futuro garantía de origen.

Tipos de contaminantes en la miel

La miel es considerada como una parte importante de la dieta humana, es un alimento que generalmente es aceptado por los consumidores por su sabor dulce y aroma ligero. En años recientes se ha incrementado su consumo debido al interés de los consumidores por los beneficios positivos a la salud atribuidos a sus constituyentes. A pesar de ser un alimento puro y natural la miel es susceptible a contaminarse en forma accidental o inducida durante su producción, cosecha, extracción, envasado y comercialización (Ares *et al.*, 2016; da Silva *et al.*, 2016; SAGARPA, 2015).

Contaminantes Físicos

Los peligros físicos son a menudo descriptos como materia extraña u objetos ajenos e incluye cualquier material que normalmente no se encuentra en el alimento. Durante el proceso de cosecha y extracción, la miel puede contaminarse con pedazos de cera, polen, tierra, restos de insectos, trozos de panal u otros sólidos insolubles (SAGARPA, 2015). La contaminación física puede ocurrir por mala práctica de los manipuladores durante estas etapas de producción, ya que el apicultor tiene contacto directo con el producto final. La presencia de materia extraña durante la extracción puede eliminarse mediante la filtración de la miel con una malla o colador de trama fina que permita separar la cera, impurezas o abejas que pudieran haber caído durante esta etapa. Además, para su limpieza y clarificación, debe someterse a un proceso de sedimentación o decantación para retirar el sobrenadante que contiene las impurezas (CONABIO y AECID, 2011; SAGARPA, 2015).

Contaminantes Químicos

Los productos de las abejas se contaminan a través de diferentes fuentes (Tabla 1). La contaminación química puede surgir de prácticas de apicultura o desde el medio ambiente. Los contaminantes químicos ambientales incluyen pesticidas, metales pesados e incluso materiales radioactivos (Aghamirlou *et al.*, 2015; Meli *et al.*, 2016).

Tabla 1. Tipos de contaminación de la miel y sus productos.

(A) Contaminantes medio ambientales	(B) Contaminantes por manejo apícola
(1) Metales pesados tales como, plomo, cadmio y mercurio.	(1) Acaricidas: compuestos lipofílicos sintéticos y sustancias no tóxicas como ácidos orgánicos y componentes de aceites esenciales
(2) Isótopos radioactivos	(2) Los antibióticos utilizados para el control de enfermedades de las abejas de cría, principalmente tetraciclinas, estreptomicina, sulfonamidas, y cloranfenicol.
(3) Contaminantes orgánicos, Bifenilos policlorados (PCB's)	(3) P-Diclorobenceno, que se utiliza para el control de la polilla de la cera y repelentes químicos
(4) Pesticidas (insecticidas, fungicidas, herbicidas, y bactericidas)	
(5) Organismos genéticamente modificados	
(6) Contaminación cruzada con Alcaloides pirrolizidínicos.	

Antibióticos e insecticidas

Se ha demostrado, que los residuos de pesticidas y otros contaminantes como los alcaloides pueden causar mutaciones genéticas y degradación celular. Adicionalmente a los problemas de salud pública, la presencia de estos compuestos en productos de las abejas disminuye su calidad. Según normatividad Nacional para la miel de abeja en la tabla 2, se resumen los parámetros de calidad descritos en la norma mexicana NMX-F-036-981 y en concordancia con normativa de la Unión Europea en la tabla 3, se muestran las concentraciones establecidas en el CODEX alimentario para evitar riesgos sanitarios.

Ambas normatividades, coinciden en que los principales contaminantes son: acaricidas sintéticos compuestos lipofílicos y sustancias no tóxicas, tales como ácidos y componentes de los aceites esenciales orgánicos; y los antibióticos utilizados para el control de enfermedades de las abejas de cría. Siendo principalmente tetraciclinas, sulfonamidas, estreptomicina y cloranfenicol, por lo cual se establecen sus límites máximos permitidos por debajo de 0.05 ppm. Otras sustancias utilizadas en la apicultura juegan un papel menor, por lo que están siendo consideradas su inclusión. Por ejemplo, el *p*-diclorobenceno, que se utiliza para el control de la polilla de la cera y repelentes químicos. El grado de contaminación de la miel, polen, cera de abeja, propóleos y jalea real por parte de los diferentes

contaminantes provenientes del entorno de proceso se revisa cotidianamente para su inclusión. Como resultado de estas exigencias en los mercados internacionales, la inspección ha sido cada vez más rigurosa.

Tabla 2. Especificaciones fisicoquímicas de la miel de abeja NMX-F-036-981

Unidades	Especificaciones	Mínimos	Máximos
	Azúcares reductores	63.88	-
% (g/100 g)	% Sacarosa	-	5.00
	% Glucosa	-	38.00
	Humedad	-	20.00
	Sólidos insolubles en agua	-	0.30
	Cenizas	-	0.60
	Acidez expresada como meq de ácido cítrico Kg ⁻¹	-	40.00
	Hidroximetilfurfural expresado en mg Kg ⁻¹ de más de 6 meses	-	80.00
	Hidroximetilfurfural expresado en mg Kg ⁻¹ de menos de 6 meses	-	40.00
	Índice de diastasa	-	8.00
	<i>NMX-F-036-981</i>		

Tabla 3. Límites permisibles de contaminantes en miel de abeja.

Sustancia Medicamentos/antibióticos	Residuos (Límite de tolerancia) ppm
Dibrombenzofenol	0.1
Flumetrina	0.005
Fluvalinato	0.05
Estreptomina	0.02
Sulfonamidas	0.05
Tetraciclina	0.02
Timol	0.8
Pesticidas	
Amitraz	0.2
Brompropilato	0.1
Cimiazol	0.5
Cipermetrina	0.5
Otras sustancias	
Diclorobenzol 1, 4	0.01

Directiva 2002/63/Comisión Europea

Por ejemplo, la Unión Europea cuenta con los estándares más altos de seguridad alimentaria en el mundo y prohíbe el tratamiento con antibióticos para las abejas. Contrario a lo que sucede en países en desarrollo donde el uso de algunos antimicrobianos está autorizado. Se han documentado tratamientos ilícitos tanto en EU como en países en desarrollo (Bargańska *et al.*, 2011; Gallardo-Velázquez *et al.*, 2009). En este sentido, en un periodo de cinco años (2009-2013) la mayoría de las notificaciones del Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos (RASFF Portal) implementado por la Unión Europea en productos de las abejas melíferas implicaron la presencia de residuos de antimicrobianos (71%). Los compuestos encontrados fueron: sulfonamidas (35%), tetraciclinas (15%), nitrofuranos (13%), lincomicina (13%), aminoglucósidos (10%), nitroimidazoles (8%), macrólidos (5%) y quinolonas (3 %) (Galarini *et al.*, 2015).

Si bien, la miel mexicana es un producto de alta calidad y apreciado en el mercado Europeo por sus propiedades nutricionales, así como por su aroma, sabor y color, la presencia del ácaro *Varroa destructor*, ha incrementado el uso indiscriminado de acaricidas y antibióticos que dejan residuos en la miel, lo que limita su comercialización internacional y por lo tanto el rechazo de los embarques de miel (Gonzalez-Novelo *et al.*, 2011). En el año 2013, el RASFF alertó sobre la presencia de oxitetraciclina ($2.4 \mu\text{g kg}^{-1}$ -ppb) y sulfatiazol ($34.2 \mu\text{g kg}^{-1}$ -ppb) en miel proveniente de México. Por lo tanto, es fundamental el manejo adecuado y racional de los medicamentos y productos para el control de plagas y enfermedades. De esta manera se evitará la presencia de residuos en la miel que pudieran afectar la salud del consumidor, y al mismo tiempo, se evitará el rechazo de los países importadores.

Pesticidas

Los pesticidas más comunes que han sido encontrados en las mieles incluyen: compuestos organoclorados (OC), como el lindano y sus isómeros, hexaclorociclohexano (HCH), aldrina, dieldrina, endrina, isómeros de DDT, heptacloro, heptacloroepóxido, metoxicloro, endosulfán. Muchos OC ya no se utiliza en la agricultura, pero todavía están presentes en el medio ambiente, por lo que existe una restricción de exportación para concentraciones mayores a 0.5 ppm para pesticidas organofosforados (OP) como Siliphos, triclorfón, y diclorvos. (Aghamirlou *et al.*, 2015)

Metales pesados y otros

El aire y el suelo contienen metales pesados, principalmente en zonas industriales y con alto tráfico, estos altos índices de contaminación ambiental también pueden contaminar las colonias de abejas y sus productos. Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) se consideran los principales metales pesados tóxicos y son por lo tanto los más frecuentemente monitoreados, cuando la miel proviene de lugares con altos índices de contaminación ambiental. El Plomo, contenido en el aire, principalmente

procedentes del tráfico de vehículos automotores, puede contaminar aire y luego néctar y mielada directamente, no se reconocen casos en los que sea adsorbido por las plantas. A diferencia del plomo, el Cd procedente de la industria metalúrgica y los incineradores, si se transporta desde el suelo a las plantas y luego puede contaminar néctar y de mielada. Sólo una pequeña parte de Cd podría llegar a la miel por el aire, sobre todo en la proximidad de incineradores. Los índices de Pb y Cd en la miel, a la fecha no están establecidos específicamente. Sin embargo, para exportar a la unión europea, estos metales deben estar muy por debajo del LMR (Límite Máximo de residuo) cuyos valores están entre 0,1 y 1 ppm. (Aghamirlou et al., 2015)

Otros metales pesados como el mercurio (Hg) y níquel (Ni) han sido estudiados con mucha menos frecuencia. En todo el mundo no hay niveles de LMR específicos para estos metales pesados en la miel. Los niveles de LMR en Suiza para Hg varían en diferentes alimentos entre 0,01 ppm (zumos de frutas y gelatinas) y 0,5 ppm (pescado). Mientras que para Ni varía entre 0,1 ppm (cerveza) a 0,2 ppm (grasa comestible).

Alcaloides

Los alcaloides pirrolizidínicos (mono-diésteres de 1-hidroximetil-7-hidroxi-1,2-dehidropirrolizidina) (PAs) y sus correspondientes *N*-óxidos se encuentran en más de 6000 especies de plantas y pueden ser transferidos a los productos como la miel, a través del pecoreo de las abejas en estas especies vegetales (Taglialatela y col., 2008). Actualmente, se han aislado más de 660 PAs, de los cuales aproximadamente el 50 % son considerados potencialmente tóxicos (Kempf *et al.*, 2011). Específicamente en el caso de contaminación de miel por alcaloides pirrolizidínicos, recientemente la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, a través de la Comisión Europea, emitió un dictamen sobre la presencia de alcaloides pirrolizidínicos en alimentos. Esto debido a su toxicidad y efecto nocivo a la salud. La producción de estos metabolitos están asociados a especies vegetales silvestres características por lo que llegan a contaminar productos alimenticios de origen agropecuario como: huevos, leche, carne, miel y harina de trigo. Al respecto, diversas investigaciones se han desarrollado para proponer métodos sensibles para su detección y cuantificación, a fin de establecer un requerimiento de límites máximos permitidos. Debido a las múltiples investigaciones que se han realizado en torno a esta problemática, actualmente se han establecido algunos límites permisibles de PAs: puntualizando la situación que rige en países de alto consumo de miel, como es el caso de la Unión Europea (Kempf *et al.*, 2011).

- El departamento federal de Alemania establece una restricción oral y exposición a alcaloides pirrolizidínicos (PAs) o sus *N*-óxidos en productos farmacéuticos de 1 µg/día, restringido a seis semanas al año.
- Los estándares de alimentación de Australia y Nueva Zelanda establecen, una cantidad tolerable provisional de consumo por día de 1 µg de PAs por Kg de masa corporal.

- La Unión Europea, establece los niveles de exposición máxima de 4 µg Kg⁻¹ de peso corporal, a aceites de la especie *Echium*.
- Los países bajos recomiendan hasta 1 µg de PAs en 100 g de consumo de alimentos. (Kempf *et al.*, 2011).

Contaminación biológica

La contaminación microbiana de la miel puede originarse de fuentes primarias de difícil control como el polen, el polvo, el aire, el suelo y el néctar; y de fuentes secundarias a partir de la manipulación directa por trabajadores, equipos, superficies y la contaminación cruzada, no obstante estos factores pueden ser fácilmente controlados por el saneamiento estándar y buenas prácticas de apicultura durante la cosecha y el procesamiento de la miel (Al-Waili *et al.*, 2012). A pesar de la presencia de estos factores, las propiedades naturales de miel como la alta osmolaridad, baja actividad de agua, acidez y presencia de sustancias bactericidas hacen que la miel sea un producto de bajo riesgo en términos bacteriológicos (Mutinelli and Baggio, 2007).

Por lo tanto, los microorganismos de interés son aquellos que soportan la concentración de azúcar, la acidez y el carácter antimicrobiano de la miel. Dentro de estos microorganismos se incluyen ciertas levaduras y, bacterias formadoras de esporas; coliformes o levaduras son indicativos de la calidad sanitaria o comercial. Un alto contenido de humedad puede favorecer el desarrollo levaduras osmofílicas que pueden causar la fermentación en condiciones adecuadas de temperatura y humedad. El pH de las mieles puede variar de aproximadamente 3,2 a 4,5, por lo que la acidez natural de la miel juega un papel importante en la inhibición del crecimiento bacteriano, ya que el pH óptimo para la mayoría de los microorganismos es de entre 7,2 y 7,4. Las mieles poseen también propiedades antimicrobianas debido a la presencia de varios componentes, como glucosa oxidasa, flavonoides y derivados fenólicos y ácido 3-fenil-(ácido 2-hidroxi-3-fenilpropanoico o *b*-fenil-ácido) (PLA). Sin embargo, estos efectos beneficiosos pueden variar en función del origen del producto (da Silva *et al.*, 2016).

Básicamente, los microorganismos no pueden replicarse en la miel y la posible existencia de un alto número de bacterias se atribuye a una contaminación reciente a partir de una fuente secundaria. Sin embargo, algunos microorganismos pueden sobrevivir al menos en formas latentes, de esta manera la miel puede representar un medio para su transferencia a los consumidores. Por ejemplo, las bacterias formadoras de esporas como *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* y *Clostridium botulinum* bajo ciertas condiciones (por ejemplo, germinación y crecimiento en producto sin tratamiento) pueden causar enfermedades en los seres humanos (Iurlina and Fritz, 2005). Las esporas de *C. botulinum* se pueden encontrar en la miel, por lo general en niveles bajos. Esto es especialmente peligroso para los bebés y niños pequeños ya que el botulismo infantil es causado principalmente por el consumo de miel contaminada con *C. botulinum* (Finola *et al.*, 2007). Aunque las esporas de la bacteria se encuentran ampliamente en el medio ambiente, los niños menores de un año de edad son más vulnerables a la germinación de esporas en

el tracto gastrointestinal, lo que conlleva a la multiplicación y producción de toxinas (Nevas, 2006). En este sentido, la Organización Mundial de la Salud recomienda a los padres y cuidadores de niños no alimentar con miel a los lactantes menores de un año (OMS, 2013). Las vías de contaminación de *C. botulinum* en la miel no se han identificado, sin embargo, las fuentes primarias como el polen, el polvo y el aire pueden ser factores importantes. Por otra parte, Nakano et al. (1994) demostraron que las esporas de las bacterias son capaces de germinar y multiplicarse bajo condiciones aeróbicas en abejas muertas y en las pupas, por lo que podrían actuar como una fuente de contaminación dentro de la colmena.

Puntos de control de riesgos

Las políticas actuales, aunadas a la globalización económica exigen la producción de alimentos inocuos y auténticos. Actualmente, las disposiciones internacionales en materia de calidad e inocuidad alimentaria propuestas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), a través del Codex Alimentarius y la Unión Europea, recomiendan la aplicación de estrategias orientadas a lograr mejores alimentos sin riesgos para la población. Entre estas figuran la aplicación de mecanismos para garantizar la rastreabilidad de los alimentos, la aplicación de Buenas Prácticas en la Producción y Manufactura de los alimentos y el establecimiento de Sistemas de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos (HACCP). Este último se fundamenta en gran medida en los aspectos de prevención considerados en las Buenas Prácticas, motivo por el cual éstas adquieren mayor importancia.

Por ello, desde 1998 México lleva cabo el Programa de Monitoreo y Control de Residuos Tóxicos en Miel, con lo cual se han mantenido las puertas abiertas de los países que integran la Unión Europea (UE) para la exportación de miel mexicana. En este sentido, la Coordinación General de Ganadería (CGG) y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) convocaron a los apicultores organizados en asociaciones, a regirse bajo el Manual de Buenas Prácticas de Producción de Miel, este instrumento que facilitará la capacitación de los apicultores y la incorporación de Buenas Prácticas que permitan procesos inocuos en sus apiarios.

Bajo este contexto, la CGG y el SENASICA ha puesto en marcha un programa voluntario dirigido a los productores, con el objeto de que apliquen Buenas Prácticas de Producción de Miel en sus apiarios. Sin duda alguna, quienes cumplan con estos lineamientos obtendrán el reconocimiento o certificación de la producción primaria de la miel, facilitando la certificación de otros eslabones de la cadena como envasado y exportación.

La implementación de las Buenas Prácticas de Producción y el conocimiento de los tipos de contaminación de la miel permiten identificar los puntos de control y evitar los peligros presentes en las etapas del proceso de producción de la miel (Figura 1). Por ejemplo, en el manejo de las abejas se debe evitar la introducción de

enfermedades apícolas o de plagas que hicieran necesario la aplicación de medicamentos que pudieran contaminar a la miel. En este sentido, se recalca la importancia del uso adecuado de antibióticos o insecticidas para evitar la presencia de residuos en la miel. Asimismo, la alimentación artificial puede representar riesgos de contaminación química o microbiológica, por lo que el apicultor debe rechazar la administración de alimentos con indicios de contaminación o en mal estado, además deberá cumplir con las normas básicas de seguridad e higiene para la preparación del alimento (SAGARPA, 2015).

También es importante evitar la contaminación de la miel con materiales o sustancias utilizados en la construcción y mantenimiento de las colmenas. Por otro lado, la ubicación de la colmena representa otro punto crítico para evitar la contaminación química de la miel. En áreas donde se practica la agricultura intensiva, existe el riesgo de contaminación por agroquímicos, por lo que los apicultores deben conocer las fechas y horas de aplicación para retirar y/o proteger el apiario (SAGARPA, 2015)

Durante el proceso de cosecha y extracción, la miel puede contaminarse con pedazos de cera, polen, tierra, restos de insectos, trozos de panal u otros sólidos insolubles. En esta etapa también son importantes las medidas higiénicas preventivas para evitar la contaminación con microorganismo que pueden ser introducidos accidentalmente por medio de prácticas de manejo inadecuadas. Finalmente, es importante tener cuidado en la contaminación cruzada a través de los utensilios o maquinaria empleados durante la producción primaria y/o por la manipulación de la miel (SAGARPA, 2015).

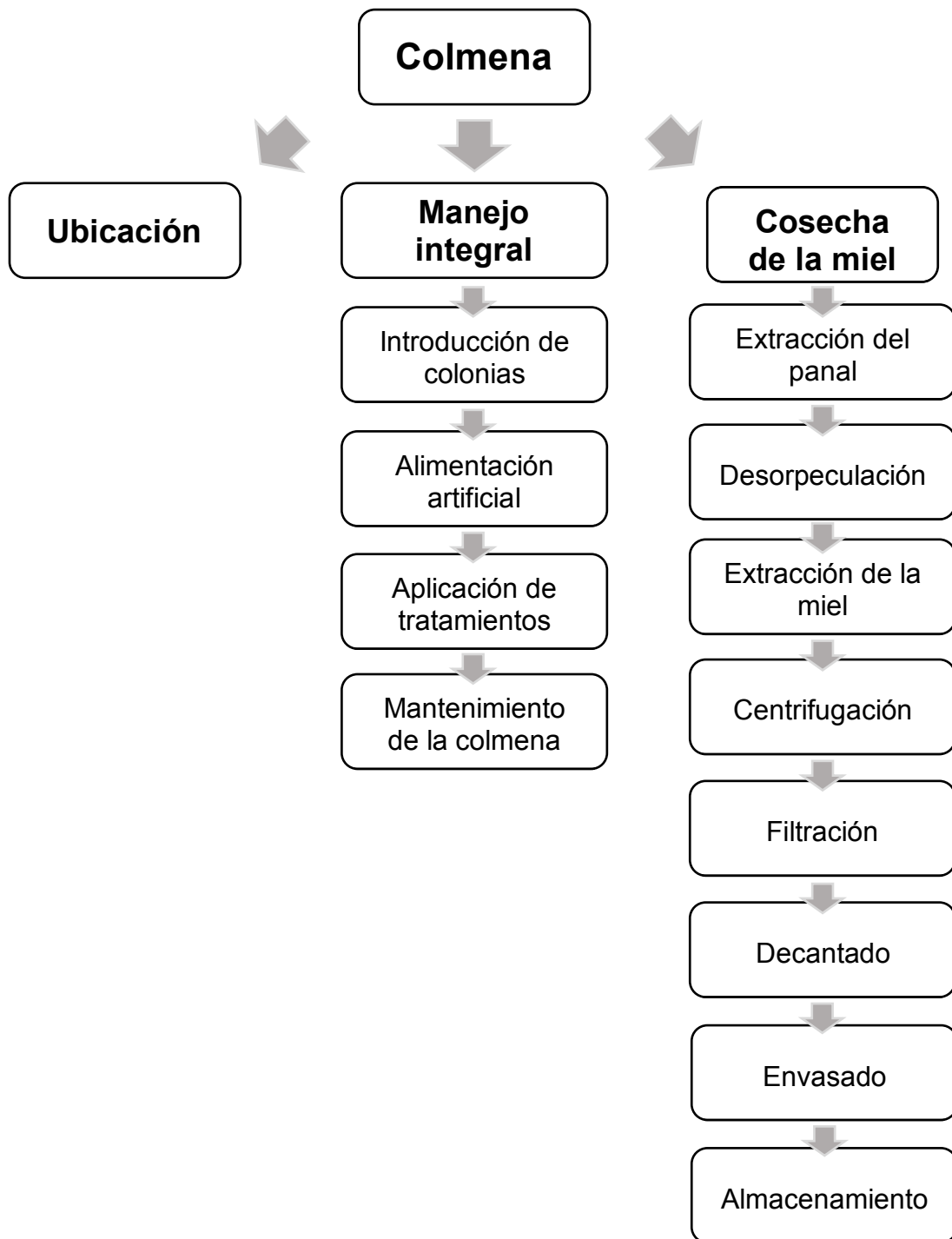


Figura 1. Etapas de producción de la miel

Alternativas para el control de riesgos

La inocuidad de los alimentos envasados podrá asegurarse más adecuadamente ateniéndose estrictamente a las buenas prácticas de fabricación detalladas en el Código Internacional Recomendado de Prácticas de Higiene para Alimentos poco Ácidos y Alimentos poco Ácidos Acidificados Envasados, CAC/RCP 23-1979, durante la fabricación del envase, el envasado, el almacenamiento y el envío. La inspección de una muestra tomada de un lote de producto terminado puede proporcionar sólo garantías limitadas de inocuidad, ya que la finalidad principal es lograr un determinado grado de calidad del lote por lo que respecta a los defectos, y no es idónea para el examen de remesas cuya historia se desconoce. El tipo de medidas, si las hubiera, que habrían de tomarse dependería de la cantidad y tipo de envases defectuosos encontrados y/o de los requisitos predominantes del organismo de reglamentación competente.

La miel debe proceder exclusivamente de las colmenas inscritas en el padrón de productores y cumplir con las buenas prácticas de colecta y envasado.

Para la cata o castra, el desabejado se suele realizar por el sistema tradicional de cepillado abejas con cepillos de simple o doble hilera de cerdas naturales.

Para evitar riesgos microbiológicos, se debe partir siempre de panales operculados los cuales son desoperculados mediante el sistema tradicional de cuchillos previamente calentados con agua a punto de ebullición o bien mediante una deselladora.

La extracción de la miel de los panales se hace siempre por centrifugación.

El almacenamiento de la miel se realiza en bidones de plástico alimentario o de chapa recubierta de pintura alimentaria debidamente identificados conforme al Manual de Calidad.

La prevención de la exposición, es el único método eficaz para limitar la toxicidad debida a los alcaloides y otros contaminantes ambientales como Pb y Cd. Los contaminantes de las plantas y ambientales aun ingeridos a dosis bajas después de un cierto periodo pueden representar un alto riesgo para la salud, por lo que la exposición debe evitarse o reducirse en tanto sea posible, los puntos de acción en estos casos es ubicar los apiarios en zonas libres de estos contaminantes.

En el caso de prevenir contaminación por alcaloide es importante mencionar que mediante el análisis Palinológico de un grupo variado de mieles, se ha visto que la flora implicada en el aporte de alcaloides pirrolizidínicos, se debe a plantas de la familia Asteraceae (géneros Senecio y Eupatorium) y Boraginaceae (género Echium). Por lo que diferentes especies de Senecio y chircas pertenecientes al género Eupatorium se encuentran involucradas en este aspecto. Aun se sigue investigando para descubrir si algún otro grupo de plantas se encuentran

implicadas, en México hay pocos estudios realizados al respecto. Por ello, dependiendo entonces del origen botánico de la miel, ésta garantizará la no presencia de alcaloides pirrolizidínicos.

Conclusiones

La miel es un producto natural, elaborado por las abejas a base del néctar que extraen de las flores. Las abejas enriquecen y transforman este néctar con sustancias específicas propias, la depositan y almacenan en los panales donde la hacen madurar. Aunque la miel siempre ha contado con un amplio reconocimiento como alimento puro y natural no debe quedar exenta de cumplir con requisitos y lineamientos para su comercialización, tanto nacional como internacionalmente que garanticen su calidad e inocuidad. En México, la miel es un producto de alta calidad, que es exportado a la Unión Europea principalmente a Alemania y el Reino Unido, por lo que es necesario implementar sistemas de aseguramiento de la calidad a lo largo de toda la cadena productiva de la miel. En este sentido en México, se busca que los apicultores apliquen el Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Miel, para garantizar la capacitación de los apicultores mediante la incorporación de Buenas Prácticas que permiten procesos inocuos desde las primeras etapas de producción es decir en los apiarios. La implementación de las Buenas Prácticas de Producción y el conocimiento de los tipos de contaminación de la miel permiten identificar los puntos de control y evitar los peligros presentes en las etapas del proceso de producción de la miel.

Bibliografía

- Aghamirlou, H. M., Khadem, M., Rahmani, A., Sadeghian, M., Mahvi, A. H., Akbarzadeh, A., & Nazmara, S. 2015. Heavy metals determination in honey samples using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 1-8.
- Al-Waili, N., Salom, K., Al-Ghamdi, A. and Ansari, M. J. 2012. Antibiotic, Pesticide, and Microbial Contaminants of Honey: Human Health Hazards. *The Scientific World Journal*, 1-9.
- Ares, A. M., Valverde, S., Nozal, M. J., Bernal, J. L., & Bernal, J. 2016. Development and validation of a specific method to quantify intact glucosinolates in honey by LC-MS/MS. *Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 114-122.
- Bargańska, Ż., Namieśnik, J., & Ślebioda, M. 2011. Determination of antibiotic residues in honey. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(7), 1035-1041.
- Codex Alimentarius Commission Standards, 2001. Normas para la miel. Standard 12-1981, Rev. 1, 1987. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/list-of-standards/en/>
- Standard for Honey. Standards and Standard Methods, 11, 1-7.
- CONABIO y AECID. 2011. *Plan Rector Para Promover una Denominación de Origen de mieles de la Península de Yucatán*. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/mieles/pdf/PlanRector_DenominaOrig enMielesPeninsulaYucatan.pdf.

- da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. 2016. Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309-323.
- Declaratoria de Vigencia de las Normas Mexicanas NMX-F-036-NORMEX-2006, Alimentos-Miel- Especificaciones y Métodos De Prueba (Cancela la NMX-F-036-1997-NORMEX)
- Directive 2014/63/EU of The European Parliament and of The Council of 15 May 2014 amending Council Directive 2001/110/EC relating to honey
- El Sohaimy, S. A., Masry, S. H. D., & Shehata, M. G. 2015. Physicochemical characteristics of honey from different origins. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 279-287.
- Finola, M. S., Lasagno, M. C., & Marioli, J. M. 2007. Microbiological and chemical characterization of honeys from central Argentina. *Food Chemistry*, 100(4), 1649-1653.
- Galarini, R., Saluti, G., Giusepponi, D., Rossi, R., & Moretti, S. 2015. Multiclass determination of 27 antibiotics in honey. *Food Control*, 48, 12-24.
- Gallardo-Velázquez, T., Osorio-Revilla, G., Loa, M. Z., & Rivera-Espinoza, Y. 2009. Application of FTIR-HATR spectroscopy and multivariate analysis to the quantification of adulterants in Mexican honeys. *Food Research International*, 42(3), 313-318.
- Jean-Prost, P., & Le Conte, Y. 2007. *Apicultura: Conocimiento de la abeja, Manejo de la Colmena* (4.ª ed.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa
- Iurlina, M. O., and Fritz, R. 2005. Characterization of microorganisms in Argentinean honeys from different sources. *International journal of food microbiology*, 105(3), 297-304.
- Meli, M. A., Desideri, D., Roselli, C., Feduzi, L., & Benedetti, C. 2016. Radioactivity in honey of the central Italy. *Food chemistry*, 202, 349-55.
- Kempf, M., Wittig, M., Reinhard, A. von der Ohe, K., Blacquièrre, T., Ræzke, K.-P., Michel R., Schreier, P. & Beuerle T. 2011. Pyrrolizidine alkaloids in honey: comparison of analytical methods, *Food Additives & Contaminants: Part A*, Vol. 28, Iss. 3, 2011
- Mutinelli, F., and Baggio, A. 2007. Sistema de Análisis de Riesgo y Puntos Críticos de Control (HACCP) en el Procesamiento de la Miel. *Agro Sur*, 41-45.
- Nevas, M. 2006. *Clostridium Botulinum in Honey Production With Respect To Infant Botulism*.
- OMS, 2013. Botulismo. Organización Mundial de la Salud. Nota descriptiva N°270. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs270/es/>
- Ramos-Díaz Ana, San Román-Ávila Daniel, Noriega-Trejo Rodolfo, Góngora-Chin Ricardo, Sánchez-Contreras Ángeles, Rodríguez-Buenfil Ingrid, Catálogo de los principales tipos polínicos encontrados en las mieles producidas en la Península de Yucatán, 2015 ISBN: 978-607-8424-10-8
- SAGARPA. 2015. *Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Miel* (3.ª ed.). Disponible en: <http://www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=21454&IdUrl=76986&down=true>.

Calidad Microbiológica del Polen

Campos-Guillen Juan^{1*}, Romero-Gómez Sergio¹, Álvarez-Hidalgo Erika¹, Arvizu-Hernández Ivan¹, Calvillo-Medina Rosa², Vásquez-Cruz Moisés A.³, Torres-Ruiz Alfonso³, Estrada-Martínez Ana¹.

¹Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n, Querétaro, Qro., 76010, México. ²Instituto de Oftalmología F.A.P. "Fundación de Conde de Valenciana" I.A.P. Chimalpopoca # 7, 06800, Ciudad de México, México. ³KOPPERT MEXICO S.A. DE C.V. *Correspondencia: juan.campos@uaq.mx

Resumen

El polen contiene una gran cantidad de nutrientes y compuestos bioactivos, como por ejemplo: carotenoides, vitaminas, flavonoides y compuestos fenólicos que le proporcionan propiedades benéficas como antioxidante, anti-inflamatorio, antimicrobiano e inclusive, anti-cancerígeno, por lo que se ha sugerido el uso del polen como suplemento dietario. Sin embargo, por su origen geográfico, floral y calidad de nutrientes, el polen puede contener una amplia diversidad de microorganismos benéficos, deterioradores o patógenos. Dado que el polen se consume de manera directa o después de tratamientos térmicos o de radiación muy suaves que buscan más preservar las características nutricionales del polen que controlar o disminuir eficazmente la microbiota, este puede constituir una fuente potencial de enfermedades de transmisión alimentaria. Por tal motivo es necesario mantener una vigilancia continua para asegurar una calidad adecuada del polen para su consumo. Sin embargo, no existen criterios microbiológicos estandarizados para polen y en México solo se adoptan lineamientos limitados ya establecidos por otros países. De acuerdo a la normatividad en México (NMX-FF-094-SSFI-2008), los grupos microbianos analizados no reflejan estrictamente la calidad del polen y esto es un factor de riesgo para el consumidor. Es necesario seguir trabajando en la unificación de criterios internacionales que garanticen a los apicultores una producción de polen de calidad e inocuidad suficiente para mantener sus colmenas sanas y evitar la transmisión de microorganismos patógenos.

Introducción

Papel biológico e importancia del polen

El polen está constituido de partículas con forma y tamaño variable que se encuentran en el saco polínico de las flores, los granos de polen están formados por una célula nucleada y una o dos células gaméticas masculinas rodeadas de una capa suave llamada intina y una capa dura externa llamada exina. El polen se transfiere al estigma de la flor por medio del proceso de polinización que se lleva a cabo por la acción del viento, agua o por animales, principalmente insectos, aves y mamíferos a los que se denomina polinizadores. Una vez que el polen llega al estigma se da lugar a la aparición de un tubo polínico que penetra hasta el saco

embrionario de las flores, dentro del cual el óvulo será fertilizado con una célula espermática del polen.

Cada especie de planta ha desarrollado un tipo único de polen con características morfológicas y de composición específicas, lo que lo hace muy variable en cuanto a su composición; la variabilidad morfológica del polen se debe a su adaptación a los procesos de polinización, esto especialmente interesante en aquellas plantas donde el transporte del polen se lleva a cabo por polinizadores; la interacción de la planta y el polinizador se da por procesos muy especializados donde la planta ofrece un premio al polinizador en forma de néctar, al mismo tiempo que han desarrollado sistemas para forzar a los polinizadores a recoger los granos de polen que a su vez están adaptados para ser transportados con una alta eficiencia por el polinizador.

Uno de los ejemplos más importantes, desde el punto de vista ecológico y económico, es la interacción que existe entre el polen y los organismos polinizadores; las abejas colectan polen de una variedad de flores y posteriormente lo almacenan en celdas como materia prima; para alimentarse del polen lo combinan con capas delgadas sucesivas de miel, bajo el efecto de microorganismos y enzimas presentes en las secreciones salivares de las abejas se degrada la exina liberando el contenido nutricional del polen y se convierte en “pan de abejas” que es el principal alimento de los organismos adultos y se usa también para la elaboración de jalea real con la que se alimenta a las larvas. Esto último hace que la importancia de la calidad nutricional y microbiológica del polen sea doble: Primero como alimento principal de las larvas, estas son sensibles a las deficiencias nutricionales y a cualquier organismo patógeno que se encuentre en él y segundo el pan de abejas puede actuar como vector de infección dentro del panal.

En el caso de los panales que se utilizan en la polinización de los cultivos comerciales, la alimentación de las colonias en el invierno se realiza por medio de polen colectado por otras abejas y cosechado para la venta, este polen es almacenado en condiciones variables hasta que es comercializado y transportado al lugar de consumo. Con la finalidad de disminuir la carga microbiana del polen se aplican tratamientos suaves con calor o con radiación gamma a algunos de los lotes de polen; sin embargo, la mayoría se comercializa de manera directa. De esta forma las abejas pueden quedar expuestas a organismos patógenos que se encuentren en el polen recién cosechado y a los organismos que se desarrollen durante el almacenaje. Por lo anterior se hace muy importante el poder determinar de manera confiable que el polen comercializado esté libre de patógenos, tanto propios del polen como derivados del almacenaje.

La declinación en el número de abejas es un problema tanto ecológico como económico; dado que la fertilización de las plantas de consumo humano depende en gran medida de la polinización por estos insectos; si bien la causa todavía no es clara las pruebas existentes apuntan hacia a la presencia cada vez mayor de hongos como *Nosema apis* y a algunos otros patógenos en las colonias. Esto hace necesario saber más sobre el polen y su papel como posible vector de infecciones

que pueden ser potencialmente desastrosas como la muerte y desaparición de las abejas.

El polen es un alimento muy importante y nutritivo como alimento para los humanos y organismos forrajeadores de importancia comercial como las abejas y los abejorros. La fertilidad de las plantas, la calidad de la miel y la capacidad de sobrevivencia de los organismos polinizadores dependen de la calidad del polen. Sin embargo, la salud en humanos, abejas, abejorros y demás polinizadores depende de la calidad microbiológica del polen; por lo que la comercialización del polen en cualquiera de sus usos requiere de un análisis microbiológico confiable que permita acceder a polen que cumpla con las normas mínimas de inocuidad alimentaria.

Contenido nutricional del polen

El polen contiene, dependiendo de su origen geográfico y floral, cantidades variables de nutrientes esenciales en especial carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, proteínas y aminoácidos. Se ha reportado también que contiene hormonas naturales, carotenoides, flavonoides, fitoesteroles, enzimas y coenzimas. El alto contenido y calidad de nutrientes reportados por gramo de peso hace que el polen haya sido considerado como una fuente potencial de energía y de proteínas de alta calidad para consumo humano; aunque, hasta la fecha no quede claro si es posible para los humanos digerir el polen de manera eficiente, algo que ya ha sido reportado para algunas especies de ratones. La comercialización del polen con la intención de usarlo como alimento para humanos ha hecho necesario el desarrollo de legislaciones especializadas que regulen tanto el comercio como la calidad del polen. En el caso de México, se han establecido especificaciones mínimas de calidad en cuanto a la producción y comercialización de polen (Tabla 1).

Tabla 1. Especificaciones fisicoquímicas del polen.

Parámetros	Valores Permisibles	Métodos de Pruebas
Humedad (%)	4.5 a 8	NOM-116-SSA1-1994
Cenizas (%)	1.5 a 2.2	NMX-Y-093-SCFI-2003
Proteína (%)	12 a 18	NMX-F-608-NORMEX-2011
Grasa (%)	2.5 a 6.5	NMX-F-615-NORMEX-2004
Fibra (%)	0.27 a 0.70	NMX-Y-094-SCFI-2012
pH	min. 4	NMX-F-317-NORMEX-2013

La Comisión del Codex Alimentarius de la FAO/OMS (2001) ha establecido una regulación para el comercio internacional del polen de abejas a través de una norma aplicada en forma íntegra o con algunas modificaciones por los países importadores de este producto. Esta norma establece definiciones y denominaciones y regula los factores esenciales de composición y calidad de este producto. De acuerdo a la normatividad en México (NMX-FF-094-SSFI-2008), Brasil (APACAME 2000), Cuba (Normas NC), Argentina (CAA), Perú (NTS No 071-MINSA/DIGESA-V.0) y Unión Europea se han establecido especificaciones mínimas de calidad microbiana para

la producción y comercialización de polen (Tabla 2). Hasta el momento existe diversidad de criterios microbiológicos para cada país, sin embargo la Unión Europea y Mercosur están haciendo un esfuerzo para unificar criterios para garantizar al consumidor un polen de alta calidad. En México es recomendable establecer iniciativas para unificar criterios y regular la calidad de la producción nacional del polen, pero también el de importación.

Los criterios microbianos mostrados en la tabla 2 están basados en la detección de bacterias patógenas oportunistas e incluyen el recuento de bacterias mesófilas aerobias (BMA), coliformes totales y fecales, *Clostridium* spp. reductores de sulfito, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, detección de *Salmonella* spp. y *Shigella* spp. (presente/ausente), y conteo de mohos y levaduras. En la norma Brasileña se considera además a *Paenibacillus larvae*, una bacteria patógena de abejas y abejorros. Sin embargo, diversos trabajos muestran que hay diferencias notables en la carga microbiana por encima de los límites permisibles en polen fresco y polen tratado con calor, donde por ejemplo el número de BMA en polen fresco fue de hasta 1.8×10^6 UFC, coliformes viables hasta de 1.1×10^5 UFC, *Clostridium* hasta 4.5×10^2 UFC, mohos y levaduras hasta 6.4×10^5 y 3.4×10^5 UFC respectivamente; mientras que el polen tratado con calor el recuento de BMA fue de hasta de 1.7×10^4 UFC, coliformes viables de 4.5×10^3 UFC, el número de *Clostridium* en este caso es incierto ya que hubo una variación muy grande en algunas muestras de hasta $>4.5 \times 10^2$ UFC, mohos no se encontraron diferencias con el polen fresco y levaduras hasta de 3.3×10^3 UFC en el caso de *Salmonella* se ha reportado ausente (Briceño et al., 1987; Bárbara et al., 2015; De-Melo et al., 2015; Estevinho et al., 2012; Feás et al., 2012). Es importante considerar que independientemente del origen del polen, la dinámica poblacional microbiana se modifica en función de la calidad de nutrientes, humedad, temperatura de almacenamiento y pH. Por lo anterior, los criterios microbiológicos mostrados en la tabla 2 no reflejan la gran diversidad microbiológica encontrada en polen y los diversos factores de contaminación. La manipulación del polen durante su producción es uno de los aspectos más críticos y al mismo tiempo es uno de los más fáciles de corregir, pues este tipo de contaminación se puede disminuir o evitar a través de la aplicación de las buenas prácticas de manufactura. Además, los diversos criterios microbiológicos mostrados en la Tabla 2, establecen un rango entre 100 a 300 UFC de mohos (micromicetos filamentosos, incorrectamente nombrados mohos) y levaduras por gramo de polen. Sin embargo, su identificación no está considerada y es un criterio que debería considerarse en las normas, ya que diversos trabajos han descrito cerca de 150 especies de hongos y levaduras que causan infecciones en insectos, mamíferos y humanos (Casadevall, 2005).

Tabla 2. Especificaciones microbiológicas del polen

Microorganismos indicadores	Valores Máximos Permisibles					
	Argentina ⁴	Brasil ²	Cuba ³	México ¹	Peru ⁵	Unión Europea
Aerobios mesófilos		No determinada	10000 (UFC/gr)	1000 (UFC/gr)	10000 (UFC/gr)	10000 (UFC/gr)
Mohos y levaduras	100 (UFC/gr)	100 (UFC/gr)	100 (UFC/gr)	300 (UFC/gr)	100 (UFC/gr)	50,000 (UFC/gr)
<i>Salmonella</i> spp.		Ausente (25 gr)	Ausente	Ausente		Ausente
<i>Escherichia coli</i>			Ausente	Ausente	10 (UFC/gr)	Ausente
Coliformes totales		Ausente	1000	Ausente		100 (UFC/gr)
Coliformes fecales			10			
<i>Staphylococcus aureus</i>			Ausente	Ausente		Ausente
<i>Shigella</i> spp		Ausente (25 gr)				
<i>Paenibacillus larvae</i>		Ausente				
<i>Clostridium</i>			Ausente			

¹México, normas aplicadas: NOM-092-SSA1-1994, NOM-111-SSA1-1994, NOM-114-SSA1-1994, NOM-143-SSA1-1995, NOM-113-SSA1-1994, NOM-115-SSA1-1994.

²Brasil, normas aplicadas: APHA 1992 c.24, FIL 93 1985, FIL 94B 1990, Portaria 248 1998.

³Cuba: normas aplicadas: Normas NC – ISO4833:2002, NC – ISO7954:2002, NC – ISO6888-1:2003; ISO7251:2005, ISO6579:1993, ISO7937:2004 y NC 38-02-14:1989

⁴Argentina, normas aplicadas: CAA Capítulo X Art. 785.

⁵Peru, normas aplicadas: NTS No 071-MINSA/DIGESA-V.01

Calidad en polen para producción comercial de abejas y abejorros

Importancia del polen en el desarrollo de colonias de abejas

Las abejas (*Apis* spp.) son polinizadores altamente eficientes al grado de que se ha reportado que para propósitos comerciales, producen mejores resultados que la polinización mecánica o manual (Torres-Ruiz & Jones, 2013). Es por eso que el mantener una población sana de abejas es importante para evitar pérdidas económicas en México. Datos de SAGARPA muestran que entre 2000-2009 los productos derivados de las abejas rebasaron las 60 mil toneladas (Tabla 3) y la exportación de miel para el 2008 tuvo un valor comercial mayor a los 80 millones de dólares. La producción de colmenas para polinización de cultivos hortícolas y frutícolas es un mercado en crecimiento y tiene una gran importancia económica.

Tabla 3. Valores promedio durante 2000-2009 de productos derivados de las abejas.

Producto	Valores promedio
Miel	57 mil toneladas
Cera	2.2 mil toneladas
Polen	25 toneladas
Colmenas para polinización de cultivos hortícolas y frutícolas	135,500 colmenas

En los últimos años la importación de productos derivados de abejas, representa una entrada a factores que pueden poner en riesgo las colonias de abejas en México. Es por lo anterior que es necesario aplicar los instrumentos normativos (Tabla 4) que regulan la sanidad, producción y comercialización de los productos de las abejas.

Tabla 4. Normas mexicanas que regulan la sanidad, producción y comercialización de productos derivados de abejas.

Regulación	Métodos de Pruebas
Campaña Nacional contra la Varroasis de las Abejas	NOM-001-ZOO-1994,
Actividades técnicas y operativas aplicables al Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana	NOM-002-ZOO-1994
Alimentos – Miel – Especificaciones y Métodos de Prueba	NMX-F-036-NORMEX-2006
Productos Alimenticios No Industrializados para Consumo Humano-Polen (pollinis)	NMX-FF-094-SCFI-2008
Información comercial - Etiquetado de miel en sus diferentes presentaciones	NOM-145-SCFI-2001
Determinación de derivados de azúcar de caña y/o jarabe de maíz con alto contenido en fructosa para verificar la autenticidad de la Miel de Abeja utilizando la Composición	NMX-F-606-NORMEX-2002

Isotópica del Carbono 13 ($\delta^{13}\text{CVPDB}$) en la miel y en su proteína (estándar interno) por Espectrometría de Masas de Isotopos Estables – Método de Prueba.

El desarrollo y supervivencia de las colonias de abejas está muy relacionada con la calidad microbiológica y nutricional del polen. El polen, es la principal fuente de proteínas, aminoácidos, lípidos, almidón, esteroides, vitaminas y minerales para abejas (Roulston & Buchmann, 2000). El polen, además de influir en la longevidad de los individuos, es importante a nivel de la colonia, ya que permite la producción de jalea real por las obreras, que es usada para alimentar a las larvas. Por lo anterior, una consecuencia directa de la deficiencia nutricional o una mala calidad microbiana del polen es la disminución en la población de la colonia y una salud deficiente de los individuos, lo cual puede afectar a su vez la capacidad de los individuos para resistir a patógenos y pesticidas. Por esto, el estudio de la influencia del consumo de polen requiere tomar en cuenta la calidad y la diversidad de las fuentes de polen. A pesar de que algunos estudios han mostrado que la calidad del polen puede afectar la longevidad de abejas y el desarrollo de las glándulas hipofaríngeas y que la diversidad del polen puede mejorar algunas respuestas inmunológicas, nuestro conocimiento de la influencia de la calidad y diversidad del polen es aún muy limitado.

De los nutrientes antes mencionados las proteínas juegan el papel más importante en el desarrollo de las abejas, dado que se ha reportado que una baja disponibilidad de proteínas disminuye la longevidad de los organismos, el número de crías viables y la producción de miel se reducen de manera importante (Herbert, 2000). La deficiencia de proteína también afecta la habilidad de las abejas para resistir enfermedades y se cree que lo anterior es un factor importante involucrado en el “desorden de colapso de colonias”.

Importancia del polen en el desarrollo de colonias de abejorros

El uso de abejorros para polinización de varias hortalizas ha incrementado de manera importante, principalmente en tomates de invernadero. Aunque el desarrollo de diferentes técnicas para su producción ha mejorado rápidamente desde 1987, aún se tienen problemas para maximizar la calidad y rentabilidad de las colonias desarrolladas comercialmente (Hughes, 1996). Las fuentes de alimento utilizadas en la crianza comercial de abejorros son fructosa, sacarosa o soluciones de azúcar invertida (como sustitutos del néctar) y polen congelado colectado por abejas. Este tipo de dieta parece proveer una adecuada nutrición para el correcto desarrollo de las colonias. Para propósitos comerciales, los requerimientos nutricionales para abejorros son considerados generalmente equivalentes a aquellos para *Apis mellifera* (L.), los cuales han sido investigados a detalle, pero la composición de la dieta adecuada para los abejorros continúa sin ser entendida del todo. Varios estudios han descrito los requerimientos básicos de proteínas y aminoácidos para

Apis mellifera (De Groot, 1953), minerales y esteroides. Los requerimientos vitamínicos han sido estudiados por Herbert y Shimanuki (2000). Pocos estudios han hecho énfasis en la importancia de las proteínas, lípidos, vitaminas y minerales en la estrategia de forrajeo. Lo anterior debido a que los estudios del costo beneficio del forrajeo rara vez toman en cuenta otros componentes aparte de los azúcares del néctar y del polen, por lo que no se conoce como estos componentes dietéticos pueden afectar el comportamiento de los abejorros (Galen & Plowright, 1985).

En la producción industrial de colonias, se han empleado jarabes azucarados obtenidos de diferentes plantas como *Zea mays*, *Beta vulgaris* y *Saccharum* spp. debido a sus bajos costos. Se ha estimado que aproximadamente 1000 toneladas de jarabes son usados para la crianza de abejorros a nivel industrial y que otras 2000 toneladas se usan anualmente para alimentar a las colonias instaladas en los invernaderos (Velthuis & Van Doorn, 2006). Gurel et al. (2012) probaron diferentes formulaciones de jarabes para alimentar abejorros, entre ellas se probó jarabe de maíz de alta fructosa (HFCS, F:42-45%; G:50-54%), jarabe de sacarosa (SS, F:42-45%; G:50-54%) y jarabe de azúcar para abejorros (BFSS, F: 37-40%; G:27-30%; S:30-36%). En este estudio, las reinas alimentadas con BFSS produjeron colonias aproximadamente 25-30% más grandes que aquellas alimentadas con SS y HFCS.

Las diferentes especies de abejorros requieren polen como su principal fuente de proteína para la ovogénesis, el desarrollo de las larvas e influye en el tamaño de los adultos (Dobson & Peng, 1997; Plowright & Prendrel, 1977; Duchateau & Velthuis, 1989; Sutcliffe & Plowright, 1988). Ribeiro et al., (1996) encontraron que al secar el polen, se afectaron las capacidades reproductivas de las reinas de *Bombus terrestris*, por lo que asumen que se modifica el contenido de aminoácidos, lípidos, y vitaminas del polen. Sin embargo, no existen suficientes datos sobre la influencia de mezclas comerciales de polen sobre la reproducción de abejorros y tampoco se han efectuado estudios que relacionen de manera inequívoca la calidad del alimento con el éxito reproductivo de los abejorros (Genissel et al., 2002).

Tasei y Aupinel (2008) evaluaron el uso de polen puro de diferentes especies de plantas como: *Castanea sativa*, *Actinidia chinensis*, *Cistus* spp., *Papaver rhoeas*, *Helianthus annuus*, y *Rubus* spp. adquirido en diferentes mezclas de polen provenientes de apicultores de diferentes zonas de Europa. En sus resultados encontraron que las mezclas de polen incrementaron el peso de las larvas de abejorros en comparación con las muestras de polen puro. Lo anterior puede deberse a que las mezclas pueden contener una composición de aminoácidos más equilibrada y un contenido de nitrógeno mayor. Los nutrientes que las obreras obtienen del consumo del polen proveen todas las proteínas, lípidos, vitaminas y minerales que son requeridos durante la crianza de las larvas (Manning, 2001). Las colonias requieren grandes cantidades de reservas de polen durante el invierno para soportar la espera de condiciones adecuadas para realizar el forrajeo (Farrar, 1993). El suministro de polen o de suplementos de polen a las colonias puede estimular las labores de crianza de larvas que experimentan escases de polen durante el

forrajeo (Kalev et al., 2002). La deficiencia de proteína también afecta la habilidad de los abejorros para resistir enfermedades y al igual que con las colonias de abejas se piensa que es una de las causas del “desorden de colapso de colonias” (CCD, colony collapse disorder).

El polen como vector de patógenos de colonias de abejorros

Los abejorros (*Bombus* spp.) son polinizadores altamente eficientes de las flores de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.), ya que la planta de tomate requiere de vibraciones para liberar el polen y fertilizar los ovarios. Para propósitos comerciales, producen mejores resultados que las abejas o la polinización mecánica o manual (Torres-Ruiz & Jones, 2012). En México, el abejorro *Bombus impatiens* Cresson ha sido usado desde 1994 para la polinización del tomate. Hoy en día, aproximadamente el 95% de las ventas de abejorro a nivel mundial son destinadas a la producción de tomates, con un valor estimado de 12 billones de euros al año (Velthuis & van Doorn, 2006).

El principal insumo para la producción de abejorros a nivel comercial es el polen, debido a esto la calidad y cantidad de polen usado en este proceso influye en el desarrollo de los nidos de *B. impatiens* y en la rentabilidad de la cría masiva (Velthuis y Van Doorn, 2006). Las abejas forrajeras colectan polen de las flores y lo transportan en las corbículas de sus patas traseras. Para formar los pellets de polen, las abejas lo mezclan con secreciones de su glándula hipofaríngea, son estas secreciones en las que se encuentran la mayor parte de parásitos, por lo que el polen puede servir como vector de transmisión de patógenos para abejorros, dado que los abejorros son producidos en ambientes cerrados y controlados, los principales patógenos relacionados con la transmisión por polen son *Crithidia bombi* y *Nosema bombi* y existe evidencia de la transmisión de *Nosema ceranae*, *Nosema apis* y el virus de ala deforme provenientes de abejas (DWV) (Graystock et al., 2013). La detección temprana de patógenos en el polen, junto con las medidas de cuarentena ha demostrado ser herramientas útiles para controlar las infecciones de las plantas de cría masiva de abejorros. Para microorganismos como los protozoarios, espiroplasmas y virus se han desarrollado diferentes herramientas de detección molecular (Ravoet et al., 2013). Un ejemplo de éxito es la erradicación del ácaro traqueal *Locustacarus buchneri* de las plantas de cría masiva a través de un estricto control de calidad.

Por lo anterior resulta de mucha importancia para la producción comercial de abejorros contar con un perfil de carga microbiana del polen utilizado como insumo, actualmente solo se cuenta con perfiles de calidad completos para polen destinado al consumo humano, pero no se cuenta con algo similar para la alimentación de abejorros. El monitoreo de la carga microbiana del polen reducirá el riesgo de introducir polen contaminado y así evitar la transmisión de microorganismos patógenos de abejas hacia los abejorros. En este sentido, recientemente se han empezado a introducir diferentes técnicas para la sanitización del polen. Un método

convencional para la descontaminación del polen era su exposición a óxido de etileno gaseoso pero fue prohibido por su alta toxicidad (Yook et al., 1998); otro método es calentar el polen a 40° C por periodos de tiempo corto y actualmente se emplea la exposición del polen a rayos gamma obtenidos de una fuente de Cobalto 60, este método ha demostrado que aun a dosis bajas tiene un efecto muy importante sobre la cantidad de microorganismos en diferentes matrices alimenticias (Meeus et al., 2014).

Diversidad microbiológica en polen y riesgos potenciales en la salud humana

Bacterias asociadas a polen

Durante la década de 1950, se aislaron los primeros microorganismos de polen que fueron bacterias productoras de indol como *Escherichia*, bacterias aerobias esporuladas del género *Bacillus*, bacterias acidófilas productoras de ácido láctico como *Streptococcus* y *Lactobacillus*, así como levaduras (Foote, 1957; Haydak, 1958). En 1966 se reportaron microorganismos asociados al polen en condiciones de almacenamiento tales como *Lactobacillus*, *Pseudomonas* y *Saccharomyces* (Maugenet J, 1966). *Bacillus subtilis* se ha aislado de muestras de polen tomadas directamente de las flores, mientras que *B. megaterium*, *B. licheniformis*, *B. pumilus* y *B. circulans* se han aislado de polen almacenado, probablemente por el hecho de que las abejas forrajeras inoculan estas últimas cepas a los cúmulos de polen cuando lo toman y lo transportan a la colmena (Gilliam, 1979). El aislamiento de tantos tipos de bacterias en polen fresco contrasta con los reportes de actividad antimicrobiana de extractos metanólicos y etanólicos del mismo polen contra los siguientes grupos microbianos: *Listeria monocytogenes* CCM4699, *Pseudomonas aeruginosa* CCM1960, *Staphylococcus aureus* CCM3953, *Salmonella enterica* CCM4420, *Escherichia coli* CCM3988, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Candida krusei*, *Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Candida parapsilosis*, *Candida tropicalis*, *Geotrichum candidum*, *Rhodotorula mucilaginosa* (Kacániová et al., 2012; Khider et al., 2013).

En cuanto a los panales, White en 1906 aisló a *Bacillus alvei* de sedimentos blanquecinos del pan de abejas y polen almacenado (White, 1906), en 1971 la bacteria *Lactobacterium pollinis* fue aislada de muestras de pan de abeja compartiendo nicho con levaduras (Egorova, 1971), y desde entonces se han aislado cepas bacterianas pertenecientes al género *Bacillus* y bacterias Gram positivas esporuladas de muestras del mismo material. La presencia de levaduras involucradas en la fermentación del polen para su conversión en pan de abejas explicaría su acidificación y a la disminución gradual del pH del medio se le ha atribuido la sucesión de poblaciones bacterianas en el pan de abejas (Chevtchik, 1950).

Debido a la importancia del polen en la alimentación humana y en tratamientos terapéuticos, se han investigado los métodos de colecta de polen por abejas y su posterior tratamiento de secado al calor a 40°C (Collin et al., 1995; Vicente Pascual,

1988), además del impacto que estos tienen en su valor nutricional y calidad microbiana (De-Melo et al., 2015; Serra-Bonvehi and Jordà, 1997). La carga microbiana del polen sin tratamiento de secado es principalmente de bacterias aerobias, levaduras, hongos, *Bacillus* sp. y *Streptococcus* sp., pero esta carga se ve afectada fuertemente por la manipulación humana. La baja humedad durante el almacenamiento puede producir una disminución en el número de microorganismos como estreptococos y coliformes (Serra-Bonvehi and Jordà, 1997). Parece ser que *Escherichia coli* no es abundante en el polen fresco (Bárbara et al., 2015; De-Melo et al., 2015; Estevinho et al., 2012; Feás et al., 2012; Kacániová et al., 2009; Serra-Bonvehi and Jordà, 1997) y *Staphylococcus aureus* no es aislado con frecuencia (Bárbara et al., 2015; Feás et al., 2012). Además de los grupos microbianos antes mencionados, recientemente se han aislado cepas de *Klebsiella* sp., *Micrococcus* sp., *Pseudomonas* sp., *Yersinia* sp., y *Arthrobacter* sp. (García-García et al., 2006) y han sido relacionadas con la microbiota del intestino de abejas por el hecho de compartir especies en ambos casos, además de que se piensa que juegan roles bioquímicos importantes en la transformación del polen por sus capacidades de degradación de carbohidratos simples y complejos (Tabla 5). También, se han aislado enterobacterias patógenas como *Serratia marcescens* (Brindza et al., 2010), *Shigella* sp., *Proteus mirabilis*, *Citrobacter diversus*, *Klebsiella* sp., *Providencia* sp., *Enterobacter cloacae*, todas aisladas de polen comercializado y almacenado (Belhadj et al., 2014) y otras como *Agrobacterium radiobacter* y *Listeria* sp. (Belhadj et al., 2014; Brindza et al., 2010). *Paenibacillus larvae*, una bacteria patógena de las abejas de la miel ha sido aislada de muestras de polen (Chagas et al., 2012).

Existen reportes del aislamiento del polen de organismos que pueden ser patógenos oportunistas en humanos; por ejemplo *Micrococcus* sp. que forman parte de la flora normal de la piel humana y del suelo (Sims et al., 1986), ha sido reportado como el agente causal de abscesos intracraneales, neumonía, artritis séptica, endocarditis y meningitis (Fosse et al., 1985; Miltiadous and Elisaf, 2011). Algunas especies de *Pseudomonas*: *Pseudomonas stutzeri* y *Pseudomonas aeruginosa* ha sido reportadas como patógenos oportunista de humanos (de Bentzmann and Plésiat, 2011; Lalucat et al., 2006). Las especies de *Staphylococcus* son la causa más común de bacteriemias, endocarditis infecciosa, piel y tejido blando, infecciones osteoarticulares, infecciones pleuropulmonares (David and Daum, 2010; Diekema et al., 2001; Tong et al., 2015). *Serratia marcescens*, es una bacteria patógena involucrada en infecciones adquiridas en hospitales, especies de *Listeria*, *Shigella* sp., *Yersinia* sp., *Klebsiella* sp. y *Enterobacter cloacae* todas son bacterias patógenas de humanos encontradas en los alimentos derivados de abejas (Farver and Peterkin, 1991; Hejazi and Falkiner, 1997; Tornadijo et al., 2001).

Tabla 5. Bacterias asociadas al polen

Grupo bacteriano	Rango ecológico	Referencias
<i>Escherichia sp.</i>	Fermentadores	Foote, 1957; Haydak, 1958
<i>Bacillus sp.</i>	Fermentadores	Foote, 1957; Haydak, 1958
<i>Streptococcus sp.</i>	Fermentadores	Foote, 1957; Haydak, 1958
<i>Lactobacillus sp.</i>	Fermentadores	Foote, 1957; Haydak, 1958; Maugenet J, 1966
<i>Pseudomonas sp.</i>	Suelo, patógeno	Maugenet J, 1966
<i>Lactobacterium pollinis</i>	Fermentadores	Egorova, 1971
<i>Bacillus alvei</i>		White, 1906
<i>B. subtilis</i>	Suelo	Gilliam, 1979
<i>B. megaterium</i>	Suelo	Gilliam, 1979
<i>B. licheniformis</i>	Suelo	Gilliam, 1979
<i>B. pumilus</i>	Suelo	Gilliam, 1979
<i>B. circulans</i>		Gilliam, 1979
<i>Clostridium sp.</i>	Patógeno	Serra-Bonvehi and Jordà, 1997
<i>Escherichia coli</i>	Patógeno	Serra-Bonvehi and Jordà, 1997
<i>Salmonella sp.</i>	Patógeno	Serra-Bonvehi and Jordà, 1997
<i>Staphylococcus aureus</i>	Patógeno	Bárbara et al., 2015; Feás et al., 2012
<i>Klebsiella sp.</i>	Patógeno	García-García et al., 2006
<i>Micrococcus sp.</i>	Patógeno	García-García et al., 2006
<i>Pseudomonas sp.</i>	Patógeno	García-García et al., 2006
<i>Yersinia sp.</i>	Patógeno	García-García et al., 2006
<i>Arthrobacter sp.</i>	Patógeno	García-García et al., 2006
<i>Serratia marcescens</i>	Patógeno	Brindza et al., 2010
<i>Shigella sp</i>	Patógeno	Belhadj et al., 2014
<i>Proteus mirabilis</i>	Patógeno	Belhadj et al., 2014
<i>Citrobacter diversus</i>	Patógeno	Belhadj et al., 2014
<i>Klebsiella sp.</i>	Patógeno	Belhadj et al., 2014
<i>Providencia sp.</i>	Patógeno	Belhadj et al., 2014
<i>Enterobacter cloacae</i>	Patógeno	Belhadj et al., 2014
<i>Agrobacterium radiobacter</i>		Belhadj et al., 2014
<i>Paenibacillus larvae</i>	Patógeno	Chagas et al., 2012
<i>Listeria sp.</i>	Patógeno	Brindza et al., 2010

Diversidad de hongos en polen.

Los hongos, han desarrollado complejas estrategias de dispersión a lo largo de la evolución y una de las más difundidas es a través de los polinizadores (Mittelbacha et al., 2015) o por contacto directo entre animales portadores, que puede ocurrir en las colonias y colmenas (Hedtke et al., 2015). Esto representa un peligro potencial para los humanos que consumen productos de abejas porque tres de los cuatro filos que conforman al reino fungi están involucrados en infecciones en humanos (Heitman, 2011) (Tabla 3). Entre los Zygomycota, principalmente están los géneros *Mucor* y *Rhizopus* que contienen patógenos severos y comunes (Ma et al., 2009; Baddley et al., 2011). *Basidiobolus* y *Conidiobolus* ambos géneros descritos como patógenos de insectos y humanos (Isa-Isa et al., 2012; Vikram et al., 2012). Entre los Ascomycota, muchos organismos de este clado se han relacionado con infecciones primarias (*Blastomyces dermatitidis*, *Histoplasma capsulatum*, *Paracoccidioides brasiliensis* y *Coccidioides*) y oportunistas (*Lacazia loboi*, *Pneumocystis*, *Candida*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Exophiala*, *Curvularia*, *Bipolaris*, *Alternaria*, etc.) (Mershon-Shier et al., 2011; Köhler et al., 2015; Nath et al., 2015). En los Basidiomycetes tenemos a *Cryptococcus*, que afecta los pulmones; *Malassezia* y *Trichophyton* que pueden infectar la piel humana (Huffnagle y Noverr; 2013; Whittington et al., 2014). Mientras que *Pneumocystis* spp. y *Histoplasma capsulatum*, crecen en las excretas de los quirópteros (murciélagos) que son polinizadores de cactáceas columnares y agaváceas (González-González et al., 2014).

Se ha descrito que algunas especies del género *Fusarium*, patógeno de plantas y de humanos (Nucci y Anaissie, 2007) son dispersadas por polinizadores. Tal es el caso de *Fusarium moniliforme* que es transmitido por el colibrí *Lampornis amethystinus*, que visita las flores de *Moussonia deppeana*, las cuales, sí se infectan, se mantendrán más tiempo abiertas, respecto a las sanas, para ser visitadas por más polinizadores (Policha y Roy, 2012). *Fusarium verticilloides* genera la endosepsis en los higos (*Ficus carica*) y es transmitido por el polinizador específico *Blastophaga psenes*, que lleva a cabo su ciclo de vida dentro de las inflorescencias y frutos del higo. La avispa hembra ovípara dentro de la inflorescencia en desarrollo, las larvas nacen, crecen y se convierten en pupa dentro del higo, hasta que se transforman en adultos, salen del ahora fruto y van a buscar aparearse, dispersando el hongo entre las flores del higo (Ramírez, 1970; Policha y Roy, 2012). El hongo *Fusarium semitectum*, se ha documentado como patógenos de la planta *Rudbeckia auriculata*, la cual es polinizada por la abeja *Andrena aliciae* la cual transmite los conidios de *Fusarium semitectum* (Diamond et al., 2006). El microorganismo fúngico, puede colonizar la planta por completo, inducir la esterilización de las flores y producir conidios en las anteras para que se lleve a cabo la dispersión e infección a otras plantas (Policha y Roy, 2012).

Por otro lado, entre los patógenos primarios fúngicos que se han descrito para la familia Apidae que son los principales polinizadores a nivel mundial encontramos a: *Ascosphaera apis*, *Ascosphaera proliperda*, *Ascosphaera atra*, *Ascosphaera naganensis*, *Nosema apis* y *Nosema ceranae* (Genersch, 2010; Vojvodic et al., 2012). Aunque estos microorganismos no tienen reportes de transmisión a

humanos, representan uno de los mayores riesgos para la desaparición de colonias en zonas muy grandes del planeta donde las plantas quedarían sin polinizar con la consecuente baja en la productividad de frutos que afectaría a todos los animales (Abrol, 2012).

En las colmenas de *Apis mellifera*, principalmente en la casta obrera, se ha aislado como parte del micobioma a especies descritas y otras nuevas del género *Aspergillus* (*Aspergillus* spp., *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus phoenicis* y *Aspergillus nomius*), el cual, es un comensal no obligado de estos insectos (Evans y Schwarz, 2011; Hedtke et al., 2015). Se han cultivado de los intestinos de abejas adulto y larvas a *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus phoenicis*, *Aspergillus nomius*, *Aspergillus sclerotiorum*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus versicolour*, *Aspergillus tubingensis* y *Aspergillus ochraceus*. Sí se rompe el equilibrio entre el hospedero y el hongo, este puede ocasionar infecciones en las larvas y los adultos inmunosuprimidos que terminan en la muerte de los individuos, los cuales quedan momificados. Se ha documentado que *Aspergillus flavus* presenta mayor virulencia, producción de conidios infectivos y una tasa de mortalidad más alta que el patógeno obligado de abejas *Ascosphaera apis*. Este género *Aspergillus* es uno de los principales hongos patógenos oportunistas en humanos. Puede causar aspergilosis invasiva, aspergilosis pulmonar crónica y aspergilosis alérgica broncopulmonar. Siendo *Aspergillus fumigatus* el principal patógeno y *Aspergillus flavus* el segundo causante de aspergilosis a nivel mundial.

También se ha descrito como comensal de *Apis mellifera* a especies de *Penicillium* (*Penicillium corylophilum*, *Penicillium frequentans*, *Penicillium cyclopium*, *Penicillium glabrum*, *Penicillium ilderdanum*, *Penicillium commune*, *Penicillium crustosum* y *Penicillium spinulosum*), a *Fusarium oxysporum*, *Fusarium tricinctum*, *Cladosporium cladosporioides* y *Alternaria tenuissima*, estos dos últimos hongos con mayor frecuencia en los meses de otoño e invierno. Respecto a la presencia de levaduras como parte del micobioma de abejas se ha descrito a *Candida glabrata*, *Candida parapsilosis*, *Pichia anomala* y *Torulopsis magnoliae* (Gilliam, 1997). La mayoría de los hongos filamentosos y las levaduras *Candida glabrata* y *Candida parapsilosis* se han descrito como patógenos oportunistas en humanos (Tabla 3).

En el polen empaquetado para consumo humano, se ha aislado a *Aspergillus* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*, *Penicillium* spp., *Penicillium verrucosum*, *Fusarium* spp., *Cladosporium* spp., *Alternaria* spp., *Rhizopus* spp., *Mucor* spp., *Botrytis* spp., *Epicoccum* spp. y levaduras (González et al., 2005). Los géneros de hongos mencionados en la Tabla 3, exceptuando *Botrytis* spp. se han descrito en infecciones en seres humanos.

Entre los microorganismos fúngicos asociados a polen fresco y empaquetado para ser conservado en la colonia (Tabla 3), se han aislado: *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium corylophilum*, *Penicillium crustosum* y *Rhizopus nigricans*, *Mucor* spp., *Aspergillus* spp., *Cryptococcus albidus*, *Candida guilliermondii* y *Kloeckera apiculata* (Gilliam, 1997). En un estudio realizado por Chekryga y Kuznetsova (2012),

describieron la microbiota del polen asociada a 7 especies de plantas herbáceas, de las cuales aislaron 8 especies, pertenecientes a los géneros *Penicillium*, *Cladoosporium*, *Alternaria*, *Cryptococcus* y *Bipolaris sorokiniana*.

En los granos de polen del cedro japonés se ha aislado a *Sadowia japonica* el cual infecta y penetra los granos (Hirooka et al., 2013). Se ha descrito a *Epichloë typhina* un hongo endofítico, que infecta pastos. Este microorganismo forma un estroma, encapsulando la inflorescencia de la planta, volviéndola estéril, produciendo aromas atractivos para los polinizadores y generando conidios. Los cuales pueden fungir como espermacios, que al ser dispersados a otro estromas por los polinizadores (la mosca *Botanophila* sp. y las babosas *Prophysaon andersoni* y *Arion subfuscus*), producen la fecundación y la generación de peritecios con ascosporas que formarán nuevos individuos fúngicos (Hoffman y Rao, 2014).

La infección que causa *Monilinia vaccinii-corymbosi* en *Vaccinium corymbosum* origina “las moras momia”, frutas rellenas del hongo. El ciclo de vida de *Monilinia vaccinii-corymbosi* es complejo, los apotecios generados por “las moras momias” producen ascosporas en la primavera, las cuales infectaran las hojas de *Vaccinium corymbosum*. Las hojas infectadas se tornan de un color marrón-morado, producen “néctar” y aroma floral emulando las flores de la planta. Sin embargo también se colman de conidios (Policha y Roy, 2012).

Los polinizadores que visitan estas hojas, propagan los conidios a la corola de las flores sanas generando una segunda infección. Los conidios germinan en el estigma, penetra hasta el ovario y producen un esclerocio (“la mora momia”). Este “frutos” es de menor tamaño que el resto de las frutas, al madurar cae al suelo y en la próxima primavera generará lo apotecios para continuar el ciclo de vida de este hongo. La importancia comercial de *Vaccinium corymbosum* y el daño generado por *Monilinia vaccinii-corymbosi*, ha derivado en que los agricultores de algunos países ocupen, polinizadores criados en cautiverio (*Apis mellifera*) libres del patógeno y como control biológico del hongo a *Bacillus subtilis* (Dedej et al., 2004).

Otro patógeno relacionado con el polen es el hongo *Microbotryum violaceum*, el cual es dispersado por los polinizadores, entre ellos lo de la familia Apidae, que visitan a las flores del clado Caryophyllaceae (Giraud et al., 2008). Este microorganismo parasita más de 100 especies de dicha familia. Produce flores estériles con esporas fúngicas en las anteras, modifica la morfología, color y aroma de las mismas, para atraer a los insectos (Alexander and Antonovics 1988). Los hongos *Sadowia japonica*, *Epichloë typhina*, *Monilinia vaccinii-corymbosi* y *Microbotryum violaceum* son patógenos obligados de plantas y polen; y no se han reportado infecciones en humanos.

Se han aislado levaduras asociadas al polen que consumen las abejas sin aguijón (Meliponini). Los hongos identificados corresponden a las especies: *Trichomonascus apis*, *Candida bombicola*, *Candida callae*, *Candida floris*, *Candida powelli*, *Candida tilneyi*, *Candida apicola*; *Zygosaccharomyces machadoi*, *Zygosaccharomyces siamensis*, *Frieseomelitta varia* y *Starmerella tilneyi*

(Saksinchai et al., 2012). En el alimento de las larvas de las meliponas se encontró a: *Diadasina distincta*, *Ptilotrix plumata*, *Starmeralla spp.* y *Candida riiodocensis* (Pimentel et al., 2005).

Una de las teorías de cómo es que las colmenas, las larvas y las abejas se relacionan con estos hongos, que pueden ser comensales o patógenos, es mediante la recolección, almacenamiento y alimentación de polen, el cual está expuesto a cientos de conidios y esporas, de distintas especies de hongos que se dispersan en el aire y el ambiente. Se ha identificado a *Nosema ceranae* de polen corbicular de *Apis mellifera*. Los hongos aislados de las colonias de abejas también están implicados en la patología de plantas y en la producción de micotoxinas en los granos obtenidos de los cultivos de cereales. *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium* se encontrado en polen para consumo humano; estos géneros son los principales agentes toxigénicos en granos de cereales (González et al., 2005).

Poco se conoce de la compleja red de interacciones entre los hongos, el polen, los polinizadores y sus hospederos, que puede ser, el mismo polinizador, una planta o un ser humanos. La función ecológica de algunos de estos hongos, se ha especulado en ocasiones de patógenos, comensales, antagonistas o protectores de enfermedades en insectos (antagónicos de *Ascosphaera apis* *Ascosphaera proliperda*, *Ascosphaera atra*, *Nosema apis*, *Nosema ceranae*) y plantas (Gilliam, 1997). Sin embargo, falta mucho por ser descrito respecto a la función ecológica de los hongos y el polen en el ecosistema. El escenario respecto a la transmisión de hongos patógenos de humanos en polen, no se torna tan terrible ya que existe un equilibrio ecológico entre los patógenos del polen, el sistema inmune del hospedero y la microbiota que protege a los polinizadores de la colonización de dichos microorganismos. No obstante los productos apícolas que genera y comercializan para consumo humano fungen como un reservorio de hongos patógenos oportunistas, los cuales debido al riesgo que representan, tienen que ser tomados en consideración por las leyes que modulan la calidad de dichos productos.

Tabla 6. Hongos aislados del polen y posibles patógenos en humanos.

Hongo	Fuente	Rango ecológico(en humanos)	Referencia
<i>Pneumosistis</i> spp.	Quiróptera	Oportunista	González-González et al., 2014
<i>Histoplasma. Capsulatum</i>	Quiróptera	Primario	González-González et al., 2014
<i>Fusarium moniliforme</i>	<i>Lampornis amethystinus</i> ,	Oportunista	Lara y Ornelas, 2003
<i>Fusarium verticiloides</i>	<i>Blastophaga psenes</i>	Oportunista	Nucci y Anaissie, 2007
<i>Fusarium semitectum</i>	<i>Andrena aliciae</i>	Oportunista	Summerbell y Schroers, 2002
<i>Fusarium oxysporum</i>	Apidae	Oportunista	Dignani y Anaissie, 2004

<i>Fusarium tricinctum</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Fusarium</i> spp.	Polen	Oportunista	González et al., 2005
<i>Ascosphaera apis</i>	Larvas de Apidae	-	Vojvodic et al., 2012
<i>Ascosphaera proliperda</i>	Saprobio colmena de Apidae	-	Vojvodic et al., 2012
<i>Ascosphaera atra</i>	Apidae	-	Vojvodic et al., 2012
<i>Ascosphaera naganensis</i>	Apidae	-	Hedtke et al., 2015
<i>Nosema apis</i>	Apidae	-	Genersch, 2010
<i>Nosema ceranae</i>	Apidae	-	Genersch, 2010
<i>Aspergillus flavus</i>	Apidae y polen	Oportunista	Hedtke et al., 2015
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Apidae	Oportunista	Foley et al., 2012
<i>Aspergillus niger</i>	Apidae y polen	Oportunista	Gilliam, 1997
<i>Aspergillus phoenicis</i>	Apidae	-	Foley et al., 2012
<i>Aspergillus nonius</i>	Apidae	-	Hedtke et al., 2015
<i>Aspergillus sclerotiorum</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Aspergillus oryzae</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Aspergillus versicolour</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Aspergillus tubingensis</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Aspergillus ochraceus</i>	Apidae	Oportunista	Foley et al., 2014
<i>Aspergillus parasiticus</i>	Polen	Oportunista	Pitt, 1994
<i>Penicillium corylophilum</i>	Polen	-	Gilliam, 1997
<i>Penicillium frequentans</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Penicillium cyclopium</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Penicillium glabrum</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Penicillium ilderanum</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Penicillium commune</i>	Apidae	Oportunista	Sekhona et al., 1982
<i>Penicillium crustosum</i>	Apidae y polen	-	Foley et al., 2014
<i>Penicillium spinulosum</i>	Apidae	-	Foley et al., 2014
<i>Penicillium verrucosum</i>	Polen	-	González et al., 2005
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	Apidae	Oportunista	Gilliam, 1997
<i>Cladosporium</i> spp.	Polen	Oportunista	González et al., 2005
<i>Alternaria tenuissima</i>	Apidae y polen	Oportunista	Gilliam, 1997
<i>Alternaria</i> spp.	Polen	Oportunista	Shobana et al., 2014
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	Polen	Oportunista	Dowd et al., 2011
<i>Pichia anomala</i>	Apidae	-	Gilliam, 1997
<i>Torulopsis magnolia</i>	Apidae	-	Gilliam, 1997
<i>Rhizopus</i> spp.	Polen	Oportunista	González et al., 2005
<i>Botrytis</i> spp.	Polen	-	González et al., 2005
<i>Epicoccum</i> spp.	Polen	Oportunista	González et al., 2005
<i>Aureobasidium pullulans</i>	Polen	Oportunista	Gilliam, 1997
<i>Rhizopus nigrican</i>	Polen	Oportunista	Gilliam, 1997
<i>Mucor</i> spp.	Polen	Oportunista	Gilliam, 1997
<i>Cryptococcus albidus</i>	Polen	Oportunista	Chekryga y Kuznetsova, 2012
<i>Kloeckera apiculata</i>	Polen	-	Gilliam, 1997
<i>Sadowia Japónica</i>	Polen	-	Hirooka et al., 2013
<i>Epichloë typhina</i>	<i>Botanophila</i> sp., <i>Prophyaon</i>	-	Hoffman y Rao, 2014

	<i>andersoni</i> y <i>Arion subfuscus</i>		
<i>Monilinia vaccinii-corymbosi</i>	<i>Apis mellifera</i>	-	Dedej et al., 2004
<i>Microbotryum violaceum</i>	Apidae	-	Giraud et al., 2008
<i>Trichomonascus apis</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2011
<i>Candida guilliermondii</i>	Polen	-	Gilliam, 1997
<i>Candida glabrata</i> ,	Apidae	Oportunista	Gilliam, 1997
<i>Candida parapsilosis</i>	Apidae	Oportunista	Gilliam, 1997
<i>Candida bombicola</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Candida callae</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Candida floris</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Candida powelli</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Candida tilneyi</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Candida apícola</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Candida riococensis</i>	Polen para larva	-	Pimentel et al., 2005
<i>Zygosaccharomyces machadoi</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Zygosaccharomyces siamensis</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Frieseomelitta varia</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Starmerella tilneyi</i>	Polen	-	Saksinchai et al., 2012
<i>Diadasina distincta</i>	Polen para larva	-	Pimentel et al., 2005
<i>Ptilotrix plumata</i>	Polen para larva	-	Pimentel et al., 2005
<i>Starmerella</i> spp.	Polen para larva	-	Pimentel et al., 2005

...continuación Tabla 6.

Conclusiones

El consumo de polen por humanos y organismos polinizadores de importancia económica (abejas y abejorros) se realiza de forma directa o después de tratamientos de baja intensidad para preservar las características nutritivas del polen; esto lo hace mucho más susceptible a actuar como un vector de microorganismos con potencial infeccioso para todos los organismos involucrados en los procesos de polinización o consumo. Los peligros existentes y potenciales incluyen la disminución en el número de colonias de abejas silvestres, la posible infección de los abejorros como polinizadores comerciales debida al consumo de polen recolectado por esas mismas abejas, y la probable exposición a patógenos por el consumo cada vez más frecuente de polen por parte de los humanos. Todo lo anterior hace muy necesario el establecimiento de buenas prácticas de manufactura y el análisis microbiológico del polen que se comercializa para asegurar su inocuidad como alimento, en especial cuando este se exporta.

Esta meta, se vuelve muy difícil debido primero a la gran cantidad de microorganismos que se encuentran en el polen tanto de manera nativa, como de aquellos que tienen la capacidad de desarrollarse durante los periodos de almacenamiento o transporte y segundo por la falta de uniformidad de las legislaciones de los distintos bloques económicos.

Dada la importancia económica del polen es necesario que se implanten sistemas de buena manufactura en el almacenamiento y transporte como una estrategia

esencial en las legislaciones; pero es todavía más importante el que se establezcan análisis estandarizados económicamente viables y confiables, que sean realizados por laboratorios independientes debidamente certificados. El alcanzar esta meta requerirá del trabajo coordinado de muchas agencias para uniformar las diferentes legislaciones y establecer sistemas de análisis que sean confiables y útiles para los países involucrados en el comercio de polen.

Bibliografía

- Abrol P. 2012. *Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production*, Springer Science+Business Media.EUA. pp. 812
- Alexander H.M., J. Antonovics. 1988. Disease spread and population dynamics of anther smut infection of silene alba caused by the fungus. *Journal of ecology* 76:91-104
- Baddley J.W., K.L. Winthrop, N.M. Patkar, E. Delzell, T. Beukelman, F. Xie, L. Chen, J.R. Curtis. 2011. Geographic distribution of endemic fungal infections among older persons, United States. *Emerging Infectious Diseases* 17: 1664–1669
- Bárbara, M.S., Machado, C.S., Sodr , G.D.S., Dias, L.G., Estevinho, L.M., De Carvalho, C.A.L., 2015. Microbiological assessment, nutritional characterization and phenolic compounds of bee pollen from *Mellipona manducaria* Smith, 1983. *Molecules* 20, 12525–12544.
- Belhadj, H., Harzallah, D., Dahamna, S., Khenouf, S., 2014. Microbiological quality control of marketed pollen. *Der Pharmacia Lettre* 6, 37–42.
- Briceño, Y., Quito, M., Dávila, M., 1987. Estudio químico y Microbiológico del Polen Obtenido en la U.N.A. La Molina. *Revista Peruana de Entomología* 30, 69–73.
- Brindza, J., Gróf, J., Bacigálová, K., Ferianc, P., Tóth, D., 2010. Pollen microbial colonization and food safety. *Acta Chimica Slovaca* 3, 95–102.
- Campos, M.G.R., Bogdanov, S., de Almeida-Muradian, L.B., Szczesna, T., Mancebo, Y., Frigerio, C., Ferreira, F., 2008. Pollen composition and standardisation of analytical methods. *J of Apicultural Research* 47, 156–163.
- Campos, M.G.R., Frigerio, C., Lopes, J., Bogdanov, S., 2010. What is the future of Bee-Pollen? *Journal of ApiProduct and ApiMedical Science* 2, 131–144.
- Casadevall A. 2005. Fungal virulence, vertebrate endothermy, and dinosaur extinction: is there a connection? *Fungal Genetics and Biology* 42: 98–106.
- Chagas, S.S., Vaucher, R.A., Brandelli, A., 2012. Characterization of *Paenibacillus* larvae isolates from Brazil. *Journal of Cell and Molecular Biology* 10, 79–83.
- Chekryga G.P., T.T. Kuznetsova. 2012. Ecological conditions for the formation of mycobiota of wild-growing pollen plants. *Contemporary Problems of Ecology* 5: 281–285
- Chevtchik, V., 1950. Mikrobiologie pylového kvas’eni. *Publ. Fac. Sci. Univ. Masaryk* 323, 103–130.
- Collin, S., Vanhavre, T., Bodart, E., Bouseta, A., 1995. Heat treatment of pollens: impact on their volatile flavor constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43, 444–448.

- David, M.Z., Daum, R.S., 2010. Community-Associated Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*: Epidemiology and Clinical Consequences of an Emerging Epidemic. *Clinical Microbiology Reviews* 23, 616–687.
- de Bentzmann, S., Plésiat, P., 2011. The *Pseudomonas aeruginosa* opportunistic pathogen and human infections. *Environmental Microbiology* 13, 1655–1665.
- De Groot, A.P., 1953. Protein and amino acid requirements of the honeybee (*Apis mellifera*). *Physiol. Comp. Oecol.*, 3, 197–285.
- Dedej S., K.S. Delaplane, H. Scherm. 2004. Effectiveness of honey bees in delivering the biocontrol agent *Bacillus subtilis* to blueberry flowers to suppress mummy berry disease. *Biological Control* 31: 422–427
- De-Melo, A.A.M., Estevinho, M.L.M.F., Almeida-Muradian, L.B., 2015. A diagnosis of the microbiological quality of dehydrated bee-pollen produced in Brazil. *Letters in Applied Microbiology* 61, 477–483.
- Diamond A.R., H.E. Mayas, R.S. Boyd. 2006. *Rudbeckia auriculata* infected with a pollen-mimic fungus in Alabama. *Southeastern Naturalist* 5:103–112
- Diekema, D.J., Pfaller, M. a, Schmitz, F.J., Smayevsky, J., Bell, J., Jones, R.N., Beach, M., 2001. Survey of infections due to *Staphylococcus* species: frequency of occurrence and antimicrobial susceptibility of isolates collected in the United States, Canada, Latin America, Europe, and the Western Pacific region for the SENTRY Antimicrobial Surveillanc. *Clinical infectious diseases: an official publication of the Infectious Diseases Society of America* 32 Suppl 2, S114–S132.
- Dobson, H.E., Peng, Y.S., 1997. Digestion of pollen components by larvae of the flower-specialist bee *Chelostoma florissomne* (Hymenoptera: Megachilidae). *Journal of Insect Physiology*, 43, 89–100.
- Duchateau, M.J., Velthuis, H.H.W., 1989. Ovarian development and egg laying in workers of *Bombus terrestris*. *Entomologia Experimentalis and Applicata*, 51, 199–213.
- Egorova, A.I., 1971. Preservative microflora in stored pollen. *Veterinariya* 8, 40–41.
- Estevinho, L.M., Rodrigues, S., Pereira, A.P., Feás, X., 2012. Portuguese bee pollen: Palynological study, nutritional and microbiological evaluation. *International Journal of Food Science and Technology* 47, 429–435.
- Evans J.D., R.S. Schwarz. 2011. Bees brought to their knees: microbes affecting honey bee health. *Trends in Microbiology*, 19: 614–620
- Evison, S.E. et al., 2012. Pervasiveness of parasites in pollinators. *PLoS ONE* 7, 329 e30641.
- Farrar, C.L., 1993. Productive management of honey-bee colonies. *Am. Bee J.*, 133, 261–263.
- Farver, J.M., Peterkin, P.I., 1991. *Listeria monocytogenes*, a Food-Borne Pathogen. *MICROBIOLOGICAL REVIEWS* 55, 476–511.
- Feás, X., Vazquez-Tato, M.P., Estevinho, L., Seijas, J.A., Iglesias, A., 2012. Organic bee pollen: Botanical origin, nutritional value, bioactive compounds, antioxidant activity and microbiological quality. *Molecules* 17, 8359–8377.
- Fisher M.C., D.A. Henk, C.J. Brigg, J.S. Brownstein, L.C. Madoff, S.L. Mccraw, S.J. Gurr. 2012. Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature* 484: 186–194

- Foote, H. L., 1957. Possible use of microorganisms in synthetic bee bread production. *Amer. Bee J.* 97, 476–478.
- Fosse, T., Peloux, Y., Granthil, C., Toga, B., Bertrando, J., Sethian, M., 1985. Meningitis due to *Micrococcus luteus*. *Infection* 13, 280–1.
- Funke, G., Hutson, R.A., Bernard, K.A., Pfyffer, G.E., Wauters, G., Collins, M.D., 1996. Isolation of *Arthrobacter* spp. from clinical specimens and description of *Arthrobacter cumminsii* sp. nov. and *Arthrobacter woluwensis* sp. nov. *Journal of Clinical Microbiology* 34, 2356–2363.
- Galen, C., Plowright, R.C., 1985. Contrasting patterns of nectar-collecting and pollen-collecting bumblebees (*Bombus terrestris*) on fireweed (*Chamaenerion angustifolium*) inflorescences. *Ecol. Entomol.*, 10, 9-17.
- García-García, D., Rojas-Mogoyón, M., Sánchez-Nieves, J., 2006. Contenido microbiológico cultivable del tracto intestinal y polen almacenado de *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Acta Biológica Colombiana* 11, 123–129.
- Genersch E. 2010. Honey bee pathology: current threats to honey bees and beekeeping. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87: 87–97
- Genissel, A., Aupinel, P., Bressac, C., Tasei, J.N., Chevrier, C., 2002. Influence of pollen origin on performance of *Bombus terrestris* micro-colonies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104, 329-336.
- Gilliam M. 1997. Identification and roles of non-pathogenic microflora associated with honey bees. *FEMS Microbiology letters* 155: 1-10
- Gilliam, M., 1979. Microbiology of Pollen and Bee Bread: the genus *Bacillus*. *Apidologie* 10, 269–274.
- Giraud, T., R. Yockteng, M. López-Villavicencio, G. Refrégier, M.E. Hood. 2008. Mating system of the anther smut fungus *Microbotryum violaceum*: selfing under heterothallism. *Eukaryotic Cell* 7: 765–75.
- González, G., Hinojo, M.J., Mateo, R., Medina, A., Jiménez, M., 2005. Occurrence of mycotoxin producing fungi in bee pollen. *Int. J. Food Microbiol* 105, 1–9.
- González-González A. E., C.M Aliouat-Denis, J.A, Ramírez-Bárcenas, C. Demanche, M. Pottier, L.E. Carreto-Binaghi, M.L. Taylor. 2014. *Histoplasma capsulatum* and *Pneumocystis* spp. co-infection in wild bats from Argentina, French Guyana, and Mexico. *BMC Microbiology* 14: 23-30
- Graystock, P. et al., 2013. Emerging dangers: deadly effects of an emergent parasite in a new pollinator host. *J. Invertebr. Pathol.* 114, 114–119.
- Gurel, F., Karsli, B.A., Gosterit, A., 2012. Effects of three kinds of sugar syrups on colony development of bumblebee (*Bombus terrestris* L.). *Journal of Apicultural Science.* 56, 13-19.
- Harder, L.D., 1990. Behavioral responses by bumblebees to variation in pollen availability. *Oecologia*, 85, 41-47.
- Haydak, M.H., 1958. Pollen - pollen substitutes - beebread. *Amer. Bee J.* 98, 145–146.
- Hedtke S.M., E.J. Blitzer G.A. Montgomery, B.N. Danforth. 2015. Introduction of non-native pollinators can lead to trans-continental movement of bee-associated fungi. *PloS One* 10: 1-18
- Heitman J. 2011. Microbial pathogens in the fungal kingdom. *Fungal Biology Reviews* 25: 48–60
- Hejazi, A., Falkiner, F.R., 1997. *Serratia marcescens*. *J Med Microbiol* 46, 903–912.

- Herbert Jr., E.W., Shimanuki, H., 2000. Effect of fat soluble vitamins on the brood rearing capabilities of honey bees fed a synthetic diet. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 71, 689-691.
- Hirooka Y., M. Akiba, Y. Ichihara, H. Masuya, Y. Takahata, T. Suda, T. Kubono. 2013. A novel approach of preventing Japanese cedar pollen dispersal that is the cause of Japanese cedar pollinosis (JCP) using pollen-specific fungal infection. *PLoS One* 8: 1-8
- Hoffman G.D., S. Rao. 2014. Fertilization of *Epichloe typhina stromata* by mycophagous slugs. *Mycologia* 106: 1–7.
- Huffnagle G.B., M.C. Noverr. 2013. The emerging world of the fungal microbiome. *Trends in Microbiology* 21: 334–41
- Hughes, M.J., 1996. Commercial rearing of bumblebees. In: Matheson, A. (Ed) *Bumblebees for pleasure and profit*. IBRA, Cardiff, UK. pp. 40-47
- Isa-Isa R., R. Arenas, R.F. Fernandez, M. Isa. 2012. Rhinofacial conidiobolomycosis (entomophthoromycosis). *Clinical Dermatology* 30: 409–412.
- Jones, A.M., Wildermuth, M.C., 2011. The Phytopathogen *Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000 Has Three High-Affinity Iron-Scavenging Systems Functional under Iron Limitation Conditions but Dispensable for Pathogenesis. *Journal of Bacteriology* 193, 2767–2775.
- Kacániová, M., Pavlicová, S., Hascík, P., Kociubinski, G., Kňazovická, V., Sudzina, M., Sudzinová, J., Fikselová, M., 2009. Microbial communities in bees, pollen and honey from Slovakia. *Acta microbiologica et immunologica Hungarica* 56, 285–95.
- Kacániová, M., Vuković, N., Chlebo, R., Haščík, P., Rovná, K., Cubon, J., Dzugan, M., Pasternakiewicz, A., 2012. The antimicrobial activity of honey, bee pollen loads and beeswax from Slovakia. *Archives of Biological Sciences Belgrade* 64, 927–934.
- Kalev, H., Dag, A., Shafir, S., 2002. Feeding pollen supplements to honey bees colonies during pollination of sweet peppers in enclosures. *Am. Bee J.*, 142, 675-679.
- Kaprelyants, A.S., Kell, D.B., 1993. Dormancy in Stationary-Phase Cultures of *Micrococcus luteus*: Flow Cytometric Analysis of Starvation and Resuscitation. *Applied and Environmental Microbiology* 59, 3187–3196.
- Khider, M., Elbanna, K., Mahmoud, A., Owayss, A.A., 2013. Egyptian honeybee pollen as antimicrobial, antioxidant agents, and dietary food supplements. *Food Science and Biotechnology* 22, 1461–1469.
- Köhlerl J.R., A. Casadevall, J. Perfect. 2015. The spectrum of fungi that infects humans. *Cold Spring Harbor Laboratory Press* 5: 1-22
- Lalucat, J., Bannasar, A., Bosch, R., García-Valdés, E., Palleroni, N.J., 2006. Biology of *Pseudomonas stutzeri*. *Microbiology and molecular biology reviews* : *MMBR* 70, 510–547.
- Lowy, F.D., 1998. *Staphylococcus Aureus* Infections. *New England Journal of Medicine* 339, 520–532.
- Ma L.J., A.S. Ibrahim, C. Skory, M.G. Grabherr, G. Burger, M. Butler, M. Elias, A. Idnurm, B.F. Lang, T. Sone, A. Abe, S.E. Calvo, L.M. Corrochano, R. Engels, J. Fu, W. Hansberg, J.M. Kim, C.D. Kodira, M.J. Koehrsen, B. Liu, D. Miranda-Saavedra, S. O’Leary, L. Ortiz-Castellanos, R. Poulter, J. Rodriguez-Romero,

- J. Ruiz-Herrera, Y.Q. Shen, Q. Zeng, J. Galagan, B.W. Birren, C.A. Cuomo, B.L. Wickes. 2009. Genomic analysis of the basal lineage fungus *Rhizopus oryzae* reveals a whole-genome duplication. *PLoS Genetics* 5: 1-11
- Manning, R., 2001. Fatty acids in pollen: a review of their importance to honeybees. *Bee World*, 82, 60-75.
- Maugenet J, P.J., 1966. Recherches biochimiques et physiologiques sur le pollen emmagasiné par les abeilles. *Ann. Abeille* 9, 209–236.
- Meeus I, Mosallanejad H, Niu J, de Graaf DC, Wäckers F, Smagghe G (2014). Gamma irradiation of pollen and eradication of Israeli Acute Paralysis Virus. *Journal of invertebrate pathology*, 121, 74-77.
- Meeus, I. et al., 2010. Multiplex PCR detection of slowly-evolving trypanosomatids and neogregarines in bumblebees using broad-range primers. *J. Appl. Microbiol.* 109, 107–115.
- Meeus, I. et al., 2012. Molecular detection of *Spiroplasma apis* and *Spiroplasma melliferum* in bees. *J. Invertebr. Pathol.* 109, 172–174.
- Mershon-Shier K.L., J.G. Deville, S. Delair, A.W. Fothergill, B. Wickes, G.S. de Hoog, M. Lewinski. 2011. *Aureobasidium pullulans* var. *melanigenum* fungemia in a pediatric patient. *Medical Mycology* 49: 80–83
- Miltiados, G., Elisaf, M., 2011. Native valve endocarditis due to *Micrococcus luteus*: a case report and review of the literature. *Journal of Medical Case Reports* 5, 251.
- Mittelbach M., A.M. Yurkov, R. Stoll, D. Begerow. 2015. Inoculation order of nectar-borne yeasts opens a door for transient species and changes nectar rewarded to pollinators. *Fungal Ecology* xxx: 1–8.
- Murray, T.E. et al., 2013. Pathogen prevalence in commercially reared bumble bees and evidence of spillover in conspecific populations. *Biol. Conserv.* 159, 269–276.
- Nath R., S. Barua, J. Barman, P. Swargiary, M. Borgohain, L. Saikia. 2015. Subcutaneous mycosis due to *Cladosporium cladosporioides* and *Bipolaris cynodontis* from Assam, North-East India and review of published literature. *Mycopathologia* 180: 379–387
- Nucci M., E. Anaissie. 2007. *Fusarium* infections in immunocompromised patients. *Clinical Microbiology. Reviews* 20: 695–704.
- Pain, J., 1968. Nutrition et développement des organes sexuels adultes. In: R. Chauvin (ed), *Triate de Biologie de l'Abeille*, vol. 1, Masson et Cie, Paris, pp. 410-435.
- Pimentel M.R.C., Y. Antonini, R.P. Martins, M.A. Lachance, C.A. Rosa. 2005. *Candida riocensis* and *Candida cellae*, two new yeast species from the *Starmerella* clade associated with solitary bees in the Atlantic rain forest of Brazil. *FEMS Yeast Research* 5: 875–879
- Plowright, R.C., Pendrel, R.A., 1977. Larval growth in bumblebees (Hymenoptera: Apidae). *The Canadian Entomologist*, 109, 967-973.
- Policha T.J. y B.A. Roy, 2012. Fungi, plants, and pollinators: sex, disease, and deception In: Southworth D. (eds). *Biocomplexity of plant-fungal interactions*. Wiley-Blackwell JohnWiley & Sons, Inc. Inglaterra. pp. 165-184.
- Ramirez W. 1970. Host specificity of fig wasps (Agaonidae). *Evolution* 24:680–691
- Ramirez W. 1970. Host specificity of fig wasps (Agaonidae). *Evolution* 24:680–691

- Ravoet, J. et al., 2013. Comprehensive bee pathogen screening in Belgium reveals *Crithidia mellificae* as a new contributory factor to winter mortality. *PLoS ONE* 8, e72443.
- Regali, A., Rasmont, P., 1995. Nouvelles methods de test pour l'évaluation du régime alimentaire chez les colonies orphelines de *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie*, 26, 273-281.
- Ribeiro, M.F., Duchateau, M.J., Velthuis, H.H.W., 1996. Comparison of the effects of commercially available pollen on colony development and queen production in the bumblebee *Bombus terrestris*. *Apidologie*, 27, 133-144.
- Robertson, A.W., Mountjoy, C., Fulkner, B., Roberts, M., Macnair, M., 1999. Bumblebee selection of *Mimulus guttatus* flowers: the effects of pollen quality and reward depletion. *Ecology*, 80, 2594-2606.
- Röseler, P.F., 1985. A technique for year-round rearing of *Bombus terrestris* (Apidae, Bombini) colonies in captivity. *Apidologie*, 16, 165-170.
- Roulston, T.H., Cane, J.H., Buchmann, S.L., 2000. What governs protein content of pollen: pollinator preferences, pollen-pistil interactions, or phylogeny?, *Ecol. Monogr.*, 70, 617-643.
- Saksinchai S., M. Suzuki, P. Chantawannakul, M. Ohkuma, S. Lumyong. 2011. A novel ascosporegenous yeast species, *Zygosaccharomyces siamensis*, and the sugar tolerant yeasts associated with raw honey collected in Thailand. *Fungal Diversity* 52: 123–139
- Serra-Bonvehi, J., Jordà, R.E., 1997. Nutrient composition and microbiological quality of honeybee-collected pollen in Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 725–732.
- Sims, G.K., Sommers, L.E., Konopka, A., 1986. Degradation of pyridine by *Micrococcus luteus* isolated from soil. *Applied and Environmental Microbiology* 51, 963–968.
- Summerbell R.C., H. Schroers. 2002. Analysis of phylogenetic relationship of *Cylindrocarpum lichenicola* and *Acremonium falciforme* to the *Fusarium solani* species complex and a review of similarities in the spectrum of opportunistic infections caused by these fungi. *Journal of Clinical Microbiology* 40: 2866–2875
- Sutcliffe, G.H., Plowright, R.C., 1988. The effects of food supply on adult size in the bumblebee *Bombus terrestris* Kirby (Hymenoptera: Apidae). *Canadian Entomologist*, 120, 1051-1058.
- Syoboda, J.A., Feldlaufer, M.F., 1991. Neutral sterol metabolism in insects. *Lipids*, 26, 614-618.
- Tasei, J.N., Aupinel, P., 2008. Nutritive value of 15 single pollens and pollen mixes tested on larvae produced by bumblebee workers (*Bombus terrestris*, Hymenoptera: Apidae). *Apidologie*, 39, 397-409
- Tong, S.Y.C., Davis, J.S., Eichenberger, E., Holland, T.L., Fowler, V.G., 2015. *Staphylococcus aureus* infections: Epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clinical Microbiology Reviews* 28, 603–661.
- Tornadizo, M.E., García, M.C., Fresno, J.M., Carballo, J., 2001. Study of Enterobacteriaceae during the manufacture and ripening of San Simón cheese. *Food Microbiology* 18, 499–509.

- Torres-Ruiz A , Jones RW, Ayala-Barajas R. 2013. Present and Potential use of Bees as Managed Pollinators in Mexico. *Southwestern Entomologist*, 38(1):133-148.
- Velthuis, H.H.W., Doorn, A.V., 2006. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie*, 37, 421-451.
- Vicente Pascual, J.L., 1988. Cinética del secado del polen con aire caliente en lecho frío. IV Congr. Nac. Apic. 298–294.
- Vikram H.R, J.D.Smilack, J.A. Leighton, M.D. Crowell, G. De Petris. 2012. Emergence of gastrointestinal basidiobolomycosis in the United States, with a review of worldwide cases. *Clinical Infectious Diseases* 54: 1685–1691
- Vojvodic S., J.J. Boomsma, J. Eilenberg, A.B. Jensen. 2012. Virulence of mixed fungal infections in honey bee brood. *Frontiers in Zoology* 9: 5-10
- White, G.F., 1906. The bacteria of the apiary. USDA Tech. Series. 14, 1–50.
- Whittington A., N.A.R. Gow, B. Hube. 2014. From commensal to pathogen: *Candida albicans*. In: Kurzai O. (Ed). *Human Fungal Pathogens*, 2nd Edition The Mycota XII. Springer-Verlag. Alemania. pp.3-18
- Yook HS, Lim SI, Byun MW, 1998. Changes in microbiological and physicochemical properties of bee pollen by application of gamma irradiation and ozone treatment. *Journal of Food Protection*. 61, 2, pg. 217-220.

Inocuidad en la acuicultura y pesca mexicana

Alvarado Claudia^{1*}, Ausin Domingo², Arriaga Jesus³.

*¹Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.- Unidad de Biotecnología Industrial. Camino al Arenero 1227, El Bajío del Arenal, Zapopan, Jal. CP 45019. ²Comité Sistema Producto Tilapia de Jalisco A.C. Camino Real de Colima 900, Santa Anita, Tlaquepaque, Jal. CP 45580. ³Centro de Estudios Tecnológicos en Aguas Continentales 01, DGECYTM-SEP, Rivera del Lago 800, Centro, Jocotepec, Jal. CP 45800. *Correspondencia: calvarado@ciatej.mx*

Resumen

Los productos de la pesca constituyen un recurso alimentario de importancia en México, ya que cuenta con amplios litorales y aguas interiores. Sin embargo en el ámbito de la vigilancia de la inocuidad en productos frescos, las acciones son muy limitadas con seguimientos de estadísticas de brotes eventuales por toxinas marinas e infecciones y escasas caracterizaciones de microorganismos. El presente capítulo retoma el enfoque desde una perspectiva HACCP de prevención, se realiza un recuento de peligros potenciales para la inocuidad de los productos de la pesca frescos considerando las recomendaciones publicada por el Codex Alimentarius. Posteriormente se tropicaliza hacia el contexto mexicano utilizando la información bibliográfica y estadística existente, con objeto de determinar los peligros significativos. Finalmente se proponer estrategias dirigidas a la contención de dichos peligros.

Introducción

De acuerdo a datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2012) la pesca y la acuicultura suministraron en 2011 unos 154 millones de toneladas de pescado para consumo humano. El suministro mundial de alimentos pesqueros ha venido aumentando a una tasa de 3.2% anual desde hace 5 décadas y se estima que dicha tendencia continuará. La pesca de captura se ha mantenido oscilando los 90.4 millones de toneladas de las cuales el 87% son marítimos y el restante 13% en aguas continentales. Por otra parte la acuicultura produjo 63.6 millones de toneladas en 2011, de las cuales el 30% fue marítima y el restante 70% continental.

Mientras la pesca marina se ha mantenido constante a nivel mundial, incluso con un leve descenso entre 2005 a 2010, la pesca en aguas interiores incrementó aproximadamente un 30% a partir de 2004. El 70% de la acuicultura se realiza en aguas interiores y el resto en mar; es precisamente aquella la que ha mostrado incremento, multiplicándose 12 veces desde 1980 a 2010. Esta tendencia da señal del desempeño que estará protagonizando la acuicultura en la producción de alimentos de origen acuático, por lo que será crucial visualizar los peligros y estrategias para mantener la sanidad e inocuidad en el sector.

México puede explotar en pesca comercial poco menos de 3 millones de km² de mar, siendo aproximadamente 12,500 km² de sistemas costeros. Por otra parte cuenta con 6,500 km² de aguas interiores (lagos, lagunas, represas y ríos), aunque hasta el momento son utilizadas de manera limitada en acuicultura. En virtud de que México cuenta con acceso al Océano Pacífico y al Golfo de México, cuenta con una enorme diversidad de ambientes y especies para captura (SAGARPA, 2013).

La Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA) reportó para 2015 un consumo per cápita anual de productos pesqueros de 11.4 kilos, 2.5 kg superior al año previo (CONAPESCA, 2015). De acuerdo con encuestas del INEGI, solo el 24% de la población incluye en su canasta alimenticia pescados y mariscos. El consumo de la población mexicana se considera bajo en comparación con el promedio mundial estimado en 18.8 kg anuales. Los consumos para algunas poblaciones como la europea y norteamericana se encuentran en 22 y 24 kg respectivamente y alcanzando para Asia oriental de 34.5 kg anuales. Independientemente del consumo actual, las tendencias muestran que la población mexicana estará incrementando la demanda de éstos productos gradualmente en los próximos años (ENIGH, 2012; FAO, 2012).

En México las principales especies obtenidas del mar en son: sardina, túnidos, robalo y mero. Las especies capturadas y cultivadas en aguas interiores son: tilapia, bagre, trucha y carpa. El desempeño total de la producción se muestra en la Tabla 1, dividido por especie y tipo de pesca. El 85% de la producción deriva del mar y el resto en aguas continentales. Se observa un incremento gradual pero sostenido en la producción de todas las especies. Destaca un incremento en la producción de todas las especies en la acuicultura, que representaba el 10.8% en 2001 y para 2013 ascendió a 13.5% (SAGARPA, 2013; SIAP, 2013).

La acuicultura nace en México como una actividad complementaria de apoyo social a las comunidades rurales que tiene por objetivo incrementar el consumo de proteína animal y mejorar los ingresos familiares. Esta actividad se ha diversificado más hacia peces dulce acuícolas, pero también se lleva a cabo en especies marinas, ya que la piscicultura marina en México como en otros países, es una alternativa tecnológicamente viable ante la creciente demanda de alimentos de origen proteico para el consumo generalizado de la población humana (García y Calvario, 2008). Sin embargo, la acuicultura también se enfrenta a peligros derivados de otras actividades humanas como la contaminación por parte de la agricultura y las actividades industriales (FAO, 2012). Es imprescindible evaluar los riesgos a la salud derivados de la pesca y acuicultura en el contexto actual, para desarrollar las mejores estrategias que garanticen la inocuidad alimentaria.

Tabla 1. Comportamiento histórico en la producción pesquera en de México 2001-2013 (toneladas) dividida en captura y cultivo, tanto en mar como en aguas continentales y por especies de mayor valor comercial (SIAP, 2013).

Tipo de pesca	Marítima					Continental			
	Mero	Róbalo	Sardina	Túnidos	Bagre	Carpa	Tilapia	Trucha	
2001	Captura	10,554	6,238	611,917	142,650	1,595	9,249	-	3,023
	Cultivo	-	-	-	-	2,294	21,037	68,476	3,309
	Total	10,554	6,238	611,917	142,650	3,889	30,286	68,476	6,332
2003	Captura	9,405	9,750	574,733	189,270	1,397	5,871	-	3,993
	Cultivo	-	-	-	-	2,516	22,189	61,516	3,734
	Total	9,405	9,750	574,733	189,270	3,913	28,060	61,516	7,727
2005	Captura	10,922	8,313	521,592	151,696	2,566	5,144	6,191	4,134
	Cultivo	-	-	-	4,535	2,767	21,465	67,993	3,829
	Total	10,922	8,313	521,592	156,231	5,333	26,609	74,184	7,963
2007	Captura	12,956	9,269	685,743	136,183	2,700	4,174	11,492	1,792
	Cultivo	-	-	-	2,882	2,801	21,798	73,580	4,345
	Total	12,956	9,269	685,743	139,065	5,501	25,972	85,072	6,137
2009	Captura	12,742	8,069	872,640	126,658	2,041	4,039	3,636	1,904
	Cultivo	-	-	-	2,762	3,145	22,620	73,373	6,065
	Total	12,742	8,069	872,640	129,420	5,186	26,659	77,009	7,969
2011	Captura	8,792	7,147	684,132	129,737	1,505	4,979	4,792	2,006
	Cultivo	-	-	-	3,689	2,929	18,528	71,135	8,480
	Total	8,792	7,147	684,132	133,426	4,434	23,507	75,927	10,486
2013	Captura	10,708	8,086	727,816	146,744	1,382	6,127	5,212	3,057
	Cultivo	-	-	-	6,399	5,372	26,876	96,827	6,700
	Total	10,708	8,086	727,816	153,143	6,754	33,003	102,039	9,757

Peligros de inocuidad para productos frescos de la pesca

El pescado es ubicado como un alimento privilegiado por la población mexicana. Es una excelente fuente de proteína y cuenta con ventajas adicionales como bajo contenido de grasa saturada y alto de ácidos grasos omega-3, entre ellos docosahexaenoico (DHA) y eicosapentaenoico (EPA). Estos compuestos han demostrado su acción antiinflamatoria y anticoagulante así como beneficios durante el desarrollo neurológico del cerebro humano (feto y neonato), así como en la reducción de riesgo a enfermedades cardiovasculares (Mozaffarian y Rimm, 2006).

En contraparte también existen riesgos de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA's) asociados al consumo de pescado. De acuerdo a reportes de la Unión Americana (USA), Canadá y Holanda, se estima que las enfermedades por alimentos pesqueros representan en esos países alrededor del 4% de los casos. Para México se ha reportado entre 5 a 8%.

La Tabla 2 muestra en las columnas 1 y 2, los peligros asociados al pescado fresco producto de la pesca o acuicultura desde un enfoque HACCP. Se identifican 7 peligros para éste tipo de productos: 1) Parásitos, 2) Bacterias patógenas, 3) Productos agroquímicos, 4) Biotoxinas marinas, 5) Mercurio (Hg), 6) Residuos de medicamentos y 7) Anzuelos de pesca (CODEX-052, 2003; NOM-242-SSA1-2009).

De los 7 peligros identificados, solamente tres resultaron peligros significativos para el entorno Mexicano de acuerdo con la información epidemiológica obtenida.

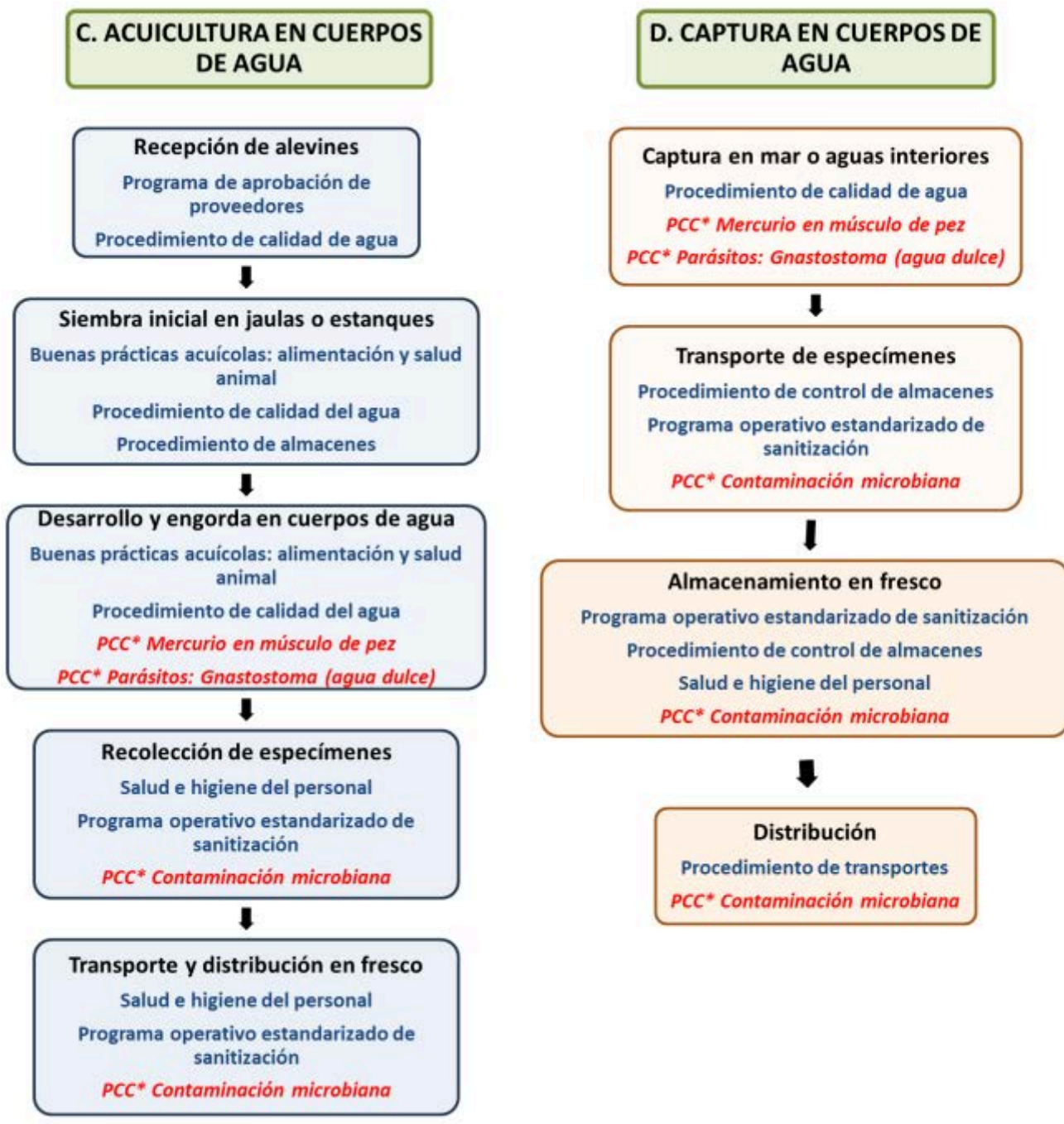
Cabe resaltar que la búsqueda de información que permite calificar la probabilidad de ocurrencia de los peligros en México se realizó mediante reportes científicos e información epidemiológica. Esta última fue en general limitada ya que la Secretaría de Salud en México concentra la información como "Enfermedades infecciosas intestinales", sin mencionar el origen (SS, 2015). La penúltima columna de la Tabla 2 muestra los Programas Prerrequisito que se recomienda desarrollar para el control de peligros NO SIGNIFICATIVOS del proceso (CODEX-52, 2003). El enfoque HACCP enfatiza en el control de los peligros SIGNIFICATIVOS a través del control de Puntos Críticos de Control.

La Tabla 3 muestra el diagrama de flujo de los dos procesos de producción de pescado: Acuicultura y Captura en cuerpos de agua. Aquí se esquematizan las etapas del proceso, los PPR requeridos para controlar peligros generales y los PCC. A continuación la información esencial para el conocimiento de los PCC identificados.

Tabla 2. Peligros físicos, químicos y biológicos identificados para los productos de pesca en México.

Peligros para pesca y cultivo de pescado		Fuente del peligro	Severidad	Probabilidad de ocurrencia en México	Medida de control	¿Es significativo?
Biológico	Parásitos: <i>Gnathostoma</i> en peces de agua dulce.	Medio ambiente en contacto con heces de aves o mamíferos	Enfermedad seria	Se sabe que ocurre	Programa de monitoreo en producto	SIGNIFICATIVO
Biológico	Bacterias: <i>Salmonella.</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>V. parahemolyticus</i> , <i>E. coli</i>	Contaminación con descargas de desechos humanos	Fatal o enfermedad seria	Común	Programa de Calidad de Agua	SIGNIFICATIVO
Químico	Productos agroquímicos: plaguicidas, herbicidas	Medio ambiente con escurrimientos de áreas de cultivo	Enfermedad	Prácticamente imposible	Programa de Calidad de agua	NO SIGNIFICATIVO
Químico	Biotoxinas marinas: Ciguatoxina	Especies que consumen dinoflagelados	Fatal o enfermedad seria	No se espera que ocurra	Monitoreo de brotes. El fenómeno ocurre en el caribe	NO SIGNIFICATIVO
Químico	Mercurio en músculo	Medio ambiente contaminado y especies que comen peces.	Daño en feto	Se sabe que ocurre	Monitoreo de mercurio en músculo de pez.	SIGNIFICATIVO
Químico	Residuos de medicamentos veterinarios	Antibióticos y hormonas	Insignificante	No se espera que ocurra	Respetar tiempo de cuarentena	NO SIGNIFICATIVO
Físico	Anzuelos de pesca	Proceso de pesca	Queja de cliente	No se espera que ocurra	Revisión de producto	NO SIGNIFICATIVO

Tabla 3. Diagrama de flujo de Acuicultura y Captura de productos de pesca en cuerpos de agua para México. **Nombre de la fase** en negrita; *Programas Prerrequisitos* por etapa en azul y **Puntos Críticos de Control Significativos** en rojo.



Peligro de Mercurio en pez

El pescado contaminado con mercurio es una fuente para la ingestión de metilmercurio (MeHg), una forma altamente biodisponible de Hg, cuyas elevadas concentraciones resultan tóxicas. El riesgo más elevado de intoxicación por Hg para humanos es la afectación del sistema nervioso central, aunque se ha reportado también daño nervioso tanto al sistema autónomo como al voluntario, daños ocular y renal.

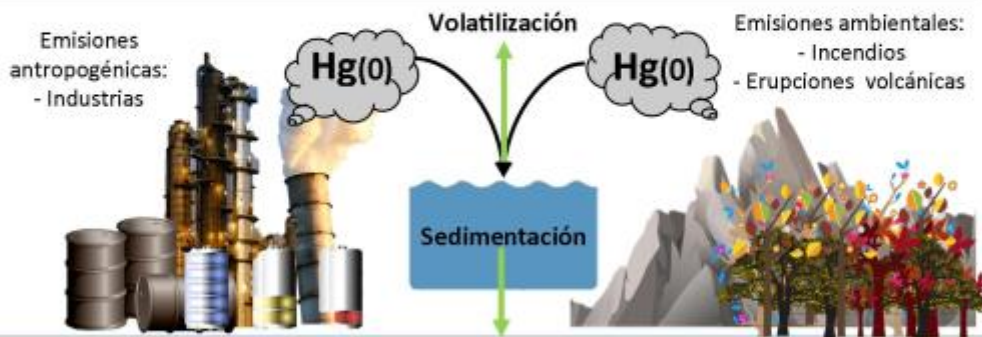
Los reportes más amplios por intoxicación por Hg con pescado contaminado son los de la Bahía de Minamata en Japón, las Islas Faroe en el Atlántico Norte y las Islas Seychelles en el Océano Indico. En Minamata la intoxicación se presentó en adultos y recién nacidos y en los restantes casos se observó daño al SNC del feto y deficiencias en el desarrollo cognitivo de infantes cuyas madres ingirieron pescado contaminado (EPA, 1997; Carrington y Bolger, 2000; WHO, 2007).

El Hg se encuentra presente en la atmósfera, en los océanos, en las emisiones volcánicas y también es producto de actividad humana a través de la industria minera, metal-mecánica, papelera, tratamiento de desechos y producción de carbón, la Figura 1 ilustra este ciclo del mercurio. Dentro de los seres vivos, el Hg se acumula en la cadena alimentaria mediante la especie MeHg. El MeHg parte desde el fondo de la cadena alimentaria y luego se acumula y biomagnifica a medida que los organismos más grandes se comen a los más pequeños. Inicialmente los microorganismos (bacterias, fitoplancton en el océano y hongos) convierten al Hg inorgánico a MeHg, cuando peces pequeños ingieren MeHg en sus alimentos, el Hg pasa a sus tejidos. Como resultado de esta biomagnificación, la concentración de MeHg en algunas especies de peces puede alcanzar niveles cientos de veces más elevadas que la concentración del Hg del agua en la que viven los peces. Los peces grandes de océano, que viven muchos años y que pueden alcanzar gran tamaño tienden a presentar los niveles de mercurio más altos en sus cuerpos (ver Tabla 4) (Morel *et al.*, 1998).

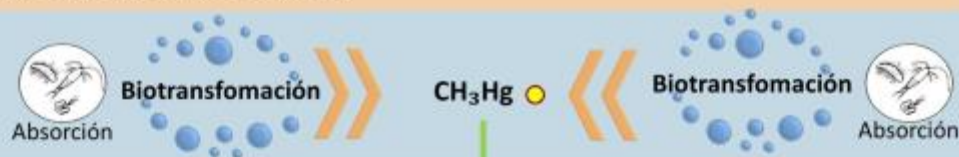
En México la NOM-242-SSA1-2009 establece los límites permisibles de metales pesados en pez, siendo los máximos de MeHg en porciones comestibles entre 0.5 a 1 mg/kg dependiendo de la especie de pescado. En atún, marlín, mero y bonito se permite el límite de 1.0 mg/kg, mientras que las demás especies el límite es 0.5 mg/kg. La diferencia en el límite de Hg por especie genera confusión, ya que los daños a la salud están dados por la cantidad de Hg ingerida, misma que depende de la cantidad de Hg en el pez y de los gramos de pez consumidos, no por la especie de pez. La OMS ha establecido un límite de ingesta de MeHg semanal de 1.6 µg/kg de peso corporal (WHO, 2007).

¿CÓMO LLEGA EL MERCURIO A LOS PECES?

Las emisiones de mercurio, antropogénicas y ambientales, llegan a mares, ríos, lagos y lagunas en forma de mercurio inorgánico $Hg(0)$. En esta forma puede sedimentarse al fondo o volatilizarse y regresar a la atmósfera.



Dependiendo de la profundidad del agua, su composición y acidez, el mercurio inorgánico se transforma en distintos compuestos que pueden ser absorbidos y metabolizados por bacterias, fitoplancton y microalgas, transformando el $Hg(0)$ en metil mercurio (CH_3Hg), cuya forma afecta al ser humano.



Una vez absorbido y transformado se **biomagnifica**, es decir, la concentración se multiplica al pasar de un organismo a otro a lo largo de la cadena alimentaria.

¿Cuáles son las implicaciones?

Los peces que viven libres en el lago, tienen mayores concentraciones de mercurio por alimentarse de otros peces que ya incorporaron mercurio en sus tejidos. Los peces cultivados en jaulas son alimentados con alimento comercial (sin mercurio) por lo que no poseen mercurio en el músculo y otros tejidos, cumpliendo con las especificaciones de normas mexicanas e internacionales.



Fuente: Hall y colaboradores (1997); Morel y colaboradores (1998)

Figura 1. Introducción del mercurio desde la atmósfera, a través de cuerpos de agua y hasta la cadena alimentaria.

En la Unión Americana la FDA establece como límite para tomar acción a 1 ppm de Hg en porciones comestibles de pescado, mientras que FAO establece 0.5 ppm (FDA, 2015). La misma FDA ha realizado estudios que demuestran que la concentración de Hg total medido por absorción atómica con vapor frío equivale al 98% del MeHg medido por HPLC acoplado a ICP-MS (Hight & Cheng, 2006), por lo que es común utilizar cuantificación de Hg total para estimar su concentración tanto en México como en otros países.

De acuerdo a la OMS, US FDA y el gobierno Canadiense, para la evaluación del riesgo por consumo de pescado es imprescindible tomar en consideración factores asociados al consumo habitual de alimentos en cada población de estudio y mantener un monitoreo constante para determinar la concentración de Hg en tejido de las especies más consumidas por la población de estudio. En paralelo se sabe que los subgrupos poblacionales no tienen el mismo riesgo, las mujeres embarazadas y susceptibles de embarazo son los subgrupos más vulnerables en virtud de que el punto de mayor exposición como se mencionó, es la formación del cerebro en embrión y feto. Los adultos fuera de éstos grupos pueden consumir mayores cantidades sin riesgo demostrable (WHO, 2007).

La Tabla 4 muestra las concentraciones de Hg total en músculo reportadas en diferentes especies de peces capturados en México, tanto en aguas interiores como en mar. La concentración promedio de Hg en 11 de 38 especies analizadas sobrepasa el criterio de la NOM-242-SSA1-2009, con una concentración media de 1.25 mg/kg. La Figura 2 esquematiza las diferencias en Hg entre especies.

En el reporte de Hurtado, (2010) se señala que el 35% de las muestras de tejido de tiburones pescados en las costas de Sonora y Sinaloa en territorio mexicano, superaron los 0.5 mg/kg de Hg total y un 7% de las muestras superan el límite de 1 mg/kg. En cuanto a pesca dulceacuícola, Stong et al., (2013) encontró que 1 muestra de un total de 262 (0.4%) de las carpas pescadas en el lago de Chapala superó 1.0 mg/kg Hg total y el 23% superó los 0.5 mg/kg de Hg total.

Tanto USA como FAO consideran que el mejor enfoque es la estimación de la dosis de referencia (RfD) o la dosis de consumo semanal (PTWI) que se basan en las concentraciones de Hg de los peces. La FDA ha desarrollado exhaustivos modelos predictivos para calcular el riesgo de exposición en base al tamaño de porción, características demográficas de la población, frecuencia de consumo y tipo de pez (Carrington y Bolger, 2014).

Las concentraciones de Hg de la Tabla 4 muestran su presencia en prácticamente todas las especies de mares y lagos. Conforme la especie se acerca al final de la cadena trófica, la concentración es mayor como se ha reportado previamente (Morel et al., 1998). La Figura 2 resume de manera gráfica la concentración de Hg en peces comerciales para México.

Tabla 4. Concentración de mercurio total en músculo de diferentes especies de peces capturados en aguas interiores y océanos, reportados en México. La concentración se da en base húmeda a excepción de los casos que se indican con asterisco.

Nombre científico	Nombre común	Lugar de muestreo	HgT rango (mg/kg)	HgT promedio (mg/kg)	Fuente
<i>Chirostoma spp.</i>	Charal	Chapala	0.217-8.149 *	2.35*	Ford et al., 2000
<i>Oreochromis mossambicus</i>	Tilapia	Chapala	0.03-0.06	0.04	Trasande et al., 2010
<i>Chirostoma sphyraena</i>	Pescado Blanco	Chapala	0.07-0.15	0.11	Trasande et al., 2010
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	Chapala	0.25-2.44	0.87	Trasande et al., 2010
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	Chapala	0.05-1.06	0.39	Stong et al., 2013
<i>Ictalurus punctatus</i>	Bagre de canal	Chapala (Cultivo)	< 0.05	< 0.05	Gradilla et al., 2013
<i>Tilapia mariae Boulenger</i>	Tilapia manchada	Golfo de México	<0.02-0.62	---	Lewis et al., 2007
<i>Lepomis macrochirus</i>	Mojarra azul	Golfo de México	<0.02-0.62	0.11	Lewis et al., 2007
<i>Cichlasoma urophthalmus</i>	Mojarra rayada	Golfo de México	<0.02-0.62	0.09	Lewis et al., 2007
<i>Scomberomorus sierra</i>	Sierra	Océano Pacífico	0.02-0.57	0.22	Ramírez et al., 2009
<i>Scomberomorus maculatus</i>	Sierra	Golfo de México	0.04-1.0	0.24	Ramírez et al., 2009
<i>Lutjanus guttatus</i>	Huachinango	Océano Pacífico	0.02-0.66	0.17	Ramírez et al., 2009
<i>Lutjanus campechanus</i>	Huachinango	Golfo de México	0.01-0.54	0.22	Ramírez et al., 2009
<i>Selachimorpha</i>	Tiburón	Océano Pacífico	0.82-1.19	0.88	Ramírez et al., 2009
<i>Selachimorpha</i>	Tiburón	Golfo de México	1.4-6.5	3.0	Ramírez et al., 2009
<i>Rhizoprionodon longurio</i>	Cazón	Golfo de California	0.35-3.36	0.92	Hurtado, 2010
<i>Mustelus albipinnis</i>	Cazón	Golfo de California	0.191-0.69	0.34	Hurtado, 2010
<i>Alopias pelagicus</i>	Tiburón zorro	Golfo de California	0.48-4.95	1.30	García et al., 2010
<i>Carcharhinus limbatus</i>	Tiburón aleta negra	Golfo de California	<0.002-1.12	0.45	García et al., 2010
<i>Carcharhinus leucas</i>	Tiburón toro	Florida/Golfo de México	0.24-1.70	0.97	Adams, 2003
<i>Lutjanus griseus</i>	Pargo gris	Florida/Golfo de México	0.03-0.65	0.23	Adams, 2003
<i>Scomberomorus maculatus</i>	Sierra del Golfo	Florida/Golfo de México	0.06-3.00	0.71	Adams, 2003
<i>Bagre marinus</i>	Bagre	Florida/Golfo de México	0.02-1.80	0.60	Adams, 2003
<i>Cynoscion arenarius</i>	Trucha	Florida/Golfo de México	0.11-1.20	0.81	Adams, 2003
<i>Paralichthys albigutta</i>	Lenguado	Florida/Golfo de México	0.01-1.10	0.31	Adams, 2003
<i>Isotiphorus platypterus</i>	Pez vela	Golfo de California	<0.002-4.95	0.40	García et al., 2010

<i>Makaira mazara</i>	Marlin azul	Golfo de California	0.18-1.22	0.36	García et al., 2010
<i>Makaira nigricans</i>	Marlin azul	Florida/Golfo de México	0.98-6.08	3.08	Adams, 2003
<i>Tetrapturus albidus</i>	Marlin blanco	Florida/Golfo de México	0.27	0.27	Adamas, 2003
<i>Coryphaena hippurus</i>	Dorado enano	Golfo de California	<0.002-0.32	0.05	García et al., 2010
<i>Thunnus albacares</i>	Atún aleta	Golfo de California	<0.002-0.23	0.03	García et al., 2010
	Amarilla				
<i>Thunnus atlanticus</i>	Atún aleta azul	Florida/Golfo de México	0.16-2.0	1.16	Adams, 2003
<i>Sphyrna lewini</i>	Tiburón martillo	Golfo de California	<0.002-3.54	1.08	García et al., 2010
<i>Sphyrna lewini</i>	Tiburón martillo	Golfo de California	0.050-1.49	0.82	Hurtado, 2010
<i>Dasyatis brevis</i>	Rayas látigo	Golfo de California	<0.002-3.50	0.45	García et al., 2010
<i>Rhinobatos productus</i>	Pez guitarra	Golfo de California	<0.002-2.04	0.31	García et al., 2010
<i>Shyraena barracura walbaum</i>	Barracuda	Golfo de México	<0.02-0.62	0.62	Lewis et al., 2007
<i>Caranx hippos linnaeus</i>	Jurel Común	Golfo de México	<0.02-0.62	0.56	Lewis et al., 2007
<i>Micropterus salmoides</i>	Perca americana	Golfo de México	<0.02-0.62	0.43	Lewis et al., 2007

... continuación Tabla 4

*Peso seco

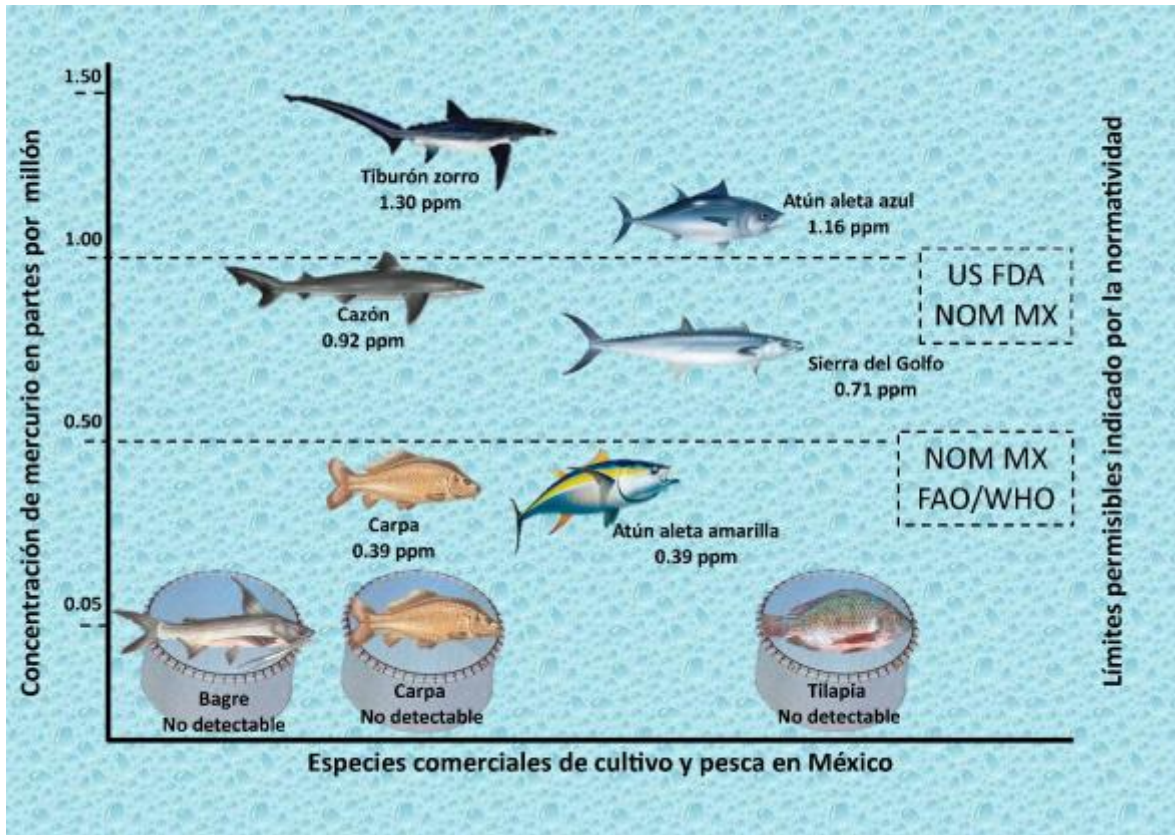


Figura 2. Comparativo de los niveles de mercurio en peces marinos, dulceacuícolas y cultivados en jaula, todos en territorio mexicano. Las líneas punteadas representan los niveles permisibles de mercurio para diferentes normativas.

A pesar de que el Hg puede encontrarse en muchas especies de peces en mares y lagos, Chapala es un sitio emblemático al respecto. La Tabla 4 muestra la más reciente evaluación Hg para peces capturados, con un promedio de 0.39 mg/kg, que fueron estadísticamente seleccionados en todo el lago. La media no rebasó la legislación mexicana ni las recomendaciones de la OMS (Stong, et al., 2013). Adicionalmente se observa que el bagre cultivado dentro del lago de Chapala no presentó Hg, lo cual representa una alternativa en la generación de espacios acuícolas. Más investigaciones en otros períodos de tiempo y con otras especies restan para concluir al respecto.

Las referencias internacionales incluyendo la OMS basan su límite recomendable de toxicidad para el Hg en pescado, en la cantidad total de Hg ingerido,

considerando el consumo per cápita y a la cantidad promedio del metal en peces. En conjunto a estas medidas se informa a la población más susceptible: mujeres embarazadas y en etapa de lactancia, a fin de promover un control en la ingesta promedio de pescado y evitar altas dosis dañinas al feto.

En México la NOM-242-SSA1-2009 establece 2 límites máximos de MeHg, dependiendo el tipo de pez. Sin embargo la toxicidad por Hg depende de la concentración de Hg y el tamaño de la porción de pescado consumido, independientemente de la especie, por lo que estos límites son difíciles de explicar y causan confusión. El establecimiento de controles y monitoreos mejoraría la comprensión y facilitaría el establecimiento de políticas adecuadas.

La Tabla 5 muestra un ejercicio para estimar la regularidad aceptable de consumo de pescado, de acuerdo a diversas normativas y considerando 2 especies obtenidas en México (carpa y tiburón). Las concentraciones de Hg se seleccionaron para mostrar escenarios negativos con alta concentración para ambos casos, pero se observa en la Tabla 4 que hay numerosas especies con más bajas concentraciones de Hg.

La regularidad de consumo difiere notablemente dependiendo la referencia a la que se haga alusión. Desde consumos ilimitados para la normatividad mexicana, hasta consumos espaciados de 30 días, para la normatividad de la EPA, que es la más estricta. Es evidente que la concentración de Hg en el pez, es la determinante para alcanzar la concentración límite de toxicidad, independientemente cual sea la especie de pez.

Como Límite Crítico de Control en referencia a la inocuidad, se debe incluir un monitoreo regular de Hg en pescado, para poder detectar cuando las concentraciones sobrepasan los límites establecidos de acuerdo a cada normativa. Este monitoreo permitiría hacer una recomendación puntual de la regularidad de consumo y de los grupos vulnerables.

Tabla 5. Regularidad aceptable para consumo de pescado, en base a las tolerancias y dosis de referencia de Hg en músculo, reportadas para diferentes países. El ejercicio se realiza con dos variedades de pez, uno dulceacuícola y otro de mar con información para México.

REFERENCIA ORIGINAL		Tolerancia de ingestión diaria de Hg para una persona de 60 kg	Regularidad aceptable de consumo de 200g de filete de carpa con 0.390 mg/kg de HgT	Regularidad permitida de consumo de 200g de filete de cazón con 1.1 mg/kg de HgT
MEXICO	0.5-1.0 mg/kg MeHg	No hay valores para México	Ilimitado si MeHg <0.5 mg/kg	Fuera de especificación
US FDA	Tolerancia semanal por persona 0.3 mg MeHg	42.9 µg/día/persona	Cada 1.8 días	Cada 5.1 días
US EPA	Dosis de referencia 0.1 µg/kg/día MeHg	6 µg/día/persona	Cada 13 días	Cada 36.7 días
WHO	Consumo provisional semanal tolerable 1.6 µg/kg/semana MeHg	13.7 µg/día/persona	Cada 5.7 días	Cada 16.1 días

Microorganismos patógenos para humanos en pescado

El pescado presenta condiciones determinantes para la presencia de microorganismos patógenos que difieren de otros tipos de carne. Entre estas se encuentra la alta capacidad nutricional, ausencia de glucógeno en el músculo lo que limita la capacidad de disminuir el pH por su transformación a ácido láctico y por tanto una alta susceptibilidad comparada entre otros tipos de carne. Adicionalmente se encuentra la capacidad intrínseca de algunos microorganismos presentes en el medio, para resistir las condiciones de manipulación del pescado. Por ejemplo la viabilidad del *Vibrio* en pescados y mariscos es de 2-5 días a una temperatura de 30 - 32° C, y hasta de 14 días a 5 - 10° C; el mejor sustrato para la sobrevivencia de *Vibrio* de entre una diversidad de alimentos evaluados (Giono et al., 1993).

Los agentes infecciosos más reportados en pescado en México han sido *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichiae spp.* y *Vibrio cholerae* (Fernández y Torres, 1996; Fernández, 2008; Parrilla et al., 1993; Flores L. 2002; Borbolla et al., 2004).

En México la NOM-242-SSA1-2009 establece la vigilancia de microorganismos en productos frescos, refrigerados y congelados de la pesca en donde los límites máximos para coliformes fecales en pescado son 400 NMP/g, para *Staphylococcus aureus* 1000 ufc/g, para *Vibrio cholerae* ausente en 50 g y para *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp* ausente en 25 g.

Las fuentes de microorganismos contaminantes del pescado fresco se pueden agrupar en tres. El ambiente marino o lacustre natural, según sea el caso, en donde destacan microorganismos como *C. botulinum*, *V. parahaemolyticus* y *V. cholerae*. En segundo lugar contaminación resultante de descargas realizadas por actividad humana, en donde encontramos a *Salmonella*, *Escherichia*, *C. perfringes*, *Shigella spp.* y *Y. enterocolitica*. Finalmente por el proceso mismo de captura de los animales y su manipulación fuera del agua, es el caso de los microorganismos anteriores más *S. aureus* (Fernandez E., 2008).

Los últimos eventos de cólera en México fueron la epidemia del 91 (1991-2001) con 45,963 casos y más recientemente en 2013-2014 el brote por *V. cholerae* O1 Ogawa con 180 casos. La última cepa es al parecer fue muy diferente a la del 91 y entró al país por la zona del Caribe (GAR, 2013). En términos generales *V. cholerae* no se considera un peligro importante para México por el momento.

Mucho resta por desarrollar para el establecimiento de indicadores confiables de infección por productos de la pesca. Muy poca información se encuentra disponible sobre brotes por éstos productos, no suele existir seguimiento concreto y cuando se muestrea los productos siempre se encuentran patógenos presentes. Independientemente de esto, debe mantenerse que la contaminación de cuerpos de agua con descargas antropogénicas, las deficiencias sanitarias durante el transporte y manipulación de pescado, y el uso de hielo de fuente no potables son

las fuentes de microorganismos patógenos. Estrategias para evitar dichas prácticas son indispensables a fin de controlar los peligros.

Los grandes retos son garantizar la cadena fría durante el proceso de recolección a la distribución, la capacitación de los pescadores y el apoyo gubernamental para proveer de condiciones higiénicas que permitan la ejecución y práctica de lo aprendido. La experiencia en el trabajo en pesca interior es que las comunidades de pescadores no cuentan con agua potable que permita realizar limpieza adecuada, imposibilitando mejoras en inocuidad.

En el sentido del establecimiento de Límites Críticos de Control para los procesos de la Tabla 3, la recomendación va orientada a vigilar que el tiempo entre la recolección y el almacenamiento no rebasa 4 hrs y la temperatura del almacenamiento es inferior a 4° C.

Gnatostoma

La gnatostomiasis es una zoonosis relativamente nueva en México, es producida por las larvas de varias especies de nematodos pertenecientes al género *Gnathostoma*. En el humano se adquiere por comer pescado de agua dulce crudo o mal cocido por ejemplo en el cebiche o sushi. Puede presentarse en forma subcutánea, ocular o visceral. La manifestación cutánea se observa tórax, abdomen o extremidades y es la más común. Clínicamente es una placa dolorosa al tacto, dura, rojiza, caliente, con gran comezón y ardor que después de varios días cambia de lugar.

Hasta el momento se han registrado más de 8000 casos en México, desde que se registraron los primeros casos en 1970 (Camacho, 2011). Solamente en Nayarit se han reportado 6328 casos de 1995 a 2005 (SUAVE). En México existen tres especies que ocasionan la enfermedad siendo la más común es la *G. binucleatum* (León V., 2005) que infecta a gatos, perros y humanos, pero también se ha encontrado larvas de *G. turgidum* y *G. procyonis* en menores frecuencias. Los parásitos muestran un ciclo de vida complejo con 3 estados larvarios y un adulto que se desarrolla en el hospedero definitivo. El ciclo inicia cuando los huevecillos son vertidos en las heces fecales del hospedero y éstas llegan al agua donde se desarrolla la larva I en el primer hospedero: copépodos. Esta se transforma en larva II que es comida por peces, anfibios y roedores y se transforma en larva III. Estas larvas son comidas por los hospederos definitivos, carnívoros, canidos o félicos donde la larva pasa a adulto, que es la etapa infectiva y con capacidad de reproducirse. El humano y las aves puede fungir como hospedero paraténico, en el cual la larva no genera adulto, aunque si enfermedad denominada paniculitis (Leon, 2005; Camacho, 2011; Alvarez, 2011).

En México se han registrado casos en Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Guerrero, Oaxaca, Tamaulipas, Veracruz y Tabasco. Nayarit ha reportado la mayor cantidad de casos, al menos se han reportado 8000 casos y al parecer la parasitosis va en aumento (Lamothe y Caballero, 2002; Alvarez, 2014).

En función al incremento que está mostrando este parásito se consideró un peligro significativo solo para pesca y acuicultura de agua dulce. Los Límites Críticos de Control son evitar la presencia de vectores entre los que se incluyen aves, mamíferos y anfibios. Esta situación limitaría la producción en cuerpos de agua naturales. Otra alternativa es insistir en la población para aplicar cocción terminal para este tipo de productos.

Manejo sanitario del pescado

En virtud de los peligros para la inocuidad y de la gran susceptibilidad de los productos de la pesca frescos, el manejo sanitario de pescados y mariscos debe incluir las siguientes recomendaciones:

- a) Evitar el consumo de estos productos que provengan de áreas expuestas a contaminación por desechos humanos o con presencia de heces fecales de aves y mamíferos (caso *Gnathostoma*).
- b) Mantener la cadena de frío desde la captura hasta el comercio o mercado.
- c) Utilizar agua potable en el lavado de áreas de eviscerado.
- d) Mantener un monitoreo de las concentraciones de Hg en músculo de pescado.
- e) Aplicar cocción terminal.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACYT por el financiamiento no. 216110 otorgado. Los autores agradecen a Diego Cortez su apoyo en la elaboración de las figuras.

Bibliografía

- Adams D.H., R.H. McMichael, G.E. Henderson. 2003. Mercury Levels in Marine and Estuarine Fishes of Florida 1989–2000. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission. FMRI Technical Report TR-9. Second Edition.
- Álvarez C., A. Castañeda-Martínez, C. Benitez-Valle, J.E. Castañeda-Montero, E.M. Becerro Verdín. 2014. Reporte de un caso de *Gnathostomiasis* Lingual. *Oral* 47:1086-1088.
- Álvarez C., M.A. Muñoz-Guzmán, J.A. Buendía-Jiménez, F. Alba Hurtado. 2011. *Gnathostoma binucleatum*: Pathological and parasitological aspects in experimentally infected dogs. *Experimental Parasitology* 127:84–89.
- Borbolla, M.E., M.R. Vidal-Pérez, O.E. Piña-Gutiérrez, I. Ramírez-Messner, J.J. Vidal-Vidal. 2004. Contaminación de los alimentos por *Vibrio cholerae*, coliformes fecales, *Salmonella*, hongos, levaduras y *Staphylococcus aureus* en Tabasco durante 2003. *Salud en Tabasco* 10:221.232.
- Camacho. L. 2012. *Gnathostomiasis*: el caso de México. *Epidemiología en breve* 4:1-8.
- Carrington C.D., P.M. Bolger. 2014. An exposure assessment for methylmercury from seafood for consumers in the United States. US FDA. Washigton.

- <http://www.fda.gov/food/foodborneillnesscontaminants/metals/ucm2006760.htm>
- Carrington, C.D., P.M. Bolger. 2000. A Pooled Analysis of the Iraqi and Seychelles Methylmercury Studies. *Human Ecol Risk Assess* 6:323-340.
- CODEX-52. 2003. CAC/RCP-52-2003. Código de prácticas para el pescado y los productos pesqueros. FAO/WHO. Geneva.
- CONAPESCA. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2015. Aumenta México en 2.5 kilos consumo per cápita en pescados y mariscos. Boletín de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. http://conapesca.gob.mx/wb/cona/24_de_junio_de_2015_mexico_df
- EPA. 1997. Mercury study report to congress. An assessment of exposure to mercury in the United States. US Environmental Protection Agency. EPA-452/R-97-006:4.
- FAO. Food and Agricultural Organization. 2012. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp. 3-89; 172-178.
- FDA. U.S. Food & Drug Administration. 2015. Fish, Shellfish, Crustaceans and other Aquatic Animals - Fresh, Frozen or Processed - Methyl Mercury. CPG Sec. 540.600 <http://www.fda.gov/ICECI/ComplianceManuals/CompliancePolicyGuidanceManual/ucm074510.htm>)
- Fernández E, M.R. Torres. 1996. Contaminación de ceviche de pescado por *Salmonella* en Guadalajara, Jalisco, México. *Bol Oficina Sanit Panam* 120:198-203.
- Fernández E. 2008. Peces y Mariscos. En: *Microbiología e inocuidad de los alimentos*. Universidad Autónoma de Querétaro .México. pp. 611-627.
- Flores J.L. 2002. Modelo de evaluación de riesgos sanitarios derivados del consumo de agua y alimentos. En: *Alimentación, nutrición y agricultura*. FAO. ISSN 1014-806X. <http://www.fao.org/docrep/005/y4267m/y4267m00.htm#TopOfPage>
- [Ford T.E., R. Ika, J. Shine, L. Davalos-Lind, O. Lind. 2000. Trace metal concentrations in *Chirostoma* sp. from Lake Chapala, Mexico: Elevated concentrations of mercury and public health implications. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* 35:313-325.](#)
- García A., O. Calvario. 2008. Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SAGARPA. 158 p.
- García J., L. Cadena-Cárdenas, M. Betancour-Lozano, L.M. García-de-la-Parra, L. García-Rico., F. Márquez Farías. 2010. Total mercury content found in edible tissues of top predator fish from the Gulf of California, Mexico. *Toxicological & Environmental Chemistry* 89:507-522.
- Giono S. 1993. *Vibrio cholerae* En: Giono S., A. Escobar, J.L. Valdespino (eds). *Diagnóstico de Laboratorio de infecciones gastrointestinales*. Instituto

- Nacional de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica. Secretaría de Salud. México. pp 325.
- Gradilla M.S. 2013. Patrones de bioacumulación de Cu, Zn, Hg y Cd utilizando Bagre (*Ictalurus punctatus*) como biomonitor activo en el Lago de Chapala. Tesis para obtener el grado académico de: Maestro en Ciencia y Tecnología en la especialidad de Ingeniería Ambiental. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Guadalajara, Jal. Agosto 2013
- Hight S.C., J. Cheng. 2006. Determination of methylmercury and estimation of total mercury in seafood using high performance liquid chromatography (HPLC) and inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS): method development and validation. *Analytica Chimica Acta* 567:160-172.
- Hurtado-Banda R.G. 2010. Determinación de Mercurio total en hígado y músculo de tiburones provenientes de las pesquerías de Sonora y Sinaloa, México. Tesis para obtener el grado de: Maestro en Biociencias. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.
- Lamothe R., E. Caballero. 2002. La gnatostomiasis en México. *Biodiversitas* 45:13-15.
- León V., D. Osorio-Sarabia, L. García-Prieto, R. Lamothe-Argumedo, F. Bertoni-Ruiz, A. Ocegüera-Figueroa. 2005. New host records of the nematode *Gnathostoma* sp. in Mexico. *Parasitology International* 54:51– 53.
- Lewis M., C. Chancy. 2008. A summary of total mercury concentrations in flora and fauna near common contaminant sources in the Gulf of Mexico. *Chemosphere* 70:2016-2024.
- Morel F.M.M., Kraepiel A.M.L., Amyot M. 1998. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29:543-566.
- Mozaffarian D., B. Rimm. 2006. Fish intake, contaminants and human health. Evaluating the risks and the benefits. *JAMA* 296:1885-1899.
- NOM-242-SSA1-2009. 2011. Norma Oficial Mexicana. Productos y Servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. 2013. Cólera en México, actualización. Alerta y Respuesta mundiales GAR. http://www.who.int/csr/don/2013_11_13/es/
- Parrilla M., J.L. Vazquez, E.O. Saldate, L.M. Nava. 1993. Brotes de toxiingecciones alimentarias de origen microbiano y parasitario. *Salud Pub Mex* 35:456-463.
- Ramírez P., M.E. Ramírez-Islas, A. de la Rosa-Pérez. 2009. Selección y muestreo de peces de alto consumo humano en México con objeto de determinar la posible influencia del cambio climático en el contenido de mercurio (Hg). Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Instituto Nacional de Ecología.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2013. La pesca y la acuicultura, impacto en la seguridad alimentaria mexicana. <https://coin.fao.org/coin->

[static/cms/media/18/13825475340770/12. la pesca y acuacultura-seguridad alimentaria-fao.pdf](static/cms/media/18/13825475340770/12_la_pesca_y_acuacultura-seguridad_alimentaria-fao.pdf)

- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2013. Anuario estadístico de Acuacultura y Pesca. http://www.siap.gob.mx/wp-content/uploads/2013/12/Anuario_2013.pdf
- SS. Secretaría de Salud. 2015. El impacto de la inocuidad alimentaria en la salud. Boletín epidemiológico. Sistema Nacional de vigilancia epidemiológica 14(32)1-64.
- Stong T., C. Alvarado-Osuna, H. Shear, De Anda-Sánchez, G. Ramírez, J.J. Díaz-Torres. 2013. Mercury Concentrations in common carp (*Cyprinus carpio*) in Lake Chapala, Mexico: A lakewide survey. Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering 48:1835–1841.
- SUAVE. Sistema único automatizado para la vigilancia epidemiológica. Secretaría de Salud de Nayarit. https://www.sinave.gob.mx/SUAVE/Inicio_sesion.aspx
- Trasande, L., J.E. Cortes, P.J. Landrigan, M.I. Abercrombie, R.F. Bopp, E. Cifuentes. 2010. Methylmercury exposure in a subsistence fishing community in Lake Chapala, Mexico: an ecological approach. Environmental Health 9:1-10.
- WHO. World Health Organization. 2007. Environmental health criteria 237. Principles for evaluating health risks in children associated with exposure to chemicals. World Health Organization. Geneva. p. 67-74.

Inocuidad en Aguacate

Rodríguez-Campos Jacobo*, Escobedo-Reyes Antonio, Lugo-Melchor O. Yadira

*Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ). Av. Normalistas #800, Col. Colinas de la Normal. Guadalajara Jalisco. C.P.44270. *Correspondencia: jarodriguez@ciatej.mx*

Resumen

México es el primer productor de aguacate a nivel mundial aportando aproximadamente el 30.4% de la producción mundial en 2013. La producción de aguacate en México se incrementó en un 48.9% en los últimos 10 años. Siendo Michoacán el primer productor (80%), seguido de Jalisco (6.6%), Estado de México (4.3%), Morelos (2.4%). Actualmente, Estado Unidos solo permite la importación de aguacate de los estados de Michoacán y Jalisco ya que la fruta cumple los requisitos de sanidad, inocuidad y bioseguridad establecidas en el Protocolo Sanitario del APHIS/SAGAR para la exportación de aguacate Hass. Además, el aguacate Hass mexicano es muy apreciado por su calidad sanitaria e inocuidad en otros países a los cuales ya se está exportando como Francia, Japón, Canadá, China, Chile, Australia, entre otros. Estos países tienen regulaciones y requerimientos establecidos que se deben cumplir como son los límites máximos residuales (LMR) para la comercialización del aguacate mexicano en sus territorios. En el presente capítulo se presentan los LMR establecidos por algunos países para diferentes fungicidas, plaguicidas y herbicidas, así como las principales plagas de interés cuarentenario y algunas recomendaciones que se deben considerar para prevenir la contaminación del aguacate por patógenos durante el manejo postcosecha, en vías de mantener la calidad de exportación y garantizar la inocuidad del cultivo y producto.

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) perteneciente a la familia laurácea es originario en México y Guatemala. Los primeros indicios de su consumo en México datan de los años 8,000 B.C. (Barrientos-Priego y Lopez-Lopez, 1998). En el mundo existen aproximadamente 400 variedades de aguacates, que difieren en la forma de la fruta, color y peso (150-350 gr). El aguacate se clasifica en tres razas hortícolas (Mexicana, Guatemalteca y Antillana) y seis clases (Hass, Fuerte, Criollo, Bacón, Pinkerton, Gwen y Red). El fruto es una drupa de color verde claro a verde oscuro y de violeta a negro con cáscara rugosa, pulpa verde amarillenta y con un hueso central grande. El árbol de aguacate puede alcanzar alturas hasta de 20 metros, cuando es cultivado comercialmente no se deja crecer más de 5 metros para facilitar las labores culturales como prácticas de control fitosanitario, poda, fertilización foliar y cosecha (SAGARPA, 2011). El cultivo del aguacate es atacado por ácaros e insectos, los cuales causan daños a la planta, afectan la calidad de los frutos y producen mermas en la producción. El manejo fitosanitario del cultivo del aguacate

está regulado por la norma oficial mexicana NOM-066-FITO-2002 (Especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate). Con base en esta norma se implementan campañas para el control y erradicación de las plagas reglamentadas del aguacatero y obtener zonas de producción libres de plagas. Además, el cultivo del aguacate es susceptible a enfermedades que generan incrementos en los costos de producción disminuyendo la rentabilidad del cultivo. Las plagas y enfermedades afectan la calidad de la fruta y limitan su comercialización y exportación. El control de las plagas y enfermedades en campo se puede realizar de dos maneras, 1) control químico utilizando productos permitidos y 2) por medio del control cultural. Actividades que permitirán por un lado reducir los riesgos fitosanitarios de plagas y enfermedades, y por el otro, producir frutas libres de residuos de productos químicos como plaguicidas. Obteniéndose aguacate que cumpla con los requerimientos establecidos en las regulaciones de los diferentes países como son los límites máximos residuales (LMR) para la comercialización y movilización del aguacate Mexicano en sus territorios.

Producción de aguacate en México y el mercado de exportación

En 2013, a nivel mundial se produjeron 4,829,103 toneladas (Ton) de aguacate, de las cuales México aportó 1,467,837 ton equivalentes al 30.4% (FAO, 2016). Esto coloca a México como primer productor de aguacate a nivel mundial. En la figura 1 se presentan los 5 principales países productores de aguacate a nivel mundial. República Dominicana es el segundo productor de aguacate, seguido de Colombia, Perú e Indonesia.

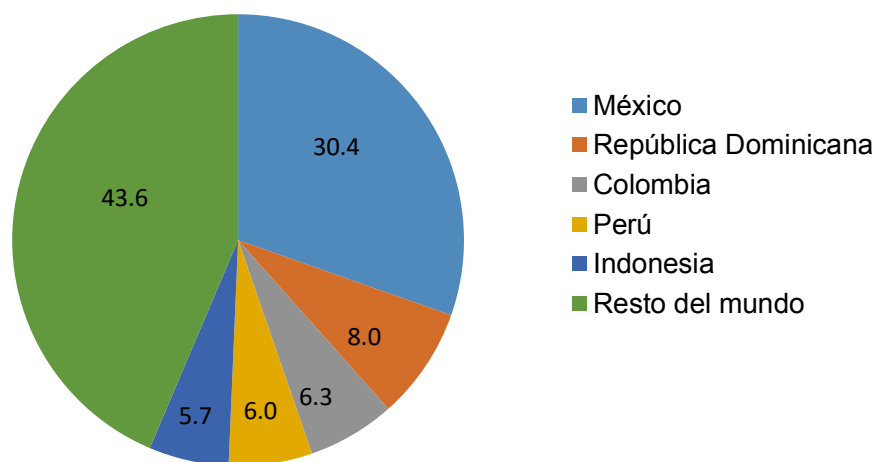


Figura 1. Porcentaje de producción de los 5 principales productores de aguacate a nivel mundial. Fuente: Elaboración propia con base a los datos de la FAO (2016).

El incremento global de la producción de aguacate en México en los últimos 10 años fue de 48.9% (Figura 2). Con los más altos incrementos en producción en el año 2006 (11%), 2011 (14.2%) y 2013 (11.5%) (FAO, 2016). El valor de la producción aumentó en este mismo período de tiempo (2005-2014) en un 172%.

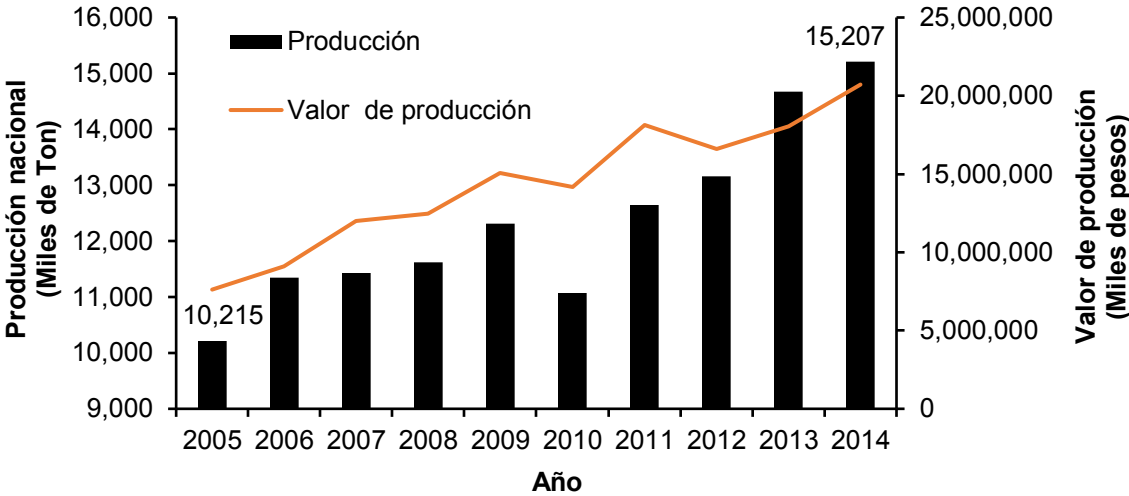


Figura 2. Producción nacional de aguacate y valor de la producción en los últimos 10 años. Fuente. Elaboración propia con base a los datos de la SIAP (2016).

La superficie cosechada del cultivo de aguacate en México en el 2014 fue de 153 mil 771 ha, de las cuales el estado de Michoacán tuvo la mayor producción y mayor superficie cosechada, con un 80% de la producción nacional y un 77% de superficie cosechada con respecto al nacional (Tabla 1). Así, los estados con mayor producción de cultivo de aguacate fueron Michoacán (80%), Jalisco (6.6%), Estado de México (4.3%), Morelos (2.4) y Guerrero. Puebla y Yucatán participaron con <1% con respecto a la producción nacional (Tabla 1). El mayor rendimiento promedio del cultivo de aguacate se encontró en Yucatán con 25.52 Ton/ha, seguido del Estado de México con 11.12 Ton/ha y Michoacán con 10.28 Ton/ha para el 2014 (Tabla 1) (SIAP, 2016).

Tabla 1. Producción nacional de aguacate en el 2014.

Estado	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Valor Producción (Miles de pesos)
Michoacán	118,606.98	1,219,553.58	10.28	17,452,759.26
Jalisco	10,827.11	100,250.33	9.26	1,393,565.91
México	5,841.50	64,928.13	11.12	686,993.35
Nayarit	4,211.95	36,691.01	8.71	301,540.46
Morelos	3,405.50	27,656.05	8.12	245,596.87
Guerrero	2,804.19	14,827.79	5.29	134,541.55
Puebla	2,180.00	11,758.05	5.39	48,121.33
Yucatán	430.3	10,980.00	25.52	58,422.66
Nacional	153,770.96	1,520,695	9.89	20,715,986

Fuente: Elaboración propia con base a los últimos datos del SIAP reportados para 2014.

El 49.12% de la producción nacional de aguacate (2014) se exportó, esto representó 612,003 Ton exportadas, de las cuales el 82% fue a Estados Unidos, seguido de 7% a Japón, 4.9% a Canadá, 1.4% y 1.3% a El Salvador y Costa Rica, respectivamente. El total de exportación de aguacate representó un valor de más de 1599 millones de dólares americanos (SIAVI, 2014).

Exportación de aguacate mexicano y alertas de incidencias

En 1914 Estados Unidos prohibió la importación de aguacate mexicano argumentando la presencia de plagas como gusano barrenador del hueso y ramas. En 1997, 83 años después, el Servicio de Inspección de Salud Animal y Vegetal (APHIS), perteneciente al Departamento de Agricultura de los EE. UU. (USDA) aprobó la importación de aguacate Hass mexicano de algunos municipios de Michoacán a ciertos estados del noreste de dicho país. Quedando condicionada dicha actividad comercial al cumplimiento de una serie de requisitos fitosanitarios para el control de plagas cuarentenarias que deben cumplir los productores y empaques. La APEAM (Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán AC) se constituyó en 1997 como otro requisito solicitado por la USDA (Huacuja, 2008). En 2015 se publica en el Federal Register (7 CFR part 319) las reglas para permitir la importación de aguacate Hass fresco a Estados Unidos de todo México, no solo de Michoacán. Siendo Jalisco el primer estado elegible para incorporarse al programa de exportación de aguacate Hass debido a que se encuentra preparado para cumplir con los requerimientos establecidos en la regulación vigente.

Actualmente, México exporta aguacate Hass a países como Estados Unidos, Francia, Japón, Canadá, China, Chile, Australia, entre otros. El aguacate mexicano cuenta con el sello de Calidad Suprema que garantiza los más altos estándares de

calidad e inocuidad a nivel nacional e internacional. Sin embargo, en ocasiones se presentan alertas sanitarias debidas a violaciones a los límites de residuos de plaguicidas como fue el caso de Japón (2011) que rechazó un contenedor de aguacate mexicano por que detectaron la presencia de acefato y metamidofos.

Principales plagas que afectan el cultivo del aguacatero y la fruta

Uno de los principales problemas que limita la comercialización de los arboles frutales es la presencia de plagas de interés cuarentenario que impide la movilización de este tipo de especies frutales.

Particularmente el aguacate es atacado por las siguientes plagas:

- Gusano barrenador de hueso (*Heilipus lauris* Boheman): La hembra deposita sus huevecillos bajo la epidermis del fruto en desarrollo, la larva se introduce en la pulpa hasta llegar al hueso. El principal daño lo ocasiona al alimentarse del hueso lo que provoca la caída prematura del fruto y pérdida total en la producción.
- Trip del aguacate (*Heliothrips haemorrhoidalis*): Ocasiona daños y malformaciones en frutos y flores; inhibe la fecundación de flores al lesionar los órganos sexuales originando la caída de las mismas y deteriora a los frutos recién formados por la aparición de alteraciones irregulares en la cáscara.
- Araña de cristal (*Oligonychus*): Esta plaga se presenta en época seca, los adultos succionan los jugos de las hojas, produciendo manchas amarillentas en las mismas. En casos severos, los árboles se debilitan y tiran sus hojas.
- Taladrador del tronco (*Copturomimus perseae* Gunther): Esta plaga come la madera de troncos, ramas y nuevos brotes, ocasionando regularmente que las ramas se trocen por el peso de la fruta. Las zonas dañadas son fáciles de detectar por la presencia de aserrín en polvo.
- Acaro de las agallas (*Eriophyes*): Su ataque provoca el desarrollo del fruto, produce daños severos formando protuberancias (agallas) en las hojas.
- Perforador del fruto (*Stenomema catenifer*): Los huevecillos son depositados sobre los frutos o las ramas tiernas, en su etapa de desarrollo penetra la cascara y la fruta. Los desechos y las exuvias dejadas por las larvas dentro del fruto provocan su pudrición.

- Gusano arrollador de la hoja (*Platynota*): Es una larva color verde claro, que al raspar la epidermis de las hojas las adhiere provocando su desecación.

Entre las enfermedades más comunes en el cultivo de aguacate se describen las siguientes:

- Pudrición de la raíz (también conocida como tristeza del aguacatero): Esta enfermedad se presenta en cualquier estado de desarrollo de la planta. La pudrición de raíces es la enfermedad más importante del aguacate, es ocasionada principalmente por el hongo *Phytophthora cinamomni* que ataca la base del tallo y lo coloniza totalmente, evita la absorción de agua y su transporte al follaje, produce marchitez, secamiento y muerte repentina del árbol.
- Mancha negra o cercospora: Es ocasionada por el hongo *Cercospora purpurea* Cooke, su severidad se agrava cuando se presentan altas precipitaciones y mala nutrición de las plantaciones. Esta enfermedad ataca a las hojas y produce lesiones pequeñas color marrón oscuro, provocando la caída de todo el fruto del árbol. En postcosecha, ocasiona la llamada mancha negra en el fruto.
- Polvillo o Mildiu: Esta enfermedad se presenta principalmente en épocas de lluvias y es ocasionada por *Oidium* sp. Se manifiesta con la aparición de polvillo blanco sobre las inflorescencias, frutos y hojas, causando su caída. Además, las hojas afectadas se deforman y posteriormente aparecen en ellas manchas irregulares color negro. Este hongo requiere de poca humedad relativa para desarrollarse.
- Antracnosis: Enfermedad causada por *Colletotrichum Gloeosporioides*. Penetra en las lesiones ocasionadas por otros hongos, se desarrolla antes de la cosecha y se manifiesta en postcosecha, atacando a los frutos cuando casi están para cosechar. Inicialmente se manifiesta con manchas redondas color marrón, paralelamente, el hongo produce una pudrición en la pulpa de fruto, que ocasiona un sabor desagradable y avanza hasta colonizar el hueso.
- Cancro del aguacate (*Phytophthora bohemeriae* Sawad): Se encuentra en la base del tronco hasta la altura de un metro, su importancia radica en la velocidad de desarrollo y capacidad de daño alrededor del tronco. Reduce el vigor del árbol con producción de frutos pequeños y de mala calidad.

- Fusariosis: Ataca directamente la raíz del árbol en cualquier estado de desarrollo, provocando pudrición y secamiento en las hojas. Es importante destruir los troncos viejos y quemarlos para eliminar la enfermedad.
- Roña: El hongo *Sphaceloma perseae* afecta a la hojas, principalmente las nuevas, y daña a los frutos, deteriorando su calidad estética. En el fruto son lesiones irregulares color marrón de apariencia corchosa, estas lesiones no son superficiales y no afectan la pulpa. En ataques severos, los brotes y las hojas se necrosan, se enroscan hacia arriba y pueden llegar a morir.

Precisamente por la presencia de este tipo de plagas es que el cultivo del aguacatero está regulado y su movilización está sujeta a un estricto control, con base a la norma oficial mexicana NOM-066-FITO-1995 que establece la campaña de manejo fitosanitario del aguacatero (CESAVEG, 2008; SAGARPA, 2011)

Plaguicidas permitidos para el aguacate y niveles residuales máximos (MRL)

El cultivo de aguacate está expuesto al daño por muchas plagas como insectos, ácaros, así como a enfermedades e incluso a la competencia de muchas malezas. Para mantener la alta productividad, rentabilidad y satisfacer la demanda, los productores utilizan diferentes plaguicidas, funguicidas y herbicidas. Sin embargo, la tendencia mundial es reducir el consumo de plaguicidas a niveles que no representen un riesgo para salud humana, de animales o el ambiente (OECD, 2016). De tal manera que todas las regulaciones internacionales sugieren seguir las acciones de buenas practicas agrícolas para hacer una agricultura sustentable y al mismo tiempo mantener la calidad e inocuidad alimentaria. Esta tendencia mundial a marcado la pauta para las exigencias de importación/exportación que cada país establece en los límites de residualidad que son permitidos para encontrarse en los productos alimenticios, agrícolas o de comestibles de animales.

Los niveles trazas de plaguicidas son llamados residuos y se han establecido “niveles de residuos máximos” (MRLs por sus siglas en inglés) que son aceptados y tolerados legalmente para encontrarse en un producto cuando se aplica un pesticida correctamente siguiendo las buenas prácticas agrícolas y en la dosis recomendada por la etiqueta del fabricante. Los MRLs son límites de concentración expresados en mg kg^{-1} o ppm y son establecidos por cada país. Además que estos límites están basados por debajo del nivel que puede representar un riesgo a la salud humana (EPA, 2016; FAO, 2016).

Para el aguacate la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de México A.C. (APEAM, 2016), establece los plaguicidas permitidos para utilizarse en el cultivos de aguacate indicando los MRL para México, para la Environmental Protection Agency (EPA) en Estados Unidos y para Japón, los cuales se resumen en la tabla 2.

Se sugieren 18 productos fungicidas para atacar a 12 diferentes enfermedades causadas por hongos (fungus), 25 insecticidas/acaricidas para combatir a 30 diferentes organismos y 5 herbicidas de amplio espectro para combatir a 86 diferentes malezas.

Dentro de los fungicidas listados recomendados, se observó que 10 están exentos de tener un límite residual (LMR) en la legislación Mexicana y EPA, mientras que en Japón sólo 9 productos fungicidas están exentos. Dentro de estos fungicidas el nivel más bajo de LMR es para la Piraclastrobina (0.6 mg kg^{-1}) en Estados Unidos (establecido por la EPA). Mientras que los niveles menos estrictos para ser detectados como residuales en aguacate están dados para el Folpet aplicado sólo con 25 mg kg^{-1} para LMR establecido para México y la EPA o combinado con hidróxido de cobre con un LMR de $30\text{-}32 \text{ mg kg}^{-1}$ para México, EPA y Japón. Por otro lado, el fungicida Tiabendazol es más estricto su LMR en Japón (3 mg kg^{-1}) que en México y la EPA (10 mg kg^{-1}).

En los insecticidas/acaricidas se observó que sólo 2 están exentos de LMR en México, la EPA y Japón, los cuales corresponden al aceite parafínico de petróleo y el azufre elemental. La concentración de LMR más baja y por lo tanto más estricta está dada para Abamectina con 0.02 mg kg^{-1} en las 3 regulaciones (México, EPA y Japón). Mientras que el límite menos estricto para insecticidas/acaricidas en aguacate es para Malation (8 mg kg^{-1}) en las 3 regulaciones, seguido de Bifenazate (7 mg kg^{-1}) para México y EPA. Y en Clorantraniliprol con un LMR de 4 mg kg^{-1} (México y EPA), y en Japón es de 0.5 mg kg^{-1} .

Para los herbicidas están listados como sugeridos sólo 5: Carfentrazone etil, Diquat, Glifosfato, Oxifluren y Simazina. De estos, el Glifosfato es el más utilizado ya que tiene un espectro de acción muy amplio, por combatir a 81 especies de las 86 listadas para aguacate (APEAM, 2016). El Glifosfato tiene un LMR de 0.2 mg kg^{-1} establecida en las tres legislaciones. Otros herbicidas para el aguacate pero con más estricto nivel de LMR son el Oxifluren con LMR de 0.05 mg kg^{-1} para México y EPA, mientras que para Japón es de 0.3 mg kg^{-1} . En el caso del LMR menos estricto, fue para el Carfentrazone etil con 0.1 mg kg^{-1} .

Por otro lado, una alternativa para no hacer uso de plaguicidas químicos y altamente tóxicos, es el uso de compuestos naturales provenientes de extractos de plantas, de microorganismos, e incluso microorganismos vivos para el control biológico de plagas en el cultivo de aguacate. En este sentido la APEAM (2016) sugiere 11 diferentes productos naturales que pueden ser utilizados como plaguicidas (Tabla 3), de los cuales 10 están exentos de tener un LMR en las regulaciones de México, EPA y Japón.

Tabla 2. Fungicidas, plaguicidas y herbicidas; enfermedad/organismo/maleza que atacan y nivel máximo residual (LMR).

Número	Compuesto químico	Enfermedad que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
Fungicidas					
1	Azoxystrobin	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	2	2	1
2	Azufre elemental	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
3	Azufre elemental + Oxicloruro de cobre	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
4	Cyprodinil+Fludioxonil	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	1.2 / 5	1.2 / 5	1 / *
5	Folpet	Viruela de la hoja <i>Cercospora purpurea</i> Mancha de la hoja <i>Septoria</i> sp. Roña <i>Sphaceloma perseae</i> Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	25	25	30
6	Fosetil AL	Tristeza del aguacatero <i>Phytophthora cinnamomi</i>	25	25	150
7	Hidroxido cúprico	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Mancha Purpura <i>Cercospora purpurea</i> Pudricion del fruto <i>Dothiorella</i> sp.	EXENTO	EXENTO	EXENTO
8	Hidroxido cúprico + Folpet	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	EXENTO 30	EXENTO 31	EXENTO 32
9	Metalaxil	Tristeza del aguacatero <i>Phytophthora cinnamomi</i>	4	4	0.2
10	Metalaxil – M	Tristeza del aguacatero <i>Phytophthora cinnamomi</i>	4	4	0.2
11	Oleato Cúprico	Roña <i>Sphaceloma perseae</i>	EXENTO	EXENTO	*
12	Oxicloruro de Cobre	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Cancer <i>Nectria</i> sp. Fumagina <i>Capnodium</i> sp. Mancha de chapopote <i>Phyllachora gratissima</i> Mancha Purpura <i>Cercospora purpurea</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO

... continuación Tabla 2.

Número	Compuesto químico	Enfermedad que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
Fungicidas					
12	Oxicloruro de Cobre	Pudricion de fruto <i>Diplodia</i> sp. Pudricion del fruto <i>Dothiorella</i> sp. Roña <i>Sphaceloma perseae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
13	Oxido Cuproso	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Mancha Purpura <i>Cercospora purpurea</i> Roña <i>Sphaceloma perseae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
14	Piraclostrobina	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	0.6	0.6	*
15	Sulfato Cuprocalcico	Roña <i>Sphaceloma perseae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
16	Sulfato de Cobre	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Mancha Purpura <i>Cercospora purpurea</i> Roña <i>Sphaceloma perseae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
17	Tiabendazol	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Pudricion de fruto <i>Diplodia</i> sp.	10	10	3
18	Tribasico de cobre	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Mancha angular <i>Cercospora purpurea</i> Mancha de chapopote <i>Phyllachora gratissima</i> Pudricion de fruto <i>Diplodia</i> sp. Roña <i>Sphaceloma perseae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
Insecticidas/Acaricidas Organismos que combate					
1	Abamectina	Acaro café <i>Oligonychus punicae</i> Araña Cristalina <i>Olygonychus perseae</i> Araña Roja <i>Oligonychus punicae</i>	0.02	0.02	*
2	Abamectina + Thiamethoxam	Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	0.02 / 0.40	0.02 / 0.40	0.02 / *

... continuación Tabla 2.

Número	Compuesto químico	Organismos que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
	Insecticidas/Acaricidas				
3	Aceite Parafinico de Petroleo	Araña Roja <i>Oligonychus punicae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
4	Azufre Elemental	Acaro café <i>Oligonychus punicae</i> Araña Roja <i>Oligonychus punicae</i> Araña Roja <i>Tetranychus</i> sp	EXENTO	EXENTO	EXENTO
5	Bifenazate	Araña Cristalina <i>Olygonychus perseae</i>	7	7	*
6	Buprofezin	Mosca polvorienta <i>Paraleyrodes perseae</i>	0.3	0.3	0.3
7	Clorantraniliprol + Lambda Cyhalotrina	Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	4 / 0.20	4 / 0.20	0.5 / 0.5
8	Fenpyroximate	Acaro café <i>Oligonychus punicae</i>	0.15	0.15	*
9	Gamma Cyhalotrina	Trips <i>Frankliniella bruneri</i>	0.2	0.2	*
10	Imidacloprid	Chicharrita - <i>Idona minuenda</i> Escama <i>Hemibertesia lataniae</i> Mosca blanca <i>Paraleyrodes perseae</i> Trips <i>Frankliniella occidentalis</i> Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	1	1	0.7
11	Imidacloprid + Gamma Cyhalotrina	Trips <i>Frankliniella bruneri</i>	1 / 0.2	1 / 0.2	0.7 / *
12	Lambdacyhalotrina + Imidacloprid	Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	0.2 / 1	0.2 / 1	0.5 / 0.7
13	Lambdacyhalotrina (Cyhalotrina)	Acaro café <i>Oligonychus punicae</i> Minador de la hoja <i>Gracillarea</i> sp. Mosquita blanca <i>Paleyrodes perseae</i>	0.2	0.2	0.5

... continuación Tabla 2.

Número	Compuesto químico	Organismos que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
		Insecticidas/Acaricidas			
13	Lambdacyhalotrina (Cyhalotrina)	Trips <i>Frankliniella bruneri</i> Trips <i>Frankliniella occidentalis</i> Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	0.2	0.2	0.5
14	Malatión	Agallador de la hoja <i>Trioza anceps</i> Barrenador de ramas <i>Copturus aguacatae</i> Barrenador grande del hueso <i>Heilipus lauri</i> Barrenador pequeño del hueso del aguacate <i>Conotrachelus aguacatae</i> Chinche de encaje <i>Acysta perseae</i> Gusano confeti <i>Pyrrhopyge chalibea</i> Gusano trozador <i>Agrotis subterranea</i> Mosca verde <i>Aethalion quadratum</i> Palomilla del hueso <i>Stenoma catenifer</i> Periquito <i>Metcalfiella monogramma</i>	8	8	8
15	Malation + Gamma Cyhalotrina	Chicharrita - <i>Idona minuenda</i> Trips <i>Frankliniella bruneri</i> Trips <i>Heliothrips haemorrhoidalis</i> Trips <i>Pseudophilothrips perseae</i> Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	8 / 0.2	8 / 0.2	8 / *
16	Methoxyfenozide	Gusano Falso Medidor <i>Sabulodes aegrotata</i>	0.6	0.6	0.7
17	Permetrina	Barrenador grande del hueso <i>Heilipus lauri</i> Barrenador pequeño del hueso del aguacate <i>Conotrachelus aguacatae</i>	1	1	5

... continuación Tabla 2.

Número	Compuesto químico	Organismos que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
	Insecticidas/Acaricidas				
17	Permetrina	Chicharrita <i>Empoasca abrupta</i> Minador de la hoja <i>Gracillarea</i> sp. Mosca blanca <i>Aleurodes</i> sp. Mosca verde <i>Aethalion quadratum</i> Palomilla del hueso <i>Stenoma catenifer</i> Periquito <i>Metcalfiella monogramma</i> Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	1	1	5
18	Pyriproxifen	Escama <i>Hemibertesia lataniae</i>	1	1	1
19	Spinosad	Trips <i>Frankliniella occidentalis</i> Trips <i>Neohydatothrips signifer</i> Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	0.3	0.3	0.3
20	Spinoteram	Trips <i>Frankliniella occidentalis</i>	0.3	0.3	0.3
21	Spirodiclofen	<i>Scirtothrips perseae</i>	1	1	1
22	Spirotetramat	Mosca Blanca <i>Tetraleurodes perseae</i>	0.6	0.6	0.6
23	Thiametoxam	Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	0.4	0.4	*
24	Thiametoxam + Lambdacyhalotrina	Trips <i>Frankliniella occidentalis</i> Chicharrita – <i>Idona minuenda</i>	0.4 / 0.2	0.4 / 0.2	* / 0.5
25	Zeta-cipermetrina	Trips <i>Frankliniella occidentalis</i>	0.5	0.5	0.1

... continuación Tabla 2.

Número	Compuesto químico Herbicidas	Maleza que combate que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
1	Carfentrazone Etil + Glifosato	Acahualillo <i>Bidens pilosa</i> Coquillo <i>Cyperus esculentus</i> Lengua de vaca <i>Rumex crispus</i> Siempreviva <i>Commelina diffusa</i> Zacate liendre <i>Paspalum paniculatum</i>	0.1/0.2	0.1/0.2	0.1/0.2
2	Diquat	<i>Conyza coronopifolia</i> <i>Eleusine multiflora</i> <i>Eragrostis mexicana</i> <i>Reseda luteola</i> <i>Salvia tiliifolia</i> <i>Setaria geniculata</i> <i>Sida acuta</i>	0.2	0.2	0.03
3	Glifosato	Acahualillo <i>Bidens pilosa</i> <i>Agropyron repens</i> <i>Agropyron repens</i> <i>Amaranthus hybridus</i> <i>Amaranthus spinosum</i> <i>Ambrosia artemisiifolia</i> <i>Argemone platyceras</i> <i>Avena fatua</i> <i>Bidens odorata</i> <i>Bidens pilosa</i> <i>Borreria ocymoides</i> <i>Bouteloua gracilis</i>	0.2	0.2	0.2

... continuación Tabla 2.

Número	Compuesto químico Herbicidas	Maleza que combate que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
3	Glifosato	<i>Brachiaria fasciculata</i>			
		<i>Brachiaria mollis</i>			
		<i>Brachiaria plantaginea</i>			
		<i>Brassica campestris</i>			
		<i>Brassica nigra</i>			
		<i>Bromus carinatus</i>			
		<i>Capsella bursa-pastoris</i>			
		<i>Cenchrus echinatus</i>			
		<i>Chenopodium album</i>			
		<i>Chloris virgata</i>			
		<i>Cirsium arvense</i>			
		<i>Clematis dioica</i>	0.2	0.2	0.2
		<i>Commelina diffusa</i>			
		<i>Commelina erecta</i>			
		<i>Convolvulus arvensis</i>			
		<i>Coquillo Cyperus esculentus</i>			
		<i>Crotalaria sanguinalis</i>			
		<i>Cynodon dactylon</i>			
		<i>Cyperus esculentus</i>			
		<i>Cyperus esculentus</i>			
<i>Cyperus rotundus</i>					
<i>Cyperus sp</i>					
<i>Digitaria filiformis</i>					

... continuación Tabla 2.

Número	Compuesto químico Herbicidas	Maleza que combate que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
3	Glifosato	<i>Digitaria sanguinalis</i>	0.2	0.2	0.2
		<i>Echinochloa colonum</i>			
		<i>Echinochloa crus-galli</i>			
		<i>Echinocystis gemella</i>			
		<i>Eleusine indica</i>			
		<i>Epicampes macroura</i>			
		<i>Eragrostis mexicana</i>			
		<i>Euphorbia maculata</i>			
		<i>Galinsoga hispida</i>			
		<i>Galinsoga parvillora</i>			
		<i>Helianthus annuus</i>			
		<i>Hyperthermia rufa</i>			
		<i>Ipomoea crinalix</i>			
		<i>Ipomoea dissecta</i>			
		<i>Ipomoea purpurea</i>			
		<i>Ischaemum rugosum</i>			
		<i>Ixophorus unisetus</i>			
		<i>Lechosilla Euphorbia heterophylla</i>			
		<i>Lengua de vaca Rumex crispus</i>			
		<i>Malva parviflora</i>			
<i>Malva sp.</i>					
<i>Melampodium divaricatum</i>					
<i>Panicum maximum</i>					

... continuación Tabla 2.

Número	Compuesto químico Herbicidas	Maleza que combate que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
3	Glifosato	<i>Panicum repens</i>	0.2	0.2	0.2
		<i>Paspalum bottleri</i>			
		<i>Paspalum distichum</i>			
		<i>Paspalum virginatum</i>			
		<i>Penisetum clandestinum</i>			
		<i>Phalaris minor</i>			
		<i>Poa annua</i>			
		<i>Polygonum argyrocoleon</i>			
		<i>Portulaca oleracea</i>			
		<i>Rumex crispus</i>			
		<i>Setaria geniculata</i>			
		<i>Setaria liebmanni</i>			
		<i>Setaria lutescens</i>			
		<i>Sida acuta</i>			
		<i>Sida neomexicana</i>			
		<i>Siempreviva Commelina diffusa</i>			
		<i>Simsia amplexicaulis</i>			
		<i>Solanum nigrum</i>			
		<i>Sonchus oleraceus</i>			
		<i>Sorghum bicolor</i>			
<i>Sorghum halepense</i>					
<i>Tithonia tubaeformis</i>					
Zacate Johnson <i>Sorghum halepense</i>					

... continuación Tabla 2.

Número	Compuesto químico Herbicidas	Maleza que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
3	Glifosato	Zacate liendre <i>Paspalum paniculatum</i> Zacate pelo de conejo <i>Eragrostis mexicana</i>	0.2	0.2	0.2
4	Oxifluren + Glifosato	<i>Bidens pilosa</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Galinsoga parviflora</i> <i>Oxalis corniculata</i> <i>Portulaca oleracea</i>	0.05/0.2	0.05/0.2	0.03/0.2
5	Simazina	<i>Bidens pilosa</i> <i>Bromus carinatus</i> <i>Chenopodium album</i> <i>Ipomoea purpurea</i>	0.2	0.2	0.2

Elaboración con datos de la Asociación de productores, y empaques exportadores de México A.C. (APEAM, 2016).

Tabla 3. Plaguicidas naturales sugeridos para el cultivo de aguacate.

Número	Compuesto químico	Enfermedad/organismos que combate	LMR México	LMR EPA	LMR Japón
Naturales					
1	Argemonina, Berberina y Ricinina	Araña Roja <i>Oligonychus punicae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
2	Azadiractina	Acaro café <i>Oligonychus punicae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
3	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Barrenador de ramas y tallos del Aguacate <i>Copturus Aguacatae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
		Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
4	<i>Bacillus pomilus</i> QST 2808	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
5	<i>Bacillus subtilis</i>	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
6	<i>Bacillus subtilis</i> QST713	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
7	Extracto de <i>Reynoutria</i> sp.	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	EXENTO	EXENTO	*
8	Extracto de Aceite de Neem	Araña Roja <i>Oligonychus punicae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
9	Extracto de Gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>)	Antracnosis <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
10	Piretrina	Trips <i>Scirtothrips perseae</i>	EXENTO	EXENTO	EXENTO
11	Spinosad	Trips <i>Frankliniella occidentalis</i>	0.3	0.3	0.3
		Trips <i>Neohydatothrips signifer</i>			
		Trips <i>Scirtothrips perseae</i>			

Elaboración con datos de la Asociación de productores, y empaques exportadores de México A.C. (APEAM, 2016).

Contaminación Microbiológica del Aguacate y Medidas de Prevención.

La inocuidad microbiológica es de gran importancia además de la inocuidad química ya que son requisitos indispensables para la comercialización de las frutas y hortalizas, sin embargo, estas han sido asociadas a brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos (ETAs). En los últimos años han aumentado los reportes de ETAs en Estados Unidos y en México debido a que las frutas y hortalizas se caracterizan por ser alimentos consumidos en fresco y tienden a contaminarse fácilmente en el inicio, durante o al final de las etapas de la producción entre otros factores de contaminación.

Según lo reportado por la Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (FAO) indican que dentro de la contaminación existe tres tipos de organismos que pueden ser transportados por las frutas y hortalizas y que representan un peligro para la salud humana: virus (hepatitis A), bacterias (*Salmonella* spp., *Escherichia coli* (*E. coli*), *Shigella* spp. y otras), y parásitos (*Giardia* spp), por ejemplo el Centro de Control y Prevención de Enfermedades (CDC) reportó un brote asociado con la bacteria *E. coli* productora de la toxina Shiga STEC O157:H7 donde se registraron en el Oeste de Estados Unidos personas enfermas por consumo de ensalada con edades aproximadamente entre 5 a 84 años en siete estados, mientras el estudio por Castro del Campo *et al*, (2004) reportó que las frutas y hortalizas como el tomate y el pepino mínimamente procesados afectan la salud humana porque bacterias como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* presentan una alta capacidad de adaptación a diferentes temperaturas de almacenamiento, por tal razón, las hortalizas se caracterizan por estar ubicadas en los 5 alimentos principales asociados a brotes epidemiológicos y se ha atribuido 80% a bacterias como *Salmonella*, *E. coli* y *Shigella*.

Aunque el aguacate tiene pocas probabilidades de contaminarse por patógenos, dado que es un fruto suspendido en las ramas, y durante la aplicación de abonos orgánicos o químicos, no está en contacto directo con ellos, ni con el agua de riego. Además, posee una cascara gruesa. Existen además una serie de actividades obligatorias que fueron establecidas en el Protocolo Sanitario del APHIS/SAGAR para la exportación de aguacate Hass, entre las que destaca que todo fruto caído (posible hospedero de plagas), sea removido del suelo. Esta condicionante implica que no exista basura o desperdicios en el huerto, evitando así posibles vectores de contaminación microbiológica.

El punto más probable que favorezca su contaminación por patógenos es quizá en el empaque del aguacate, por lo que se pueden considerar una serie de recomendaciones que ayuden a prevenirla. Ante esta situación se indican una serie de acciones preventivas entre las que destacan las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y de higiene del personal.

Por todo esto, se recomiendan frecuentes análisis microbiológicos y de ser necesario químicos del agua, y las demás prácticas relacionadas con el agua para procesamiento y para lavado. Otro elemento importante es la capacitación y entrenamiento al personal que labora en las instalaciones de empaque y selección. Entre las principales prácticas para prevenir la contaminación microbiológica en las instalaciones de empaque se recomienda, mejorar los sistemas de drenaje, control de los insectos y roedores, ya que son considerados como vectores de transmisión de patógenos y la recolección continua de basura.

En el Protocolo fitosanitario APHIS/SAGAR, se establecen una serie de instrucciones que previenen que el aguacate para la exportación a los EE.UU. sea contaminado por plagas de insectos nocivos para la sanidad de los huertos aguacateros de los EE.UU. Estas instrucciones obligatorias en las instalaciones de empaque son altamente eficientes e impiden, asimismo la posible contaminación microbiológica. Finalmente, en las etapas finales de su procesamiento, el mantenimiento de las BPM en los procesos de transporte, juega un importante papel en la prevención de los riesgos de contaminación microbiológica.

Conclusiones

México es el principal productor, exportador y consumidor de aguacate del mundo, por lo cual la cadena productiva del aguacate es muy importante desde el punto de vista económico y social. Los productores y empacadores de aguacate para exportar su producto deben de cumplir con una serie de requisitos fitosanitarios en el campo para el control de plagas, enfermedades y malezas con productos permitidos no excediendo las dosis recomendadas. Sumado a esto, deben seguir las recomendaciones de las BPM y de higiene del personal para prevenir la contaminación del fruto por patógenos durante el manejo postcosecha. Obteniendo un producto con la más alta calidad sanitaria y de inocuidad. La combinación de las buenas prácticas de cultivo y las BMP es la mejor estrategia para mantener los estándares de calidad sanitaria que actualmente presenta el aguacate Hass que se produce en estados como Michoacán y Jalisco. Modelo que se está replicando en otros estados para la erradicación de las plagas reglamentadas del aguacatero.

Bibliografía

- Barrientos-Priego, A., y López-López, L. (2002). Historia y genética del aguacate. In: Memoria de la Fundación Salvador Sánchez Colín. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. Coatepec de Harinas, México. pp: 100-121.
- Castro del Campo, N., Chaidez, C., Rubio-Carrasco, W., Valdez-Torres, J.B. (2004). Sobrevivencia de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en frutos

- mínimamente procesados. *Revista Cubana de Salud Pública*. Vol. 30, núm. 1; 83-86.
- CESAVEG. (2008). Campaña de Manejo Fitosanitario del Aguacatero. pp: 1-12
- Huacuja, F. E. (2008). Abriendo fronteras: el auge exportador del aguacate mexicano a Estados Unidos. *Anales de Geografía*. vol. 28, núm.1 9-28.
- SAGARPA. (2011). Monografía de cultivos. Aguacate. Secretaría de Fomento Agropecuario. pp:1-10.
- EPA. 2016. CFR Title 40, Subchapter E, Part 180: Pesticide Tolerances. US EPA, US Environmental Protection Agency (EPA)
- FAO. 2016. International Food Standards CODEX Alimentarius: Standards for Pesticides, annual. Food Agricultural Organization.
- OECD. 2016. OECD Programme on Pesticides and Sustainable Pest Management, in: OECD, A. (Ed.). OECDE, Paris, France.
- SIAP. 2016. Sistema de Información Agropecuaria. , Estadísticas de cultivos agrícolas, Mayo 2016 ed. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Recursos Agropecuarios (SAGARPA).
- SIAVI. 2014. Exportaciones arancelarias de México, Exportaciones de aguacate. ed. Sistema de Información arancelaria via internet. Secretaría de Economía.

Inocuidad en Granos

Lugo-Melchor O. Yadira^{1*}, Marino-Marmolejo Erika N.²

¹Unidad de Servicios Analíticos y Metrológicos, ²Unidad de Medica Farmacéutica, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ). Av. Normalistas #800, Col. Colinas de la Normal. Guadalajara Jalisco. C.P.44270. *Correspondencia: ylugo@ciatej.mx

Resumen

La creciente demanda de alimentos ha requerido una mayor eficiencia en la producción de granos básicos pues se trata de los productos principales en la dieta alimentaria del país. Los granos se consideran inocuos si no ocasionan daño a las personas y a los animales que los consumen. Actualmente, el mundo demanda granos inocuos por lo tanto las regulaciones nacionales e internacionales de los países compradores impactan en la cadena logística y de comercialización de los países productores con el objetivo de satisfacer las crecientes demandas impuestas por los consumidores globales. En el presente capítulo se mencionan cuáles son las principales causas de contaminación que normalmente resultan con pérdidas de inocuidad de los granos como es la presencia de micotoxinas, residuos de plaguicidas, microorganismos de control de calidad y patógenos y los organismos genéticamente modificados.

Introducción

México produce una gran variedad de granos de muy alta calidad ocupa el tercer lugar en producción de alimentos en Latinoamérica y el décimo segundo en el mundo. Los principales granos que México produce son: granos básicos (maíz, frijol, trigo y arroz), granos industriales (sorgo, avena y cebada) y oleaginosas (cártamo, girasol, soya y canola). Hasta el 2014, México destinaba aproximadamente 10 millones de hectáreas para su cultivo (SAGARPA, 2015).

El término grano se utiliza cuando se destinan para la alimentación humana y animal, o como materia prima para la industria; mientras que el término de semilla se utiliza para indicar su uso en la siembra, reproducción y multiplicación de la especie o variedad. Si una semilla pierde o reduce su capacidad para generar una nueva planta, se debe utilizar sólo como grano siempre y cuando no este tratada con productos que pueden afectar la salud humana o animal y que no se le hayan desarrollado compuestos tóxicos o alterando sus cualidades alimenticias (FAO, 2010).

Para garantizar la calidad de los granos y la cantidad ofertada es determinante su almacenamiento, el cual se refiere en concentrar la producción en lugares estratégicamente seleccionados que implique proporcionar a los productos almacenados las condiciones necesarias para que no sufran daños por la acción de

las plagas, enfermedades o del medio ambiente, evitando pérdidas en su peso o reducción en su calidad (FAO, 2010).

Existen diferentes tipos de contaminantes presentes en los alimentos:

- **Biológicos.** Es la producida por agentes vivos o microorganismos (bacterias, hongos, virus, parásitos) o cualquier metabolito primario o secundario que estos produzcan. Generalmente estos agentes no alteran de manera visible los alimentos (cambios de color, textura u olor), por lo que no despiertan ninguna sospecha y pueden causar enfermedad.
- **Químicos.** Es la producida por sustancias químicas. Por ejemplo, plaguicidas, metales pesados, hormonas, etc., también se considera contaminación química la presencia de aditivos no autorizados en cantidades que superen los límites establecidos legalmente.
- **Físico.** Suele deberse a la presencia de sustancias extrañas al alimento: trozos de huesos, plumas, piedras, plásticos, grapas, maderas, cristales, etc. (AESA, 2006).

Hoy en día, el mundo demanda granos inocuos que no ocasionen daños a la salud de humanos y animales. Entre las principales causas de contaminación que resultan con pérdidas de inocuidad de los granos se identifican la presencia de micotoxinas, residuos de plaguicidas, metales pesados, microorganismos de control de calidad y patógenos y los organismos genéticamente modificados.

El consumo de granos contaminados puede ocasionar un daño a la salud de los animales y las personas o causar pérdidas económicas en la producción de carnes, leche y huevos. Por todo esto, existen fuertes regulaciones respecto de los límites máximos permitidos, resultando en serios problemas en la comercialización con pérdidas para países productores de alimentos lo cual impacta en la forma en que los países productores implementan su cadena logística y de comercialización, debiendo adaptarse para satisfacer las crecientes demandas impuestas por los consumidores globales.

Micotoxinas

La infestación inicial de plagas y hongos ocurre en campo durante el período de secado del grano, previo y posterior a la cosecha y tiene una duración de uno a cinco meses. El alto contenido de humedad en el grano durante el almacenamiento favorece el desarrollo de insectos, ácaros, hongos y microorganismos, los cuales al alimentarse disminuyen la cantidad y calidad alimenticia y comercial de grano (Ramírez *et al.*, 1993).

Otro punto importante relacionado con las plagas de almacén es la inocuidad alimentaria. Aguilera (1988) estimó que un 70% de los productores a pequeña escala hace uso de insecticidas para el control de plagas de almacén. Sin embargo, la mayoría no los aplica en forma adecuada, lo que pone en riesgo la salud de los

consumidores y favorece en los insectos el desarrollo de resistencia a los productos utilizados.

La proliferación de hongos en granos almacenados, afecta el aspecto y la calidad del grano, y en el caso de semilla, el poder de germinación. En ocasiones, las sustancias producidas por el metabolismo de los patógenos, resultan tóxicas para el humano y los animales que lo consumen (Ramírez *et al.*, 1993). Algunos de los hongos identificados representan un peligro para la salud del hombre y de los animales domésticos (Moreno, 1988).

El riesgo de contaminación por micotoxinas es una importante preocupación para la inocuidad alimentaria de los granos. Las micotoxinas son metabolitos producidos por algunas especies fúngicas (*Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. y *Alternaria* sp.) que en pequeñas concentraciones afectan la salud humana y animal. Los alimentos contaminados con micotoxinas, específicamente con aflatoxinas pueden ocasionar algunas veces enfermedades agudas fatales y están asociadas con un mayor riesgo de cáncer (Abramson, 1997; D'Mello *et al.*, 1997; Panigrahi, 1997; Smith, 1997).

Existen 5 grupos de micotoxinas que comúnmente se encuentran en granos para consumo humano y animal denominadas como aflatoxinas, vomitoxinas, ocratoxina A, fumonisina y zearalenona (Tabla 1). Entre las micotoxinas reconocidas como de mayor riesgo están las aflatoxinas. Las aflatoxinas son sustancias potencialmente carcinogénicas y mutagénicas, se identificaron por primera vez a inicios de los sesentas ocasionando la muerte de más de 100,000 pavos en una granja de Inglaterra (conocida como la “enfermedad X de los pavos”) que se atribuyó a la presencia de toxinas de *A. flavus* en harina de cacahuete importada de Sudamérica (Austwick, 1978).

Tabla 1. Micotoxinas más comunes, productos afectados y efectos sobre la salud.

Micotoxina	Productos	Especies fúngicas	Efectos de Ingestión
Aflatoxina B1, B2, G1, G2	Maíz, cacahuete y otros productos	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus parasiticus</i>	Aflatoxina B1 es identificada como un potente carcinogénico humano de acuerdo al IARC ¹ . Riesgo de toxicosis en humanos. Efectos adversos en varios animales especialmente pollos.
Deoxinivalenol Nivalenol (Vomitoxina)	Trigo, maíz y cebada	<i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium crookwellense</i> <i>Fusarium culmorum</i>	Toxicosis humana en India, China, Japon y Corea. Toxico para animales especialmente cerdos.
Zearalenona	Maíz, Trigo	<i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium culmorum</i> <i>Fusarium crookwellense</i>	Identificada por la IARC como posible carcinógeno. Afecta el sistema reproductor en animales de laboratorio y cerdos.
Ocratoxina A	Cebada, trigo y muchos otros productos	<i>Aspergillus ochraceus</i> <i>Penicillium verrucosum</i>	Sospechoso por la IARC como carcinógeno humano. Carcinogénico en animales de laboratorio y cerdos.
Fumonisina B1	Maíz	<i>Fusarium moniliforme</i> entre otras especies menos severas	Sospechoso por la IARC como carcinógeno humano. Toxico para cerdos y aves de corral. Leucoencefalomalacia equina (Por sus siglas en inglés, ELEM), fatal enfermedad de caballos.

¹Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (Por sus siglas en Ingles, IARC)

La contaminación por aflatoxinas es muy común en países de África, Asia y América del Sur con climas templados, subtropicales y tropicales. La producción de aflatoxinas puede darse tanto antes como después de la cosecha, en un amplio número de alimentos y piensos, especialmente semillas oleaginosas, nueces comestibles y cereales (Coker, 1997; Pettersson *et al.*, 1989).

Además de ser un riesgo directo para humanos el consumo de granos contaminados con micotoxinas también existe un riesgo indirecto a la salud para aquellas personas que consumen productos animales contaminados con residuos de micotoxinas carcinogénicas (Figura 1). Las micotoxinas se pueden detectar en carne, leche y huevos de animales que han consumido alimento contaminado con dichas toxinas por tal motivo en muchos países tienen estándares de tolerancia para residuos de nicotinas en este tipo de productos. Otra preocupación relacionada con el consumo de alimentos contaminados con micotoxinas por el ganado es la potencial pérdida económica de la salud animal y problemas en productividad. Las aflatoxinas en el alimento para animales se asocian con daños en el hígado de los animales, reducción en la producción de leche y huevo, pérdida de peso y recurrentes infecciones debido a la supresión inmunitaria. Las especies jóvenes son las más vulnerables pero el grado de susceptibilidad varía por especies (Ramos *et al.*, 2015).

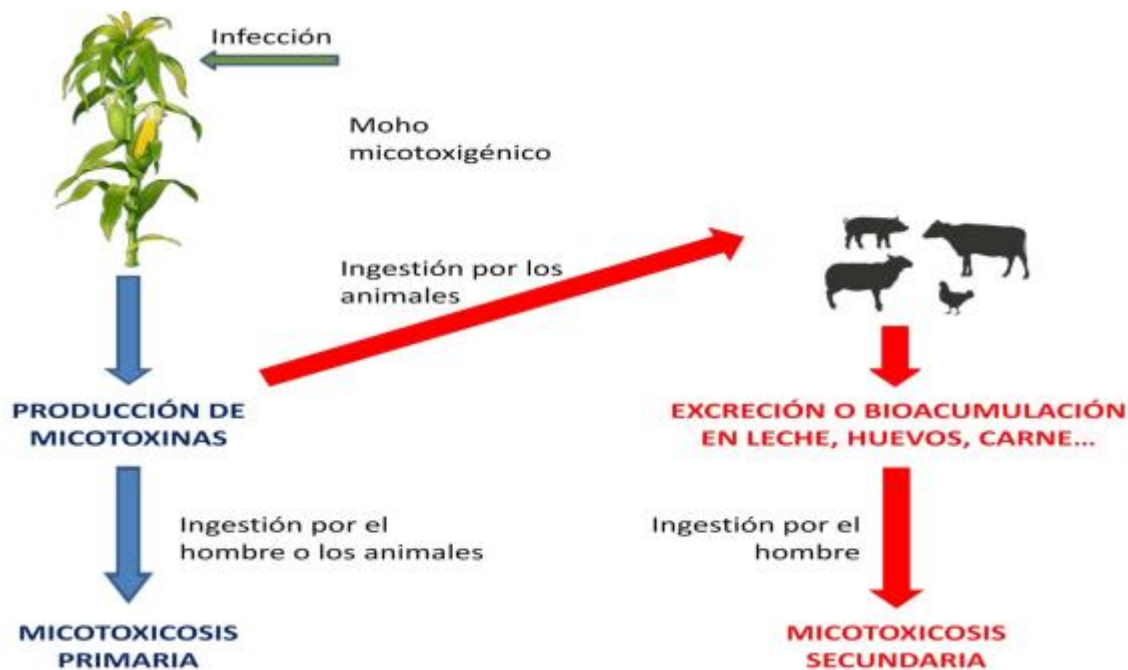


Figura 1. Micotoxinas en la cadena alimenticia (Ramos *et al.*, 2015).

En campo la contaminación se puede dar a medida que los granos se van formando, o cuando éstos posteriormente son almacenados o industrializados. De esta manera los substratos que pueden estar contaminados son muy diversos: granos enteros, granos molidos, harinas, pastas, salvados, germen, alimentos balanceados de uso animal, productos de panadería, etc. Se considera que el daño producido por las micotoxinas en los seres humanos puede ser variable. Las aflatoxinas son unas de las toxinas más peligrosas, habiéndose demostrado que

el consumo repetido de dosis bajas tienen un efecto mutagénico, teratogénico y cancerígeno en animales controlados de laboratorio, además de ser tóxicas a dosis altas. El consumo de alimentos contaminados con aflatoxinas ha sido correlacionado con cáncer hepático de algunas poblaciones humanas de África y Asia.

Hoy en día, los mercados han establecido límites máximos de tolerancia para micotoxinas entre países productores e importadores que acrecientan el problema debido a la tendencia a la exportación de las partidas menos contaminadas a los mercados más exigentes quedando el resto para consumo local. Los niveles de tolerancia para la cantidad de micotoxinas en un producto se establecen en lugar de regular la producción o tratamiento del producto a lo largo de la cadena productiva (Henson y Caswell, 1999).

La mayoría de las regulaciones de micotoxinas existentes se refieren a aflatoxinas en los alimentos y, de hecho, todos los países con regulaciones de micotoxinas tienen al menos tolerancias para la aflatoxina B1 (considerada la aflatoxina más tóxica) o la suma de aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 en alimentos y/o alimentos para animales.

En el siguiente cuadro se mencionan los diferentes contenidos máximos para micotoxinas en los Estados Unidos, Unión Europea y México (Tabla 2).

Tabla 2. Límites máximos de tolerancia (Estados Unidos, Unión Europea y México).

Productos alimenticios	Contenidos Máximos (Partes por billón)
Estados Unidos¹	
Cacahuates crudos (estándar industrial)	15
Alimentos para humanos, maíz y otros granos destinados al consumo para animales inmaduros (incluidas aves de corral) y para animales de producción lechera o cuando no se conoce su destino	20
Piensos para animales con excepción de maíz o la semilla de algodón	20
Maíz y otros granos destinados a la cría de ganado vacuno, cerdos reproductores o aves de corral	100
Maíz y otros granos destinados a cerdos en finalización de 100 lb	200
Maíz y otros granos destinados a ganado vacuno en finalización y para la harina de algodón destinada al ganado vacuno, porcino o avícola	300
Unión Europea²	

Cacahuates, nueces, frutos secos y sus productos transformados, destinados al consumo humano directo	4 (2)
Cacahuates sujetos a clasificación u otro tratamiento físico, antes del consumo humano o uso como ingrediente en los alimentos	15 (8)
Frutos secos y frutos secos que deben someterse a una clasificación u otro tratamiento físico, antes del consumo humano o de su uso como ingrediente en los alimentos	10 (5)
Cereales y productos transformados de los mismos destinados al consumo humano directo o un ingrediente de los alimentos	4 (2)
México³	
Trigo, maíz, arroz, avena, centeno, cebada, sorgo y amaranto, entre otros.	20

...Continuación Tabla 2

¹Administración de Medicamentos y alimentos (FDA, por sus siglas en inglés).

²Reglamento (CE) No 1881/2006 de la Comisión Unión Europea. Número en paréntesis refiere al contenido para la aflatoxina B1.

³Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008.

Para poder garantizar la inocuidad que los granos se conserven en buen estado y libres de contaminantes biológicos que pongan en riesgo la salud del consumidor se deben tomar ciertas medidas de seguridad y un buen método para hacerlo es la implementación de un sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico (por su siglas en Inglés, HACCP) y de producción más limpia.

Para la reducción de micotoxinas deben efectuarse las buenas prácticas agrícolas (BPA) y las buenas prácticas de manufactura (BPM). Se trata de principios generales para prevenir la contaminación para estas micotoxinas que deberán, en su caso, adaptarse a cada ámbito concreto, el clima, las instalaciones de almacenamiento y las condiciones de producción, entre otros factores.

Residuos de plaguicidas

Las aplicaciones de plaguicidas en los cultivos y sus productos de cosecha constituyen un serio riesgo para la salud, el medio ambiente y las exportaciones, si no se utilizan adecuadamente. Las plagas de los granos almacenados son recurrentemente citadas como causantes de pérdidas de calidad y cantidad de granos almacenados. Además de las pérdidas debidas a los insectos hay que agregar otros aspectos que tiene implicaciones comerciales y sociales, como lo son los tratamientos de poscosecha para la protección de los granos contra las plagas, que han sido reportadas como fuente de contaminación de cereales (Balnova *et*

al., 2006 y 2007). En el caso de la poscosecha de granos, la principal causa de contaminación química es el uso incorrecto de insecticidas.

La resolución N° 1075/94 de la ex SAGPyA, establece en las Normas de Calidad y Comercialización de granos, que la mercancía debe estar libre de insectos y ácaros vivos. Cuando un agente de la cadena de comercialización de granos detecta insectos vivos, el lote es rechazado y fumigado, y el dueño de la mercancía infestada debe hacerse cargo de todos los gastos ocasionados, además de los problemas logísticos. Esta exigencia provoca que, a fin de zanjar el problema, se hagan tratamientos reiterados de una misma mercadería, a través de la cadena de comercialización, con insecticidas curativos y/o preventivos con residualidad. Esto genera una problemática adicional relacionada a la presencia de residuos de plaguicidas excesivos en los granos. La contaminación puede ocurrir por el uso de productos indebidos (ej. uso en la poscosecha de insecticidas aprobados para su uso en cultivos extensivos), por sobredosificación de insecticidas permitidos en la poscosecha, por duplicación de dosis en la poscosecha o por no respetar los tiempos de carencia. Al igual que en el caso de las micotoxinas, una vez que un lote de granos se contaminó con residuos de pesticidas se generan serias limitaciones en las posibilidades de uso final del producto e inconvenientes en su comercialización.

La problemática de residuos de plaguicidas es un tema muy estudiado y discutido por organismos internacionales, realizándose continuas modificaciones a los LMR permitidos y a las autorizaciones o prohibiciones de las sustancias utilizadas (FAO, 1990; FAO, 2009; JMPR, 2010; JMPR, 2012; Codex Alimentarius, 2013; Convenio de Estocolmo, 2013).

Respecto al establecimiento de los LMR, como el criterio de BPA o las autorizaciones de plaguicidas pueden variar de un país a otro, esto puede conducir a la fijación de LMR discrepantes según países o grupos de países, es decir una incoherencia a nivel internacional (Coscollá, 1993). Las diferencias son muy notables, no están en absoluto justificadas y constituyen un serio riesgo al comercio internacional actuando como barreras pararancelarias ya que la presencia de niveles de residuos que exceden a los LMR es motivo de rechazo de la mercadería (Toledano *et al.* 1992; Codex Alimentarius 2013; AESAN, 2013). China, la Unión Europea y Japón son los principales destinos de exportación de granos producidos en la República Argentina en los cuales existe una importante intervención estatal, estableciendo reglas estrictas referidas a los alimentos. Uruguay es uno de los países del MERCOSUR que ha establecido mayores exigencias en cuanto a la inocuidad de sus productos (MGAP, 2013).

Como se dijo anteriormente, los LMR establecidos varían entre países. En la Tabla 3 pueden observarse los límites establecidos en los Estados Unidos, la Unión Europea, la Comisión del Codex Alimentarius y la Norma Oficial Mexicana. Los mismos se expresan en microgramos de principio activo por gramo de material vegetal ($\mu\text{g/g}$) o miligramo de principio activo por kilogramo de material vegetal (mg/kg) equivalente a partes por millón (ppm).

Tabla 3. Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas (ppm) la legislación de Los Estados Unidos (USA), la Unión Europea (UE), Codex Alimentarius y México (MEX).

Plaguicida	USA	UE	Codex Alimentarius	MEX
Endosulfán (soya)	-	0,05	1	-
Clorpirifós etil (soja)	0,3	0,05	0,1	0,3
Clorpirifós etil (maíz)	0,05	0,05	0,05	0,05
Clorpirifós metil (maíz)*	6	3	10	10
Pirimifós metil (maíz)*	8	5	7	8
Diclorvós (granos almacenados en general)*	-	0,01	5	-
Cipermetrina (soja)	0,05	0,05	0,1	0,05
Cipermetrina (maíz)	0,1	0,3	0,05	0,05
Deltametrina (granos almacenados en general)*	1	2	2	1
Deltametrina (soja)* 1	0,02	0,05	1	0,1
β-ciflutrina (soja)	0,05	0,02	0,03	0,03
Imidacloprid (soja)	0,01	0,05	2	3,5
Novalurón (maíz)	0,5	0,01	-	0,5

* Uso en poscosecha

*1 no se refiere a su uso en aplicaciones en poscosecha
– no existe LMR en la legislación

(USDA, 2013; EU, 2013; Codex Alimentarius, 2013; CICOPLAFEST, 2015)

La presencia de estos contaminantes debe reducirse mediante la utilización de BPA en la aplicación de plaguicidas, respetando el uso de productos permitidos, las dosis recomendadas y los períodos de carencia, con el fin de alcanzar el máximo nivel de protección de la salud haciendo un uso racional de los plaguicidas (Coscollá, 1993; Arregui *et al.*, 2001; Cavallo, 2006; Arregui *et al.*, 2007; Casini y Santajuliana, 2008; Novo *et al.*, 2011; AESAN, 2013).

Calidad Microbiológica.

La microbiota de los granos de cereales y leguminosas es la proveniente del suelo y el ambiente del depósito, además de la adquirida durante el procesamiento. Aunque tienen alta

concentración de carbohidratos y proteínas, su baja actividad de agua restringe el crecimiento microbiano si se almacenan adecuadamente (Jay *et al.*, 2005).

Las condiciones de almacenamiento, tales como el contenido de humedad de los granos, la temperatura y el tiempo de almacenamiento, son factores críticos en el control de los microorganismos. Las distintas variedades de granos no presentan grandes diferencias entre sí, respecto a las poblaciones microbianas. Los mohos, las levaduras y la mayoría de las bacterias mesofílicas presentes, son indígenas de las plantas. Algunos tipos de granos están constantemente contaminados con mohos tales como *Cladosporium*, mientras que otros contienen *Aspergillus*, *Fusarium*, *Alternaria* y otros.

Los contaminantes bacterianos (coliformes, enterococos, *E. coli*) son aportados por los pájaros, insectos y roedores, están asociados ecológicamente a los granos, La población bacteriana en los granos es alta, pero el número de patógenos es bajo y suele incluir *B. cereus*, *C. perfringens*, *C. botulinum* y en algunos casos *Salmonella* spp. (Downes e Ito, 2001).

El contenido de humedad de los cereales debe ser tan bajo como sea posible para prevenir el crecimiento de mohos. Un aumento de 0,5% en el rango de 14,2 a 15,5% eleva la cantidad del desarrollo de *Aspergillus amstelodami*, *A. repens* y otros en un período de un mes. Como se comentó anteriormente, el ataque fúngico de los granos comienza en el campo antes que el grano esté maduro. La contaminación con micotoxinas puede ocurrir en el campo o durante el almacenamiento y no está limitada a una región geográfica o climática particular (ICMSF, 1998).

Históricamente, la harina de maíz es símbolo de un producto puro y sano. Además, como alimento de baja humedad, no ha sido tradicionalmente un punto de discusión en términos de inocuidad alimentaria (Berghofer *et al.*, 2003).

Sin embargo, recientes acontecimientos han ocasionado que la industria alimentaria y los consumidores reconsideren el nivel de seguridad ofrecido por los productos de trigo. Trabajos científicos han indicado que los contaminantes bacterianos pueden sobrevivir en estado latente por periodos muy largos en harina de trigo, a pesar de que el bajo contenido de humedad, y emerge de la latencia cuando la harina se conserva a ambientes más receptivos al crecimiento tales pastas o mezclas (Cheli *et al.*, 2013; Eglezos, 2010).

El brote multiestado de infecciones por *Escherichia coli* O157:H7 en los Estados Unidos en el 2009 asociado por el consumo de masa de galleta pre-ensugada lista para hornear, representa el ejemplo más reciente y que llamo la atención por el daño ocasionado por productos que contienen masa cruda (Neil *et al.*, 2012). Esto dista de ser un evento aislado, ya que la seguridad de los productos a base de harina de trigo se ha visto amenazada a lo largo de los años. Se han detectado niveles bajos de contaminación por *Salmonella* en la harina de trigo; harinas y mezclas a base de harina han estado involucrados en alimentos brotes ocasionados por *Salmonella* (Berghofer *et al.*, 2003; Gilbert *et al.*, 2010; Richter *et al.*, 1993; Sperber, 2007; FDA, 2005; Zhan *et al.*, 2007; Neal, 2009). Coliformes y especies genéricas de *E. coli* son comúnmente utilizadas como indicadores de contaminación fecal en muchas industrias

alimenticias para evaluar la inocuidad microbiológica de las condiciones ambientales de los procesos y alimentos. Sin embargo, algunas especies de bacterias entéricas normalmente viven y se alimentan de materia orgánica muerta (ejemplo, plantas), por todo esto esos microorganismos están comúnmente presentes en granos o productos molturados hasta cierto punto (Bensassi *et al.*, 2011). Además, estos microorganismos se han encontrado en harina de trigo, donde altos niveles pueden indicar deficiencia en las prácticas de higiene o manejo y una presencia potencial de patógenos transmitidos fecalmente (Aydin *et al.*, 2009; Berghofer *et al.*, 2003; Ritcher *et al.*, 2003; Sperber, 2007).

Usualmente la harina de trigo está contaminada con esporas de *Bacillus* como resultado de contaminación del proceso o después del proceso (Sorokulova *et al.*, 2003). Las especies de *Bacillus* se ha asociado con el deterioro de alimentos que contienen harina (ej. deterioro del pan por enmohecimiento) así como también con incidentes en inocuidad alimentaria (Dierick *et al.*, 2005; Fangio *et al.*, 2010; Sorokulova *et al.*, 2003; Thompson *et al.*, 1993; Bennett y Belay, 2001). La presencia de especies de *Bacillus* patógenos formadores de esporas, como *B. cereus*, en alimentos con almidón como la pasta de trigo frecuentemente origina enfermedades transmitidas por alimentos severas (Dierick *et al.*, 2005; Delbrassinne, 2011; Naranjo *et al.*, 2011).

Organismos Genéticamente Modificados

A medida que avanza el conocimiento y se originan nuevos avances tecnológicos, se convierten en nuevas herramientas rápidas y poderosas para dar soluciones a problemas que nos aquejan. Un caso especial es la producción de alimentos en donde la diversidad y utilidad de las aplicaciones de la biotecnología moderna, ha logrado aminorar las hambrunas, reducir el ritmo de incorporación de áreas de bosques y selvas a la agricultura, pero aun así el daño ocasionado al medio ambiente y a la salud, por las prácticas agrícolas intensivas y el uso de agroquímicos no tiene comparación en la historia de la humanidad. El ser humano ha utilizado desde hace más de 25 años organismos genéticamente modificados (OGMs) y de manera indirecta productos que se obtienen a partir de ellos, para ayudar en la solución en diversos sectores de bienestar humano, como son, el sector salud, producción de alimentos y recuperación de ecosistemas contaminados.

En el sector alimenticio, son muchas las plantas transgénicas que se consumen como alimento y que han permitido de manera importante la reducción de las cantidades de pesticidas químicos. En la actualidad más de 690 millones de hectáreas de tierra se cultivan con plantas transgénicas en 27 países y los organismos transgénicos y sus productos se consumen en más de 50 países. Los países con mayor producción son Estados Unidos de América, Argentina, Brasil, Canadá, India, China, Paraguay y Sudáfrica. Otros países de América en los que se siembran OGMs son, Chile, Uruguay, Colombia, Honduras y México. Esta producción se consume en al menos 51 países (Bradford, 2005).

Los alimentos obtenidos en particular de los cultivos genéticamente modificados son, desde el punto de vista de su inocuidad, los productos más exitosos y más vigilados de la historia de la agroindustria mundial, su uso promovió la creación de un marco legal que permitiera el manejo seguro y responsable para un aprovechamiento sustentable de los mismos. Así, en México se elaboró, durante más de 10 años de discusión y aportes de los distintos actores involucrados,

entre los que se encuentran legisladores y servidores públicos (federales y locales), así como representantes de la academia, de la sociedad civil organizada y de la cadena agroindustrial, uno de los marcos regulatorios más rigurosos a nivel mundial para poder incorporar estas tecnologías innovadoras a la producción agropecuaria nacional. Todo el conocimiento y la maquinaria analítica desarrollados para estudiar la química, la fisiología y la genética de los productos agrícolas convencionales utilizadas para evaluar su riesgo y garantizar su inocuidad, también han permitido evaluar con amplio detalle la inocuidad de los productos genéticamente modificados. Es sin duda, una herramienta poderosa aplicable a corto o largo plazo en prácticamente cualquier cultivo con diversos fines, como son, el control de plagas, la calidad nutricional y de manera realmente asombrosa la adaptación a la escasez de agua o climas extremos. La aprobación de toda planta transgénica como alimento, requiere de un protocolo de análisis para demostrar su inocuidad. Como lo establece el Protocolo de Cartagena y la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM), la evaluación del riesgo debe de considerar las características del OGM, el nuevo gen insertado y la proteína que codifica, el análisis de todos los productos del metabolismo y por ende de la composición de la planta, así como los efectos no intencionales de la modificación (CIBIOGEM, 2008).

Después de llegar a un consenso internacional sobre los principios que deben regir la evaluación en materia de inocuidad y después de recibir opiniones favorables de diversos organismos internacionales, públicos y privados, incluida la Organización Mundial de la Salud (OMS), se autorizó el cultivo, para consumo humano en más de 21 países de, maíz, soya, arroz, jitomate, papaya y calabaza genéticamente modificadas, entre otras. En todas ellas se verificó que la modificación genética implicara cambios que beneficien y no afecten al consumidor (CDC, 2001).

Las plantas transgénicas se comercializan desde 1996, y las que a la fecha se siguen utilizando no han ocasionado efectos nocivos a la salud humana o a la biodiversidad, más allá de los que ocasiona la agricultura convencional. La preocupación de que los OGMs ocasionen transformación y pérdida de especies existentes utilizadas en la agricultura y las que forman parte de la biosfera, se minimiza porque hay evidencias, cada vez más contundentes, de la plasticidad del genoma y de que los fenómenos de cambios y reorganización del genoma, transcriptoma y proteoma ocurren de manera cotidiana y natural en la biosfera, al margen de los transgénicos. Muchos de ellos ocasionados por el fenómeno natural denominado transferencia horizontal de ADN. Otro ejemplo más es la gran variedad de cultivos no transgénicos que se han generado por rearrreglos del genoma de manera natural o las modificaciones realizadas por los humanos por técnicas de mejoramiento tradicionales. Es importante señalar que a la fecha no hay evidencia sólida sustentada científicamente y comprobada por diversos grupos de investigación de daño a la salud humana, ni al medio ambiente o a la biodiversidad por el uso de los organismos transgénicos o sus productos, aunque la ausencia de evidencia de daño no implica la ausencia de riesgo (Chauvet, 2005). A pesar del esfuerzo en la regulación es importante señalar que no se puede generalizar la inocuidad de los cultivos genéticamente modificados aprobados, así como tampoco se puede asegurar el riesgo de los que aún no han alcanzado la aprobación (Bernstein, 2003; Bertoni, 2005). Derivado de esta aseveración, cada nuevo producto debe de ser analizado con el mismo rigor con el que han procedido hasta ahora las instancias regulatorias (públicas y privadas). Todos los países deben incluir la seguridad ambiental al evaluar la viabilidad de cultivos genéticamente modificados, México en particular por ser centro de origen de diversas especies vegetales.

Analizando el contexto, quizá el riesgo más grande es quedar al margen del uso de esta tecnología, derivado del arraigo alimenticio y cultural, por ejemplo los principales cultivos de granos alimenticios modificados genéticamente son, soya, arroz, trigo y maíz; el maíz es una especie base en la alimentación de la población y del cual aún persisten variedades nativas silvestres que representan un reservorio de genes para la humanidad, la resistencia a el bajo o nulo consumo, cultivo e importación de maíces modificados genéticamente va de la mano a la desinformación, que en la situación del país pueden ser una buena opción para resolver problemas específicos, de tipo ambiental, agronómico y en especial nutricionales (Brush, 2004). La importancia de este cultivo radica en que es el principal grano de consumo alimenticio a nivel mundial, con un alto valor estratégico para México, lo que representa un reto y una enorme responsabilidad para el propio gobierno en el manejo del maíz incluyendo los genéticamente modificados. Diversos estudios científicos han demostrado la inocuidad a nivel de toxicidad en el consumo del maíz modificados (de las diversas variedades modificadas) lo que indica un riesgo bajo o nulo en cuanto el efecto de la salud de los consumidores, sin embargo, la principal preocupación radica en que, como se sabe la planta es de polinización abierta lo que conlleva a ser la especie agrícola de mayor variedad genética hasta ahora conocida y lo que permite que se cultive en un amplio rango de ambientes lo que ha permitido prácticas de intercambio, selección y almacenamiento de semillas, dichas prácticas pudieran en algún momento al ser liberados los cultivos transgénicos de maíz representar pérdidas de diversidad nativa.

Las liberaciones al ambiente cultivos genéticamente modificados se han llevado a cabo en un régimen legal relativamente limitado y enfocado sobre todo desde el sector agrícola, no se cuenta con información fundamentada acerca de los efectos del uso de estos cultivos biotecnológicos en el ambiente. Por tal motivo se requiere con urgencia integrar de manera consistente la información relevante sobre el uso de plaguicidas y herbicidas en esto, en comparación con los convencionales. Adicionalmente es necesario generar información de línea base y fomentar la investigación en materia de bioseguridad sobre los efectos de estos cultivos a organismos “no blanco”, a la diversidad biológica y al medio ambiente, en comparación con otras opciones agrícolas como los cultivos convencionales y sus prácticas relacionadas.

De manera independiente de las distintas aplicaciones de los cultivos transgénicos, el reto para México es el monitoreo de OGMs en el ambiente. Este monitoreo debe ser inclusivo y extenso y debe de considerar la participación local de grupos interesados e informados, Así como instrumentar una red de laboratorios con la infraestructura para apoyar las tareas de detección, identificación y cuantificación de OGM, con protocolos rigurosos acreditados para respaldar resultados, ya que no es lo mismos desarrollar OGMs que desarrollar y estandarizar técnicas para su identificación, que cumplan con controles de calidad que permitan en un momento determinado, la toma de decisiones son significancia legal y comercial.

En México en 1999 se conformó la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), la cual busca de manera incluyente generar políticas y coordina acciones sobre el tema entre las dependencias del gobierno federal con competencia en la materia. La CIBIOGEM, como se establece en la Ley de Bioseguridad, incluye además un consejo consultivo científico y un consejo consultivo mixto, lo que debería garantizar una mayor participación pública y una toma de decisiones fundamentada científicamente. Además, en México, también se cuenta con la Red Mexica de Laboratorios de

Detección de OGMs (RNLD-OGM) la cual desarrolla los protocolos generales derivados del Centro Nacional de Referencia en Detección de Organismos Genéticamente Modificados (CNRDOGM). Esta red de laboratorios realiza la detección y cuantificación de cinco eventos de modificación, dos eventos en maíz, dos eventos en soya y un evento en trigo (CIBIOGEM, 2008).

Estos eventos van dirigidos a las modificaciones que permiten determinar presencia o ausencia de material genéticamente modificado en una muestra a partir de secuencias reguladoras, además de conocer la característica introducida al detectar el gen y también a definir el porcentaje de material modificado en la muestra total.

Uno de los desafíos a los que hay que hacer frente es cumplir con lo que la LBOGM dicta en sus artículos 86, 87 y 88 (<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LBOGM.pdf>). En estos artículos se establece que la SAGARPA y la SEMARNAT, mediante acuerdos y de manera conjunta, deben determinar tanto las especies que tienen su centro de origen y de diversidad genética en México, como las áreas donde estas se encuentran, con el fin de que en estas zonas no se lleven a cabo liberaciones al ambiente de los OGM de esa especie. No es una tarea sencilla. Por ejemplo, para el caso del maíz, definir las áreas de diversidad genética donde se encuentran actualmente variedades, razas y parientes silvestres requiere información de la línea base sobre la distribución tanto de poblaciones silvestres de las distintas especies de teocintle, como de registros actualizados de las numerosas variedades y razas de maíz que se consideran un reservorio genético, información con la cual no se cuenta o es incompleta, debido a que las decisiones acerca de la productividad del maíz y de otros granos se han guiado más por los precios en el mercado y la demanda, más que por una visión de soberanía y autosuficiencia (Brush, 2004).

El uso racional del conocimiento moderno, en el contexto de un plan y una política nacional para el campo y la alimentación que permitan preservar la biodiversidad al mismo tiempo que se potencian los recursos naturales y los procesos tradicionales con el concurso de una sociedad informada, es el reto para el gobierno, la industria y el sector académico a nivel nacional para hacer frente a los vertiginosos desarrollos biotecnológicos del siglo XXI.

Conclusiones

Actualmente, la inocuidad alimentaria, es un tema todavía no muy conocido por la población en general. La atención mundial se ha enfocado principalmente a aplicar controles que permitan garantizar la inocuidad en sistemas de producción de frutas y hortalizas, ya que con estos productos se realiza el mayor intercambio comercial entre los países en desarrollo y los más desarrollados. A su vez, inicialmente los principales contaminantes que se tomaron en cuenta en las legislaciones, fueron los de origen químico y entre los de origen biológico se enfocaron todos los esfuerzos para eliminar principalmente bacterias y virus que pusieran en riesgo la salud del consumidor, dejando por fuera a los hongos y sus metabolitos secundarios. Como se vio anteriormente, las legislaciones actuales donde se toman en cuenta como contaminantes a los hongos y sus metabolitos secundarios como las micotoxinas son muy recientes. Además con respecto a la legislación de nuestro país, solo se mencionan límite para las aflatoxinas y no para las demás micotoxinas, por lo que todavía nos falta mucho por

legislar al respecto, ya que la salud de la población en general estará en riesgo constante, mientras no se legisle al respecto. Por lo pronto, solo nos queda seguir consumiendo cereales y sus derivados, procurando consumir aquellos que presenten algún hongo productor de micotoxinas, aunque su presencia no sea señal inequívoca de la presencia de este tipo de contaminantes. Por otro lado, los esquemas de producción más limpia son un prerrequisito para obtener los estándares de la Norma Nacional que garantiza la calidad de los alimentos.

Bibliografía.

- Abramson, D., 1997. Toxicants of the genus *Penicillium*. In: D'Mello, J.P.F. (Ed.), Handbook of Plant and Fungal Toxicants. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 303-317.
- AESAN. 2006. Agencia Española de Seguridad Alimentaria. España.
- AESAN. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. 2013. Legislación. Residuos de plaguicidas. Publicado en Internet, disponible en <http://www.aesan.msc.es>. Activo Noviembre de 2013.
- Aguilera, P. M. 1988. Marco de referencia del sistema postcosecha del maíz en el estado de Guanajuato. In: Primera Reunión Científica, Forestal y Agropecuaria. Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Centro de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (CIFAP). Guanajuato, Guanajuato. p. 21 (Publicación Especial Núm. 17).
- Arregui M.C., Bertolaccini I., D'Angelo C.H., Herzog L.J., Paravano A., Sanchez D., Scotta R. y Sillón M. 2001. Manejo de Agroquímicos en cultivos extensivos. Ed. Universidad Nacional del Litoral. Argentina. 422 pp.
- Arregui M.C., Bertolaccini I., Herzog L.J., Sanchez D. y Scotta R. 2007. Manejo de plagas, enfermedades y malezas en cultivos extensivos. Ed. Universidad Nacional del Litoral. Argentina. 424 pp.
- Austwick, P.K.C. (1978). Mycotoxicoses in Poultry, págs. 279-301. En *Mycotoxic Fungi, Mycotoxins, Mycotoxicoses: An Encyclopedic Handbook. Volume 2: Mycotoxicoses of Domestic and Laboratory Animals, Poultry, and Aquatic Invertebrates and Vertebrates*. Wyllie, T.D. y Morehouse, L.G. (eds.). Marcel Dekker, Inc, Nueva York, Estados Unidos de América.
- Aydin, A., Pulsen, P., and Smulders, J.M. 2009. (a) The physico-chemical and microbiological properties of wheat flour in Thrace. *Turkish journal of agricultura and forestry*. 33: 445-454.
- Balinova, A.; Mladenova, R.; Obretenchev, D. 2006. Effect of grain storage and processing on chlorpyrifos-methyl and pirimiphos-methyl residues in post-harvest-treated wheat with regard to baby food safety requirements. *Food Additives and Contaminants* 23 (4): 391 – 397.
- Balinova, A.; Mladenova, R.; Shtereva, D. 2007. Study on the effect of grain storage and processing on deltamethrin residues in post-harvest treated wheat with regard to baby-food safety requirements. *Food Additives and Contaminants* 24 (8): 896 – 901.
- Bennett RW, Belay N. 2001. *Bacillus cereus*. In: *Microbiological Examination of Foods*, (Eds. PF Downes, K Ito), American Public Health Association, Washington DC, pp. 311-324.
- Bensassi, F., Mahdi, C., Bacha, H., Hajlaoui, M.R. 2011. Survey of the mycobiota of freshly harvested wheat grains in the main production areas of Tunisia. *African Journal of Food Science*. 5:292-298.

- Berghofer, L.K., Hocking, A.D., Miskelly, D., and Jansson, E. 2003. Microbiology of wheat and flour milling in Australia. *Int. J. Food Microbiology*. 85:137-149.
- Bernstein V. A. et al. 2003. Clinical and laboratory investigation of allergy to modified foods. *Environ Health Perspect*. 111, 1114-1121
- Bertoni G., Marsan P. A. 2005. Safety risks for animals fed genetic modified (GM) plants. *Veterinary Research Communications* 29(2), 13-18.
- Bradford K. J., Van Deynze A., Gutterson N., Parrot W., Strauss S. H. 2005. Regulating transgenic crops sensibly: lessons from plant breeding, biotechnology and genomics. *Nature Biotechnology*. 23, 439-444.
- Brush, S., y M. Chauvet. 2004. Evaluación de los efectos sociales y culturales asociados con la producción de maíz transgénico. Capítulo 6 de los documentos de discusión del informe Maíz y biodiversidad: Los efectos del maíz transgénico en México, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, en <http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=espanol&ID=1430>.
- Cavallo A. 2006. Plaguicidas: qué son y cómo usarlos. SIMA Ed. Córdoba. Argentina. pp. 189.
- Casini, C. y M. Santajuliana. 2008. Control de plagas en granos almacenados. INTA EEA Manfredi. Publicado en Internet, disponible en <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/postcosecha/ControlPlagasGranosAlmacenados.asp> Activo Noviembre de 2013.
- Chauvet, M., y A. Gálvez. 2005. Learning about biosafety in Mexico: Between competitiveness and conservation. *International Journal of Biotechnology* 7:62-71.
- Cheli, F. Luciano, P. Luciana, R. and Vittorio, D. 2013. Effect of milling procedures on mycotoxin distribution in wheat fractions: A review. *LWT - Food Science and Technology* 54:307-314.
- CIBIOGEM, 2008. Bioseguridad en la aplicación de la Biotecnología y el uso de los organismos genéticamente modificados. Comisión intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. México.
- Codex Alimentarius. 2013. Normas alimentarias FAO/OMS. Publicado en Internet, disponible en www.codexalimentarius.net. Activo Noviembre de 2013.
- Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes. 2013. Publicado en Internet, disponible en <http://chm.pops.int/>. Activo Noviembre de 2013.
- Consulta Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LBOGM.pdf>
- CDC, 2001. Investigation of human health effects associated with potential exposure to genetically modified corn: A report of de us food and Drug Administration for the Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, USA. Centers for Disease Control and Prevention. 1-24.
- Coker, R.D. (1997). Mycotoxins and their control: constraints and opportunities. *NRI Bulletin* 73. Chatham, Reino Unido: Natural Resources Institute.
- Coscollá R. 1993. Residuos de plaguicidas en alimentos vegetales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. España. pp. 205.
- Delbrassinne L., et al. 2011. Follow-up of the *Bacillus cereus* emetic toxin production in penne pasta under household conditions using liquid chromatography coupled with mass spectrometry. *Food Microbiology*. 28:1105–1109.
- D'Mello, J.P.F., Macdonald, A.M.C., 1997. Mycotoxins. *Animal Feed Science Technology*. 69, p. 155-166.
- Dierick K, Van Coillie E, Swiecicka I, Meyfroidt G, Devlieger H, Meulemans A, Hoedemaekers G, Fourie L, Heyndrickx M, Mahillon J. 2005. Fatal family outbreak of *Bacillus cereus*-associated food poisoning. *J Clin Microbiol* 43:4277–9.

- Downes FP, Ito K, eds. 2001. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. 4^a ed. APHA, Washington, p. 223, 327, 549.
- Eglezos, S. 2010. Microbiological Quality of Wheat Grain and Flour from Two Mills in Queensland, Australia. *Journal of Food Protection*. 73:1533-1536.
- FAO. 1990. Food and Agriculture organization of the United Nations. Guidelines on Producing Pesticide Residues Data from Supervised Trials. Rome.
- FAO. 2009. FAO plant Production and protection. Paper 197 (2nd edition): Manual on the Submission and Evaluation of Pesticide Residues Data for the estimation of maximum residue levels in food and feed. Publicado en internet, disponible en http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/FAO_manual2nded_Oct07.pdf Activo Noviembre de 2013.
- FAO. 2010. Seeds in Emergencies: A technical handbook. FAO Plant Production and Protection Paper. p. 88.
- Fangio MF, Roura SI, and Fritz R. 2010. Isolation and Identification of *Bacillus* spp. and Related Genera from Different Starchy Foods. *Journal of food science*, 75:218-221.
- Gilbert, S., R. Lake, P. Cressey, N. King. 2010. Risk profile: Salmonella in cereal grains. New Zealand safety authority. Available at: <http://www.foodsafety.govt.nz/elibrary/industry/salmonella-in-cereals.pdf> Accessed 13 de noviembre 2016.
- ICMSF. 1998. Microorganisms in food. Vol 6: Microbial Ecology of Food Commodities. Blackie Academic & Professional, London, p. 313.
- Henson, S, and Caswell J. "Food Safety Regulation: an Overview of Contemporary Issues." *Food Policy*, 24. (1999): 589-603.
- Jay MJ et al. 2005. *Modern Food Microbiology*. 7^a ed. Springer, New York, p. 199.
- JMPR. 2010. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. Pesticide residues in food 2010. Publicado en internet, disponible en <http://www.fao.org/docrep/013/i1949e/i1949e.pdf> Activo Marzo de 2014.
- JMPR. 2012. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. Pesticide residues in food 2012. Publicado en internet, disponible en <http://www.fao.org/docrep/017/i3111e/i3111e.pdf> Activo Noviembre de 2013.
- MGAP, 2013. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Oriental del Uruguay. Publicado en Internet, disponible en <http://www.mgap.gub.uy/DGSSAA/Normativa/NORMATIVA.htm> Activo Noviembre de 2013
- Moreno M. E. 1988. Manual para la identificación en granos y sus derivados. Coordinación de la investigación científica. Programa universitario de alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D. F. p. 109
- Naranjo, M., S. Denayer, N. Botteldoorn, L. Delbrassinne, J. Veys, J. Waegenare, N. Sirtaine, R.B. Driesen, K.R. Sipido, J. Mahailon and K. Dierick. 2011. Sudden Death of a Young Adult Associated with *Bacillus cereus* Food Poisoning. *J. Clin. Microbiol.* 49:12 4379-4381.
- Neal, G. 2009. An outbreak of human salmonella caused by flour. Proceedings of the Sixteenth Australian HACCP Conference, 24 to 28 August, Sydney, Australia.
- Neil K. P., Biggerstaff G., MacDonald J. K., Trees E., Medus C., Musser K. A., Stroika S. G., Zink D., Sotir M. J. 2012. A Novel Vehicle for Transmission of *Escherichia coli* O157:H7 to Humans: Multistate Outbreak of *E. coli* O157:H7 Infections Associated With Consumption of Ready-to-Bake Commercial Prepackaged Cookie Dough--United States, 2009. *Clinical Infectious Diseases*. 54:511-518.

- Novo R., Cavallo A., Cragolini C., Nobile R., Bracamonte E., Conles M., Ruosi G. Y Viglianco A. 2011. Protección Vegetal. 4^o edición. Ed. SIMA. Córdoba. Argentina. pp. 492.
- Panigrahi, S., 1997. Alternaria toxins. In: D'Mello, J.P.F. (Ed.), Handbook of Plant and Fungal Toxicants. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 319-337.
- Pettersson, H., Holmberg, T., Larsson, K. y Kaspersson, A. (1989). Aflatoxins in acid-treated grain in Sweden and occurrence of aflatoxin M1 in milk. Journal of the Science of Food and Agriculture 48, 411-420.
- Ramírez, M.M., Zurbia, F.R.R. y Díaz, A.L. 1993. Ecología del almacenamiento y el combate de insectos: Control físico y biológico en insectos de granos y semillas almacenados. In: Insectos de granos almacenados: biología, daños, detección y combate. INIFAP-CIRCE-CEBAJ. p. 110-146 (Libro Técnico Núm. 1).
- Ramos A.J., Sanchis V., y Marin S. (2015). Las micotoxinas: un problema que resurge con fuerza. <http://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/146314-Las-micotoxinas-un-problema-que-resurge-con-fuerza.html>
- Richter KS, Dorneanu E, Eskridge KM, Rao C. 1993. Microbiological quality of flours. Cereal Foods World. 38:367–369.
- SAGARPA. 2015. Atlas Mundial Agroalimentario. Ciudad de México.
- Smith, J.E., 1997. Aflatoxins. In: D'Mello, J.P.F. (Ed.), Handbook of Plant and Fungal Toxicants. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 269-285.
- Sorokulova IB, Reva ON, Smirnov VV, Pinchuk IV, Lapa SV, Urdaci MC. 2003. Genetic diversity and involvement in bread spoilage of Bacillus strains isolated from flour and rOPY bread. Lett Appl Microbiol 37:169–73
- Sperber WH. 2007. Role of microbiological guidelines in the production and commercial use of milled cereal grains: a practical approach for the 21st century. Journal of Food Protection. 70:1041–53.
- Thompson JM, Waites WM, Dodd CER. 1998. Detection of rope spoilage in bread caused by Bacillus species. J Appl Microbiol 85:481–6.
- Toledano R., Escribano J., Camara M., Navarro S. y Barba A. 1992. Residuos de plaguicidas en productos agrícolas. Campaña 1992. Murcia. España. Bol. San. Veg. Plagas, 19: 664-671
- U.S. Food & Drug Administration. 2005. Bulletin to the Food Service and Retail Food Store Industry Regarding Cake Batter Ice Cream and Similar Products.
- Zhang G, Ma L, Patel N, Swaminathan B, Wedel S, Doyle MP. 2007. Isolation of *Salmonella* Typhimurium from outbreak-associated cake mix. Journal of Food Protection. 70:997–1001.

Inocuidad de Chile Habanero en la Producción Primaria

Pacheco-López Nelth A.^{1*}, Patrón-Vázquez Jesús A.¹, Ramos-Díaz Ana L¹, Talavera-Ayora Teresa R.¹

¹Centro de investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, CP 97302, Yucatán, México.*Correspondencia: npacheco@ciatej.mx

Resumen

La creciente demanda del chile habanero como ingrediente básico del arte culinario mexicano y como materia prima para la obtención de productos derivados y compuestos fitoquímicos de interés biológico como la capsaicina, ha llevado al incremento en su producción y como consecuencia al establecimiento de parámetros que permitan mantener en los productos poscosecha la calidad e inocuidad requerida para su venta en el mercado nacional como en los mercados extranjeros. Adicionalmente la denominación de origen adquirida en el 2010 se suma a la necesidad de los productores y comercializadores por obtener las certificaciones requeridas para en un futuro poder sustentar dicha denominación. Con lo anterior se han buscado estrategias para el desarrollo de protocolos y manuales que favorezcan el desarrollo de los productores, así como metodologías para su supervisión y estudios enfocados a la evaluación de la inocuidad del chile habanero.

Introducción

En los últimos años la producción mundial de chiles se ha incrementado significativamente debido a la creciente demanda de este producto tanto en fresco como seco (FAOSTAT 2015). En México las principales variedades de chile que se cultivan son el jalapeño, serrano, poblano, morrón y habanero, ya que forman parte de la tradicional gastronomía mexicana y se exportan principalmente a países como: Estados Unidos, Japón, Corea del Sur, Italia y Alemania. En particular, las condiciones del suelo de la región sureste del país hacen a los estados pertenecientes a la península de Yucatán, como los principales productores de chile habanero (*Capsicum chinense jacq*). Este chile se encuentra distribuido en toda la península, donde se observan diferentes formas, colores y tamaños del fruto. El cultivo tiene gran importancia económica para los productores de hortalizas ya que ocupa el segundo lugar, después del cultivo del tomate, en cuanto a superficie cultivada. Del total de la producción anual el 80% se comercializa como fruto fresco (SAGARPA, 2014).

Aunado a lo anterior, el tema de inocuidad y calidad de alimentos se ha convertido en la última década en una nueva percepción de valor del cliente o el consumidor. Por lo que la inocuidad y calidad de los productos alimenticios forman parte de un conjunto de requisitos que ayudarán al productor o empresario a lograr sus metas de negocios.

El Chile Habanero de la Península de Yucatán cuenta con una denominación de origen según la Declaratoria General publicada por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial en el Diario Oficial de la Federación del 4 de junio de 2010. La cual, establece la protección comercial para sus diferentes presentaciones. Sin embargo, dicha denominación de origen no establece

las regulaciones aplicables a esta industria para proteger la salud de los consumidores. Debido a que la inocuidad y calidad de los alimentos se encuentran sujetos a una serie de regulaciones tanto en México para el consumo nacional, como para el extranjero en los proyectos de exportación, es indiscutible establecer parámetros que puedan regir la calidad e inocuidad del fruto fresco del chile habanero.

Por tanto, la Unidad Sureste del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), mediante diversas estrategias ha promovido el fortalecimiento de la producción del chile habanero creando programas de buenas prácticas para que empresas y productores puedan cumplir las regulaciones legales aplicables en materia de calidad e inocuidad. Así también se diseñó una matriz reguladora para apoyar a los diferentes integrantes de la cadena de valor en la producción, proceso y transformación del chile habanero de la península de Yucatán que incorpora diferentes normas oficiales en México, Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón.

Adicionalmente la importancia de este producto no es sólo como alimento, sino como fuente para la obtención de compuestos fitoquímicos como los capsaicinoides, los cuales, dentro de otras muchas aplicaciones reportadas, pudieran ser aplicados como agentes antimicrobianos que aporten beneficios a otros productos alimenticios. Por tal motivo el interés hacia la obtención de estos compuestos ha llevado al desarrollo de trabajos al respecto, buscando metodologías adecuadas para la extracción y cuantificación de los mismos.

Chile habanero: descripción, origen y composición

La planta de chile habanero es una solanácea que tiene como fruto una baya poco carnosa y hueca, cuenta con 3 a 4 lóbulos, posee forma de trompo muy picante y aromática de color verde antes de alcanzar la madurez; sin embargo, cuando madura puede presentar variantes de color amarillo, naranja, rojo, morado o café. El grado de pungencia depende de la variedad y las semillas se alojan en las placentas, son lisas y pequeñas, con testa de color café claro a oscuro, y su periodo de germinación varía entre ocho y quince días (Medina-Lara *et al.*, 2008).

Existen autores que hacen referencia como centro de origen del chile habanero a los países Bolivia, Perú, sureste de Brasil, Los Andes y Colombia. Sin embargo, este fruto también puede ser encontrado en otros países como África y el sureste de Asia debido a que fue introducido por los portugueses en la época colonial. La distribución también se dirigió hacia la cuenca del Orinoco (ubicada actualmente en territorios de Colombia y Venezuela) hacia Guyana, Surinam, la Guyana Francesa y las Antillas del Caribe (González *et al.*, 2006), y posteriormente fue introducido al sureste de México.

En cuanto a la composición del chile habanero, se ha determinado que los frutos de las especies de *capsicum* en general contienen ácidos grasos, una pequeña cantidad de aceites esenciales, pigmentos, compuestos pungentes, resinas, proteínas, celulosa, pentosas y minerales. La concentración de dichos compuestos varía dependiendo de la variedad, modo de cultivo, condiciones climáticas, estado de maduración en que se cosecha el fruto, entre otros parámetros. Existen trabajos que reportan la presencia de cantidades significativas de vitaminas B, C y pro vitamina A (Purseglove *et al.*, 1981). Por lo anterior el chile es considerado una fuente de colorantes naturales, vitaminas y minerales. También, se ha demostrado la presencia de compuestos polifenólicos mismos que han sido estudiados por su actividad biológica relacionada con la reducción del riesgo de contraer cáncer, problemas

cardiovasculares y otras enfermedades crónico-degenerativas. Los compuestos pungentes, son conocidos como capsaicinoides, los cuales también poseen propiedades analgésicas, antiinflamatorias, antioxidantes e incluso anticancerígenas al inhibir el crecimiento dependiente de andrógenos en células cancerígenas de seno, colon, adenocarcinoma gástrico y de próstata, además de ser reportados como agentes antimicrobianos contra bacterias y hongos (Herrera Hernández, *et al.*, 2015). La importancia de los capsaicinoides se debe a que además de proporcionar el sabor picante característico en los chiles son utilizados por la industria farmacéutica, de armas, tabacalera, cosmética y de pinturas, como ingrediente activo en diversos productos (Borges *et al.*, 2010).

Principales problemas de contaminación

El chile habanero es un producto hortofrutícola que en la actualidad ha comenzado a tener gran demanda comercial tanto en México como en otros países del mundo; la cual ha sido impulsada por los atributos sensoriales característicos del fruto y por su elevado contenido de capsaicinoides (Kehie *et al.*, 2013; Medina-Lara *et al.*, 2008; Pino *et al.*, 2007). Por otro lado, la demanda comercial siempre va ligada a la inocuidad y a la buena calidad del fruto, por tanto, para mantener una buena comercialización en el mercado se debe poner especial atención en su manejo.

Según el Codex Alimentarius, la inocuidad alimentaria es la garantía de que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se preparen y/o consuman de acuerdo con el uso a que se destinan (FAO, 2001). Se vincula estrechamente con los aspectos de calidad nutricional y al control de los elementos no nutritivos que pudieran volver inseguro al alimento. La calidad y la inocuidad de un alimento están reguladas estrictamente por normas y demás disposiciones legales dentro del territorio de un país (Díaz-Sobac and Vernon-Carter, 1999). En ellas se describen ciertas características que debe tener el alimento y restringe otras que lo convierte en inseguro para el consumidor.

La producción primaria del chile habanero es especialmente vulnerable a la pérdida o reducción de la calidad nutricional e inocuidad, debido a que el cultivo está expuesto a las condiciones medioambientales, a patógenos y a agentes químicos. Por tanto, hay que estar consciente de los principales factores de contaminación que permitan la pérdida de la calidad e inocuidad.

Contaminación física

En cualquier etapa de la producción primaria del chile habanero, ciertos objetos pueden incrustarse o depositarse en los frutos. Por sí mismo no representan una alteración o peligro al alimento agrícola; sin embargo, su presencia supone un factor de riesgo a la salud humana al ser ingerido. Materiales como limaduras de metales o piezas de vidrio roto ocasionalmente llegan al fruto y pueden producir heridas al consumidor. También cabellos, materiales de empaque, insectos y roedores representan una contaminación física. Estos dos últimos son de especial cuidado porque suelen ser indicadores de una posible contaminación microbiológica y por tanto se deben adoptar medidas preventivas para evitarlo.

Contaminación microbiológica

La contaminación ocasionada por microorganismos patógenos es uno de los mayores retos en seguridad alimentaria. Los productos agrícolas como el chile, contienen una flora microbiana inherente que no representan un riesgo a la salud. Sin embargo, diversas fuentes pueden transmitir patógenos hacia ellos y que al ser ingeridos por los seres humanos ocasionan severas enfermedades. Una de esas fuentes es la materia fecal. Se ha reconocido que las heces fecales de animales y de humanos son reservorios de bacterias, como *Escherichia coli* y *Salmonella enterica*, y de protozoos como *Giardia lamblia*. La manera en como el fruto puede estar en contacto con heces fecales es debida a la deposición directa de animales en las plantas; también lo es la cercanía de los plantíos a cañerías de aguas residuales y a granjas que generen purines (Dourou *et al.*, 2011; Fablet *et al.*, 2006; Plutzer *et al.*, 2010; Walle *et al.*, 2012).

Otra forma de contaminación por contacto fecal es debida al uso de fertilizantes orgánicos a base de estiércol. Generalmente se usa excremento de rumiantes como vacas, ovejas y ciervos para producirla; pero también es un riesgo potencial de contaminación por *E. coli* serotipo O157:H7 (Walle *et al.*, 2012). La utilización de este tipo de fertilizante es una actividad creciente que deja a un lado a los fertilizantes inorgánicos, debido a su seguridad ecológica. Pero debe realizarse un proceso de estabilización para que no sea un riesgo microbiológico. Un tratamiento barato aplicable es la aeración; éste consiste en dejar el estiércol expuesto a las condiciones climáticas del lugar. Factores como la temperatura, humedad y radiación solar pueden reducir la carga de microorganismos dañinos; sin embargo se ha descrito que el proceso genera malos olores, requiere de largos tiempos de espera y no siempre destruye a los patógenos (Barrington *et al.*, 2003). Otra alternativa más viable y eficaz es la digestión anaeróbica, que puede aplicarse al estiércol o a una combinación de éste con forraje, para obtener biogás y abono orgánico libre de patógenos (Coté *et al.*, 2006; Massé *et al.*, 2011).

El agua es otro vector con el que se puede contaminar el fruto de chile habanero. En la agricultura, el agua es destinada al riego de los cultivos y al lavado de los frutos. Pero se ha reconocido que diversos organismos pueden prevalecer en este recurso hídrico, como protozoos (*G. lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora cayetanensis*); diversas bacterias (*E. coli*, *Listeria monocytogenes*, especies patógenas de *Salmonella* y *Shigella*, *Vibrio cholerae*), e incluso algunos tipos de virus como la que produce la hepatitis A (Ashbolt, 2004; Fernández-Molina *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2010). La presencia de los anteriores puede deberse a daños en las tuberías de distribución de agua potable, a procesos inadecuados en el tratamiento de aguas residuales destinadas al uso agrícola o a la infiltración de aguas negras y materia fecal en los cuerpos acuáticos de abastecimiento.

Durante el proceso de cosecha, almacenamiento y transporte, los frutos de chile habanero pueden ser sensibles a contaminación microbiológica provocada por la manipulación de los trabajadores. Empleados enfermos, con heridas o con pocos hábitos higiénicos son un riesgo importante y un foco de transmisión a considerar. Por tanto, se deben tomar medidas que impliquen la capacitación del personal en materia de principios básicos de higiene y sanidad. El nivel de conocimiento dependerá de las operaciones o tareas que realicen. Otra acción involucra el cese de la actividad de un empleado enfermo o con una herida que no se puede cubrir para evitar que entre en contacto con el producto.

Actualmente en México no se tienen datos oficiales de alertas relacionadas con la contaminación microbiológica de vegetales frescos en el país, incluido chile habanero. Sin embargo, la Administración de alimentos y medicamentos (FDA) de los Estados Unidos de América, ha emitido cerca de 22 alertas sanitarias, entre los años 2009-2016, en contra de diferentes chiles producidos en México (mayormente serrano y jalapeño) debido a contaminación por *Salmonella*. Los principales estados productores involucrados fueron Sonora, Baja California, Monterrey y Veracruz (US-FDA 2016a). No se tienen datos para el chile habanero.

Contaminación química

Hoy en día el uso de plaguicidas (o pesticidas) en los cultivos agrícolas de chile habanero representa una de las principales fuentes de contaminación química. El término plaguicidas ha sido acuñado para describir a un gran número de sustancias químicas usadas para controlar las plagas, sus vectores, ciertas plantas y otros agentes etiológicos que perjudican el crecimiento normal y sano de los cultivos. Las clases de plaguicidas más comunes son insecticida, herbicidas, rodenticidas y fungicidas (Costa y Aschner, 2014; Eddleston, 2016).

Pese a la utilidad que un plaguicida pueda tener en el campo, la toxicidad inherente es seria. En los seres humanos se han reportado intoxicaciones severas con plaguicidas organofosforados y carbamatos, los cuales producen daños en el tracto digestivo, en glándulas exócrinas, en el corazón y en el sistema nervioso central. Algunos síntomas asociados a la intoxicación son incremento de la salivación, calambres abdominales, diarrea, vómitos, bradicardia, taquicardia, parálisis facial, letargo, convulsiones, depresión del centro respiratorio y coma (Costa y Aschner, 2014).

El herbicida paraquat (dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilio), usado generalmente para eliminar la maleza antes de la siembra de diversos frutos, incluido el chile habanero (Martínez-Valenzuela *et al.*, 2009; INIFAB, 2015), ha mostrado severos efectos tóxicos en los seres humanos al ser ingerido. A concentraciones menores de 20 mg kg⁻¹ puede ocasionar en las personas náuseas, diarrea, emesis y hemorragia intestinal. A concentraciones mayores de 40 mg kg⁻¹ produce quemaduras en el estómago, diarrea, hemorragia intestinal y el fallo de multiórganos (hepático, renal, adrenal, pancreático, sistema nervioso central, y respiratorio). Por otro lado, estudios recientes han indicado que ciertas enfermedades neurodegenerativas como Parkinson y Alzheimer están estrechamente ligadas a la exposición e intoxicación con Paraquat (Baltazar *et al.*, 2014; Dinis-Oliveira *et al.*, 2008).

Debido a los efectos tóxicos que pueden provocar, diversos países han prohibido, restringido y adoptado límites máximos de residuos (LMR) de plaguicidas en alimentos y productos agrícolas. En México la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST) en conjunto con la Secretaría de Salud (SSA) han publicado una lista de restricción y prohibición de determinados plaguicidas (Tabla 1) y de sus LMR en alimentos agrícolas.

Tabla 1. Lista de plaguicidas con restricción y prohibición en México. Actualización 2004.

Restringidos	Prohibidos	
DDT	Triamifos	Formotión
Aldicarb	Ácido 2,4,5-T	Fluoracetato de sodio (1080)
Forato	Aldrín	Fimusel
Lindano	Cianofos	Kepone/Clordecone
Metoxiclor	Cloranil	Mirex
Mevinfos	DBCP	Monurón
Paraquat	Dialifor	Nitrofén
Pentaclorofenol	Dieldrín	Schradán
Quintozeno	Dinoseb	Acetato o propionato de fenil mercurio
	Endrín	
	Erbón	

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en coordinación con el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad, y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) han conducido un programa de monitoreo de plaguicidas en productos agrícolas. Los primeros estudios realizados en el 2005 revelaron 49 casos de plaguicidas no autorizados en diversos tipos de chile, que representó el 16.3% de las muestras evaluadas. Así también se registraron cinco casos donde el valor excedió el LMR (1.7%), dos casos de restricción (0.7%) y uno que mostró un plaguicida prohibido (0.3%). Nuevas investigaciones llevadas a cabo en 2007 manifestaron siete productos de chile con plaguicidas no autorizados (15.9 %). Ninguna muestra de *Capsicum chinense* Jacq. fue analizada en el programa de monitoreo (SENASICA, 2008).

En la actualidad la FDA de los Estados Unidos de América ha emitido 10 alertas sanitarias por la presencia de plaguicidas fuera de normativa en chiles habaneros. De los anteriores tres proceden de Yucatán a causa de contaminación con monocrotofos, carbendazim y pymetrozine (U.S. Food and Drug Administration-FDA, 2016b).

Situación actual

Actualmente en la zona sureste se ha llevado a cabo diferentes trabajos enfocados en el uso adecuado de las semillas para mejorar el cultivo de chile habanero y también se ha creado un manual de buenas prácticas. En estos trabajos el gobierno del estado de Yucatán y otros centros públicos de investigación han colaborado extensivamente.

Entre los productores de la región se encuentran aquellos que siembran a cielo abierto, en invernaderos y se han hecho algunos avances en cultivos hidropónicos, si bien la mayoría de los productores son pequeños, existen empresas que cuentan con certificaciones tanto en el manejo de los cultivos como en la industrialización del Chile habanero y productos derivados. En el caso particular de una empresa ubicada en el sur del Estado de Yucatán, la principal salida del producto es al exterior del país, aunque cuentan con la firma de convenios con empresas nacionales como proveedores de materia prima. Dicha empresa se enfocó a la producción del chile debido a la falta de confiabilidad de los productos ostentados como orgánicos por otras empresas, ya que en dos ocasiones ha detectado compuestos restringidos en productos que estaban destinados para exportación, siendo la mayoría de estos fertilizantes y productos para el control de plagas, lo que los ha llevado a establecer puntos críticos de

evaluación durante el cultivo del chile, teniendo un estricto control en el desarrollo de plagas mediante el uso del control biológico (Figura 1).

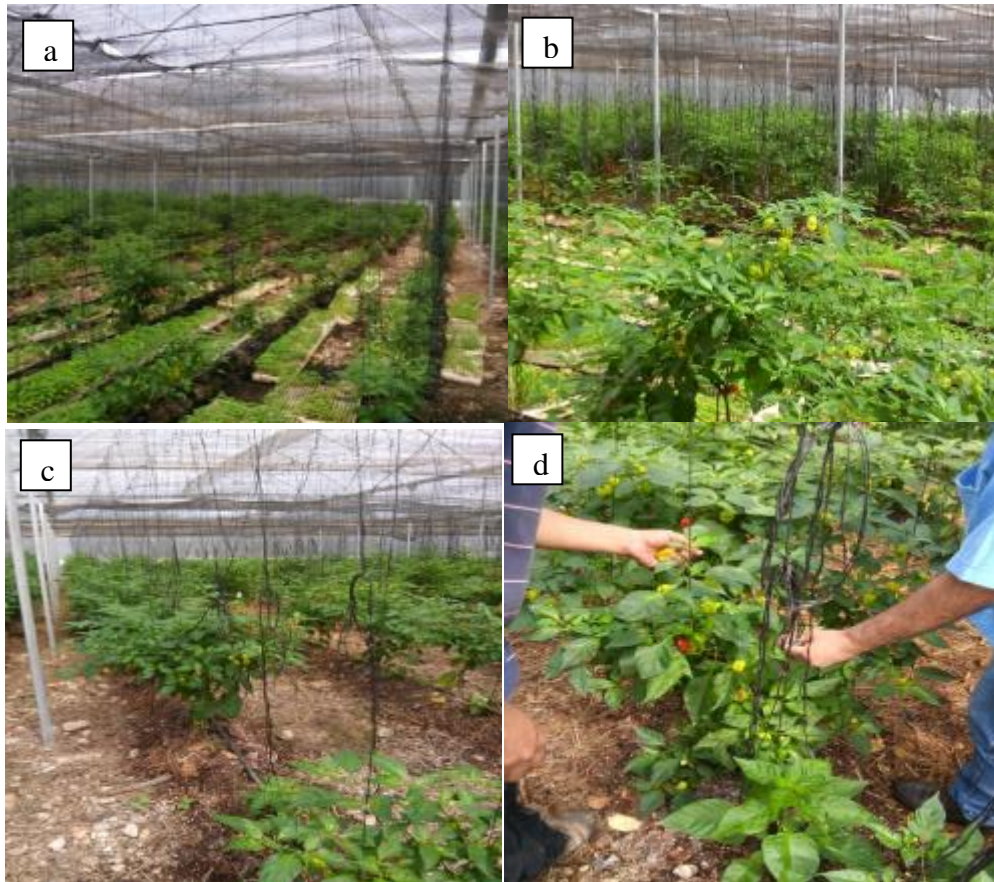


Figura 1. Vista Interna de un invernadero de producción indeterminada de Chile habanero en suelo directo. (a) Plantas y semilleros con plántulas, (b) organización de las filas de siembra, (c) sistema de riego por cinta de goteo y (d) frutos de Chile habanero.

En cuanto a cultivos a cielo abierto, se han realizado visitas en plantaciones en comunidades del norte de Quintana Roo, en donde se observaron cultivos en los que utilizan técnicas rurales y químicas para el manejo de plagas y enfermedades (Figura 2). Se pudo observar un buen manejo de plantas auxiliares como la albahaca y la berenjena para reducir los daños por mosquita blanca, que hasta al momento comentan que han tenido muy buenos resultados, sin embargo, todavía manejan insecticidas tóxicos para eliminar otro tipo de insectos. En este tipo de cultivos que por lo general se encuentran alejados de las poblaciones es muy común observar la falta de sanitarios en las distancias permisibles, así como el consumo de alimentos.

Por otro lado, existen grandes empresas dedicadas a la producción de diversos productos de la región en los que se incluyen el chile habanero, como es el caso de una de las principales industrias productoras de la región que cuenta con plantaciones al oriente del estado y que se encuentra en proceso de certificación, por lo que han establecido manuales y normatividades para los diferentes procesos. Además, cuentan con la infraestructura necesaria como son: Sanitarios, área de almacén de contenedores vacíos, área de almacén de agroquímicos, espacio para el lavado de material, etc., sin embargo todavía falta implementar técnicas de inocuidad alimentaria y capacitación (Figura 3).



Figura 2. Plantación a cielo abierto de Chile habanero y Chile Xcatic: (a y b) plantas de albahaca y berenjena sembradas al inicio de la hilera. (c) plantaciones de chile.



Figura 3. (a) Invernadero con cultivo en tubos con sustrato inocuo (b) contenedores con soluciones nutritivas. (c) áreas de lavado y desecho de contenedores de agroquímicos vacíos.

De los estudios realizados en CIATEJ se cuenta con trabajos en los que se ha evaluado la calidad e inocuidad de los productos frescos, así como el contenido de los compuestos de interés, lo anterior de acuerdo a las especificaciones de la Normatividad Mexicana. Dentro de los resultados más relevante se reportan las características físicas y fisicoquímicas de productos frescos de diferentes localidades de acuerdo a la norma NMX-FF-025-SCFI-2007, los cuales se presentan en la Tabla 2, que al ser comparados con lo reportado por autores como Troconis *et al.*, (2012) presentaron valores similares. El análisis del porcentaje de superficie de defectos indicó que los lotes analizados presentaron mayoritariamente la categoría extra por el bajo contenido de defectos, indicando el buen manejo pre y post cosecha de los productos. En cuanto a los resultados de color se obtuvo un Ángulo Hue de 73.08°, mientras que para el segundo lote 68.70°, valores acordes a lo reportado en la normatividad, en cuanto a la escala de color, las investigaciones realizadas por Vazquez *et al.*, (2007) indican que para el chile habanero significaría que entre más cercano esté el valor a 0° más rojo es el producto y por el contrario, un valor cercano a 100° indicarían tonalidades amarillentas. Existen estudios realizados por Pino *et al.*, (2006) donde midieron el color de superficie en chile habanero naranja y el Ángulo Hue osciló entre 62.3° hasta 72.8° resultados similares a los obtenidos por nuestro equipo de trabajo e indicativos de una buena calidad del producto.

Tabla 2. Parámetros físicos y fisicoquímicos en chile habanero fresco.

Características		Lote 1	Lote 2
Físicas	Peso (g)	7.88 ± 1.71	7.59 ± 0.59
	Largo (cm)	4.36 ± 0.69	4.44 ± 0.67
	Ancho (cm)	2.79 ± 0.35	2.68 ± 0.20
Color	L*	52.24 ± 2.79	60.17 ± 3.5
	a*	13.28 ± 0.25	18.72 ± 1.37
	b*	43.68 ± 1.18	48.23 ± 1.71
Categoría	Extra (0 – 0.5% de defectos)	75 %	60.2 %
	Primera (0.5 - 2% de defectos)	16.6 %	21.1 %
	Segunda (2 – 3 % de defectos)	0 %	7.4 %
	Industrial (3 - 25 % de defectos)	8.3 %	11.2 %
Fisicoquímicas	pH	5.51 ± 0.04	5.33 ± 0.01
	°Brix	7.5 ± 0.0	6 ± 0.0
	Acidez Titulable	0.33 ± 0.04	0.26 ± 0.01

De la caracterización fisicoquímica se observó que los valores de pH se encontraron alrededor de 5.5, lo que concuerda con Pino *et al.*, (2006) quienes reportaron valores de pH en un rango de 4.9 hasta 5.4 de chile habanero cultivado en la Península de Yucatán. El porcentaje de acidez titulable fue similar a lo reportado por Chan *et al.*, 2011 quien lo atribuye al contenido de ácido ascórbico del fruto, valor que varía en función de la senescencia del producto. De la misma forma los sólidos solubles o °Brix en los productos frescos están representados por el contenido de sólidos disueltos totales que en la mayoría de los casos son azúcares tales como sacarosa, fructosa y galactosa.

En cuanto a la inocuidad de los productos evaluados los resultados se presentan en la tabla 3 en los que se determinó la presencia de microorganismos, las muestras de los lotes de chile habanero evaluadas presentaron una carga de mesofilos aerobios para el lote 1 de 3700 UFC/g y para el lote 2 de 7250 UFC/g, por lo que se encuentra en valores aceptables según la NOM-093-SSA1-1994, donde el límite máximo permisible es de 1.5×10^5 UFC/g, atribuido a microflora inicial. Para el conteo de coliformes totales se tomó en cuenta el límite máximo permisible de 100 UFC/g, obteniendo para el primer lote valores superiores alrededor de 350 UFC/g, estos conteos pueden deberse a diferentes factores como el sistema de cultivo, fuentes de contaminación como el uso de suelos contaminados, el riego con agua de pozo contaminada entre otros. Con respecto a los recuentos de hongos en chile habanero fresco los resultados obtenidos fueron bajos de acuerdo a diferentes estudios realizados para vegetales en estado fresco. Lugo *et al.*, (2009) y Sharma (2005) reportaron valores en un intervalo de 2 a 5 log₁₀ UFC/g en vegetales crudos, resultados son similares a los obtenidos en este estudio. Los principales hongos contaminantes son miembros del género *Penicillium*, *Aspergillus*, *Sclerotinia*, *Botrytis* y *Rhizopus*, los cuales son asociados con la actividad celulolítica y pectinolítica, la cual es responsable del ablandamiento y ruptura de la estructura vegetal (European Commission, 2002). Los recuentos de levaduras en chile habanero fresco fueron superiores a los obtenidos con hongos y a los reportados por Lugo *et al.*, (2009), si bien la contaminación con levaduras no presenta un riesgo de enfermedad para el consumidor, los

recuentos elevados en chile habanero frescos pueden afectar la apariencia del fruto y favorecer el deterioro.

En relación a los resultados obtenidos para la extracción de capsaicinoides se muestran en la figura 4, en donde se obtuvieron valores en un intervalo de 35,755 hasta 47,366 μg de capsaicinoides totales/g base seca (536,728 - 710,047 Unidades Scoville), lo cual coincide con lo reportado en la literatura para el chile habanero naranja, el cual oscila entre los valores de 145,950 hasta 892,719 Unidades Scoville, determinando a la capsaicina y dihidrocapsaicina como compuestos mayoritarios; sin embargo, los resultados obtenidos fueron inferiores a los estudios realizados por Pino *et al.*, (2006), quienes reportan valores en un intervalo 47,800 - 64,900 μg de capsaicinoides totales/g base seca (973,500 - 717,000 Unidades Scoville). El CODEX stan establece que si las Unidades Scoville en chile son mayores a 100,000 Unidades Scoville, los productos pertenecen a la categoría “Muy picante”, sin embargo, la NOM-189-SCFI-2012 de la declaratoria de Chile habanero de la península de Yucatán establece que el rango en que se deben encontrar en contenido de capsaicinoides del chile habanero en cuestión al parámetro pungencia es de 100,000 a 300,000 Unidades Scoville, por lo que los valores obtenidos se encuentran dentro de norma al tomar el contenido de capsaicinoides totales.

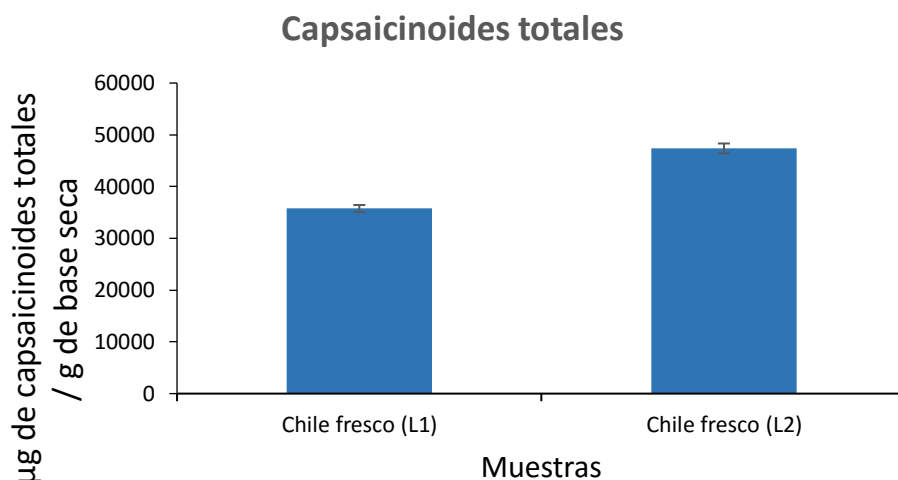


Figura 4. Contenido de capsaicinoides totales en muestras de chile habanero fresco

Los extractos de capsaicina fueron evaluados en cuanto a su actividad antimicrobiana mediante la determinación de la Concentración Mínima Inhibitoria de los extractos, obteniendo actividad contra los microorganismos *E. coli*, *S. typhimurium* y *S. aureus*, resultando valores de CMI de 1,500 μg de capsaicinoides totales/g base seca para los extractos del fruto fresco analizado. Estudios recientes han demostrado que el chile habanero posee actividad antimicrobiana. Brito *et al.*, (2009) lo atribuye a una fracción proteica G10P1.7.57 en semillas de chile habanero la cual inhibió el crecimiento in vitro de *P. syringae*, *X. campestris*, *E. carotovora*, *P. aeruginosa*, *Agrobacterium sp.*, *Shigella flexneri*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*. La actividad antimicrobiana que presentan diversas especies de *Capsicum* contra microorganismos patógenos de alimentos ha sido ampliamente estudiada a partir de extractos y oleorresinas obtenidas de los frutos, estudios relacionados

con las propiedades antimicrobianas han confirmado el efecto inhibitorio del crecimiento microbiano en varios grados (Kurita *et al.*, 2002).

Estrategias para la conservación de la calidad e inocuidad

Con base a la situación actual de la región se desarrollaron manuales de buenas prácticas agrícolas enfocados a los productores de chile habanero los cuales contiene los procedimientos y formatos que se requieren para evidenciar el diseño, aplicación y ejecución de las buenas prácticas agrícolas en la producción en campo abierto y en invernadero o malla sombra y empaque de frutos frescos de chile habanero de la Península de Yucatán. Con un alcance para el mercado nacional y de exportación, desde la preparación de la plantación hasta su embarque al mercado de destino, con el objetivo de que el productor de chile habanero cuente con una herramienta para que pueda diseñar un programa de buenas prácticas agrícolas para asegurar un nivel básico en las características de inocuidad y calidad que debe satisfacer su sistema de producción. El programa incluye: La ubicación de Instalaciones productivas, equipo de producción, gestión de plagas, gestión de agroquímicos, fertilizantes y combustibles, calibración y mantenimiento, prácticas del personal, gestión del agua de consumo y riego, producción, cosecha y empackado en campo, limpieza y sanitización, almacenamiento y transporte, manejo de desechos, con los formatos recomendados para cada uno de los componentes (Pacheco *et al.*, 2015a).

Así mismo se desarrolló una matriz regulatoria con el objetivo de generar una herramienta de referencia normativa en México y los principales países de destino para el comercio de productos y subproductos de Chile Habanero de la Península de Yucatán para satisfacer los requisitos en materia de inocuidad y calidad y otros aspectos comerciales y técnicos, a fin de facilitar a los integrantes de la cadena productiva el cumplimiento de dichas regulaciones. Lo anterior mediante la utilización de un estándar de referencia global para enlistar de forma integral los elementos que debe cumplir una unidad productiva o de proceso de Chile Habanero de la Península de Yucatán. Teniendo como referencia la normativa mexicana de cumplimiento obligatorio para las empresas que se dedican a la producción y transformación de Chile Habanero de la Península de Yucatán y la normativa de cumplimiento obligatorio en Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón para las empresas que se dedican a la producción y transformación de Chile Habanero de la Península de Yucatán con fines de exportación. Además de conocer aquellas normas de carácter obligatorio que pueden afectar aspectos técnicos o comerciales adicionales a la normatividad en materia de inocuidad y calidad de alimentos que puede afectar la viabilidad de la comercialización de Chile Habanero de la Península de Yucatán y subproductos. En la tabla 3 se muestran los elementos referenciados en la matriz regulatoria para Chile Habanero de la Península de Yucatán en estado fresco (Pacheco *et al.*, 2015 (B))

Tabla 3. Elementos referenciados en la matriz regulatoria para Chile Habanero de la Península de Yucatán en estado fresco.

NO.	REQUISITOS GENERALES DE INOCUIDAD Y CALIDAD	PRODUCCIÓN EN CAMPO/ INVERNADERO
Productos a los cuales son aplicables		
	<i>Frescos y procesados en general</i>	<i>Fruta fresca de campo abierto e invernadero</i>
1	Compromiso de la gerencia	Requisitos de las instalaciones
2	Control de documentos y registros	Áreas de manejo y almacenamientos de productos y equipos
3	Especificaciones y desarrollo del producto	Higiene del personal
4	Inocuidad y calidad	Prácticas de manejo y empaque de campo
5	Verificación y validación	Gestión del agua
6	Identificación, rastreabilidad, retiro y recuperación	Almacenamiento y transporte
7	Seguridad de las instalaciones	Gestión del suelo
8	Alimentos de identidad preservada	Cosecha
9	Capacitación	Eliminación de desechos
10	Elementos comerciales y fitosanitarios	

Conclusiones

La situación actual de los cultivos de chile habanero en la región sureste del país es muy heterogénea, ya que si bien existen productores que presentan certificaciones de calidad y un buen manejo de los cultivos, la gran mayoría de los productores carecen de las medidas adecuadas para la conservación de la calidad de los productos. En relación al estudio realizado para la determinación de los parámetros de calidad del fruto fresco, se observó que en los lotes analizados pertenecientes a zonas céntricas del estado, cumplieron con los parámetros establecidos en las normas Mexicanas. De la caracterización microbiológica se encontró la presencia de mesófilos aerobios, hongos, levaduras y coliformes totales, atribuidos a la microflora inicial de los frutos frescos pero aceptables en las especificaciones descritas en la NOM-093-SSA1-1994. Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica indicaron valores de pH, sólidos solubles (° Brix) y colores similares a los reportados en la literatura. El contenido de capsaicinoides fue en promedio alrededor de 500,000 Unidades Scoville y los extractos presentando actividad antimicrobiana. La importancia de monitorear los parámetros de calidad descritos en la normatividad tanto mexicana como internacional es de gran interés para asegurar la calidad final del producto y sobre todo la salud del consumidor. Por otro lado, el desarrollo de protocolos y manuales que permitan un mejor manejo en el campo del producto, favorece a los productores al contar con una herramienta que les permite obtener menores pérdidas y presentar productos inocuos que cumplen con las especificaciones de calidad requeridas a nivel nacional e internacional incrementando sus ganancias económicas.

Bibliografía

- Ashbolt, N. J. (2004). Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicology*, 198(1-3), 229–238. <http://doi.org/10.1016/j.tox.2004.01.030>
- Baltazar, M. T., Dinis-Oliveira, R. J., de Lourdes Bastos, M., Tsatsakis, A. M., Duarte, J. A., & Carvalho, F. (2014). Pesticides exposure as etiological factors of Parkinson's disease and other neurodegenerative diseases-A mechanistic approach. *Toxicology Letters*, 230(2), 85–103. <http://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.01.039>
- Barrington, S., Choinière, D., Trigui, M., & Knight, W. (2003). Compost convective airflow under passive aeration. *Bioresource Technology*, 86(3), 259–266. [http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00155-4](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00155-4)
- Costa, L. G., & Aschner, M. (2014). *Toxicology of Pesticides. Reference Module in Biomedical Research* (Third Edit). Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.00208-7>
- Coté, C., Massé, D. I., & Quessy, S. (2006). Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. *Bioresource Technology*, 97(4), 686–691. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.024>
- Díaz-Sobac, R., & Vernon-Carter, J. (1999). Inocuidad Microbiológica De Frutas Frescas Y Mínimamente Procesadas Microbiological Safety of Fresh and Minimum-Processed Fruits Inocuidade Microbiológica De Frutas Frescas E Mínimamente Procesadas. *Ciencia Y Tecnología Alimentaria*, 2(3), 133–136. <http://doi.org/10.1080/11358129909487594>
- Dinis-Oliveira, R. J., Duarte, J. a., Sánchez-Navarro, a., Remião, F., Bastos, M. L., & Carvalho, F. (2008). Paraquat Poisonings: Mechanisms of Lung Toxicity, Clinical Features, and Treatment. *Critical Reviews in Toxicology*, 38(1), 13–71. <http://doi.org/10.1080/10408440701669959>
- Dourou, D., Beauchamp, C. S., Yoon, Y., Geornaras, I., Belk, K. E., Smith, G. C., ... Sofos, J. N. (2011). Attachment and biofilm formation by *Escherichia coli* O157:H7 at different temperatures, on various food-contact surfaces encountered in beef processing. *International Journal of Food Microbiology*, 149(3), 262–268. <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.004>
- Eddleston, M. (2016). Pesticides. *Medicine*, 44(3), 193–196. <http://doi.org/10.1016/j.mpmed.2015.12.005>
- Fablet, C., Robinault, C., Jolly, J. P., Collet, M., Chemaly, M., Labbé, a., ... Fravallo, P. (2006). Salmonella enterica level in French pig farms effluents: Experimental and field data. *Livestock Science*, 102(3), 216–225. <http://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.03.020>
- Fernández-Molina, M. C., Álvarez, A., & Espigares, M. (2004). Presence of hepatitis a virus in water and its relationship with indicators of fecal contamination. *Water, Air, and Soil Pollution*, 159(1), 197–208. <http://doi.org/10.1023/B:WATE.0000049176.30748.0b>
- Kehie, M., Kumaria, S., & Tandon, P. (2013). In vitro plantlet regeneration from cotyledon segments of *Capsicum chinense* Jacq. cv. Naga King Chili, and determination of capsaicin content in fruits of in vitro propagated plants by High Performance Liquid Chromatography. *Scientia Horticulturae*, 164, 1–8. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.018>
- Massé, D., Gilbert, Y., & Topp, E. (2011). Pathogen removal in farm-scale psychrophilic anaerobic digesters processing swine manure. *Bioresource Technology*, 102(2), 641–646.

<http://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.020>

- Medina-Lara, F., Echevarría-Machado, I., Pacheco-Arjona, R., Ruiz-Lau, N., Guzmán-Antonio, A., & Martínez-Estevez, M. (2008). Influence of Nitrogen and Potassium Fertilization on Fruiting and Capsaicin Content in Habanero Pepper (*Capsicum chinense* Jacq .). *HortScience*, *43*(5), 1549–1554.
- Odsjö, T., & Sondell, J. (2014). Eggshell thinning of osprey (*Pandion haliaetus*) breeding in Sweden and its significance for egg breakage and breeding outcome. *Science of the Total Environment*, *470-471*, 1023–1029. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.051>
- Oliveira, M., Usall, J., Viñas, I., Anguera, M., Gatiús, F., & Abadías, M. (2010). Microbiological quality of fresh lettuce from organic and conventional production. *Food Microbiology*, *27*(5), 679–684. <http://doi.org/10.1016/j.fm.2010.03.008>
- Pino, J., Gonzalez, M., Ceballos, L., Centurionyah, a, Trujilloaguirre, J., Latourneriemoreno, L., & Sauriduch, E. (2007). Characterization of total capsaicinoids, colour and volatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack.) cultivars grown in Yucatan. *Food Chemistry*, *104*(4), 1682–1686. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.067>
- Plutzer, J., Ongerth, J., & Karanis, P. (2010). Giardia taxonomy, phylogeny and epidemiology: Facts and open questions. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, *213*(5), 321–333. <http://doi.org/10.1016/j.ijheh.2010.06.005>
- SENASICA. (2008). Retrieved March 25, 2016, from <http://www.senasica.gob.mx/?doc=771>
- U.S. Food and Drug Administration-FDA. (2016a). Retrieved March 25, 2016, from http://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_266.html
- U.S. Food and Drug Administration-FDA. (2016b). Retrieved March 25, 2016, from http://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_258.html
- Walle, K. Vande, Vanrompay, D., & Cox, E. (2012). Bovine innate and adaptive immune responses against *Escherichia coli* O157:H7 and vaccination strategies to reduce faecal shedding in ruminants. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, *152*(1-2), 109–120. <http://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.09.028>

Inocuidad del Chile Habanero Procesado

Rodríguez-Buenfil Ingrid M^{1*}, Ramírez-Sucre Manuel O³, Evangelista- Martínez Zahaed¹, Ayora-Talavera Teresa del R¹ y Reyes-Vázquez Nohemí del C²

¹Unidad Sureste del CIATEJ. Parque Científico Tecnológico de Yucatán. Km 5.5 Carretera Sierra Papacal – Chuburná Puerto. Mérida, Yucatán, México. ²Unidad Noreste del CIATEJ. Parque de Investigación e Innovación Tecnológica, Apodaca, Nuevo León, México. ³Sede CIATEJ-ADESUR. Bolvd. de las Naciones Unidas 1707, int 27, Coco's Plaza, Acapulco, Guerrero, México. *Correspondencia: irodriguez@gmail.com

Resumen

En la actualidad para poder tener acceso a mercados internacionales, es un requisito indispensable que el consumo del alimento sea seguro para la salud humana, por lo que la inocuidad es una exigencia fundamental de la calidad de los alimentos. El caso del chile habanero no es la excepción donde uno de los productos procesados con alto potencial de comercialización es el puré o pasta de chile habanero, lo cual es debido a una elevada demanda en los mercados internacionales particularmente de Asia, EU y Europa. Esta demanda obedece a que es la materia prima con la que se preparan salsas, aderezos, cremas y diversos productos de alto consumo a base de chile. Sin embargo, para poder cumplir con la normatividad actual de estos países, es necesario sustituir los conservadores químicos y/o aplicar tratamiento térmico. Ante esta situación en el CIATEJ se realizaron trabajos donde se evaluaron como alternativa a la conservación de las pastas de chile habanero, el uso de extractos naturales con potencial de actividad antimicrobiana contra *E. coli*, *Salmonella* y *Staphylococcus aureus* como es el caso de orégano, clavo, romero; así como extractos de frutas cítricas y acidulantes que han demostrado actividad antibacteriana contra coliformes totales, mesófilos aerobios, hongos y levaduras. Asimismo se plantea el uso de tratamientos térmicos, como un proceso de aseguramiento de su calidad microbiológica y evaluándose su efecto sobre su calidad fisicoquímica. Ambas tecnologías representan alternativas de conservación que aseguran la calidad microbiológica de la pasta de chile habanero posibilitando su exportación.

Introducción

Inocuidad alimentaria enfocada a productos procesados.

La apertura comercial y globalización de mercados han acelerado los procesos de intercambio de productos alimenticios frescos y procesados en diversos países, en donde los aspectos sanitarios y de inocuidad alimentaria son de gran importancia. Por lo tanto, garantizar que el consumo de estos alimentos no sea nocivo para la salud humana se ha convertido en un requisito de acceso a los mercados internacionales y en una garantía sanitaria para los productos importados destinados al consumo local.

El que un alimento sea inocuo significa que esté libre de contaminación, es decir, que esté libre de agentes físicos, químicos o biológicos en niveles tales que pongan en peligro la salud. La confianza en la inocuidad e integridad de los alimentos es un requisito importante para los consumidores. Los brotes de Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA's) en los que intervienen agentes como *Escherichia coli*, *Salmonella* y los episodios de contaminación química en los alimentos, ponen de manifiesto los problemas existentes en la inocuidad de los alimentos y aumentan la preocupación de que los modernos sistemas de producción, transformación y comercialización no ofrezcan garantías suficientes para la salud pública. De esta manera, la inocuidad se convierte en un atributo fundamental de la calidad de los alimentos (Mc allister, 2009)

La calidad de los alimentos es el resultado de su proceso de elaboración a lo largo de su cadena productiva y comercial. Tradicionalmente se pueden mencionar las categorías de: calidad nutricional, en función del aporte nutritivo y energético, la calidad definida por los atributos de valor, esto es relacionada con sus características organolépticas y composición, así como las tradiciones socio-culturales, y la calidad como resguardo de inocuidad; es decir, asegurar que el alimento no causará daño al consumidor cuando es preparado y/o ingerido para su uso previsto (Motarjemi y Lelieveld, 2014). Pero actualmente los programas de alimentación en los países desarrollados involucran nuevos conceptos como seguridad alimentaria y defensa alimentaria. El primero de ellos se define como el acceso de alimentos en cantidad suficiente, nutricionalmente adecuados, e inocuos para una vida activa y saludable; mientras el segundo se relaciona con la introducción intencional o deliberada de materiales en la cadena de suministro con el fin de causar daño físico o económico. (Busta y Kennedy 2011).

La FDA clasifica los peligros a la inocuidad alimentaria como microbiológicos, químicos y físicos. En el caso de los peligros biológicos que causan ETAs, las bacterias se consideran los principales, seguidos por virus, hongos y parásitos; mientras que los peligros químicos están relacionados con toxinas naturalmente presentes en el alimento como lectinas y glucoalcaloides encontrados tanto en papas como en leguminosas, y las micotoxinas producidas por algunos hongos. Entre otros contaminantes químicos están metales pesados, bifenilos policlorados, plaguicidas y aditivos como los sulfitos entre los principales (Yao, *et al.*, 2015; Vaclavik y Christian, 2014). Entre los peligros físicos se mencionan diversos materiales como vidrio, madera, metal, piedra, insectos, huesos, plásticos y efectos personales (Pierson y Corlett, 1992).

Problemas asociados a la carencia de inocuidad.

La carencia de inocuidad alimentaria está asociada a graves problemas a nivel mundial, que afectan a millones de personas, ya que incrementa la incidencia de ETAs (Kim. *et al.*, 2015) y también las pérdidas y desperdicio (FAO, 2011), además de limitar las exportaciones.

En la medida que el comercio mundial de alimentos ha alcanzado un nivel sin precedentes, igualmente hemos asistido a la globalización de algunas ETAs. El incremento en los casos de ETAs y de la contaminación química de diversos productos, han originado una gran preocupación en los consumidores, los productores y los organismos oficiales que velan por la inocuidad de los alimentos a nivel mundial. Entre los factores que contribuyen a los posibles riesgos de los alimentos, se incluyen las prácticas agrícolas y ganaderas inadecuadas, la falta

de higiene en todas las fases de la cadena alimentaria, la ausencia de controles preventivos en las operaciones de elaboración y preparación de los alimentos, la utilización inadecuada de productos químicos y la contaminación de materias primas y del agua (Mc allister, 2009).

En la Tabla 1 se muestra la incidencia estimada de enfermedades causadas por alimentos en cuatro países, de la cual aproximadamente entre el 5 y 10% de los casos requieren hospitalización, y de ellos algunos son mortales. En México los géneros que producen infección en el humano son: *Clostridium*, *Campylobacter*, *Vibrio*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Salmonella*, *Shigella* y *Yersinia*, siendo los grupos más afectados niños entre 1 a 4 años y adultos de 25 a 44 años (Hernández-Cortés *et al.*, 2011). En Estados Unidos *Salmonella* es la principal causante de gastroenteritis. Cabe destacar que brotes de salmonelosis han sido asociadas a la presencia de *Salmonella* en melones (Ayala-Zavala *et al.*, 2014), y chiles serranos y jalapeños cultivados en México, exportados a Estados Unidos, utilizados en la elaboración de salsas y guacamoles (Behraves *et al.*, 2011).

Tabla 1. Número de casos, hospitalizaciones y muertes relacionadas con enfermedades causadas por alimentos en algunos países.¹

País	Número de casos	Hospitalizaciones	Muertes
Estados Unidos	7,600,000	325,000	5,000
Corea del Sur	1,560,000	140,000	-----
Inglaterra	1,300,000	21,000	500
México	400,000	400	-----

¹ Estimado por año

Fuente: Kim *et al.*, 2015; Hernández-Cortés *et al.*, 2011; Mead *et al.*, 2009

Otro impacto importante que evidencia los problemas que se presentan debido a la carencia de inocuidad alimentaria involucra las pérdidas y desperdicios de alimentos, que se presentan a lo largo de la cadena productiva. Por ejemplo, un reporte de la FAO en el 2011 menciona que el caso de frutas y verduras, con excepción de Europa y Asia industrializada, se pierde anualmente aproximadamente el 50% de lo que se produce en las regiones de Norteamérica, África, Asia y América Latina. Cabe señalar, que en Europa y Norteamérica las principales pérdidas se presentan en el consumo; mientras que en África, Asia y América Latina las pérdidas resultan en las etapas agrícolas y de procesamiento, siendo estas últimas de aproximadamente 15%. Adicionalmente, México es uno de los más importantes exportadores de frutas y verduras a los Estados Unidos de Norteamérica con un monto aproximado de \$ 90 millones USD en el 2012, destacando productos como tomate, brócoli, chícharos, cebollas y chile serrano; entre otros (Ayala-Zavala *et al.*, 2014). Sin embargo, los rechazos por incumplimiento de la Normatividad Internacional, limita el intercambio de muchas frutas y verduras de México al extranjero, entre ellas el chile habanero de la península de Yucatán, ya que actualmente se demandan para exportación productos con elevados estándares de calidad e inocuidad.

En la actualidad existe una carencia en garantías de inocuidad alimentaria que ha impedido satisfacer la gran demanda internacional a los productores de chile habanero, (Milenio 2015a); de esta forma, la venta al exterior está limitada por los altos estándares internacionales, sobre todo en lo que se refiere a inocuidad con fuertes sanciones para los productos que no cumplan la normatividad internacional (Ruiz-Lau *et al.*, 2011). El chile habanero contiene químicos prohibidos que impiden su exportación porque no garantiza el control de peligros asociados

con daños a la salud por lo que se produce y se vende sólo a nivel regional y nacional y a bajo costo (Cárdenas y SIPSE, 2014). En ese sentido, los esfuerzos para proveer de inocuidad al chile habanero radican en la capacitación, la adquisición de tecnología, y el establecimiento de estrategias por parte de los productores, que favorezcan un mejor procesamiento del producto, y de esta manera competir en el mercado global atendiendo los protocolos sanitarios propios de cada país. Cabe señalar que existen mil 532 productores de chile habanero, sin embargo, el 90 por ciento no exportan el producto al mercado mundial por falta de información de los procesos y falta de inocuidad. Según el Comité Sistema Producto del picante (Milenio, 2015b), en 2014 se perdieron 1,000 toneladas del chile (25.0% de la producción registrada) debido a su bajo precio y su falta de inocuidad. Asimismo, no se ha podido obtener una certificación de inocuidad, lo cual implica la adopción de sistemas de control que garantice un producto inocuo llevando a cabo un registro y certificación de los cultivos del chile. La comercialización de este cultivo es muy redituable, ya que la producción media anual de una hectárea de chile habanero a la intemperie es de 20 toneladas, y en un invernadero de hasta 200 toneladas. Por lo que, al producirse con estándares de inocuidad se le conferirán mayores oportunidades, debido a que existe una importante demanda internacional. Esta información es relevante, pues evidencia la necesidad de contar con estrategias de gestión que aseguren la calidad del chile habanero.

El chile habanero y su marco regulatorio para el aseguramiento de la calidad.

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el chile es a nivel mundial el quinto producto hortícola, por superficie cultivada (PRODUCE, 2013). México es el segundo productor de chiles verdes en el mundo produciendo 2,131,740 tons, después de China quien produce 15,545,683 tons (FAOSTAT, 2013). Asimismo, el consumo de chiles se ha extendido por el mundo debido a su color, sabor y pungencia. En la actualidad, uno de los chiles con mayor demanda económica es el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), variedad cultivada tradicionalmente en la Península de Yucatán que incluye a los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo; en los últimos 10 años se ha incrementado la demanda nacional e internacional de este chile por ser de los más picantes (Bautista-Arroyo, 2012).

El mercado global que demanda productos de chile habanero está conformado por Estados Unidos, Canadá, Europa y Asia, no obstante, en la actualidad son muy pocos los países que exportan este tipo de producto. México realiza esta exportación generalmente con el chile en forma de pasta, para ser utilizada en la preparación de salsas verdes, rojas y anaranjada que se distribuyen en los mercados nacional, Estados Unidos y Canadá (PRODUCE, 2013), países con los que México tiene tratados de libre comercio que no imponen barreras arancelarias a este producto (Ruiz-Lau *et al.*, 2011). El mercado estadounidense desea un chile habanero con picor, información completa e inocuidad, según el Dr. Tomás González tan sólo en Nueva York, el producto lo venden República Dominicana y Holanda, sin embargo estos chiles son de mala calidad (Milenio, 2015b).

El chile habanero es una hortaliza se consume en fresco y es utilizado en una amplia gama de alimentos ya sea como especia o condimento como curries, crudo, asado o cocido, como colorante de embutidos, en la elaboración de salsas para carne y pastas; conservas en vinagre, polvos; y en la extracción de oleorresinas o capsaicinoides (Ruiz-Lau *et al.*, 2011). La comercialización del chile es en fresco en estado inmaduro o maduro, en pasta, deshidratado entero y en polvo, en salsas, y en curtidos. Entre los productos que se pueden obtener a partir de este fruto se encuentran las pastas base para salsas, las cuales incrementan el valor

comercial del producto (Olmos *et al.*, 2010). Para la comercialización de la pasta se realizan procesos de eliminación del pedúnculo (descabado), lavado, desinfectado, y en la elaboración de salsas se agregan tratamientos de molienda, pesado y mezclado, así como tratamientos térmicos (o sin) y la adición (o no) de aditivos químicos (Ruiz-Lau *et al.*, 2011), posteriormente su envasado, embalado y finalmente su almacenamiento. Sin embargo, en la actualidad, no existe ningún tratamiento térmico durante el proceso que asegure la calidad microbiológica del producto.

Cabe señalar, que la participación de todos los sectores de la cadena productiva y su interrelación es fundamental para mantener la inocuidad del chile habanero, cuyo marco regulatorio básico representado en la Figura 1 se fundamenta en la Declaratoria General de Protección de la Denominación de Origen de Chile Habanero de la Península de Yucatán y la NOM-189-SCFI-2012, que establecen el lugar o lugares de extracción, producción y elaboración del producto que se trata de proteger y el señalamiento detallado de los vínculos entre denominación, producto y territorio ; así como las especificaciones y métodos de prueba que debe cumplir el producto fresco y procesado respectivamente.

Sin embargo, para dar respuesta a los requerimientos de calidad del mercado interno, y particularmente del de exportación es indispensable la implementación de buenas prácticas de manufactura (BPM), buenas prácticas agrícolas (BPA), Sistemas de aseguramiento de la calidad y trazabilidad y cumplir con regulaciones de calidad, especialmente regulaciones internacionales, siendo el apoyo de la academia clave en el desarrollo de nuevos productos, procesos y análisis de contaminantes con el fin de dar respuesta a los requisitos de calidad que debe de cumplir el chile habanero.



Figura 1. Estructura General del Marco Regulatorio del Chile Habanero de la Península de Yucatán.

Productos Procesados de chile habanero.

Con base a la denominación de origen y en función del proceso que se someta el fruto destinado al uso industrial, el producto es designado como: pasta, deshidratado entero y en polvo, encurtido y en salsas. Los productos protegidos son los siguientes:

Chile habanero de la Península de Yucatán en pasta.

La pasta o puré de chile habanero es un producto de consistencia espesa o fluida obtenida de la molienda del chile habanero en madurez adecuada, sana, limpia (Figura 2). El cual ha sido descabado (eliminación del pedúnculo), lavado y desinfectado, sometido o no a tratamientos térmicos, y adicionado o no con aditivos para alimentos.



Figura 2. Pasta de chile habanero de la Península de Yucatán verde, naranja y roja. Fotos cortesía de Industria Agrícola Maya, S.A. de C.V.

Chile habanero de la Península de Yucatán en polvo.

El chile habanero de la Península de Yucatán deshidratado es obtenido de la eliminación total o parcial del agua del fruto del chile habanero mediante métodos naturales o artificiales. Los frutos deben de ser frescos, sanos y limpios, enteros o divididos, y con madurez fisiológica. El método más común de deshidratado es el siguiente: recepción, selección, lavado, enjuague, rajado (opcional), extendido, deshidratado y pulverizado (Figura 3).



Figura 3. Diferentes presentaciones de chile habanero de la Península de Yucatán deshidratado: entero, hojuela y en polvo. Fotos cortesía de Industria Agrícola Maya, S.A. de C.V.

Chile habanero de la Península de Yucatán en curtido.

El chile habanero de la Península de Yucatán curtido es obtenido mediante métodos naturales o artificiales. El método más común es recepción, lavado, enjuague, escaldado, rajado (etapa opcional) e inmersión en salmuera o vinagre.

Chile habanero de la Península de Yucatán en salsas.

El proceso de elaboración de la salsa de chile habanero de la Península de Yucatán inicia desde la recepción de la materia prima, seguido del acondicionamiento de ésta para su proceso final. Las etapas del proceso son las siguientes: Recepción, selección, prelavado, lavado, enjuague, escaldado (etapa opcional) molienda y mezclado.

Nuevas Tecnologías en el procesamiento de chile habanero.

La producción mundial de chile en los últimos 10 años se ha incrementado en un 34% de 2002 a 2011 (FAOSTAT, 2013). Los principales productos industrializados con el chile habanero que se producen en México son: salsas, purés y deshidratados. Con base a este contexto, y con el fin de dar respuesta a la demandas de calidad e inocuidad de los mercados internacionales, particularmente en Asia y Estados Unidos, para el puré o pasta de chile habanero, se han desarrollado dos alternativas tecnológicas en la conservación de la calidad e inocuidad de la pasta de chile habanero. La primera de ellas está relacionada con la adición de aditivos naturales y su efecto en la calidad e inocuidad microbiológica del chile habanero y a continuación se detalla:

Evaluación de aditivos naturales sobre la calidad microbiológica, fisicoquímica y sensorial de la pasta de chile habanero.

Se estima que la demanda de pasta de chile habanero en el mercado asiático es de 510 Ton anuales, pronosticándose en el futuro incrementos de un 60% (Plan Rector del Sistema-Producto Chile, 2012). No obstante, la venta a este país está limitada por estándares elevados de calidad microbiológica. El proceso de conservación de la pasta utilizado a nivel industrial es mediante la adición de conservadores químicos, los cuales son incorporados al producto durante el mezclado; sin someterla a ningún tratamiento térmico. Sin embargo, la tendencia mundial cada vez más marcada hacia el consumo de alimentos orgánicos y naturales, sin aditivos químicos, se ha incrementado, debido a que estos compuestos pueden provocar asma y alergias en personas sensibles (Freedman, 1977). Se ha asociado el consumo de conservadores químicos como son los benzoatos, nitritos y nitratos, anhídrido sulfuroso (SO₂), entre otros, con intoxicaciones, cáncer y otras enfermedades degenerativas. Esto genera la necesidad de buscar alternativas de conservación que cubran las mismas propiedades antimicrobianas y de compatibilidad con el alimento (Álvarez-Parrilla, 2005). Actualmente, debido a la demanda por parte del consumidor de productos frescos mínimamente tratados como son las frutas frescas y cortadas envasadas bajo diferentes atmósferas y refrigeradas, está aumentando el interés por los antimicrobianos de origen natural que puedan extraerse para ser utilizados con el fin de prolongar la vida útil y la seguridad para el consumidor (Blanchard, 2000). Estudios han señalado que el uso de aceites esenciales (Viuda-Martos *et al.*, 2008), ácidos orgánicos (Eswaranandanm *et al.*, 2004), extractos naturales de plantas (Soung-Youn *et al.*, 2010), han sido efectivos contra bacterias patógenas como *Salmonella typhimurium*, *E. coli* 0157:H7 y *Listeria monocytogenes* en vegetales frescos. Por otra parte, debido a que algunos microorganismos pueden no verse inhibidos o destruidos por las dosis convencionales de antimicrobianos utilizados individualmente, puede ser preferible utilizar una combinación de ellos, ampliando así el espectro de cobertura en la preservación de frutas o alimentos en general (Blanchard, 2000).

En la Unidad Sureste del CIATEJ se realizó una investigación de 2012 a 2014 cuyo objetivo general fue evaluar el efecto de aditivos naturales sobre la calidad microbiológica y fisicoquímica de la pasta de chile habanero mediante un proyecto de Fondos Mixtos CONACYT- Gobierno del Estado de Yucatán con título Evaluación de aditivos naturales y tratamientos térmicos sobre la calidad microbiológica, fisicoquímica y sensorial de la pasta de chile habanero con clave 172091. Entre los objetivos específicos estuvieron : 1) Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la materia prima, 2) Determinar la actividad antimicrobiana, concentración mínima inhibitoria (CMI) y concentración mínima bactericida (CMB) de diversos extractos naturales (aceites esenciales, extractos hidroalcohólicos de cítricos y ácidos orgánicos), 3) Preparar pastas de chile habanero con aditivos naturales y evaluar su contenido microbiano y color. Entre los resultados relevantes de las características fisicoquímicas del puré de chile habanero (Tabla 2) destaca que la humedad fue de 89 %, mientras que el pH fue de 5.02, la acidez de 0.445 % y los sólidos solubles cuantificados como °Brix fueron de 7.2. Estos resultados son similares a los reportados por Pino *et al.*, (2007) para chile habanero naranja cultivado en la Península de Yucatán.

Tabla 2. Características fisicoquímicas del puré de chile naranja procesado a nivel industrial.

Parámetro	Puré de chile naranja
Humedad (%)	89
pH	5.02
Acidez (%)	0.445
Sólidos Solubles (°Brix)	7.2
L*	50.44
a*	29.94
b*	49.72

De la misma manera, los parámetros de color, particularmente el a* (asociado al tono rojo) y b* (relacionado al amarillo) con valores de 29.94 y 49.72 fueron característicos a los asociados al color naranja (Figura 4A).

Asimismo, de los dos lotes de puré de chile habanero analizados, se obtuvieron alrededor de 3.1mg/g (BS) de capsaicinoides totales, equivalentes a 46,500 unidades Scoville, indicando un nivel de pungencia picante, con base a lo establecido por el CODEX STAN 307-2011, resultado similar a lo reportado por (Ornelas-Paz *et al.*, 2010).

En cuanto a la calidad microbiológica, las pastas de chile habanero procesado a nivel industrial utilizando en el agua de enjuague del producto hipoclorito de sodio a una concentración no especificada por la empresa en donde se procesó y adquirió el producto, indican una contaminación elevada de mesófilos aerobios, (Tabla 3). Asimismo, la cantidad de Coliformes totales fue mayor al límite máximo establecido por la norma de referencia, pudiéndose considerar inaceptable debido al proceso de desinfección al que se sometió el producto.

Tabla 3. Caracterización microbiológica del puré de chile naranja procesado a nivel industrial.

Parámetros microbiológico	Cuentas promedio ¹	Límite máximo permisible ²
Mesófilos aerobios (UFC/g)	$1.42 \times 10^5 \pm 4.2 \times 10^4$	1.5×10^5
Hongos (UFC/g)	75±25	S/E

Levaduras (UFC/g)	230±23	S/E
Coliformes Totales (NMP/g)	>1100	100
Coliformes Fecales (NMP/g)	>1100	S/E
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	N.D.	S/E
<i>Salmonella</i> (Ausencia o Presencia/25g)	Ausente/25g	Ausente / 25 g
<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/g)	<10	S/E

1) Muestras por duplicado de dos lotes de la pasta de chile

2) Publicadas en la NOM-093-SSA1-1994

S/E, sin especificación

N.D. no determinado

En estas muestras no se detectó la presencia de *Salmonella* ni *S. aureus*. Es importante comentar que la cantidad elevada de mesófilos refleja la calidad higiénica de los productos analizados. Los resultados obtenidos de bacterias coliformes totales y fecales de 1100 NMP/g, fueron similares a los reportados por Lugo-Jiménez (2010) en chile habanero cultivado a cielo abierto. Este resultado podría explicarse probablemente por el uso de suelo contaminado, el uso de abonos orgánicos como estiércol y/o el riego con agua de pozo contaminada. Asimismo, denota un deficiente proceso de desinfección.

Los resultados de las actividades antimicrobianas (Tabla 4) de aceites esenciales (AE) comerciales y extractos cítricos (EC) realizados midiendo el halo de inhibición en placa mostraron que laurel, comino, orégano y romero inhibieron el crecimiento de los microorganismos de prueba evidenciada por la formación de halos de inhibición del crecimiento. La levadura *C. albicans* fue la más sensible a un mayor número de AE y EC (13 de 17), seguido por *S. aureus* (12 de 17), *E. coli* (7 de 17) y *S. typhimurium* (6 de 17).

Tabla 4. Promedio del diámetro del halo de inhibición (mm) de 5 µl de cada aceite.

AE* (5 µl)	Diámetro del halo de inhibición (mm ± SD) [†]			
	<i>E. coli</i>	<i>S. typhimurium</i>	<i>S. aureus</i>	<i>C. albicans</i>
Laurel	9.1 ± 0.9	7.7 ± 0.4	11.0 ± 0.7	8.7 ± 0.3
Cebolla	0.0	0.0	8.0 ± 0.5	10.7 ± 0.5
Limón mexicano	8.4 ± 0.5	7.8 ± 0.6	7.8 ± 0.3	8.1 ± 0.5
Limón persa	0.0	0.0	8.9 ± 0.3	8.7 ± 0.6
Comino	9.9 ± 0.1	8.2 ± 1.2	12.8 ± 0.7	10.4 ± 0.3
Pimienta negra	0.0	0.0	10.6 ± 1.0	10.1 ± 0.3
Naranja SVC	0.0	0.0	7.3 ± 0.3	0.0
Gengibre	0.0	0.0	7.9 ± 0.6	8.5 ± 0.6
Naranja dulce	0.0	0.0	0.0	6.4 ± 0.3
Orégano	12.6 ± 0.7	11.6 ± 0.4	13.0 ± 2.0	9.9 ± 0.3
Ajo	0.0	0.0	0.0	11.5 ± 0.9
Toronja blanca	0.0	0.0	0.0	6.6 ± 0.2
Limón frío	8.3 ± 0.7	0.0	10.7 ± 1.0	8.9 ± 0.4
Romero	11.7 ± 0.1	8.2 ± 0.7	11.8 ± 1.7	7.8 ± 0.5
Extracto de limón	8.1 ± 0.7	8.0 ± 0.7	10.5 ± 0.4	18.7 ± 2.5

Extracto de naranja	0.0	0.0	0.0	0.0
Extracto de toronja	0.0	0.0	0.0	0.0
DMSO	0.0	0.0	0.0	0.0

* AE, aceite esencial, + Promedio de tres repeticiones.

Posteriormente, los aceites esenciales que mostraron una mayor actividad antimicrobiana en placa, fueron utilizados en la preparación de las pastas de chile habanero, para lo cual fue necesario evaluar tanto la MIC como la MBC de aceites de orégano y romero, ácido acético y ascórbico. En la Tabla 5 se puede observar que el aceite esencial de orégano comercial presentó una MIC y MBC que varió entre 0.156 y 0.625%, seguida del aceite de romero con una concentración de 0.313 a 1.25%. Por su parte el ácido acético tuvo una MIC y MBC que fluctuó entre 0.1 a 1.5 % y el ácido ascórbico entre 0.125 y 2.0 %.

Tabla 5. Concentración Mínima Inhibitoria/Concentración Mínima Bactericida de los aceites esenciales (AE's) y ácidos orgánicos contra diversos microorganismos.

Microorganismo	MIC/MBC % ^{*+}				
	AE Orégano commercial # 296 (10053)	AE Romero (91053)	AE Limón persa	Acido acético	Ácido ascórbico
<i>E. coli</i> ATCC 25922	0.156/0.156	0.313/0.625	0.156/0.625	0.1/0.375	0.125/2
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	0.156/0.156	0.625/0.625	1.25/1.25	0.188/1.5	0.5/2
<i>S. typhimurium</i> ATCC 14028	0.078/0.156	0.625/1.25	0.625/-	0.375/0.375	1/-
<i>C. albicans</i>	0.156/0.625	0.625/1.25	0.625/-	0.375/0.75	1/-

* % en unidades v/v, excepto ácido ascórbico en w/v. + Promedio de dos repeticiones independientes.

Con base a los resultados obtenidos, se seleccionaron cuatro aditivos naturales: AE de orégano, AE de romero, ácido acético y ácido ascórbico, en la preparación de 16 formulaciones de pasta de chile que contenían diferentes combinaciones y concentraciones de estos aditivos naturales (cuyos niveles de adición no se indican por motivos de confidencialidad de la información) y se evaluó su efecto sobre la carga microbiana de las pastas de chile habanero en cuanto a su contenido de Mesófilos Aerobios, Hongos, Levaduras, Coliformes Totales, Fecales y *E. coli*, *Salmonella* y *S. aureus*.

En el tratamiento control, pasta fresca sin aditivos (**Tabla 6**) se presentaron elevadas cargas microbianas de mesófilos aerobios, así como de coliformes fecales y totales, pero no se detectó presencia de *Salmonella* ni *S. aureus*. Claramente, en todos los tratamientos que contenían elevadas concentraciones de ácido acético (Tratamientos 3,4,7.8.11,12,15 y 16) disminuyeron las cargas de mesófilos aerobios, y no se detectaron hongos y levaduras, ni coliformes totales ni fecales. Por su parte el ácido ascórbico en combinación con los dos aceites esenciales a niveles de adición elevados (Tratamiento 14) disminuyen tanto los mesófilos aerobios como los coliformes totales y fecales, y en menor proporción a hongos y levaduras. Cuando los aceites esenciales de orégano y romero son añadidos a elevadas concentraciones sin la presencia de ácidos orgánicos (tratamiento 13) disminuyen aproximadamente el 50 % de las

cargas de mesófilos aerobios, y de coliformes totales y fecales; y no logran inhibir hongos y levaduras.

Por tanto, a las concentraciones evaluadas, los aceites esenciales de orégano y romero requieren la presencia de ácidos orgánicos, particularmente de ácido acético para disminuir las cargas iniciales de mesófilos aerobios, e inhibir las cargas de hongos, levaduras, y coliformes fecales y totales de las pastas de chile habanero frescas, sin tratamiento térmico.

La presencia de los cuatro aditivos naturales, no tuvo efecto significativo ($P>0.05$) en los tres parámetros de color, esto es L^* (luminosidad), a^* (color rojo) y b^* (color amarillo). En los tratamientos L^* , a^* y b^* presentaron sólo ligeras variaciones no significativas, respecto al control.

Estos resultados de color, desde el punto de vista de su calidad son relevantes ya que indican que la presencia de estos aditivos, no provocó cambios importantes en color instrumental de la pasta de chile conservando su color naranja característico (Figura 4B).



Figura 4. Aspecto del puré de chile habanero naranja sin procesar (A) y procesado (B) con diferentes combinaciones de aditivos naturales.

Tabla 6. Contenido microbiano de la pasta de chile habanero naranja utilizando diferentes tratamientos con aditivos naturales.

Tratamiento	Combinación de Aditivo Natural				Mesófilos Aerobios UFC/g	Hongos UFC/g	Levaduras UFC/g	Coliformes Totales NMP/g	Coliformes Fecales NMP /g
	Ácido Ascórbico (%)	Ácido Acético (%)	AE Orégano (%)	AE Romero (%)					
Control					9.03E+05±3.89+E04	75±21	230±28	>1100	>1100
1	-	-	-	-	8.28E+05±2.47+E04	>1100	275±42	>1100	>1100
2	+	-	-	-	3.15E+05±3.19+E04	>1100	312±45	>1100	>1100
3	-	+	-	-	5.78E+04±2.44+E04	<10	17±10	<3	<3
4	+	+	-	-	6.95E+04±3.46+E04	<10	<10	<3	<3
5	-	-	+	-	6.33E+05±2.47+E04	175±21	437±10	>1100	670±608
6	+	-	+	-	2.58E+05±4.60+E04	210±28	455±7	>1100	551±775
7	-	+	+	-	7.30E+04±3.25+E04	<10	<10	<3	<3
8	+	+	+	-	6.60E+04±2.26+E04	<10	<10	<3	<3
9	-	-	-	+	7.18E+05±1.06+E04	160±21	437±60	>1100	571±775
10	+	-	-	+	3.53E+05±7.42+E04	160±21	280±7	23±27	23±28
11	-	+	-	+	1.48E+05±1.06+E04	<10	<10	<3	<3
12	+	+	-	+	1.39E+05±7.92+E04	<10	<10	<3	<3
13	-	-	+	+	4.65E+05±2.19+E04	220±21	275±35	571±747	561±760
14	+	-	+	+	2.40E+05±1.91+E05	247±17	197±10	3.3±0.5	3.3±0.5
15	-	+	+	+	1.50E+05±1.41+E04	<10	<10	<3	<3
16	+	+	+	+	7.50E+04±2.12+E04	<10	<10	<3	<3

Los resultados son promedios de dos réplicas.

- Nivel bajo de adición del aditivo natural
- + Nivel alto de adición del aditivo natural

Por lo tanto, la preparación de pastas de chile habanero suplementadas con aceites esenciales de orégano y romero a las concentraciones evaluadas requieren la presencia de ácidos orgánicos, particularmente de ácido acético para disminuir significativamente ($P < 0.05$) las cargas microbiológicas de mesófilos aerobios a niveles menores a lo especificado por la normatividad para frutas y verduras frescas, e inhibir las cargas de hongos, levaduras y coliformes totales y fecales y *E. coli*. De la misma manera, la presencia de AE y acidulantes, provocaron sólo ligeras variaciones no significativas ($P > 0.05$) en el contenido de capsaicinoides totales, capsaicina y dihidrocapsaicina y en los parámetros de color instrumental de la pasta de chile. Esta tecnología desarrollada representa una alternativa de conservación viable que asegura la inocuidad microbiológica del producto sin afectar las características de calidad físico químicas de las pastas de chile habanero, lo cual le confiere un potencial de exportación a los mercados asiáticos.

Evaluación de tratamientos térmicos a escala piloto.

Actualmente las principales presentaciones del chile habanero en el mercado nacional e internacional son en fresco, deshidratado, o en pasta como base para salsas. Es importante destacar que en la formulación de pastas de chile habanero, al incluirse acidulantes y otros compuestos, el pH disminuye, pueden convertirse según las regulaciones de la FDA en un producto de baja acidez a un producto acidificado de acuerdo con el *Establishment Registration & Process Filing for Acidified and Low-Acid Canned Foods (LACF)* (FDA, 1997). Sin embargo, aún si se procede con una adecuada acidificación acompañada por buenas prácticas de manufactura es posible que la pasta de chile habanero sea deteriorada por bacterias, hongos y levaduras. Por lo que para prevenir dicho deterioro y como medio de prevención de contaminación microbiana, la FDA sugiere como mandatorio, que los alimentos acidulados se sometan a tratamientos térmicos. Asimismo, de la variedad de chile habanero no existe mucha información disponible sobre su comportamiento durante el procesamiento térmico (Ahmed et al., 2002). Dicho tratamiento ofrece un valor agregado a esta hortaliza con miras a incursionar decididamente en el mercado de exportación elevando su competitividad.

Por otro lado el tratamiento térmico se utiliza en alimentos como un método de conservación para alargar su vida de anaquel al eliminar microorganismos patógenos e inactivar enzimas que pueden cambiar las propiedades fisicoquímicas durante su almacenamiento (van Boekel et al., 2010) posibilitándolo para su colocación en el mercado nacional y con proyección internacional. Los tratamientos térmicos convencionalmente se realizan a nivel piloto mediante el uso de pasteurizadores (pasteurización) y de autoclaves de vapor (esterilización) para alimentos. El tratamiento térmico por esterilización en autoclave es un proceso en el que se aplican altas temperaturas ($>121^{\circ}\text{C}$) por distintos tiempos de residencia en función del producto a tratar: protocolos de trabajo para autoclaves de alimento se calibran y dependen de múltiples factores como el tamaño de la carga, el alimento, la reducción microbiana, entre otros. En las autoclaves más pequeñas se utilizan aprox. 15 min, sin embargo en las de altas capacidades ($>1000\text{L}$) siempre son tiempos más prolongados (30-45 min). Éste tratamiento reduce la carga microbiana e inactiva la acción de esporas, garantizando su inocuidad, además no existe contacto alguno del operador con la matriz alimentaria después de la esterilización, haciendo al producto susceptible para la exportación. Sin embargo, dadas las altas temperaturas de

tratamiento, se produce un daño por calor en la matriz alimentaria que se traduce en pérdidas de nutrientes esenciales y en cambios en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas, razón que hace necesarias las pruebas de pastas de chile habanero en autoclave.

Para los estudios de tratamiento térmico en autoclave con hortalizas es necesario correr experimentos del efecto del tamaño de la granulometría, la temperatura y el tiempo de residencia, entre otros factores, sobre los parámetros de calidad del producto. Las principales características de calidad para evaluar el efecto del tratamiento térmico son: fisicoquímicas como color, contenido de humedad, acidez, pH, actividad de agua, y viscosidad, entre otros (Chan *et al.*, 2011); microbiológicas, de microorganismos deteriorativos (hongos y levaduras), coliformes (totales y fecales), pruebas bioquímicas (*E. coli* y *Salmonella*), bacterias mesofílicas, y finalmente la vida de anaquel del producto envasado. Son éstas las que determinan las preferencias individuales por determinados productos. Pequeñas diferencias entre las características organolépticas de productos semejantes de marcas distintas son a veces determinantes de su grado de aceptación.

Las condiciones de tratamiento térmico, como el tiempo y la temperatura, representan factores que afectan a la flora microbiana nativa en las hortalizas y a los aditivos que incluyen para la conservación de las pastas, es decir el tratamiento térmico como tal influye en todas las características del alimento (fisicoquímicas, nutrimentales y sensoriales y vida de anaquel). Por otra parte, factores como la temperatura, humedad, luz, oxígeno y el tiempo de almacenamiento, pueden dar lugar a alteraciones en las propiedades de las pastas de chile habanero tales como: color, sabor, consistencia o textura del alimento. Hoy en día los consumidores modernos son cada vez más exigentes respecto a la inocuidad de los productos que consumen.

En experimentos realizados en la planta piloto de la Unidad Sureste del CIATEJ, se sometieron a tratamiento térmico pastas de chile habanero verde (Figura 5) a tres temperaturas (una baja [TB], una media [TM] y otra alta [TA]) a dos tiempos de residencia (corto [tC] y largo [tL]) del material (pasta) en la autoclave de vapor para alimentos. De lo anterior se obtuvieron los siguientes tratamientos: (T1) TB/tC; (T2) TM/tC; (T3) TM/tL; y (T4) TA/tL.

a)



b)



Figura 5. Aspecto de las pastas de chile habanero a) envasadas para su posterior tratamiento térmico y b) en la autoclave de vapor para alimentos

Se realizaron análisis de las muestras de chile habanero verde (granulometría gruesa y fina) sin tratamiento térmico (testigos). En la Tabla 7 se muestran los resultados de

los análisis fisicoquímicos realizados en las muestras testigo de pastas de dos niveles de granulometría (fina y gruesa) envasadas sin el tratamiento térmico. Se observan los resultados de color, para los valores de a^* son negativos, siendo el valor mayor se encontró para la granulometría fina. En cuanto al parámetro b^* , los valores son positivos siendo mayores las muestras con granulometría fina, un comportamiento similar se presentó en el parámetro L^* donde el valor mayor se muestra en la granulometría fina. En cuanto a la humedad los valores son muy similares en todas las condiciones encontrándose alrededor del 84.5%. La A_w presentó un comportamiento muy similar a la humedad siendo los valores encontrados alrededor del 0.88. Por otro lado, los valores de pH correspondieron con los valores de alimentos acidificados (3.3), al igual que el porcentaje de acidez total titulable, que indicó valores alrededor de 1.2%. Al realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos se concluye que la granulometría no presentó diferencias significativas entre muestras.

Tabla 7. Características de calidad fisicoquímica de la pasta de chile habanero verde. Muestras de pastas de chile habanero de dos niveles de granulometría.

Parámetro	Pastas de chile habanero verde	
	Fina	Gruesa
Granulometría		
Color a^*	-0.54± 0.001	-0.85± 0.001
b^*	37.74 ± 0.04	34.50 ± 0.001
L^*	50.48 ± 0.02	48.01 ± 0.001
Humedad (%)	84.6 ± 0.30	84.7 ± 0.001
A_w	0.88 ± 0.006	0.88 ± 0.012
pH	3.3 ± 0.02	3.3 ± 0.001
Acidez total titulable (%)	1.23 ± 0.04	1.27 ± 0.001
Viscosidad (mPas)	5198.3± 0.001	4970.2± 0.001

Las pastas de chile habanero verde sometidas a los diferentes tratamientos térmicos fueron analizadas microbiológicamente para el crecimiento de los microorganismos evaluados. El recuento de microorganismos después del tratamiento térmico en estas pastas de chile habanero con ambos niveles de granulometría (fina y gruesa) para los cuatro tratamientos térmicos (T1, T2, T3, y T4) y en la pasta testigo (sin tratamiento) reportó valores no detectables para los cinco análisis realizados (mesófilos aerobios [UFC/mL]; hongos y Levaduras [UFC/mL]; coliformes totales [NMP]; coliformes fecales/*E. coli* [UFC/mL]; y *Salmonella* [UFC/mL]), por lo que la ausencia de microorganismos en las pastas de chile no se pudo atribuir a los tratamientos térmicos. Sin embargo, hemos demostrado en otros experimentos, que los tratamientos térmicos en autoclave (95°C/15min) pueden destruir a todos los microorganismos (curvas de destrucción térmica), tanto de patógenos (*E. coli*, *S. typhimurium* y *S. aureus*) como de la flora natural (mesófilos aerobios) de la pasta de chile habanero (Figura 6).

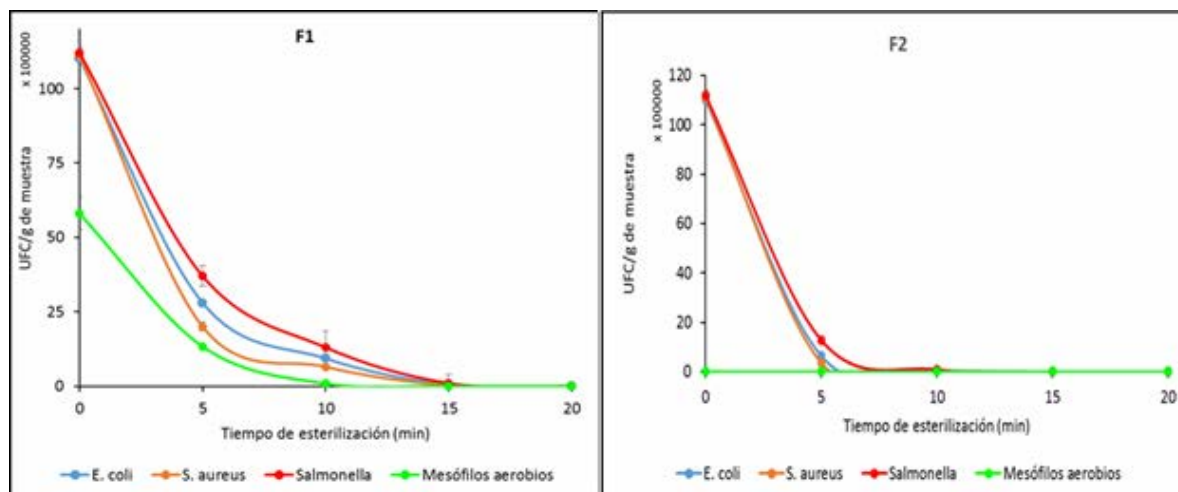


Figura 6. Curvas de destrucción térmica (95°C) de microorganismos en dos formulaciones (F1 [con aditivos orgánicos], F2 [formulación comercial con aditivos químicos]) de pastas de chile habanero.

Por otro lado, los tratamientos térmicos (T1, T2, T3 y T4) no afectaron negativamente la calidad microbiológica de la pasta siendo altamente probable el incremento de la capacidad de inhibición del crecimiento bacteriano. Dado que en la formulación de las pastas se incluyen aditivos como sal, conservadores químicos y acidulantes, siguiendo la formulación de la empresa involucrada, hay que tomar en cuenta que éstos inhiben el crecimiento de los microorganismos debido a que son sometidos, como en el caso de la sal y los acidulantes, a estrés osmótico y a un ambiente de alta acidez, respectivamente (Yaganza *et al.*, 2009). Asimismo, los conservadores son compuestos químicos que tienen propiedades antimicrobianas y que se utilizan como conservadores en alimentos (Diario Oficial, 2012), mientras que los acidulantes inhiben la biosíntesis de metionina causando que distintas bacterias detengan su crecimiento (Roe *et al.*, 2002).

De manera general los valores de pH se encuentran en 3.3 y los valores del porcentaje de acidez titulable total alrededor de 1.2 % expresado como porcentaje de equivalentes de ácido acético, independientemente de la granulometría. Los valores de humedad variaron en un 1% mientras que, los valores de actividad de agua (Aw) fueron constantes alrededor de 0.9. Los valores indican que los productos obtenidos se encuentran dentro de los alimentos altamente perecederos por lo que los tratamientos térmicos favorecen la conservación de los mismos. Las muestras control, presentaron viscosidades altas (4970.2mPa, 5198.3mPa. para la salsa gruesa y fina, respectivamente), lo que parece un efecto predecible debido al grado de maduración ya que los cambios más palpables durante el proceso de maduración son el color, sabor, textura, etc. Estos cambios son el resultado de la profunda reestructuración metabólica y química que se desencadena dentro del fruto. Los tratamientos que mejoraron esta viscosidad (más alta) se debieron a T2 en la pasta fina y a T3 en la pasta gruesa. Esto implica un mejor tratamiento térmico con la temperatura media con respecto a las temperaturas baja y alta. El color, determinado como índice de color para los distintos tratamientos térmicos se obtuvo para las muestras en un rango de -0.52 a 1.60. En la Figura 7 se presenta gráficamente las diferencias de color de acuerdo a los tratamientos realizados con respecto a la muestra sin tratamiento térmico. En estas pastas color verde el índice de color indicaron que se presentó una

baja luminosidad y tendiendo a colores verdes-azules con un índice de color alrededor de -0.5. Este valor parece ser estable en los tratamientos (excepto el T3) El mantenimiento del color durante el proceso térmico y en el almacenamiento ha sido un reto mayor en el procesamiento de vegetales (Ahmed *et al.*, 2002).

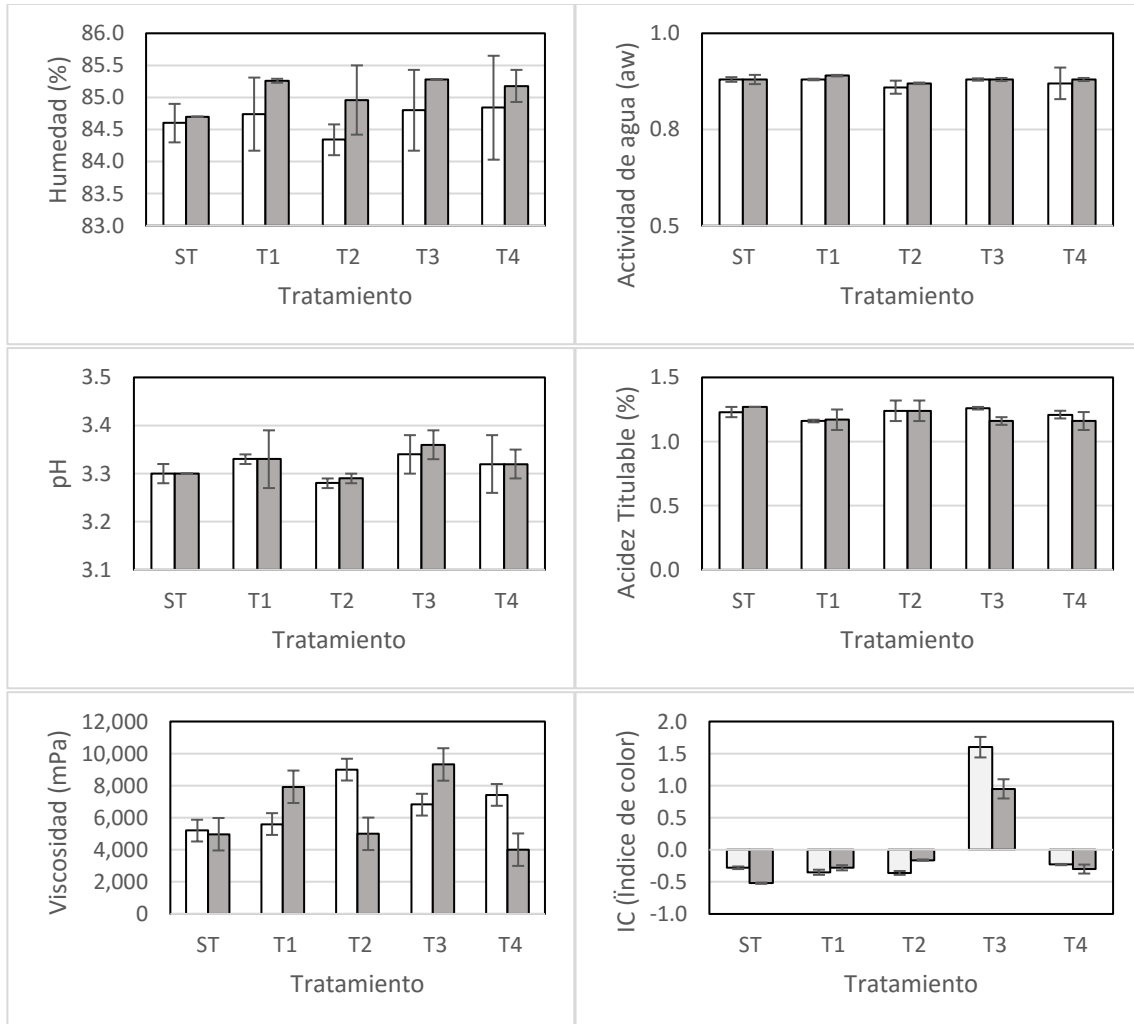


Figura 7. Propiedades fisicoquímicas de las pasta de chile habanero verde con formulación original sometidas a tratamientos térmicos con granulometría fina (□) y gruesa (■).*
*T1, T2, T3, T4= Tratamientos; ST=Sin tratamiento

Debido a lo anterior se puede concluir que algunos factores presentaron una mayor sensibilidad a las variables del proceso. Las diferentes pastas de chile habanero sometidas y no sometidas a tratamiento térmico no presentan crecimiento microbiano de mesófilos aerobios, hongos y levaduras, coliformes totales, coliformes fecales/E. coli, ni Salmonella, lo que los convierte en alimentos inocuos para su consumo.

Los resultados indicaron que la granulometría no presentó efectos en el índice de color, porcentaje de humedad, Aw, pH y la acidez titulable total. En cuanto a la viscosidad las muestras presentaron la mayor viscosidad en función del tratamiento recibido: la temperatura presentó estadísticamente un efecto importante en la cuantificación de la viscosidad de las muestras. La necesidad de estandarizar las condiciones de procesamiento surge cuando se considera el comportamiento de los

diferentes ingredientes de la mezcla sin embargo, la limitación importante en la optimización de los procedimientos es el grado deseado de esterilidad (Holdsworth, 1985). Por lo tanto la normalización de las condiciones de procesamiento por un tratamiento térmico es totalmente necesario (Goodman *et al.*, 2002).

En este sentido una empresa del estado de Yucatán cuenta con la línea de elaboración de puré de chile habanero con tratamiento térmico, como estrategia de comercialización de los productos dándoles valor agregado y diversificando su producción. El nuevo proceso de producción permite obtener un producto terminado tratado térmicamente mediante un esterilizador piloto, sin afectar, en el caso de la formulación de línea con conservadores, las características fisicoquímicas y sensoriales del producto (CONACYT, 2013).

Regulaciones de países importadores.

El chile habanero es ampliamente conocido por su picor que actualmente es empleado en la elaboración de cosméticos, pomadas, gas lacrimógeno, recubrimiento de sistemas de riego entre otros. Entre los países con amplia oportunidad de negocio están: *Japón y Estados Unidos*. Es por ello que exportar chile habanero de alta calidad, que cumplan con las normas de calidad e higiene es una oportunidad de negocio.

Japón. Importa el 60% de su consumo de alimentos debido a que no cuenta con suelos fértiles para el cultivo. Es considerado uno de los países cuyo mercado es de los más exigentes en cuanto a normatividad en alimentos: para realizar las certificaciones, estándares y seguridad e inocuidad de los productos que importa. Además cuenta con organismos e instancias que regulan, supervisan y ejecutan su cumplimiento de la normatividad como el Ministerio de Agricultura, Pesca y Ciencias forestales; el Ministerio de Labor, Salud y Bienestar y la Comisión para la Inocuidad Alimentaria. Japón también realiza planes de monitoreo de los productos que importa, en donde destacan los agrícolas como chile habanero (Tabla 8). Cabe destacar que también se mencionan regulaciones en envasado, etiquetado y declaración de ingredientes.

Tabla 8. Plan de monitoreo de Japón para productos importados durante el 2013.

Producto	Razón para ordenar la inspección
Productos Agrícolas Procesados: Productos congelados, productos vegetales y frutas procesadas, especias (chile) , fideos instantáneos y otros.	Sustancias Antibacterianas: antibióticos, agentes antibacterianos sintéticos, hormonas, etc. Residuos químicos agrícolas: Organofosforados, organoclorados, carbamatos, piretroides, y otros. Aditivos: Conservadores, Colorantes, Edulcorantes, antioxidantes, agentes antifúngicos, y otros. Microorganismo patógenos: E. coli, Lysteria monocytogenes, Vibrio parahemolyticus. Cantidad de constituyentes permitidos: como número de bacterias, coliformes, etc. Micotoxinas: Aflatoxina, Patulina, etc. GMO. Organismos Genéticamente Modificados cuya seguridad no ha sido certificada. Radiación : Existencia de irradiación

Estados Unidos de América (EUA). Respecto a EUA, las principales agencias federales involucradas en la regulación y control de importación de alimentos hacia USA son: Environmental Protection Agency (EPA). Determina el nivel de tolerancia de los límites máximos de plaguicidas y otros contaminante como metales pesados. EPA no inspecciona, es FDA verifica que se cumplan los niveles de tolerancia. Department of Health and Human Services (HHS). Responsable de proteger la salud pública. Asegurando la inocuidad y eficacia de medicamentos, suplementos alimenticios, aditivos, medicamentos, cosméticos, equipos médicos, etc. incluyendo etiquetado. Animal and Plant Health Inspection Service. Inspecciona los vegetales frescos y animales vivos importados a Estados Unidos, con el objeto de impedir la propagación de plagas. Responsable de estudiar la admisibilidad de productos y de los protocolos fitosanitarios y zoonosarios que permiten su importación.

Existen Regulaciones por la FDA sobre alimentos acidificados la cual es aplicable para chile habanero (Tabla 9). La FDA requiere que todas las empresas que elaboran alimentos envasados de baja acidez (LACF) procesados por calor y alimentos acidificados (AF), registren tanto al establecimiento como los métodos de procesamiento del alimento previo al embarque de cualquier producto. El incumplimiento trae como consecuencia acciones legales contra la firma o el producto en EEUU y la detención de los embarques. El objetivo de esta regulación es proteger la salud de los posibles efectos nocivos de bacterias y toxinas, especialmente de *Clostridium botulinum* (agente del botulismo).

Tabla 9. Categorización de procesos en función de su pH, Actividad de agua y acidez para acceder al mercado norteamericano.

pH en el equilibrio	Actividad de agua	Baja Acidez (21CFR 108.35/113)	Acidificado (21CFR 108.25/114)
≤4.6	≤0.85	No	No
≤4.6	>0.85	No	Si
>4.6	≤0.85	No	No
>4.6	>0.85	Si	No

Conclusiones

El mercado de los alimentos sufre cambios importantes que generan tendencias clave en alimentación. En 2016 las tendencias mundiales dirigen la preferencia por alimentos: 1) ecológicos, que no dañen el medio ambiente debido al cambio climático y la sostenibilidad; 2) artesanales, se han elaborado con materias primas de calidad con certificación de origen; 3) nutrigenómicos; alimentos cuyos componentes moleculares contribuyen a la salud según la constitución genética individual; 4) de nutrición deportiva, que ayudan a mejorar la apariencia física y el bienestar del consumidor; 5) alternativos, a base de nuevas fuentes de proteínas; así como a 6) productos alimentarios más naturales y menos procesados. Debido a dicho cambio en los hábitos sociales, la dieta y los métodos de conservación y al aumento en los brotes de enfermedades, tanto la adición de antimicrobianos naturales como tratamientos térmicos representan un desafío para la investigación en la búsqueda de la inhibición o eliminación de bacterias patógenas, en el que no sólo se analicen la inocuidad alimentaria vista como la cantidad de microorganismos, la degradación de metabolitos, cambio de color o cambio en la textura instrumental o sensorial, sino también en la asimilación de nutrientes (nutrigenómicos, de nutrición deportiva o alternativos). Actualmente los métodos empleados en la conservación de alimentos, han mejorado desarrollando una gran gama de tecnologías, cuya finalidad es la conservación de los alimentos de forma que mantenga su inocuidad, sin embargo dadas las características de precio de las nuevas tecnologías tanto la adición de antimicrobianos naturales y/o la esterilización seguirán siendo opciones viables para los productores de pastas/salsas de Chile de México y la región, representando también opciones importantes para las industrias cosmeceúticas y nutraceuticas.

Actualmente, se está comercializando teniendo como marco una legislación mundial globalizada, que se ha transformado en órganos de análisis más estrictos y regulados, afectando a las industrias, por lo que es necesario el desarrollo de tecnologías que atiendan estas demandas, con el fin de que nuestro país mejore su competitividad en la comercialización de alimentos como frutas y verduras, en donde es uno de los más importantes exportadores.

Bibliografía

Ahmed J, Shivhare US, Sandhur K.S. 2002. Thermal Kinetics of Colour Degradation and Storage Characteristics of Onion Paste. Food Eng & Physical Properties. 67(7):2692 - 2695.

- Bautista-Arroyo Y., Vilchiz-Bravo L.E., Sacramento-Rivero J.C. y Brent E.H. 2012. Caracterización térmica del secado de chile habanero usando un microcalorímetro Tian Calvet. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Química, 12, 13 y 14 de Noviembre de 2012. Montevideo, Uruguay. Ayala-Zavala J.F., M.A. Martínez-Téllez, L. Félix-Valenzuela, V. Mata-Haro. 2014. Produce Contamination Issues in Mexico and Central America. In: Sapers, G.M., E.B. Solomon, K.R. Matthews (eds). The Produce Contamination Problem Causes and Solutions. Academic Press. USA. pp. 343-363.
- Barton C., R.K. Mody, J. Jungk, L. Gaul, J.T. Reed, S. Chen, S. Cosgrove, E. Hedican, D. Sweat, L. Chávez-Hauser, S.L. Snow, H. Hanson, T. Nguyen, S.V. Sodha, A.L. Boore, E. Russo, M. Mikoleit, L. Theobald, P. Gerner-Smidt, R.M. Hoekstra, F.J. Angulo, D.L. Swerdlow, R.V. Tauxe, P.M. Griffin, I.T. Williams. 2011. 2008 Outbreak of Salmonella Saintpaul Infections Associated with Raw Produce. The New England Journal of Medicine 364:918-927.
- Busta K., S.P. Kennedy. 2011. Defending the Safety of the Global Food System from International Contamination in Changing Market. In: Hefnawy (ed). Springer Science+Business Media B.V. Advances in Food Protection, NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology 1. USA. pp. 119-135.
- Caracterización térmica del secado de chile habanero usando un microcalorímetro Tian Calvet. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Química, 12, 13 y 14 de Noviembre de 2012. Montevideo, Uruguay.
- Cárdenas I. y SIPSE. 2014. Chile habanero no sale de Yucatán por tener químicos prohibidos. Disponible en: <http://sipse.com/milenio/chile-habanero-exportacion-yucatan-quimicos-prohibidos-86589.html> Consultado: 25 de marzo de 2016
- Blanchard J., 2000. Los antimicrobianos naturales refuerzan la seguridad en los alimentos. Disponible en: <http://www.directoalpaladar.com/2006/10/28-los-antimicrobianos-naturales-refuerzan-la-seguridad-en-los-alimentos> [Consulta 28/Oct./2007]
- Chan, N.; Sauri, E.; Olivera, L.; Rivas, J. 2011. Evaluación de la calidad en la industrialización del chile habanero (*Capsicum chinense*). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 12(2):222-226.
- CONACYT. 2013. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Ficha Técnica de Proyecto. Evaluación a nivel piloto del efecto de tratamiento térmico sobre la calidad microbiológica, fisicoquímica, nutrimental, sensorial y vida de anaquel del puré de chile habanero. Disponible en: <http://www.conacyt.gob.mx/index.php/convocatorias-conacyt/fichas/2013/5874-198257-ficha-publica/file> Consultada 08 de abril de 2016.
- Diario Oficial. 2102. Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5259470&fecha=16/07/2012 Consultado el 24 de marzo de 2016.
- Declaratoria general de protección de la denominación de origen del chile habanero de la península de Yucatán. Diario Oficial de la Federación. 4 de junio del 2010.
- Eswaranandam S., N. Hettiarachchy, M. Jonson. 2004. Antimicrobial activity of citric, lactic, malic or tartaric acids and nisin-incorporated soy protein film against *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Salmonella gaminara*. Journal Food Science 69: 79-84.

- FAO 2011. Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en el Mundo. Alcance causas y prevención. Estudio realizado para el Congreso Internacional SAVE FOOD! En Interpack, Düsseldorf, Alemania. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/016/i2697s/i2697s.pdf> consultado el 9 de abril del 2016.
- Faostat 2013. Food and Agricultural commodities production. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> consultado el 30 de marzo de 2016
- FDA. 1997. Guidance for Commercial Processors of Acidified & Low-Acid Canned Foods. Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/FoodFacilityRegistration/AcidifiedLACFRegistration/ucm2007436.htm> Consultado el 01 de abril de 2016.
- Freedman B. 1977. Asthma induced by sulphur dioxide, benzoate and tartrazine contained in orange drinks. *Clinical Allergy* 7:407-415. Goodman C., Fawcett, S., & Barringer, S.A. 2002. Flavor, viscosity, and color analyses of hot and cold break tomato juices. *J Food Sce* 67(1):404-408
- Holdsworth, S. D. 1985. Optimization of thermal processing: A review. *Journal of Food Engineering*, 4:89–116.
- Guía de Requisitos Sanitarios y Fitosanitarios para Exportar Alimentos a Estados Unidos. 2010. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Comisión de Programación del Perú para la Exportación y Turismo. 29 p. Disponible en http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/calidad/req_usa.pdf Consultado el 9 de abril del 2016.
- Guía de Requisitos Sanitarios y Fitosanitarios para Exportar Alimentos a Japón. 2010. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Comisión de Programación del Perú para la Exportación y Turismo. 30 p. Disponible en http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/calidad/req_japon.pdf Consultado el 9 de abril del 2016.
- Herández-Cortez C., M.G.Aguilera-Arreola, G.Castro-Escarpuli. 2011. Enfermedades Gastrointestinales en México. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología* 31:137-151.
- Kim Y.S., S.H.Lee, S.H.Kim, Y.Jo, G.J.Bahk. 2015. Investigation of the experience of foodborne disease in South Korea. *Food Control* 47:226-230.
- Lugo-Jménez N., M.Carballo-Bautista, E.Sauri-Duch, A.Centurion-Yah y E.Tamayo-Canul. 2010. Efecto del Sistema de Cultivo Sobre la Calidad Microbiológica del Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Después de la Cosecha. *Red de Revistas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* 11(2):171-179.
- Mc allister T. G. 2009. La inocuidad de alimentos y el comercio internacional. *Rev. Colom Cienc Pecua* 22 (3):1-7.
- Mead, P., L. Slutsker, V.Dietz, L.McCaig, J.Breese, C.Shapiro. 1999. Food-related illness and death in the United States. *Emerging Infectious Diseases* 5:607-625.
- Milenio. 2015a. Inocuidad, una traba al chile habanero. Disponible en: <http://sipse.com/milenio/inocuidad-chile-habanero-comercializacion-yucatan-167345.html> Consultado: 07 de abril de 2016
- Milenio 2015b. A la basura, el 25% de la producción de chile habanero. Disponible en: <http://sipse.com/milenio/produccion-chile-habanero-basura-perdidas-comercio-167479.html> Consultado 30 de marzo de 2016.
- Mortarjemi Y., H.Lelieveld. 2014. Fundamentals in Management of Food Safety in the Industrial Setting: Challenges and Outlook of the 21st Century. In: (eds). *Food Safety Management*. Elsevier. USA. pp. 1-19.

- Norma Oficial Mexicana. 189-SCFI-2010. Chile Habanero de la Península de Yucatán (*Capsicum chinense* Jacq.) Especificaciones y Métodos de Prueba.
- Ornelas-Paz J.J., J.M. Martínez-Burroa, S.Ruiz-Cruz, V.Santana-Rodríguez, V.Ibarra-Junquera, G.I.Olivas, J.D.Pérez-Martínez. 2010. Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of Mexican peppers. *Food Chemistry* 119:1619-1625.
- Pierson M.D., D.A.Corlett (eds). 1992. HACCP principles and applications. Chapman & Hall. New York. (reprint 2012).
- Pino J., M.González, L.Ceballos, A.R.Centurión-Yah, J.Trujillo-Aguirre, L. Latournerie-Moreno, E. Suari-Duch. 2007. Characterization of total capsaicinoids, colour and volatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack.) cultivars grown in Yucatan. *Food Chemistry* 104:1682-1686.
- Produce. 2013. Manual para la transformación de productos derivados del chile. Disponible en: http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/7/2013/trimestrales/anexo_2083-5-2014-02-1.pdf Consultado: 05 de abril de 2016
- Roe AJ, O'Byrne C, McLaggan D, Booth IR. 2002. Inhibition of *Escherichia coli* growth by acetic acid: a problem with methionine biosynthesis and homocysteine toxicity. *Microbiology*. 148:2215-2222.
- Ruiz-Lau, N., F. Medina Lara, y M. Martínez Estévez. 2011. El chile habanero: su origen y usos. *Ciencia*: 70-77.
- Soung-Youn K., K.Dong-Hyun, K.Jin-Ki, H.Uong-Geun, J.Young Hwang, K.Taewan, L.Seon-Ho. 2011. Antimicrobial activity of llant extracts against *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* on Fresh Lettuce. *Journal Food Science* 76:41-46.
- Yaganza ES, Tweddell RJ, Arul J. 2009. Physicochemical basis for the inhibitory effects of organic and inorganic salts on the growth of *Pectobacterium carotovorum* subs. *carotovorum* and *Pectobacterium atrosepticum*. *Appl. Environm Microbiol.* 75:1465-1469.
- Yao H., Z.Hruska, R.L.Brown, D.Bhatnagar, T.E.Cleveland. 2015. Safety Inspection of Plant Products. In: Bark, B., R. Lu (eds). *Hyperspectral Imaging Technology in Food and Agriculture*, Food Engineering Series. Springer Science+Business Media. New York. pp.127-172.
- Vaclavik V.A., E.W.Christian. 2014. Food Safety. In: Heldman, D.R. (ed). *Essential of Food Science*, 4Th edition. Food Science Text Series. Springer Science+Business Media. New York. pp. 393-434.
- Van Boekel M, Fogliano V, Pellegrini N, Stanton C, Schol g, Lalljie S, Somoza V, Knorr D, Rao-Jasti P, Eisenbrnad G. 2010. A review on the beneficial aspects of food processing. *Mol. Nutr. Food Res.* 54:1215-124.
- Viuda-Martos M., J. Ruiz-Navajas, J. Fernández-López, J. Pérez-Álvarez. 2008. Antibacterial activity of lemon (*Citrus Lemon* L.), Mandarin (*Citrus reticulata* L.), Grapefruit (*Citrus paradisi* L.) and Orange (*Citrus sinensis* L.) essential oils. *Journal of Food Safety* 28:567-576.

Inocuidad en Frutillas (Berries)

Contreras-Ramos Silvia M.^{1*}, Gutiérrez-Mora Antonia²

¹Unidad de Tecnología Ambiental, ²Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ). Av. Normalistas #800, Col. Colinas de la Normal. Guadalajara Jalisco. C.P.44270. *Correspondencia: smcontreras@ciatej.mx.

Resumen

Por su cultivo y comercio en México las frutillas o berries representan una cadena productiva de importancia en el país. México cultivo 26 mil 679 hectáreas de berries en 2014, con una producción de 665 mil toneladas, y un valor en mercado de 12 mil 923 millones de pesos (738.5 millones de dólares US). El crecimiento en la producción de berries fue del 21% para fresa, zarzamora con 18.6%, la frambuesa 17% y arándano 77% en ese último año de registro. El 52.4% de la producción nacional (2014) se exportó, principalmente a Estados Unidos. La calidad e inocuidad alimentaria en la actualidad son claves para el éxito en el comercio internacional agropecuario. En este capítulo se agrupan las 4 principales *berries*: fresa, frambuesa, zarzamora y arándano, abordando la temática de su producción, los principales puntos críticos de control para la inocuidad en la cadena productiva, los principales problemas fitosanitarios a los que se enfrentan y los pesticidas regulados con máximos niveles de residuos permitidos (MRLs) para las 4 berries. Se detectan los principales puntos críticos de riesgo relacionados con problemas de inocuidad, ligados a las plagas o enfermedades que las pueden atacar. Así el gran reto de la cadena productiva de berries es cumplir con la inocuidad y calidad dentro de la regulación de pesticidas, lo cual esta obligando a buscar algunas alternativas biotecnológicas para el manejo de plagas para poder cubrir la demanda del mercado y mantener la inocuidad de los cultivos.

Introducción

Las *frutillas* o “*bayas del bosque*” mejor conocidas como “*erries*”, se caracterizan por sus frutos pequeños de colores rojo y púrpura. Una baya está definida en botánica como un fruto de múltiples semillas, de mesocarpio y endocarpio carnosos que proviene de una flor de ovario súpero (Bowling, 2000). Por tal motivo en términos botánicos, solo algunos de estos frutos son bayas verdaderas pero el uso del término *berries* es muy común a nivel científico y se ha expandido a nivel comercial (Ondarza-Beneitez y Higuera-Ciapara, 2016). Por su cultivo y comercio en México el término conjunta a las 4 principales *berries*: fresa (*Fragaria x ananassa*), frambuesa (*Rubus idaeus*), zarzamora (*Rubus fruticosus*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*). En este capítulo se describirá (1) la producción que se tuvo en México hasta el 2014 (último dato reportado) para cada cultivo de *berrie*, (2) los principales puntos críticos de control en la cadena productiva de las *berries* (3) los principales problemas fitosanitarios que se han reportado, (4) así como los pesticidas regulados con máximos niveles de residuos permitidos (MRLs) para las 4 *berries*.

Producción de Berries en México y el mercado de exportación

En México el cultivo de fresa es el que tiene la mayor producción (458,972 Ton), seguido de zarzamora (152,922 Ton), frambuesa (35,627 Ton) y arándano (18,031 Ton) (SIAP, 2016). Esta tendencia se ha presentado en los últimos 5 años (Figura 1a, b), mostrando que del 2013-2014 el cultivo de fresa tuvo un crecimiento del 21%, la zarzamora 18.6% y la frambuesa 17%. Mientras que el crecimiento más alto lo presentó el cultivo de arándano con 41% del 2012-2013 y en el último ciclo reportado del 2013-2014 tuvo un crecimiento del 77% (Figura1b).

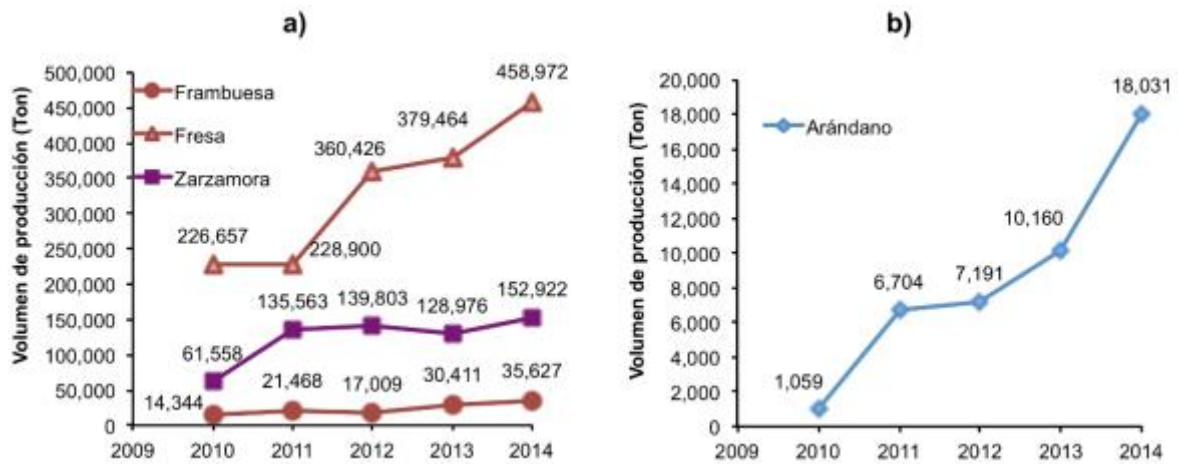


Figura 1. Volumen de producción (Ton) de cultivo de a) fresa, zarzamora y frambuesa; y b) arándano. Elaboración propia con datos de (SIAP, 2016).

La producción de berries se centró en 19 estados de la República Mexicana: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Colima, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Sonora, Veracruz y Zacatecas (Tabla 1 y Figura 2).



Figura 2. Estados de la República Mexicana donde se cultivaron berries en 2014 (último dato del SIAP). Elaboración propia con datos consultados en Mayo 2016.

Lográndose así en el 2014 una superficie de cultivo de 26 mil 679 hectáreas, una producción de 665 mil toneladas, con un valor de 12 mil 923 millones de pesos (738.5 millones de dólares US) (SIAP, 2016) de acuerdo a los últimos datos registrados (Tabla 2). Los principales estados con mayor producción de los cultivos fueron Michoacán (fresa y zarzamora), Jalisco (arándano, frambuesa y zarzamora), Baja California (fresa y frambuesa), Colima (arándano y zarzamora) (Tabla 1 y 2). Tan sólo en Michoacán, Jalisco, Colima y Nayarit se produce el 70% de la producción nacional de estas 4 berries. El 52.4% de la producción nacional de berries (2014) se exportó, siendo Estados Unidos (USA) el principal destino de exportación de las berries Mexicanas con el 98% del volumen exportado (SIAMI, 2014).

El mayor rendimiento promedio del cultivo de arándano se encontró en Colima con 10.22 Ton/ha, para frambuesa fue 17.24 Ton/ha y fresa 64.12 Ton/ha en Baja California y 12.64 Ton/ha en Jalisco para zarzamora (Tabla 1 y 2) (SIAP, 2016).

El rendimiento de cada cultivo naturalmente depende de diferentes condiciones de manejo, cuidado, e inocuidad que se tenga durante el ciclo de producción y a lo largo de la cadena productiva. Como todos los cultivos para consumo en fresco y de acuerdo a las normativas nacionales como internacionales, se deben tener buenas prácticas de manejo desde el suelo, el cultivo, postcosecha y empaque. Y aunque muchos productores en México están implementando buenas prácticas en sus cultivos, las berries no están exentas de presentar el ataque de alguna plaga, durante el proceso de la cadena productiva.

Tabla 1. Superficie de producción (Sup), volumen de producción (Vol. Prod.), rendimiento (Y) y valor de producción (Valor Prod.) de en los diferentes estados de la república Mexicana donde se cultivan arándano y frambuesa en 2014.

Cultivo	Estado	Sup.*	Vol. Prod.	Y	Valor Prod.	Estado	Ubicación	Sup.*	Vol. Prod.	Y	Valor Prod.
		(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(Miles de Pesos)			(Ha)	(Ton)	(Ton/Ha)	(Miles de Pesos)
Arándano	Jalisco	835	7,834	9.38	251,065	Frambuesa	Jalisco	1,539	22,261	14.46	371,903
	Colima	406	4,960	12.22	342,509		Baja California	511	8,773	17.24	801,335
	Baja California	193	2,328	12.13	215,868		Michoacán	267	4,407	16.50	226,022
	Michoacán	150	1,351	10.31	91,084		México	18	115	6.50	2,530
	Sinaloa	97	1,067	11.00	25,862		Hidalgo	6	61	10.10	799
	Puebla	113	441	4.55	8,042		Distrito Federal	3	10	3.50	115
	México	15	35	3.14	1,528		Puebla	0.3	0.5	2.00	10
	Sonora	34	15	0.45	1,073		Chihuahua	20	0.00	0.00	0
Total		1,843	18,031	7.90	937,030	Total		2,364	35,627	8.79	1,402,714

Elaboración propia con datos del SIAP para producción agrícola Cíclicos y Perennes 2014, Riego + Temporal. Consulta: Mayo 2016.

Tabla 2. Superficie de producción (Sup), volumen de producción (Vol. Prod.), rendimiento (Y) y valor de producción (Valor Prod.) de en los diferentes estados de la república Mexicana donde se cultivan fresa y zarzamora en 2014.

Cultivo	Estado	Sup.* (Ha)	Vol. Prod. (Ton)	Y (Ton/Ha)	Valor Prod. (Miles de Pesos)	Estado	Ubicación	Sup.* (Ha)	Vol. Prod. (Ton)	Y (Ton/Ha)	Valor Prod. (Miles de Pesos)	
Fresa	Michoacán	5,896	259,190	43.96	2,299,440	Zarzamora	Michoacán	11,891	146,093	12.31	4,990,618	
	Baja California	2,273	145,769	64.12	2,714,030		Jalisco	365	4,529	12.63	43,294	
	Guanajuato	889	28,568	32.14	123,586		Colima	119	1,363	11.45	48,879	
	Jalisco	349	11,491	32.92	129,365		Baja California	51	445	8.9	24,920	
	Baja California Sur	177	6,167	35.04	81,587		Puebla	34	276	8.11	419	
	México	336	6,144	18.29	105,135		México	20	117	5.84	1,877	
	Aguascalientes	25	1,236	49.42	12,474		Querétaro	3	23	7.6	308	
	Oaxaca	6	135	22.50	2,218		Morelos	11	21	1.9	206	
	Puebla	8	108	14.44	1,139		Nayarit	3	20	6.8	428	
	Zacatecas	4	99	28.29	1,656		Distrito Federal	5	17	3.36	184	
	Chihuahua	2	41	23.53	1,600		Veracruz	2	13	6.5	390	
	Veracruz	3	24	8.00	228		Guanajuato	1	3	3	40	
								Hidalgo	1	2	2	28
	Total		9,967	458,972	31.05		5,472,458	Total		12,506	152,922	6.51
Total de las 4 berries:	Arándano Frambuesa Fresa Zarzamora	26,679	665,552		12,923,795							

Elaboración propia con datos del SIAP para producción agrícola Cíclicos y Perennes 2014, Riego + Temporal. Consulta: Mayo 2016.

Principales puntos críticos de control en la cadena productiva

A continuación se presenta un diagrama donde se muestran los principales puntos críticos de control identificados como fuentes de contaminación, vectores y los peligros de inocuidad que podrían derivarse si no se implementan las buenas prácticas en dichas fuentes y vectores en el manejo en berries (Figura 3).

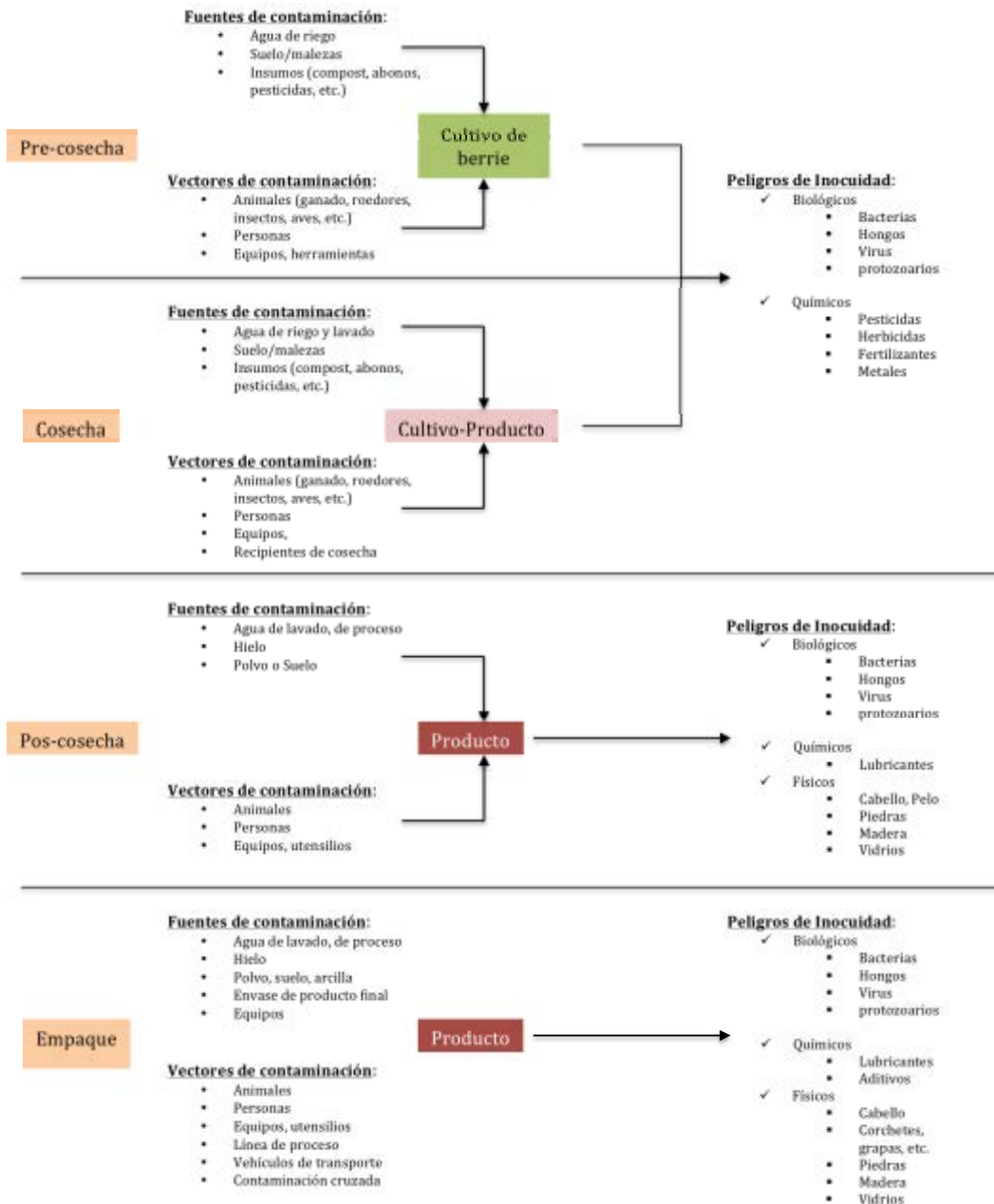


Figura 3. Puntos críticos de control identificados como fuentes de contaminación, vectores y los peligros de inocuidad derivados en cada etapa de la cadena productiva de berries. Elaboración propia.

Durante la etapa de *pre-cosecha* las principales fuentes de contaminación son el suelo, los insumos agrícolas como compostas, abonos (principalmente de estiércol de animales) y la aplicación de pesticidas y herbicidas. En el caso del suelo es donde muchos organismos como bacterias, hongos y nematodos pueden habitar y permanecer por largos períodos, cuando éste no tiene un pre-tratamiento o acondicionamiento entre cosechas (Figura 3). Las malezas o restos vegetales de cultivos anteriores también son fuentes importantes de contaminación ya que pueden mantener o proliferar a bacterias y hongos fitopatógenos. En esta etapa los vectores de contaminación son principalmente animales externos al cultivo (ganado, insectos o animales domésticos), las personas que manipulan el cultivo y sus herramientas ya que pueden ser transportadores en ropa y zapatos de organismos externos fitopatógenos.

En la etapa de cosecha prácticamente son las mismas fuentes y vectores de contaminación, sólo que en esta se suma como vector los recipientes de cosecha que transportan la fruta de corte, y que de no tener la buena práctica de higiene pueden ser foco de proliferación de microorganismos (bacterias y hongos) del ambiente. En ambas etapas de la cadena, los problemas de inocuidad podrían ser la presencia de organismos fitopatógenos (peligros biológicos) y la presencia de restos de pesticidas, herbicidas, o insumos agrícolas aplicados a los cultivos de berries (Figura 3).

Durante la postcosecha los principales puntos identificados como fuentes de contaminación son el agua de lavado de proceso, el hielo y el suelo (cuando la fruta toca el suelo) e incluso el polvo cuando después de cortar la fruta queda expuesta largos períodos de tiempo. Mientras que los principales vectores son las personas que cortan la fruta y equipos o utensilios de manipulación de la fruta. Aquí se pueden sumar peligros de inocuidad por lubricantes de los equipos (de bandas o motores, etc.) en el proceso de lavado de la fruta. Además de peligros de inocuidad por agentes externos físicos (cabellos, pelo de roedores, piedras, madera (astillas) vidrios, etc) (Figura 3).

Unas de las últimas etapas de la cadena productiva es el empaque donde además de las fuentes previas de contaminación se suman el envase del producto final (debe ser libre de químicos residuales ej. aflatos, solventes, etc.). Y como vector de contaminación se suman los vehículos de transporte y la contaminación cruzada de algún punto de la cadena hasta la etapa de empaque. En esta etapa también puede haber problemas de inocuidad por los aditivos que se utilicen para empaque (recubrimientos comestibles, conservadores, retardadores de madurez, etc.) (Rodríguez Beraud, *et al.*, 2015) (Figura 3).

Las buenas prácticas de cultivo permiten tener un control de las fuentes de contaminación y de los vectores, permitiendo implementar la trazabilidad en la cadena productiva y en casos de emergencias poder tomar acciones correctivas. Sin embargo, el principal reto en la inocuidad de las berries, así como en la mayoría de los cultivos, es evitar la presencia y proliferación de organismos fitopatógenos en la etapa de pre-cosecha, para que estos no estén presentes en postcosecha y en el destino final del producto en el mercado. Además de poder mantener la mínima cantidad de insumos de control de plagas (pesticidas, herbicidas, fungicidas, etc.) dentro de las regulaciones que marca el

mercado de exportación de berries. A continuación se describirán estos dos puntos de los principales problemas de inocuidad: fitopatógenos y pesticidas regulados para berries.

Principales fitopatógenos en berries

En la tabla 3 se listan los principales problemas de enfermedades a plantas reportados en su mayoría para México, en las diferentes etapas de la cadena productiva de berries, mencionando los organismos fitopatógenos, las estrategias de control que se emplean o han sido reportadas y los principales hallazgos u observaciones reportadas. A continuación se describirá los principales fitopatógenos para cada tipo de berrie.

Fresa

En México se cultivan diferentes variedades, cada una con características específicas; y con diferentes rendimientos debido a: épocas de producción, resistencias a plagas y enfermedades, sabor, color, tamaño, por mencionar algunas. Las variedades se pueden expresar de distintas formas dependiendo de la región donde se establezcan.

El cultivo de fresa durante su producción se ve afectado por numerosas enfermedades. Las más comunes son las causadas por hongos, entre las cuales se encuentran podredumbre gris (*Botrytis cinerea/Sclerotinia fuckeliana*) y mancha púrpura (*Mycosphaerella fragarie*). Otros hongos afectan el sistema radical o zona cortical del cuello como *Fusarium* spp., *Rhizopus* spp., *Pythium* spp., *Cladosporium* spp., *Alternaria* spp., y *Penicillium* spp. (Ceja-Torres, et al., 2008)

En México, las enfermedades de la raíz causadas por hongos y pseudohongos son las principales limitantes fitosanitarias del cultivo de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) destacando la secadera la cual consiste en un marchitamiento y muerte gradual de la planta (Castro y Dávalos, 1990). La enfermedad se ha asociado con nueve organismos sobresaliendo cuatro especies de *Fusarium*, *Verticillium dahliae*, *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora* sp. (Castro y Dávalos, 1990; Mendoza, 1992).

El control químico de los microorganismos que atacan el cultivo de la fresa esta dado principalmente por fungicidas como Benomil® para *Rhizoctonia* sp. y Tiofanato® para *Verticillium*, Captán® para *Alternaria* sp. y *Mycosphaerella fragarie*; *Xanthomonas fragarie* con Hidróxido cúprico, Azufre elemental, Benomil® y Captán® para *Colletotrichum* sp., entre otros microorganismos patógenos (Lafuente Rincón, et al., 2015)

Los pulgones transmiten varios virus que pueden causar pérdidas económicas significativas en las fresas si el plantío se queda en el campo durante unos años. Aunque no es un problema grave en los plantíos de producción anual, la transmisión de los virus es una preocupación principal en la producción de las plantas en los viveros. Los más frecuentes en el cultivo son: Pulgón del melón: *Aphis gossypii* y pulgón de la fresa: *Chaetosiphon fragaefolii*. En algunos campos de producción de fresa, los pulgones casi nunca alcanzan niveles dañinos pero de vez en cuando causan una pérdida de rendimiento por la producción de mielecilla. Los depósitos de la mielecilla causan el

desarrollo de fumagina (moho negro) y hacen que las pieles blancas, mudadas por las ninfas se peguen a la fruta. Esta contaminación causa que no se pueda vender las fresas como fruta fresca. (Zalom, *et al.*, 2005).

Manejo

Aunque el control biológico puede ayudar a mantener las poblaciones de pulgones a niveles es común que se apliquen tratamientos en los viveros de fresa para prevenir el aumento de los pulgones y la diseminación de los virus.

Control biológico

Se ha encontrado un conjunto de por lo menos siete especies de parásitos primarios de los pulgones que infestan las fresas. Los parásitos mismos son atacados por un grupo grande de hiperparásitos (parásitos de los parásitos), lo que limita el aumento de los parásitos primarios. Los depredadores como la mosca sírfida (Familia *Syrphidae*) y las larvas de la crisopa verde (*Chrysopa* spp.) a menudo proveen un nivel de control más grande. Los controles biológicos que existen naturalmente pueden mantener las poblaciones del pulgón bajo de los niveles de daño económico,

Control cultural

Algunas coberturas de las plantas (túneles de plástico) han reducido las poblaciones de pulgones por debajo de los niveles económicos, pero los costos son considerables y la viabilidad económica para plantíos grandes o aún pequeños no ha sido establecida. El control de polvo es importante para facilitar la actividad de los parásitos y depredadores. Cuando se trata de cultivos orgánicos certificados, las aplicaciones de jabones insecticidas son aceptables.

En los últimos años se han realizado grandes adelantos en el desarrollo de la tecnología, sin embargo, se siguen presentando grandes pérdidas en postcosecha en todo el mundo, siendo difícil su cuantificación; se calcula que pueden alcanzar, dependiendo del país, hasta un 50% de la producción, jugando un papel muy importante los daños causados por microorganismos.

Entre los microorganismos encontrados en la fresa después de la cosecha se puede mencionar: *Penicillium* spp. y *Aspergillus* spp. que producen micotoxinas importantes desde el punto de vista de salud pública, por ser capaces de provocar intoxicaciones peligrosas por aflatoxinas (*Aspergillus* spp.) y patulinas (*Penicillium* spp.), que producen efectos hepato-tóxicos y carcinógenos (Batta, 2004).

Entre los métodos tradicionales de combate de las pudriciones en postcosecha está el uso de la refrigeración y productos químicos y más recientemente el manejo integrado. Con respecto a los fungicidas, el número que se puede emplear en postcosecha es muy reducido y con pocas perspectivas de nuevos ingredientes activos en el mercado. Actualmente cada vez son mayores las objeciones de orden higiénico-sanitarias, puesto

que los fungicidas se presentan como potenciales agentes oncogénicos cuando son aplicados a las frutas y verduras, y debido a este grave problema, ya se han establecido una serie de límites máximos de residuos (MRL) bastantes restrictivos hasta por debajo de lo recomendado por el “Codex Alimentarius” los cuales son internacionales y voluntarios, o por cada país que sí son obligatorios (ver sección siguiente).

Durante varios años se han empleado fungicidas sintéticos para controlar patógenos postcosecha, sin embargo, en diversos estudios se ha demostrado que estos compuestos han causado resistencia en microorganismos, incluyendo a los hongos y representan un potencial riesgo para la seguridad del medio ambiente y la salud humana. En la búsqueda de alternativas naturales para el control de pudriciones postcosecha se ha valorado el empleo de extractos vegetales, antagonismo microbiano (control biológico) y el quitosano (Fraire-Cordero, *et al.*, 2003).

El hongo *Trichoderma harzianum* demostró ser, en cultivos duales, un excelente biocontrolador de hongos postcosecha en frutos de fresa a través del parasitismo como mecanismo de acción, por lo tanto debe aplicarse antes de la cosecha para disminuir pérdidas durante el transporte y en los sitios de venta. El mecanismo de acción de *T. harzianum* como biocontrolador sobre los hongos postcosecha aislados e identificados en frutos de fresa fue el de micoparasitismo. Las hifas de *T. harzianum* cubrieron a las hifas del hongo a controlar, alimentándose de esta manera y degradando el micelio del hongo controlado (Guédez, *et al.*, 2009)

Arándano

En México, el cultivo del arándano es reciente y su cultivo se presenta principalmente en la Región de los Reyes Michoacán y en la zona sur del estado de Jalisco. En trabajos realizados se han identificado morfológicamente, a nivel de género, los hongos asociados a hojas, tallos y frutos del arándano para determinar la incidencia estacional de las mismas.

Mondragón-Flores *et al.*, (2012), identificaron a 12 hongos asociados a la parte aérea del arándano. En los frutos se observaron dos tipos de síntomas: “pudrición seca” (*Alternaria sp.*) y “pudrición suave” (*Colletotrichum sp.*). En hojas se observaron cinco tipos de síntomas: “mancha plateada” (*Alternaria sp.*, *Colletotrichum sp.*, *Neofusicoccum sp.* y *Stemphyllium sp.*), “mancha cobriza” (*Colletotrichum sp.*, *Phyllosticta sp.*), “tizón foliar” (*Colletotrichum sp.*, *Pestalotiopsis sp.*), “mancha marrón”, (*Colletotrichum sp.*) y roya (*Pucciniastrum sp.*). En los tallos se detectaron tres enfermedades: entre ellas “tizón de tallo”, (*Colletotrichum sp.*, *Pestalotiopsis sp.*), “costra del tallo” (*Colletotrichum sp.*, *Curvularia sp.*) y “cancro” (*Alternaria sp.*, *Colletotrichum sp.*, *Neofusicoccum sp.*, *Phoma sp.*, *Phomopsis sp.*). Las yemas presentaron dos tipos de síntomas: “tizón de yemas” (*Bipolaris sp.*, *Chaetomium sp.*, *Phoma sp.*) y “cancro de yemas” (*Colletotrichum sp.*). Con respecto a los 12 géneros de hongos identificados reportados, solamente el género *Chaetomium* no se aisló en la zona de Los Reyes, Michoacán, México. (Mondragón-Flores, *et al.*, 2012)

Pocos son los esfuerzos que se han desarrollado en México para combatir mediante control biológico enfermedades causadas por hongos en arándano, Hernández-Ceja (2014), reportó el efecto de extractos con acetato de etilo de plantas de *Lantana* sp., *Argemone* sp. y *Adenophyllum* sp. Los extractos crudos mostraron diferentes grados de inhibición de los hongos patógenos. En el caso de *Lantana* (acetato de etilo y etanol absoluto, Soxhlet), inhibieron el crecimiento micelial de *Colletotrichum* sp. 50 y 58%, respectivamente a una concentración de 5 mg/ml. Los extractos por macerado mostraron diferentes grados de inhibición de las tres plantas con acetato de etilo a la misma concentración, inhibieron el 100% a *Colletotrichum* sp. y *Petalotiopsis* sp. Para el caso de *Botryosphaeria* sp. solo el extracto de *Adenophyllum* sp. tuvo un efecto inhibitorio al 100% en una concentración de 5 mg/ml (Hernández-Ceja, 2014).

En postcosecha, el recubrimiento formulado con quitosano, ha mostrado ser efectivo contra el deterioro microbiano y la retención de la acidez. Sin embargo, no mostró mejorar las características de firmeza y alteró el aspecto característico de la fruta. El empleo de recubrimientos comestibles de quitosano se presentan como una estrategia potencial para evitar las pérdidas por podredumbres postcosecha de los arándanos frescos con la ventaja adicional de no presentar efectos adversos para la salud humana y con impacto ambiental pero es necesario continuar la investigación para identificar materiales adicionales que mejoren las propiedades barrera (Cruañes y Locaso, 2011).

Por otro lado existen evidencias de recubrimientos elaborados con quitosano solo y combinado con aceites esenciales aplicado sobre frutillas (arándano) que mostraron un aumento de la vida útil mejorando la calidad de la fruta almacenada (Zivanovic, *et al.*, 2003).

Las bolsas de atmósfera modificada es otra tecnología empleada para alargar la vida de anaquel en arándanos, éstas permitieron disminuir en alrededor de un 4% el porcentaje de pérdida de peso por deshidratación, manteniendo una fruta turgente, firme y fresca, luego de 28 días de almacenaje. Con esta tecnología no se presentaron problemas de fermentación, es decir, los frutos no presentaron olores extraños ni pérdidas de sabor debido a la atmósfera modificada y al SO₂. El SO₂ presentó gran eficacia al disminuir significativamente la incidencia de pudrición gris en los frutos de arándanos, hasta un 5% comparado con el testigo. Sin embargo, los tratamientos con SO₂ resultaron en daños de blanqueamiento comprometiendo la calidad del fruto, por lo que, dadas las circunstancias, no sería recomendable la utilización de generadores de SO₂ con 1 y 2 g de metabisulfito de sodio, en frutos de arándano dentro de bolsas atmósfera modificada. La concentración de sólidos solubles de los frutos de arándanos no fue afectada por la atmósfera modificada ni por el SO₂ aplicado durante el período de almacenaje (Rodríguez Beraud, *et al.*, 2015).

Zarzamora

En México, el Mildiú causado por *Peronospora sparsa* Berk es una de las enfermedades más importantes de la zarzamora causando pérdidas de hasta el 70%. Con la intención de evitar estas pérdidas, se han evaluado fungicidas biológicos, agentes desinfectantes,

fosfito de potasio e inductores de resistencia de la planta. Al respecto, se han evaluado diferentes formulaciones comerciales de *Bacillus subtilis*, extracto de semillas de cítricos, sulfato de cobre, glutatión oligo-sacarina, proteína Harpin®, peróxido de hidrógeno, fosfito de potasio, y *Trichoderma harzianum*.

Los resultados de 2 años de evaluación de los diferentes tratamientos indicaron que con la excepción de potasio, compuestos basados en glutatión-oligo sacarín fosfito- y, el resto de los tratamientos evaluados tienen efectos variables en el control de enfermedades, que va desde moderada a baja eficacia. Los resultados de un tercer año de evaluación confirmó que el glutatión oligo sacarín (Kendal®) y fosfito de potasio, tuvieron un control aceptable de la secadera comparado con productos químicos como Azoxistrobina®. Ambos de estos compuestos se pueden utilizar para diseñar programas de control del secamiento del fruto dependiendo de la temporada y tomando en cuenta la epidemiología de la enfermedad, el tiempo de aplicación y la fenología (Boyo-Marín, *et al.*, 2015).

De igual manera se ha demostrado el efecto de extractos etanólicos obtenidos de plantas del desierto mexicano como agentes microbianos (Orégano, Hoja de Sen y Sangre de Drago) en la inhibición del crecimiento micelial de *Botrytis cinerea*. El ensayo fue realizado en envases de carboximetilcelulosa (CMC) al 5% y maltodextrina 7% adicionado con 3000 ppm de extracto de cada planta. El extracto etanólico de hojas de Sen, en zarzamora controló la pérdida de peso, pérdida de capacidad antioxidante y el índice de decaimiento. Este tipo de envases constituye una oportunidad para incrementar la vida de anaquel de frutos de esta especie.

Frambuesa

A pesar de la poca superficie cultivada, la frambuesa es un frutal con mucho potencial en algunas regiones del país por su alta rentabilidad. Sin embargo, aunado a la problemática de adaptación de cultivares, las enfermedades representan la principal limitante del cultivo. Shaw (1973) y Farr *et al.* (1989) reportan a tres especies de royas atacando a la frambuesa roja: la roya de la caña de la frambuesa causada por *Phragmidium rubiidaei*, que ataca plantas jóvenes y hojas, y está confinada a *R. idaeus* subsp. *vulgatus* Arrhen y *R. idaeus* subsp. *strigosus*. La roya del ártico, *Pucciniastrum arcticum* Tranzschel, se distribuye en áreas con climas muy fríos como el Este de Canadá, así como Norte de Europa y Asia, incluyendo Japón. Una de las especies de mayor importancia en frambuesa roja es *Pucciniastrum americanum* (Farl.) Arth., que ataca hojas, pedicelos, cálices y frutos. Puede ocasionar defoliación y pérdida de la calidad de los frutos (Anderson, 1953; Nickerson, 1991). Es una roya heteroica y macrocíclica, y tiene su hospedante alterno generalmente en *Picea glauca* (Moench) Voss., y *Picea engelmannii* y su fase uredial y telial en especies de frambuesa roja como: *R. idaeus* subsp. *melanolasius* Focke. y *R. idaeus* subsp. *strigosus* Michx., así como las frambuesas púrpuras (*R. neglectus* Peck). Debido a que en México la roya es una enfermedad de importancia en la frambuesa roja, la identificación del agente causal y su biología son aspectos muy importantes para el establecimiento de estrategias de manejo.

La araña roja (*T. urticae*) es uno de los principales problemas en frambuesa y zarzamora. Existe pocos productos acaricidas eficaces; el óxido de Fenbutatin ha perdido eficacia en el control de *T. urticae*, por esta razón se han utilizado insecticidas de reciente introducción, que muestren controles adecuados para asegurar el control de la plaga. Tal es el caso del bidenazate, sin embargo, se ha observado resistencia a este acaricida, por lo que se sugiere cuidar la frecuencia de uso en el cultivo de la frambuesa (Romero-Verín, 2012).

Botrytis cinerea es una de las principales enfermedades en frambuesa, ya que ataca tanto los brotes, frutos maduros y en postcosecha, lo que ocasiona pérdidas por arriba del 50% de la producción.

Debido al tipo de fructificación el control químico no ha sido fácil. Se han utilizado fungicidas sistémicos en base a benzimidazoles y dicarboximidas, sin embargo, se ha observado la aparición de cepas resistentes. Los fungicidas de contacto aplicados en los diferentes estados de la flor no proporcionan protección alguna. De esta manera es necesario un programa de aplicaciones cuando las flores comienzan a abrir y durante todo el proceso de floración para inhibir la germinación de conidias sobre la superficie de frutos maduros y en desarrollo (Cruz, 1993).

La frambuesa es un fruto que presenta conocidos problemas de ablandamiento en postcosecha, lo que limita su comercialización en estado fresco. Existen productos a base de calcio, que presentan una mejor absorción del mismo por parte de los tejidos de la planta. Luchsinger y Soto, (2004) reportaron el uso productos a base de calcio utilizados: Ecocal® y Stopit®. El primero, es una solución a base de calcio quelatado de rápida movilidad, conteniendo Boro y L-Aminoácidos específicos que facilitan su absorción y translocación. Stopit® por su parte, es un líquido concentrado a base de CaCl_2 (14,9 % de Ca) para aplicación foliar que contiene coadyuvantes. El Ecocal® presentó una mayor firmeza y menor deshidratación de fruto en los distintos períodos de evaluación, acentuándose las diferencias al final del período de maduración.

Tabla 3. Principales problemas de enfermedades en berries relacionada a patógenos durante las diferentes etapas de la cadena productiva, el tipo de estrategia de control y los principales hallazgos observados.

Etapa en la cadena productiva	Tipo de berrie	Problema de enfermedades a plantas	Tipo de estrategia de control	Estrategia	Observaciones	Referencia
Suelo	Fresa Zarzamora Frambuesa	<i>Tetranychus urticae</i> (Araña roja)	Cultural	Aumento en la fertilización Labranza del suelo y eliminación de malezas y hojas.	Disminución en el número de individuos.	(Romero- Verín, 2012)
			Biológico	Liberación de <i>Phytoseiulus persimilis</i> y <i>Amblyseius caffornicus</i> .	Reducción de la población.	
	Arándano	<i>Peronospora sparsa</i>	Químico	Aplicación de Ferbutatin® y Bifenazate®.	Depredación total de la araña roja.	(Boyzo-Marín, <i>et al.</i> , 2015)
			Biológico	<i>Bacillus subtilis</i> y <i>Trichoderma harzianum</i> espreados cada 10-14 días.	Solo 15-19% de incidencia.	
Químico	Agentes sanitizantes, Fosfito de potasio.	Mejores resultados al reducir la incidencia (0.66-13%) en 3 años				
Cultivo	Fresa	<i>Fusarium</i> , <i>Verticillium dahliae</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Phytophthora</i> sp.	Químico	Bifentrina®, Carbaril®, Clorpirifos®, Malation® y Metomil®, Captán®.	Inhibición de hongos patógenos en follaje, raíz y corona.	
	Arándano	<i>Colletotrichum</i> sp. <i>Pestalotiopsis</i> sp. <i>Botryosphaeria</i> sp.	Biológico	Extractos vegetales de <i>Lantana</i> sp., <i>Argenome</i> sp. y <i>Adenophyllum</i> sp.	Inhibición de <i>Colletotrichum</i> sp. con <i>Lantana</i> sp. e inhibición de <i>Pestalotiopsis</i> sp. y <i>Botryosphaeria</i> sp. con <i>Argenome</i> sp. y <i>Adenophyllum</i> sp.	(Hernández- Ceja, 2014)
	Zarzamora	<i>Peronospora sparsa</i>	Químico	Mefenoxam®, 0.5 L/ha Fosfito de potasio (3.5 L/ha al 45.8% de ácido fosfórico) Azoxyestrobil®, 0.3 kg/ha, Mancozeb®, 1 kg/ha al 80%, Sulfato de cobre 1 L/ha al 21%, 2-3 aplicaciones en etapa temprana de infección	Fosfito de potasio al 97% redujo la infección y las plantas que presentaron infección fue con un grado de severidad de 1.5 comparadas con un valor de 170 en las plantas enfermas (Control).	(Rebollar- Alviter, <i>et al.</i> , 2012)

Tabla 3. Continuación...

Etapa en la cadena productiva	Tipo de berrie	Problema de inocuidad	Tipo de estrategia de control	Estrategia	Observaciones	Referencia
Cultivo	Zarzamora	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Biológico	<i>Bacillus subtilis</i> 5L/ha al con 13.5 g	89% reducción de la infección y las plantas que presentaron infección fue con un grado de severidad de 15 comparadas con un valor de 170 en las plantas enfermas (control).	(Lemus Soriano, 2015)
			Químico	Extracto e ajo, canela y sales de potasio en dosis 1.5 L·ha-1 3 aplicaciones.	Reducción del 90% de incidencia de la enfermedad.	
			Fitoquímico	Extracto de epazote 0.5% v/v.	Reducción de incidencia en 46% con 14 dosis de aplicación.	
	Biológico	<i>Streptomyces griseus</i> y <i>Micromonospora endolithica</i> + aceite de girasol, extractos de ajo y orégano 2 L/ha + 1 L/ha.	Reducción del 80% en incidencia.			
	Químico	<i>Beauveria bassiana</i> + <i>Verticillium lecanii</i> + Aceite de canela, pimienta negra y Neem + extracto de chile habanero 2L /ha.	61% de reducción de la incidencia.			
	Frambuesa	<i>Botrytis cinerea</i>	Químico	<i>Benzimidazoles dicarboximidas</i>	Inhibición del crecimiento.	
Fresa	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Fusarium solani</i> , <i>Cylindrocarpon</i> sp-, <i>Pythium aphanidermatum</i> , <i>Phytophthora</i> sp. <i>Rhizoctonia fragariae</i> (Rhi), <i>Verticillium alboatrum</i> (Ver) y <i>Colletotrichum</i> sp.	Cultural	Acolchado y riego por goteo (A+G).	<i>F. oxysporum</i> disminuyó 18% respecto a suelo sin acolchado con riego por gravedad.	(Ceja-Torres, et al., 2008)	

Tabla 3. Continuación...

Etapa en la cadena productiva	Tipo de berrie	Problema de inocuidad	Tipo de estrategia de control	Estrategia	Observaciones	Referencia
-------------------------------	----------------	-----------------------	-------------------------------	------------	---------------	------------

	Fresa	<i>Botrytis cinerea</i> y <i>Mucor piriformis</i>	Biológico	<i>Trichoderma harzianum</i>	El hongo <i>T. Harzianum</i> no fue capaz de germinar más rápido de los fitopatógenos con escasas de nutrientes.	(Hjeljord, <i>et al.</i> , 2000)
Cultivo todas las etapas	Fresa	<i>Phytophthora cactorum</i>	Químico	Mefenoxam®, Azoxystrobin® antes y después de la infección	Azoxystrobin protegió solo antes de presentar la enfermedad, pero tuvo poco efecto curativo después de la enfermedad. Mefenoxam tuvo actividad curativa dentro de 36 h después de la infección.	(Rebollar-Alviter, <i>et al.</i> , 2007)
	Arándanos	<i>Alternaria</i> sp y <i>Botrytis</i> sp.	Químico	Quitano como recubrimiento antimicrobiano en postcosecha.	El recubrimiento retuvo la acidez y fue efectivo contra el deterioro microbiano mostrando una eficacia del 65% a 69% frente al testigo.	(Cruañes y Locaso, 2011)
	Fresa	<i>Rhizopus stolonifer</i> , <i>Mucor</i> spp., <i>Penicillium digitatum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Aspergillus niger</i> y <i>Pythium</i> sp.	Biológico	<i>Trichoderma harzianum</i>	Inhibición de crecimiento de los fitopatógenos.	(Guédez, <i>et al.</i> , 2009)
Postcosecha	Arándano	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i>	Químico	Atmósfera controlada y anhídrido sulfuroso con dosis de 2 g de metabisulfito de sodio	No se presentó incidencia con esta dosis en almacenamiento en postcosecha por 28 días. Hubo blanqueamiento en el 11.2% de los frutos.	(Rodríguez Beraud, <i>et al.</i> , 2015)
	Zarzamora	<i>Botrytis cinerea</i>	Químico	Atmósferas controladas y refrigeración	Las antocianinas y la actividad de Fenilalanina amoniliasa y Polifenol oxidasa no fueron afectadas por los tratamientos.	(Piña, <i>et al.</i> , 2001)
	Frambuesa		Químico	Ecocal® y Stopit®	Mayor firmeza y menor deshidratación de fruto	(Luchsinger y Soto, 2004)

Pesticidas regulados para berries y niveles residuales máximos (MRL)

Los niveles trazas de pesticidas encontrados en alimentos, en un producto agrícola o parte comestible de animales son llamados residuos y se han establecido “niveles de residuos máximos” (MRLs por sus siglas en inglés) que son aceptados y tolerados legalmente para encontrarse en un producto cuando se aplica un pesticida correctamente siguiendo las buenas prácticas agrícolas y en la dosis recomendada por la etiqueta del fabricante. Los MRLs son límites de concentración expresados en mg/kg o ppm. Además que estos límites están basados por debajo del nivel que puede representar un riesgo a la salud humana (EPA, 2016; Fao, 2016). Cada país puede establecer los MRLs para los productos importados y de su consumo, por lo que se pueden tener diferentes regulaciones para un mismo producto. Sin embargo, la tendencia mundial es reducir el consumo de pesticidas y a niveles que no representen un riesgo para salud humana, de animales o el ambiente y se espera que para el 2024 todas las regulaciones internacionales estén alineadas e implementadas las acciones de buenas practicas agrícolas para hacer una agricultura sustentable (OECD, 2016). Por lo tanto la calidad e inocuidad alimentaria son las claves del éxito en el comercio internacional agropecuario.

En el caso de las berries, al ser México un país exportador a USA, en este apartado se menciona los pesticidas que están regulados para exportación a Estados Unidos y los listados en el CODEX alimentarius (FAO-OMS) (Tabla 4). Al menos son 119 pesticidas los que se encuentran regulados por una u otra normativa, siendo la EPA la más estricta de estas dos. Donde se puede apreciar que el CODEX regula 16 pesticidas para arándano, 10 para zarzamora, 17 para frambuesa y 54 para fresa, mientras que la EPA regula en arándano 26, 11 en zarzamora, 14 en frambuesa y 72 en fresa. Además de forma general los límites del CODEX son menos estrictos, mientras que la EPA tiene límites de tolerancia más restrictivos desde 0.05 mg/kg (ej. para el Propizamida) y hasta 30 mg/kg (ej. para el Etepon). Para siete de estos pesticidas listados ya expiro su tiempo de tolerancia por lo que en la actualidad ya no se deben encontrar residuos pues su uso ya no es permitido.

Los productores de berries mexicanos se enfrentan a un gran reto de producción para mantener las expectativas del mercado de exportación de manera sustentable y dentro de regulaciones cada vez más estrictas. De tal manera que resulta necesario seguir la estrategia sugerida por la OECD (2016) de buscar alternativas biotecnológicas en vías de hacer más sostenible la producción agrícola y poder combatir con insumos no tóxicos a las plagas de los cultivos.

Tabla 4. Lista de pesticidas con niveles de residuo máximo establecidos por el CODEX alimentario (FAO/OMS) y la USEPA de Estados Unidos para las 4 berries que México cultiva.

No	Nombre químico común	CODEX Alimentario				USEPA			
		Arándano	Zarzamora	Frambuesa	Fresa	Arándano	Zarzamora	Frambuesa	Fresa
		MRL (mg/kg)				MRL (mg/kg)			
1	2,4-D								0.05
2	Abamectina				0.02				
3	Acequinocilo								
4	Acetamiprid				0.5				
5	Acifluorfen								0.05
6	Avermectina B1 y sus delta-8,9-isómeros								0.02
7	Azinfos-metilo	5				5	2	2	
8	Azoxistrobina				10				10
9	Bifenazato		7	7	2				1.5
10	Bifentrina		1	1	1				3
11	Boscalid				3				4.5
12	Bromopropilato				2				
13	Bromuro de metilo				30	20			60
14	Buprofezin				3				
15	Butóxido de piperonilo					8	8	8	
16	Captan	20		20	15	20			20
17	Carbamatos								0.2
18	Carbarilo								4
19	Carbofurano								0.5 ^a
20	Carfentrazona-etilo								0.1
21	Cicloxdima				3				
22	Cipermetrina				0.007				
23	Ciprodinilo								5
24	Cletodim								3
25	Clofentezina				2				
26	Clopivalid								1
27	Clorotalonilo				5	1			
28	Clorpirifos				0.3				0.2

29	Clorpirifos-Metilo			0.06				
30	Crotoxifos							2
31	Deltametrina			0.2				
32	Diazinón	0.1	0.2	0.1	0.5			0.5
33	Diclofluanida		15	10				
34	Dicofol							10
35	Difenoconazol							2.5
36	Dimetil tetracloroteraftalato (DCPA)							2
37	Dimetoato				1			
38	Dimetomorf			0.05				
39	Dinocap			0.5				
40	Diquat			0.05 *				0.05
41	Ditiocarbamatos			5				
42	Dodina							5
43	Endosulfan				0.3 ^b			2 ^c
44	Esfenvalerato				1			
45	Espinetoram	0.2	0.8					
46	Espirotetramat							0.4
47	Etepon	20			20	30		
48	Etoprofos			0.02*				
49	Fenamidona							0.15
50	Fenarimol			1**				
51	Fenbuconazol	0.5						
52	Fenbutatin Óxido			10			10	10
53	Fenhexamida	5	15	15	10			3
54	Fenpiroximato			0.8				
55	Fenpropatrín							2
56	Ferbam						7 ^d	
57	Fludioxonil	2	5	5	3			2
58	Flumioxazina							0.07
59	Fluopiram			0.4				1.5
60	Fluor criolita				7	7	7	7
61	Fluridona							0.1
62	Folpet			5				5

63	Fonofos								0.1 ^e
64	Fosetil aluminio				40				75
65	Fosmet	10			10				
66	Glifosato								0.2
67	Glufosinato-Amonio	0.1		0.1	0.3				
68	Hexazinona					0.6			
69	Hexitiazox				6				3
70	Imazalil			2	2				
71	Imidacloprid				0.5	3.5		2.5	0.5
72	Iprodiona		30	30	10	15		8	15
73	Malation	10			1	8	8	8	8
74	Mepanipirim								1.5
75	Meptildinocap				0.3				
76	Metalaxil			0.2		2		0.5	10
77	Metaldehído								6.25
78	Metiocarb				1				
79	Metomilo					6			2
80	Metoxifenoazida	4			2				1.5
81	Miclobutanilo				1				0.5
82	Naled								1
83	Napropamida								0.1
84	Norflurazón					0.2	0.1	0.2	
85	Novalurón	7			0.5				0.5 ^f
86	Orizalina								0.05
87	Oxifluorfenol						0.05	0.05	
88	Paraquat								0.25
89	Penconazol				0.1				
90	Pendimetalina								0.1
91	Pentiopirad				3				
92	Permetrina		1	1	1				
93	Piraclostrobina	4	3	3	1.5				1.2
94	Piretrinas					1	1	1	
95	Piridaben								2.5
96	Pirimetanilo								3
97	Piriproxifeno								0.3
98	Propizamida					0.05	0.05	0.05	

99	Quinoxifén				1				0.9
100	Setoxidim					4			10
101	Simazina					0.2	0.2	0.2	0.25
102	Spinetoram								1
103	Spinosad	0.4	1	1					1
104	Spirodiclofén				2				
105	Sulfentrazona								0.15 ^g
106	Sulfoxaflor				0.5				
107	Tebufenozida	3		2					
108	Terbacil					0.2			0.1
109	Tiabendazol								5
110	Tiofanato-metilo								7
111	Tiram								7
112	Tolilfluanida		5	5	5				
113	Triadimefon				0.7				
114	Triadimenol				0.7				
115	Trifloxistrobina				1				1.1
116	Triflumizol								2
117	Triforina	1			1				
118	Vinclozolina								10
119	Ziram					7	7		7
Total de Pesticidas con MRLs definidos		16	10	17	54	26	11	14	72

*en o cercano al límite de determinación; ** El es temporal, hasta que mayor información sea proporcionada y evaluada; ^a Expiró el 12/31/2009 para fresa; ^b Expiró el 7/31/2007 para arándano; ^c Expiró el 7/31/2012 para fresa; ^d Expiró el 10/27/2007 para zarzamora; ^e Expiró el 12/31/2002 para fresa; ^f Expiró el 12/31/2002 para fresa; ^g Expiró el 12/31/2013 para fresa.

Conclusiones

Las berries en México representan una cadena productiva en crecimiento, principalmente arándano. Siendo nuestro país un exportador de estas frutillas principalmente a USA, las regulaciones en materia de inocuidad son estrictas y constituyen un reto para los productores en México para poder mantener el cultivo con altos rendimientos y sin la aplicación excesiva de pesticidas para cumplir la normativa para exportación. Esto ha obligado a buscar alternativas de control en el manejo de plagas y enfermedades mayoritariamente de tipo químico y biológico. Siendo estas últimas las más prometedoras en términos de inocuidad de la berries, pero con resultados muy variables para control biológico. De esta manera se puede concluir que una sola estrategia no es suficiente para garantizar la inocuidad de las berries, es todo un proceso de buenas prácticas de cultivo y manejo en toda la cadena productiva, sólo así se podrá tener mayor control y trazabilidad del producto. Esto a la larga traerá como consecuencia la inocuidad propia del producto y sostenibilidad del cultivo.

Bibliografía

- Anderson W.H. 1953. Disease of fruit crops. McGraw-Hill, USA.
- Batta Y.A. 2004. Effect of treatment with *Trichoderma harzianum* Rifai formulated in invert emulsion on postharvest decay of apple blue mold. International Journal of Food and Microbiology 96: 281-288.
- Bowling B.L. 2000. The Berry Grower's Companion. Timber Press., Portland, Oregon.
- Boyo-Marín J., H.V. Silva-Rojas, A. Rebollar-Alviter. 2015. Biorational treatments to manage dryberry of blackberry caused by *Peronospora sparsa*. Crop Protection 76: 121-126.
- Castro F.J., P. Dávalos. 1990. Etiología de la secadera o pudrición de la raíz y corona de la fresa en Irapuato, Gto. Revista Mexicana de Fitopatología 8: 80-86.
- Ceja-Torres L.F., G. Mora-Aguilera, D. Téliz, A. Mora-Aguilera, P. Sánchez-García, C. Muñoz-Ruiz, B. Tlapal-Bolaños, R. De La Torre-Almaraz. 2008. Fungi prevalence and etiology of strawberry dry wilt under different crop management systems. Agrociencia 42 451-461.
- Cruañes M.C., D.E. Locaso. 2011. Qitosano: Antimicrobiano biodegradable en postcosecha de arándanos (*Vaccinium myrtillus* L.). Rev. Iber. Tecnología Postcosecha 12: 57-63.
- Cruz M. 1993. Efecto de nitrógeno, fungicida y poda sobre *Botrytis cinerea* en frambuesa. Agricultura técnica (Chile) 53: 258-263.
- EPA. 2016. CFR Title 40, Subchapter E, Part 180: Pesticide Tolerances. US EPA, US Environmental Protection Agency (EPA)
- FAO. 2016. International Food Standards CODEX Alimentarius: Standards for Pesticides, annual. Food Agricultural Organization.
- Farr D.F., G.F. Bills, G.P. Chamuris, A.Y. Rossman. 1989. Fungi on plant and plant products in the United States. .
- Fraire-Cordero M., M. Yáñez, D. Nieto, G. Vázquez. 2003. Hongos patógenos en fruto de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) en postcosecha. Revista Mexicana de Fitopatología 2: 285-291.
- Guédez C., L. Cañizález, C. Castillo, R. Olivar. 2009. Efecto antagónico de *Trichoderma harzianum* sobre algunos hongos patógenos postcosecha de la fresa (*Fragaria* spp). Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología 29: 34-38.

- Hernández-Ceja A. 2014. Ensayo biodirigido in vitro de extractos vegetales contra hongos patógenos de arándano (*Vaccinium* sp.), Ciencia en Producción Agrícola Sustentable. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional- Unidad Michoacán del Instituto Politécnico Nacional, Jiquilpán, Michoacán, p. 102.
- Hjeljord L.G., A. Stensvand, A. Tronsmo. 2000. Effect of temperature and nutrient stress on the capacity of commercial *Trichoderma* products to control *Botrytis cinerea* and *Mucor piriformis* in greenhouse strawberries. *Biological Control* 19: 149–160.
- Lafuente Rincón D.F., F. Hernández Terán, N. De la Fuente-Salcido. 2015. Relevance of the Appropriate Control and Detection of Phytopathogens Fungi in Strawberries (*Fragaria* spp), *Acta Química Mexicana*. *Acta Química Mexicana*, <http://www.actaquimicamexicana.uadec.mx/?p=175> Consulta: Mayo 2016.
- Lemus Soriano M.A. 2015. MANEJO BIORRACIONAL DE PLAGAS DE LA ZARZAMORA, in: A.C., A. (Ed.), 5to Congreso Internacional de Aneberries. Aneberries, Guadalajara, Jalisco.
- Luchsinger L., M. Soto. 2004. Efecto e aspersiones de 'ECOCAL' y 'Stopit' sobre la calidad poscosecha en frambuesa 'CHILLMACK'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 6: 57-62.
- Mendoza Z.C. 1992. Enfermedades fungosas de hortalizas y fresa, Manejo fitosanitario de las hortalizas en México. Centro de Entomología y Acarología, Chapingo, México, pp. 273-288.
- Mondragón-Flores A., J. López-Medina, S. Ochoa-Ascencio, M. Gutiérrez-Contreras. 2012. Hongos Asociados a la Parte Aérea del Arándano en Los Reyes, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30: 141-144.
- Nickerson N.L. 1991. Late Yellow Rust, in: Ellis, M.A., Converse, R.H., Williamson, R.N. (Eds.), *Compendium of Raspberry and Blackberry diseases and Pests*. APS Press. , St. Paul, Minnesota, USA, pp. 30-32.
- OECD. 2016. OECD Programme on Pesticides and Sustainable Pest Management, in: OECD, A. (Ed.). OECD, Paris, France.
- Ondarza-Beneitez M.A., I. Higuera-Ciapara. 2016. Importancia biotecnológica de la frutillas de berries en la salud humana. *VirtualPro* 169: 1-18.
- Piña G.D., V.C.V. Saucedo, E.V. Ayala, L.A. Muratalla. 2001. Atmósferas controladas para combatir daños poscosecha en Zarzamora (*Rubus* sp.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 18: 87-105.
- Rebollar-Alviter A., L.V. Madden, M.A. Ellis. 2007. Pre- and Post-Infection Activity of Azoxystrobin, Pyraclostrobin, Mefenoxam, and Phosphite Against Leather Rot of Strawberry, Caused by *Phytophthora cactorum*. *Plant Disease* 91: 559-564.
- Rebollar-Alviter A., H.V. Silva-Rojas, I. López-Cruz, J. Boyzo-Marín, M.A. Ellis. 2012. Fungicide spray programs to manage downy mildew (dryberry) of blackberry caused by *Peronospora sparsa*. *Crop Protection* 42: 49-55.
- Rodríguez Beraud M., A. Wyss Valdés, N. Hormazábal Vásquez. 2015. Evaluación de bolsa atmósfera modificada y concentraciones de anhídrido sulfuroso aplicadas sobre frutos de arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Emerald. *Scientia Agropecuaria* 6: 259-270.
- Romero-Verín G. 2012. Resistencia de *Tetranychus urticae* Koch a oxido de fenbutatin y bifenazate en los cultivos de berries., *Parasitología Agrícola*. Universidad Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila,.
- Shaw G.G. 1973. Host Fungus Index for the Pacific Northwest II: Fungi, Washington, D.C. p.^pp. 162

- SIAP. 2016. Sistema de Información Agropecuaria. , Estadísticas de cultivos agrícolas, Mayo 2016 ed. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Recursos Agropecuarios (SAGARPA). .
- SIAVI. 2014. Exportaciones arancelarias de México, Exportaciones de arándanos, fresas, frambuesas-Zarzamoras. ed. Sistema de Información arancelaria via internet. Secretaría de Economía.
- Zalom F.G., S.T. Koike, B.B. Westerdahl, S.S. Fennimore. 2005. Guía para el manejo de las plagas: Fresas, in: Plagas, U.d.C.M.I.d. (Ed.). Universidad de California Davis, USA.
- Zivanovic S., J.R. Mount, F.A. Draughon, C.E. Sams. 2003. Edible chitosan coatings as novel effective biopesticide souther región small fruit consortium. <http://www.smallfruits.org>

Situación actual de plaguicidas de uso cítrico en México

Gaspar-Ramírez Octavio^{1*}, Heras-Ramírez María Elena¹, Alcantar-Rosales Víctor Manuel¹, Suarez-Jacobo Ángela¹.

¹Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.- Unidad Noreste. Autopista aeropuerto-Monterrey, Parque PIIT, Av. Vía de la innovación 404, CP 66629, Apodaca, Nuevo León. *Correspondencia: ogramirez@ciatej.mx

Resumen

La citricultura es una actividad de importancia económica para México, sin embargo, la carencia en la normatividad para establecer límites de residuos de plaguicidas en productos agroalimentarios podría afectar el comercio nacional e internacional. Las legislaciones internacionales respecto al uso de plaguicidas y residuos en productos agroalimentarios son cada vez más estrictas, y en México se carece de fortaleza analítica y científica para establecer programas de monitoreo de residuos plaguicidas en frutos agrícolas. Este capítulo se enfoca en recopilar información que existe en México y en otros países acerca de la presencia de plaguicidas en frutos cítricos, así como las regulaciones que existen para mantener la inocuidad de estos productos.

Introducción

La actividad agrícola involucra el uso de muchos plaguicidas especialmente en países en desarrollo donde existen débiles regulaciones en cuanto a su uso y residualidad en alimentos (Ecobichon DJ, 2001). Los plaguicidas comprometen un gran número de sustancias que pertenecen a diferentes clases químicas; se aplican en diversas etapas del cultivo para la protección contra plagas y durante la post-cosecha para preservar la calidad del fruto (Commission Directive 2000/42/EC). Sin embargo, la amplia aplicación de estos productos químicos ha provocado una contaminación generalizada en distintos medios ambientales, tales como aguas superficiales y subterráneas, suelo y aire (Hayo and van der Werf, 1996) además de los riesgos que los plaguicidas, especialmente los sintéticos, plantean para la salud humana. La Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) posiciona casi al 90% de los compuestos plaguicidas en la categoría 1a/1b/II, que va de extremadamente peligroso a moderadamente peligroso en base a su toxicidad (WHO 2000, Hashmi *et al.*, 2011). Debido a esto, las legislaciones respecto al uso de plaguicidas y el control de residuos en alimentos y productos derivados son cada vez más estrictas (Osteen *et al.*, 2013), algunos países han establecido Límites Máximos de Residuos (MRLs, maximum residue Limits) en alimentos, esto es la máxima concentración permitida de un plaguicida que garantice que un alimento o producto sea inocuo (*Codex Alimentarius*). Estas concentraciones legalmente admitidas, que van desde partes por billón ($\mu\text{g}/\text{kg}$), han sido reguladas para un gran número de plaguicidas en productos alimenticios. Esto ha llevado a que la restringida lista de plaguicidas regulados en productos agrícolas del sector primario en México, constituya un riesgo para la comercialización internacional de algunos alimentos. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, México es uno de los principales países de rechazo de productos alimenticios por Estados Unidos debido a contaminación por plaguicidas (CEPAL, 2011), lo cual obliga a tomar acciones de inocuidad alimentaria para proteger la economía del sector agropecuario. Aunque la exportación de productos primarios agrícolas

aporta solo el 4% del PIB, la producción agroindustrial duplica la contribución de la agricultura a más del 9%, por esta razón es importante mantener la inocuidad del producto agrícola primario para garantizar su compra en el mercado externo (INEGI, 2013; FAO, 2009).

La citricultura en México

A nivel mundial, México se posiciona entre los cinco países de mayor producción de cítricos (4.6% del total) detrás de China (21%), Brasil (18%), Estados Unidos (8%) y la India (6%). Según la información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2014), existen más de 540 mil hectáreas de cultivos cítricos en México, se estima que aproximadamente el 80% de la superficie sembrada corresponde a frutos cítricos dulces, principalmente la naranja (83% del total), toronja (8%), mandarina (5%) y tangerina (4%). A nivel nacional, Veracruz ocupa el primer lugar en producción (55% del total nacional), seguido de San Luis Potosí, Tamaulipas, Michoacán y Nuevo León. Esta actividad es de suma importancia para la economía de México, ya que los más de 5 millones de toneladas anuales que se producen de frutos cítricos equivale a un valor de 5,242 millones de pesos, beneficio a más de 60 mil productores y más de 70 mil empleos directos y unos 250 mil indirectos (SAGARPA, 2012).

A pesar de que México se ubica entre los principales productores mundiales de cítricos no se encuentra dentro de los principales exportadores de naranja debido a la falta de calidad de la fruta fresca y a la restricción que tiene Estados Unidos, su principal cliente, en la importación de naranja por razones de sanidad vegetal. Sin embargo, la agroindustria que se genera a partir del cultivo de los cítricos tiene también un importante aporte económico ya que contribuye en un 23% al PIB junto con el sector forestal y pesca (Gaitán J, 2002). Según al Financiera rural (2009) México se ha posicionado como el segundo exportador mundial de jugo de naranja después de Brasil. Estados Unidos fue el principal comprador de jugo de naranja mexicano en el año 2009 al adquirir el 71.7% de las exportaciones nacionales. Otros consumidores importantes de jugo de naranja producido en México fueron los Países Bajos (12.3%), Japón (3.7%), Alemania (2.4%) y Venezuela (2.1%) (SAGARPA, 2012).

Problemas fitosanitarios en la citricultura

Los problemas fitosanitarios tales como el Huanglongbing (HLB), el Virus de la tristeza de los Cítricos (VTC) y la Gomosis, han posicionado a los principales estados citricultores como Tamaulipas, Nuevo León y Veracruz en estados de alto riesgo fitosanitario; debido a esto, el uso de plaguicidas en plantaciones cítricas se ha intensificado. Autoridades y consumidores de estos productos cada vez son más conscientes y demandantes en el cumplimiento de los límites permitidos de plaguicidas en el fruto. La presencia inclusive a niveles traza de plaguicidas en los alimentos pudiera representar una barrera para su comercio internacional (SAGARPA, 2013).

Estándares internacionales de inocuidad en cítricos

La inocuidad de un alimento se define principalmente por la ausencia de riesgo alguno sobre la salud del consumidor (*Codex Alimentarius*), la presencia de compuestos químicos en los alimentos pudiera violar este principio. Además del serio problema que los plaguicidas

constituyen para la salud del consumidor, la presencia inclusive a niveles traza de plaguicidas en los alimentos pudiera representar una barrera para su comercio internacional (Gaitán J, 2002). Por ejemplo, algunos organismos Internacionales como la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) y la Food and Drug Administration (FDA) en Estados Unidos, han establecido niveles máximos admisibles, es decir un compuesto químico que a su máxima concentración mantenga la inocuidad de un alimento; estas concentraciones legalmente admitidas han sido reguladas para un gran número de plaguicidas en productos agroalimentarios. Estados Unidos contempla una lista de 177 plaguicidas en fruto cítrico (limón y naranja) con MRLs que van desde 0.01 hasta 8.0 mg/kg (disponible en: <http://www.mrlatabase.com/>), Japón regula más de 290 plaguicidas en cítricos con MRLs de 0.001 a 5.0 mg/kg (disponible en: <http://www.m5.ws001.squarestart.ne.jp/foundation/search.html>), mientras que la Unión Europea regula más de 440 plaguicidas desde 0.01 mg/kg hasta 5 mg/kg en fruto cítrico (disponible en: <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database>). Como vemos, estas normas internacionales contemplan un amplio número de residuos a niveles de concentración traza. Sin embargo, la restringida lista de plaguicidas regulados en productos agrícolas del sector primario en México aunado a la falta de infraestructura analítica y capital humano especializado, constituye un riesgo de rechazo por parte de algunos países como Estados Unidos, Japón y la Unión Europea (USDA FAS, 2012).

Regulación de plaguicidas de uso cítrícola en México

En 2010, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y la Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce (COFUPRO) unieron esfuerzos para ejecutar el Programa de Documentación de Casos de Éxito. Uno de los retos para impulsar la competitividad internacional de productos del sector cítrícola es precisamente aplicar normas de inocuidad alimentaria (IICA-COFUPRO, 2010).

En México, la CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el control del proceso y uso de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas) es una comisión inter-secretarial que regula el uso y control de plaguicidas aplicados a cultivos agrícolas, forestal, pecuario, doméstico, urbano, industrial y en jardinería. Según el Diario Oficial de la Federación del 3 de enero de 1991, la importación, fabricación, formulación, comercialización y uso de los siguientes plaguicidas, han sido prohibidos en México:

Acetato o propionato de fenil mercurio, Acido 2,4,5-T, Aldrín, Cianofos, Cloranyl DBCP, Dialifor, Dieldrín, Dinoseb, Endrín, Erbón, Formotión, Fluoracetato de sodio (1080), Fumisel, Kepone/Clordecone, Mirex, Monurón, Nitrofén, Schradán y Triamifos.

Plaguicidas cuyo uso ha sido restringido en el catálogo oficial de plaguicidas publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de agosto de 1991:

DDT, BHC, Aldicarb, Dicofol, Forato, Lindano, Metoxicloro, Mevinfos, Paraquat, Pentaclorofenol y Quintozeno.

El catálogo de plaguicidas 2004 de la CICOPLAFEST ha presentado la siguiente lista de insecticidas y fungicidas autorizados para su uso en el cultivo del naranjo: Azinófos-metilo, Clorpirifós-etilo, Diazinón, Dimetoato, Fenamifos, Fosfamidón, Malatión, Metidatión, Naled, Oxidemeton-metil, Paratiónmetilo, Triclorfón, Fipronil, Cipermetrina, Bifentrina, Tiametoxam,

Spinosad, Abamectina, Milbemectina, Propargita, Diflubenzurón, Acequinocil, Fenazaquim, Fenpiroximato, Espirodiclofeno, Azadiractina, Dicofol, azufre elemental, Azoxistrobin, Benomilo, Captafol, Ferbam, Folpet, Fosetil-AI, Hidróxido Cúprico, Metalaxil, Oxicloruro de Cobre, Óxido Cúprico, Sulfato cuprocálcico, Sulfato de cobre, Zineb, Trifloxistrobin. La lista anterior de plaguicidas tiene como propósito regular su uso en campo, sin embargo, en México no se cuenta con una lista que regule la residualidad en alimentos, únicamente se limita a cumplir con los MRLs definidos por el país al que se exportará el producto. Sin embargo, las legislaciones internacionales adoptan medidas cada vez más estrictas en cuanto a residuos de plaguicidas en productos de importación, estableciendo MRLs más bajos e incrementando la lista de compuestos aceptables o prohibidos (Commission Directive 2000/42/EC). Debido a esto, es necesario definir acciones para cumplir con las legislaciones internacionales e invertir en infraestructura y personal especializado capaz de establecer métodos analíticos para la determinación multiresidual de plaguicidas en diversas matrices alimentarias.

Situación de residuos plaguicidas en cítricos en México

Estudios sobre el nivel residual de plaguicidas en frutos cítricos en México es escaso. Recientemente, un estudio realizado por el grupo de trabajo del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. en 2016 (datos aún sin publicar) en la región citrícola de nuevo León arroja información sobre la situación actual de residuos plaguicidas en naranja fresca. Los principales municipios citrícolas de Nuevo León comprenden Montemorelos, Hualahuises, Allende, Linares, Cadereyta de Jimenez y General Terán (Figura 1), esta región comprende alrededor de 25 mil hectáreas de huertas de cítricos, en su mayoría naranjas. En Nuevo León el 82.7% de la producción citrícola corresponde a naranja; además la actividad agroindustrial representa una fuente económica también importante pues contribuye al 23% del producto interno bruto (Gaitan J, 2002), en su mayoría el jugo de naranja concentrado como principal producto de exportación a Estados Unidos.



Figura 1. Región citrícola de Nuevo León, comprende los municipios de Montemorelos, General Terán, Cadereyta de Jimenez, Hualahuises y Linares

En dicho estudio se encontró la presencia a nivel residual de 15 plaguicidas en muestras de naranjas obtenidas de huertas en etapa de cosecha (Tabla 1). Cada una de las muestras fue comparada con los MRLs de Estados Unidos, Japón y la Unión Europea (Tabla 2). Los resultados señalan que todas las muestras estuvieron por debajo de los MRLs de Estados Unidos y Japón, sin embargo, algunas muestras estuvieron por encima de los MRLs de la Unión Europea para los plaguicidas: malatión, clorpirifos-etil, dimetoato y metidatión.

Tabla 1. Rango de concentraciones (mg/kg) de plaguicidas detectados en el total de muestras de naranja analizadas.

	Mínimo	Mediana	Máxima
Malatión	0.0045	0.0157	0.4409
Espirodiclofeno	0.0043	0.0167	0.0967
Clorpirifós-etilo	0.0054	0.0195	0.3033
Carbendazima	0.0313	0.0332	0.1151
Imidacloprid	0.0061	0.0099	0.0138
Piraclostrobina	0.0109	0.0416	0.0622
Metidatión	0.0046	0.0163	0.3771
Dimetoato	0.0696	0.0696	0.0696
Tiabendazol	0.0308	0.0308	0.0308
Ometoato	0.0077	0.0077	0.0077
Tiofanato-metil	0.0053	0.0053	0.0053
Diflubenzurón	0.0890	0.0963	0.1011
Metalaxil	0.0045	0.0047	0.0049

Tabla 2. MRLs internacionales correspondientes a los plaguicidas encontrados en muestras de naranja.

	U.S. MRLs	E.U. MRLs	Japan MRLs
Malatión	8.0	0.02	4.0
Espirodiclofeno	0.5	0.5	2.0
Clorpirifós-etilo	1.0	0.3	1.0
Carbendazima	-	0.02	3.0
Imidacloprid	0.7	1.0	0.7
Piraclostrobina	2.0	2.0	2.0
Metidatión	4.0	0.0	4.0
Dimetoato	2.0	0.02	2.0
Tiabendazol	10.0	5.0	10.0
Ometoato	-	-	1.0
Tiofanato-metil	-	6.0	-
Diflubenzurón	3.0	1.0	3.0
Metalaxil	1.0	0.5	0.7
Paratión-metil	-	-	0.2
Piridabén	0.5	0.5	1.0

Los resultados anteriores indican que los residuos plaguicidas detectados en naranja de la región citrícola de Nuevo León, parece no constituir un riesgo de rechazo por algunos países como Estados Unidos y Japón, pero sí con la Unión Europea. Aunque dicho estudio no arroja información sobre las formulaciones comerciales, la dosis aplicada, y el tiempo y tipo de

fumigación, sin embargo, es importante ya que representa un diagnóstico de la situación actual de plaguicidas en el estado de Nuevo León, además proporciona una base para establecer estrategias para cumplir y vigilar los estándares internacionales de inocuidad, necesario para impulsar la competitividad.

Por otro lado, los principales agroquímicos que se utilizan para el tratamiento post-cosecha por las empacadoras de cítricos en México es el imazalil y el tiabendazol (Medina *et al.*, 2001). Motivo por el cual nuestro equipo de trabajo no detecta imazalil (Tabla 1), ya que este se aplica para la conservación del fruto en anaquel.

Otros reportes indican que el glifosato y el 2,4-D siguen en uso debido a que son baratos y más efectivos para el control de malezas cítricos, sin embargo ambos están sujetos a regulación internacional, incluso el 2,4-D es de uso prohibido en algunos países (IICA-COFUPRO, 2010).

Situación internacional de residuos plaguicidas en cítricos

El monitoreo de residuos plaguicidas en productos agroalimentarios es una herramienta clave para asegurar el cumplimiento con las regulaciones internacionales, esta medida ha sido adoptada por algunos países. Por ejemplo, Orтели *et al.*, (2005) reporta la presencia de 38 residuos plaguicidas en fruto cítricos del mercado Suizo incluyendo naranja, mandarina, lima, pomelo, toronja y kumat, procedente en su mayoría de España (71%), pero también África, Italia, Argentina, Estados Unidos, Israel, Uruguay, México, Morocco y Francia. De 240 muestras, los autores reportan contaminación por plaguicidas en el 86% de las muestras, de las cuales 27 muestras no cumplen con los MRLs de Suiza para los plaguicidas fenexamid, clorpirifós, imazalil y penconazol. Otro estudio realizado por Blasco *et al.*, (2006) reporta la presencia de residuos plaguicidas en 52 de las 116 muestras de naranja obtenidas de la comunidad de Valencia, España. Los plaguicidas que los autores reportan son: carbendazim (0.02–0.04 mg/kg), hexitiazox (0.02–0.05 mg/kg), imazalil (0.02–1.2 mg/kg), imidacloprid (0.02–0.07 mg/kg), metidación (0.06–1.3 mg/kg) y metiocarb (0.02 mg/kg), en este estudio todos los valores obtenidos se encuentran por debajo de los MRLs de la Unión Europea. Sin embargo, Fernandez *et al.* 2001 detectó residuos plaguicidas en el 78.7 % de muestras de naranja (n=150) provenientes de la comunidad de Valencia, España; de los cuales el 4% no cumplieron con los MRLs de la Unión Europea. Los autores reportan: imazalil (0.29–3.17mg/kg), dicofol (0.05–2.71 mg/kg), clorpirifós (0.02 - 1.5mg/kg), tiabendazol (0.23–1.76 mg/kg), endosulfan (0.02–0.66 mg/kg) y carbendazim (0.89 - 1.25mg/kg).

De acuerdo a los estudios anteriores, uno de los plaguicidas mayormente detectados es el imazalil, el cual posee un amplio espectro microbicida y es activo frente a cepas resistentes a tiabendazol y carbendazim, de especial aplicación para el tratamiento post-cosecha de otros productos agroalimentarios como el plátano, pera, manzana, piña y granos.

Impacto de los plaguicidas en la cadena agroindustrial

También es importante señalar el impacto de la calidad del producto agrícola primario sobre la cadena agroindustrial. Uno de los principales productos obtenidos de los frutos cítricos son los aceites esenciales los cuales se usan como ingredientes en diversos productos como bebidas,

mermeladas, dulces, sodas, pasteles, entre muchos otros (Steuer *et al.*, 2001; Nguyen *et al.*, 2009), así como perfumería y cosméticos (Bourgou *et al.*, 2012). Al considerar el carácter liposoluble de los plaguicidas detectados en este estudio, éstos se retendrán fácilmente en la cáscara del fruto y se concentrarán en los aceites esenciales por lo que constituirá una fuente de contaminación para la preparación de los productos anteriormente mencionados, tal como lo marca un estudio realizado por Hashmi *et al.*, (2011), en el que se reportan niveles significativos de carbendazima, imazalil, tiabendazol, procloraz, malatión e iprodiona en sodas sabor naranja y limón, bebidas elaboradas con saborizantes base aceites cítricos. Por otro lado, diversos estudios se han enfocado en establecer métodos de detección a nivel traza de plaguicidas en jugo base cítricos (Moreno-González D *et al.*, 2011; Radisic M *et al.*, 2009), tal es el caso del carbendazima, el cual ha constituido un rechazo de diversos envíos de lotes de jugo concentrado a Estados Unidos porque se les ha detectado este plaguicida. Brasil es el principal exportador de jugo de naranja a Estados Unidos con 15 millones de galones de concentrado seguido de México con 13 millones según la FDA, quien reporta que en ambos países el carbendazima es usado en arboles cítricos (US FDA, 2012).

Impacto de plaguicidas de uso cítrica sobre otros sistemas

La región cítrica representa un sustento importante para otros sistemas como la ganadería y la apicultura, productos como la miel, la carne y los lácteos pudieran verse afectados en su inocuidad debido al uso de plaguicidas. En México, existe cada vez mayor preocupación por el impacto de los plaguicidas sobre la salud de las abejas. Estudios previos han demostrado que los plaguicidas afectan el sistema inmune, la longevidad, y el desarrollo de las abejas (Wu *et al.*, 2011; Desneux *et al.*, 2007), así como la coordinación y comunicación de la colonia de abejas, por lo que se reduce el pecoreo, la polinización y la formación de la miel (Weick *et al.*, 2002). Algunos plaguicidas, se pueden bioacumular en el tejido de las abejas adultas, en larvas, pan de abeja, cera, y miel (Haarmann, 2002). El abuso de plaguicidas, sobre todo los organoclorados, también se relaciona con efectos sobre la salud de las aves, principalmente en su capacidad de reproducción dada por el adelgazamiento del cascarón del huevo, hepatotoxicidad y disfunción endócrina (Fry DM, 1995).

Conclusiones

Existe una gran oportunidad de expansión para el mercado de cítricos en diferentes países del mundo entre los principales Estados Unidos y Japón para cumplir con sus regulaciones es necesario implementar y certificar las huertas de acuerdo a los requerimientos que solicitan los mercados internacionales. Es necesario que las normativas mexicanas se complementen con los estándares internacionales para que los productos y subproductos de los cítricos adquieran un mayor valor agregado y sea competitivo a nivel internacional.

Bibliografía

- Blasco C. Font G. Picó Y. 2006. Evaluation of 10 pesticide residues in oranges and tangerines from Valencia (Spain). *Food Control* 17 (11), 841–846.
- Bourgou S, Rahali FZ, Ourghemmi I, Tounsi MS. 2012. Changes of Peel Essential Oil Composition of Four Tunisian Citrus during Fruit Maturation. *The Scientific World Journal*. Article ID 528593, 10 pages, doi:10.1100/2012/528593.

- CEPAL. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Información del Observatorio del Control Aduanero de las Importaciones (OCAI), nota periódica, Marzo 2011.
- CICOPLAFEST. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. Catálogo de Plaguicidas. (2004).
- Codex Alimentarius Codex Pesticides Residues in Food Online Database. (Consultado el 12/06/2014).
- Commission Directive 2000/42/EC of 22 June 2000 amending the Annexes to Council Directives 86/362/EEC, 86/363/EEC and 90/642/EEC on the fixing of maximum levels for pesticide residues in and on cereals, foodstuffs of animal origin and certain products of plant origin, including fruit and vegetables respectively (Text with EEA relevance). Official Journal L 158, 30/06/2000, pp. 0051–0075.
- Financiera Rural. Monografía del Jugo de Naranja. (2009) (disponible en línea, consultado el 12/06/2014).
- Desneux N. A Decourtye and J.M. Delpuech. 2007. The sublethal effects of pesticides. *Annu Rev Entomol* 52:81-106.
- Ecobichon D.J. 2001. Pesticide use in developing countries. *Toxicology*, 160:27–33.
- FAO. 2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. La FAO en México. Más de 60 años de cooperación 1945-2009.
- Fernández M. Picó Y. Mañes J. 2001. Pesticide residues in oranges from Valencia (Spain). *Food additives and contaminants* 18 (7), 615–624.
- Financiera rural. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. Monografía del Jugo de Naranja, Agosto 2010. Online: financierarural.gob.mx.
- Fry DM. 1995. Reproductive effects in birds exposed to pesticides and industrial chemicals. *Environ Health Perspect* 103 (7): 165-71. Review.
- Gaitán J. 2002. Situación de la citricultura del estado de Nuevo León. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).
- Haarmann T. Spivak M. Weaver D. Weaver B. Glenn T. 2002. Effects of fluvalinate and coumaphos on queen honey bees (Hymenoptera: Apidae) in two commercial queen rearing operations. *J Econ Entomol* 95(1): p. 28-35.6.
- Hayo M.G. and van der Werf. 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment Agriculture. *Ecosystems & Environment* 60 (2–3): 81–96.
- Hashmi, Imran and Khan A. D. 2011. Determination of Pesticide Residues in Fruit-Based Soft Drinks. *Anal Chem* 80: 8966–8974.
- Medina U.V.M. Robles M.M. Becerra S.R. Orozco J.R. Orozco M.S. Garza J.G.L. Ovando M.E. Chavez X.C. Felix F.A. 2001. El cultivo del limón mexicano. Libro técnico No.1. INIFAP, México. 188p.
- Moreno-González D. Gámiz-Gracia L. García-Campaña A.M. Bosque-Sendra J.M. 2011. Use of dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of carbamates in juice samples by sweeping-micellarelectrokinetic chromatography. *Anal Bio anal Chem* 400(5):1329-38.
- Nguyen H. Campi E.M. Roy Jackson W. Patti A.F. 2009. Effect of oxidative deterioration on flavour and aroma components of lemon oil. *Food Chemistry* 112 (2): 388–393.
- Ortelli D. Edder P. Corvi C. 2005. Pesticide residues survey in citrus fruits. *Food additives and contaminants* 22 (5), 423–428.
- Osteen C.D. Fernandez-Cornejo J. 2013. Economic and policy issues of U.S. agricultural pesticide use trends. *Pest ManagSci* 69(9):1001-25.

- Programa de Documentación de Casos de Éxito 2010. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y la Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce (COFUPRO).
- Radisic M. Grujic S. Vasiljevic T. Lausevic M. 2009. Determination of selected pesticides in fruit juices by matrix solid-phase dispersion and liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Food Chemistry* 113(2):712-719.
- SAGARPA.http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/potencialproductivo/especificos/problemas_fitosanitarios_3.pdf (consultado el 25/03/2013).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera con información de las delegaciones de SAGARPA (2012). <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/sanluispotosi/boletines/Paginas/BOL1301112.aspx> (consultado el 29-10-2016).
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (2012). SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx> (consultado el 03/03/2016).
- Steuer B. Schulz H. L. 2001. Classification and analysis of citrus oils by NIR spectroscopy. *Food Chemistry* 72 (1): 113–117.
- US FDA. Carbendazim in Orange Juice Products. June 14, (2012). <http://www.fda.gov/food/foodborneillnesscontaminants/pesticides/ucm288004.htm> (consultado el 12/06/2014).
- USDA FAS. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Liga: <http://www.mrlatabase.com/default.cfm?selectvetdrug=0> (consultado el 27/09/2012).
- Weick J. and R.S. Thorn. 2002. Effects of acute sublethal exposure to coumaphos or diazinon on acquisition and discrimination of odor stimuli in the honey bee (Hymenoptera: Apidae). *J Econ Entomol* 95(2): 227-36.
- WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2000-01 Geneva (2000). World Health Organization (document reference WHO/PCS/01).
- Wu J.Y. C.M. Anelli and W.S. Sheppard. 2011. Sub-lethal effects of pesticide residues in brood comb on worker honey bee (*Apis mellifera*) development and longevity. *PLoS One* 6(2): e14720.

