

Importancia de la fitopatología en la seguridad e inocuidad alimentaria: Revisión de Literatura

Issa Fernanda Diaz Flores

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Importancia de la fitopatología en la seguridad e inocuidad alimentaria: Revisión de Literatura

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Issa Fernanda Diaz Flores

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2020

Importancia de la fitopatología en la seguridad e inocuidad alimentaria: Revisión de Literatura

Presentado por:

Issa Fernanda Diaz Flores

Aprobado:



Carolina Avellaneda, Ph.D.
Asesora Principal



Rogel Castillo, M.Sc.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria



Mayra Márquez González, Ph.D.
Asesora



Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico

Importancia de la fitopatología en la seguridad e inocuidad alimentaria: Revisión de Literatura

Issa Fernanda Diaz Flores

Resumen. Las enfermedades de las plantas se desarrollan cuando microorganismos patógenos encuentran las condiciones necesarias para sobrevivir. Este estudio trata de explicar cómo los organismos fitopatógenos pueden causar enfermedades en las plantas, conocer su forma de ingreso a los alimentos y el importante papel que juegan en la seguridad e inocuidad alimentaria. Se realizó una revisión de literatura dónde se trató de explicar los momentos de contaminación durante la cadena de producción, los microorganismos que causan enfermedades en seres humanos y cómo las plantas han creado mecanismos para resistir enfermedades. Los productos hortícolas se pueden contaminar en campo mediante el agua de riego, ya sea que provenga de una fuente superficial o subterránea, la adición de abonos orgánicos o directamente del suelo y en postcosecha mediante el personal, las instalaciones y el agua de lavado. No obstante, existen distintos tratamientos como la presión, el calor, o los desinfectantes que se aplican a los alimentos durante la cadena de producción para eliminar o reducir las cargas microbianas. En ciertas ocasiones estos tratamientos utilizados son ineficaces, por lo que los microorganismos se vuelven resistentes a los tratamientos aplicados para combatirlos, por ello, es necesario velar por la inocuidad de los alimentos desde la siembra hasta su consumo final para evitar la propagación de enfermedades siguiendo las medidas establecidas por entes que regulan la producción segura e inocua de los alimentos.

Palabras clave: Agua, contaminación, control de enfermedades, microorganismos, patógenos, suelo.

Abstract. Plant diseases develops when pathogenic microorganisms find the necessary conditions to survive. This study tries to explain how phytopathogenic organisms can cause plant diseases, their way of entering food and the important role they play in food security. A literature review was carried out to explain when the contamination occurred during the production chain, the microorganisms that cause diseases in humans, and how plants have created mechanisms to resist diseases. Horticultural products can be contaminated in the field; through irrigation water, whether it comes from a surface or subway source, the addition of organic fertilizers or directly from the soil, and at post-harvest; by personnel, facilities, and washing water. However, there are different treatments such as pressure, heat, or disinfectants that are applied to food during the production chain to eliminate or reduce microbial loads. Sometimes these treatments are used inefficiently, and microorganisms creates resistance to the treatments applied to combat them. Therefore, it is necessary to ensure the food safety from planting to final consumption to prevent the spread of diseases by following the measures established by entities that regulate the production of safe and secure food.

Key words: Contamination, disease control, microorganisms, pathogens, soil, water.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros y Figuras	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. REVISIÓN LITERARIA	4
4. CONCLUSIONES.....	23
5. RECOMENDACIONES.....	24
6. LITERATURA CITADA	25

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Números de casos de infección bacteriana y parasitaria confirmada por cultivo, hospitalizaciones y muertes por patógeno, Red de Vigilancia Activa de Enfermedades Transmitidas por Alimentos, Estados Unidos, 2014.	8
2. Beneficios y preocupaciones relacionadas al uso de enmiendas orgánicas para la producción de plantas.	14

Figuras	Página
1. Triángulo de la enfermedad.	5
2. Factores de riesgo ambientales para la producción de alimentos en campo.	11
3. Protección de los objetivos de virulencia de los patógenos por las proteínas R de la planta.	21

1. INTRODUCCIÓN

“La fitopatología es una ciencia que estudia las enfermedades de las plantas, e intenta mejorar las posibilidades de supervivencia de estas cuando se enfrentan a condiciones ambientales desfavorables y microorganismos parásitos que causan enfermedades” (Agris 2005). Por ello, los productores tienen como objetivos producir el suficiente alimento teniendo en cuenta las pérdidas que estos causen, para velar por la disponibilidad de alimento tanto en humanos como animales. Para que una enfermedad se desarrolle debe contar con tres factores; ambiente, patógeno y hospedero, los cuales forman el triángulo de las enfermedades de las plantas, animales y personas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que estos patógenos conviven en el ecosistema y a diario interactúan con los humanos. Se les ha denominado patógenos humanos en las plantas (HPOP’s por sus siglas en inglés), y fue propuesta recientemente para describir estos patógenos cuando habitan, colonizan, ingresan o, en otras palabras, interactúan con las plantas.

Sabiendo que todos estos factores pueden jugar un papel determinante en la producción de alimentos, es necesario velar por la seguridad alimentaria, que es cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, que satisfagan sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias para una vida activa y saludable (Strange y Gullino 2010). Para que la contaminación exista se debe mantener una interacción constante entre distintos factores que se relacionan directamente con la producción de alimentos; como el suelo, que puede ser enriquecido directamente con fertilizantes orgánicos procedentes de heces de cualquier tipo de animal. Asimismo, esta condición puede ser afectada por la lluvia que puede producir escorrentía o lixiviación provocando un movimiento de los microorganismos hacia las fuentes de agua superficiales o subterráneas, las cuales se usan como riego en explotaciones agrícolas.

La presencia de los microorganismos en los alimentos va a depender de la composición de este. La mayoría de los microorganismos no crecen en los alimentos que son ácidos (pH 4.6 o inferior) (Farber *et al.* 2014). y pueden ser eliminados por tratamientos con calor, presión o luz. Estos procesos tratan de mantener la inocuidad alimentaria; definida como una situación, ya sea accidental o intencional, en la que una autoridad competente identifica un riesgo aún no controlado de graves efectos perjudiciales para la salud pública vinculada al consumo de alimentos y que requiere medidas urgentes (Codex alimentarius 2013). Sin embargo, los microorganismos han desarrollado ciertos mecanismos de sobrevivencia que los hacen resistir a condiciones adversas como su capacidad de formar biopelículas, o sobrevivir con el cierre estomatal de las plantas.

A lo largo de la historia se han visto estragos causados por patógenos, como *Phytophthora infestans*, que debido a la destrucción de los campos de producción, los agricultores perdieron toda su cosecha, y por ende, provocó la gran hambruna en Irlanda donde miles de personas murieron. Por ello han surgido entes que velan por la inocuidad y seguridad de los alimentos, los cuales dictan las directrices para la producción de alimentos; como el *Codex alimentarius*, Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés), “One health” y “Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria” (SENASA). Los objetivos de la presente investigación fueron:

- Determinar cómo los organismos fitopatógenos pueden causar enfermedades en las plantas y conocer su forma de ingreso a los alimentos.

- Conocer los momentos durante la cadena de producción en el que los alimentos se pueden contaminar.
- Determinar si los microorganismos que causan enfermedades en las plantas pueden causar enfermedades en seres humanos y cómo las plantas han creado mecanismos para resistir las enfermedades.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia de búsqueda

Este estudio se considera un estudio descriptivo el cual se llevó a cabo entre los meses de junio y agosto de 2020, donde se realizó una búsqueda de literatura en las bases de datos “Science Direct”, “APS press”, “Pub med”, “Springer Link”, “Scopus, Science”, “Research gate”, así como las páginas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), la FDA, SENASA y la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés). Se realizó se una búsqueda con la ayuda de la plataforma de “Google Scholar” y la Biblioteca Wilson Popenoe, mediante palabras clave como “contamination, disease control, food safety, food security, human pathogens, manure, pathogens, phytopathology”, siendo estas las más mencionadas en la mayoría de los artículos.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron solo artículos originales reportados en la literatura científica en los últimos 31 años (1989 a 2020), escritos en el idioma inglés y español, siendo seleccionados 75 documentos que constaban de artículos, libros y páginas oficiales. Se excluyeron artículos que hablaran sobre contaminación microbiológica en carnes, los tipos de enfermedades en las plantas, así como los efectos de la seguridad alimentaria en la nutrición humana.

3. REVISION DE LITERATURA

Fitopatología

En toda la producción de alimentos a nivel mundial es importante tener en cuenta que, si no se maneja de la mejor manera, o no se tienen los cuidados necesarios, esta se va a ver afectada por distintos factores, como ser las enfermedades. Las plantas al igual que las personas y animales se ven atacadas por estas. La fitopatología es definida como una ciencia que estudia las enfermedades de las plantas, e intenta mejorar las posibilidades de supervivencia de las plantas cuando se enfrentan a condiciones ambientales desfavorables y microorganismos parásitos que causan enfermedades (Agrios 2005).

Los productores tienen que velar por la disponibilidad de alimento en todo momento, no sólo para humanos, sino también para animales. Son muchos los factores a los que hay que enfrentarse para obtener un buen rendimiento para asegurar la producción, por lo que hoy en día gran parte de la investigación moderna de la fitopatología tiene como objetivo principal encontrar medios ecológicos para contrarrestar las enfermedades de las plantas, teniendo como principal reto reducir la pérdida de alimentos mejorando su calidad y asegurando la disponibilidad de este, manteniendo una relación armónica con el entorno.

Una planta es vista como saludable cuando cumple con todos los procesos y funciones fisiológicas como ser: llevar a cabo la fotosíntesis, translocar, metabolizar o almacenar los productos fotosintéticos y producir semillas u otros órganos reproductivos para la supervivencia y la multiplicación de las enfermedades en las plantas, que son las respuestas visibles de células a un agente patógeno o un factor ambiental desfavorable que pueden causar su deterioro o la muerte.

La familia de las bacterias gram negativas *Enterobacteriaceae* incluye muchos patógenos humanos (*E. coli*, *Salmonella* y *Shigella*), relacionados con los alimentos vegetales, también contiene varios géneros de patógenos vegetales (*Enterobacter*, *Erwinia*, *Pantoea*, *Pectobacterium*), que producen enfermedades de las plantas como tizones, marchiteces, y pudriciones.

Existen especies microbianas denominadas agentes patógenos cruzados; infectan y causan enfermedades tanto en plantas como en humanos, que no son tan comunes (Fletcher *et al.* 2013). Asimismo, existen relaciones de sinergia o antagonismo que se pueden dar entre plantas y microbios, la cual puede darse de dos formas; en la superficie o epífita y dentro de la planta o endófito (Fletcher *et al.* 2013).

El triángulo de las enfermedades de las plantas (Figura 1), conocido como el dogma central de la fitopatología, indica que para que una enfermedad se desarrolle requiere de tres componentes: I) el patógeno, que debe de ser virulento en algunas plantas; II) el huésped, debe ser susceptible al patógeno; III) el ambiente, debe proveer las condiciones adecuadas como temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes que deben ser adecuadas para el patógeno y, por ende, se desarrolle la enfermedad. El área del triángulo se puede cuantificar, esta área puede representar la cantidad de la enfermedad que afectó a la planta o la población de plantas, si uno de los componentes es cero, no califica como enfermedad (Fletcher *et al.* 2013).



Figura 1: Triángulo de la enfermedad.
Fuente: Agrios 2005.

Los HPOP's fueron propuestos recientemente para describir estos patógenos cuando habitan, colonizan, ingresan o, en otras palabras, interactúan con las plantas. Algunas, manipulan la apertura o el cierre de esos poros estomatales señalando las células protectoras circundantes, cuyos cambios en la presión de turgencia controlan el tamaño de los poros (Fletcher *et al.* 2013).

Seguridad e inocuidad alimentaria

La carga de enfermedades producidas por los alimentos permanece mayormente desconocida, la tendencia a las enfermedades intestinales producidas por los alimentos está limitada a países poco industrializados. La falta de recursos en estos países conlleva a un sistema de salud y seguridad e inocuidad alimentario pobre, contando con organismos supervisores y reguladores deficientes, esto ha conducido a que esta enfermedad tome importancia siendo relacionada principalmente a alimentos y agua contaminada (Newell *et al.* 2010).

La importancia de la fitopatología nos lleva a explorar otros ámbitos relacionados a este, como ser la seguridad e inocuidad alimentaria que juegan el rol más importante en la salud del mundo. El concepto de seguridad alimentaria, definido en el "World Food Summit" en 1996, cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, que satisfacen sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias para una vida activa y saludable (Strange y Gullino 2010). Lastimosamente gran parte de la población mundial, específicamente en los países subdesarrollados sufren de inseguridad alimentaria, a pesar de todos los esfuerzos por organizaciones internacionales, no logran acabar con este problema.

Existen varios factores que afectan la seguridad alimentaria, entre ellos la pobreza, juega un papel crucial, la mayoría de las personas que viven en esta situación comen del dinero que generan a diario, y muchas veces no cuentan con la disponibilidad económica para hacer una variación en su dieta. Como consecuencia, se obtiene una población con hambre. El enfoque de la seguridad alimentaria abarca cuatro dimensiones:

Disponibilidad. Consiste en la oferta que se tiene de los alimentos. Puede ser desarrollada mediante la producción agrícola familiar, o mediante un intercambio comercial, los cuales pueden ser beneficiados por programas nacionales dirigidos a aumentar la producción de alimento. Se ven afectadas principalmente por las plagas que dañan la planta y por ende disminuyen el rendimiento.

Acceso. Comprende la disponibilidad de los recursos de un hogar para conseguir los alimentos. Son muy pocas las personas en el mundo que producen su propio alimento, por lo que deben contar con un salario o con los recursos para adquirirlos.

Utilización. Se refiere a la calidad que tienen los alimentos producidos y los requerimientos para obtener un buen estado nutricional, esto incluye los niveles máximos de residuos de plaguicidas en los alimentos.

Estabilidad. Consiste en el acceso constante a las cantidades necesarias de alimentos. El desarrollo de enfermedades en los cultivos afecta directamente estos componentes, y como se ha visto históricamente trae consigo daños irreparables (Salazar y Muñoz 2019).

Siempre van a existir enfermedades en los cultivos, pero lo que se debe hacer es tratar de reducir la incidencia de estas en las plantas, evitando así el deterioro de los alimentos y la pérdida que conlleva. Tratando de asegurar la inocuidad alimentaria, definida como una situación, ya sea accidental o intencional, en la que una autoridad competente identifica un riesgo aún no controlado de graves efectos perjudiciales para la salud pública, vinculada al consumo de alimentos y que requiere medidas urgentes (*Codex alimentarius* 2013). Para evitar la contaminación de los alimentos es necesario contar con medidas de seguridad e inocuidad en toda la cadena de producción e integrar las medidas propuestas por los entes regulatorios de cada país.

La utilización segura y con responsabilidad de los recursos biológicos permitirá un buen desarrollo e implementación de los sistemas de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP por sus siglas en inglés), la cual sirve para identificar peligros específicos y desarrollar medidas de control apropiadas para controlarlos, garantizando de este modo la inocuidad de alimentos.

Historia

A lo largo de la historia han existido plagas devastadoras que han arrasado con los cultivos y causado grandes estragos, y aunque en un principio se desconoce su procedencia, finalmente se descubre el verdadero origen y causante de estas. Una de las enfermedades más importantes a lo largo de la historia de la humanidad fue el tizón tardío de la papa, ninguna otra enfermedad había recibido la atención pública se le dio al tizón tardío. La sociedad de esos tiempos era muy escéptica y no se imaginaban la magnitud del daño que esto causaría en la sociedad.

Al pasar de los meses esta enfermedad fue tomando importancia en la mayoría de los productores de papa, esto debido a que era su principal fuente de alimento, tanto fue el impacto en este

monocultivo, que las consecuencias llevaron a causar la hambruna de Irlanda la cual se dio entre los años 1846-1842 y fue causada por un hongo llamado *Phytophthora infestans*, conocido comúnmente como el tizón tardío de la papa. Tanto ascendieron los daños del hongo que se encargó de destruir aproximadamente un tercio del total de la producción.

Producto de esta gran hambruna y de las pérdidas totales de los cultivos, fue la migración masiva de personas desde Irlanda como parte del Reino Unido hacia Estados Unidos. El hambre fue el principal motivo que obligó a las personas a irse de este país para buscar trabajo, y así poder sostener a sus familias (Grada y O'Rourke 1997). A medida se analiza la historia se ve que uno de los principales motivos para que una persona emigre de un país a otro es la necesidad de sobrevivir, ya sea por falta de alimentos o para obtener los recursos para conseguirlos.

Principales enfermedades y patógenos transmitidas por los alimentos

La historia ha enseñado cómo la contaminación de alimentos tiene un gran impacto en la sociedad, específicamente en la seguridad e inocuidad alimentaria, causando muertes o inmigraciones. Existen diversas enfermedades que día a día causan daños a la salud de las personas. En 2014, "FoodNet" identificó 19,542 casos de infección, 4,445 hospitalizaciones y 71 muertes en Estados Unidos (Cuadro 1). El porcentaje de infecciones asociadas con los brotes fueron los siguientes: STEC O157 (16%), *Listeria* (11%), STEC no O157 (7%), *Shigella* (7%), *Salmonella* (6%), *Vibrio* (6%), *Cryptosporidium* (5%), *Yersinia* (0.8%) y *Campylobacter* (0.6%) (Crim *et al.* 2015).

Descripción de los principales patógenos

***Cyclospora cayetanensis*.** Causa ciclosporiasis, la cual es una infección producida por la ingesta de alimento o agua contaminada con heces infectadas. Los síntomas de esta infección se caracterizan comúnmente por diarrea acuosa, pérdida de apetito, pérdida de peso, hinchazón y calambres abdominales, fiebre, náuseas, vómitos y fatigas.

***E. coli* O157:H7.** Es una de las cepas enterovirulentas de *E. coli*, pero la mayoría de las cepas de esta especie no son patógenas. La *E. coli* O157:H7 es una bacteria que produce grandes cantidades de toxinas que pueden causar graves daños en el revestimiento de los intestinos.

Norovirus. Grupo de virus que causan gastroenteritis aguda en las personas. Se transmite a través del agua y de alimentos contaminados; ensaladas.

***Listeria monocytogenes*.** Forma parte del género *Listeria*, se encuentra ampliamente distribuido en entornos agrícolas, como el suelo, el estiércol y el agua. Es una bacteria patógena que puede causar una infección peligrosa llamada listeriosis. La gravedad de la listeriosis puede variar desde gastroenteritis leve hasta enfermedades graves (septicemia, encefalitis, meningitis, abortos y muertes fetales), y puede dar lugar a una alta tasa de mortalidad en poblaciones inmunocomprometidas (Swaminathan y Gerner-Smidt 2007). La listeriosis humana y animal se reconoció por primera vez como una infección en la década de 1920 (Zhu *et al.* 2017).

Salmonella. Es la segunda causa más común de enfermedades transmitidas por lo alimentos, causa salmonelosis que es transmitida por el consumo de huevos, aves y carne poco cocinada, productos lácteos hechos con leche no pasteurizada, productos frescos y jugos de frutas no pasteurizadas.

Shigella spp. El principal medio de contaminación es por vía fecal-oral, está íntimamente relacionado con el consumo de lechuga picada, ensalada de papa, cebollas, perejil, queso, mariscos y aves de corral (FDA 2008).

Cuadro 1. Número de casos de infección bacteriana y parasitaria confirmada por cultivo, hospitalizaciones y muertes, por patógeno - Red de Vigilancia Activa de Enfermedades Transmitidas por Alimentos, Estados Unidos, 2014.

Patógeno	Casos			Hospitalizaciones		Muertes	
	No.	Incidencia α	Objetivo β	No.	(%)	No.	(%)
Bacteria							
<i>Campylobacter</i>	6,486	13.45	8.5	1,080	(17)	11	(0.2)
<i>Listeria</i>	118	0.24	0.2	108	(92)	18	(15.3)
<i>Salmonella</i>	7,452	15.45	11.4	2,141	(29)	30	(0.4)
<i>Shigella</i>	2,801	5.81	N/A γ	569	(20)	2	(0.1)
STEC 0157	445	0.92	0.6	154	(35)	3	(0.7)
STEC no-0157	690	1.43	N/A	104	(15)	0	(0.0)
<i>Vibrio</i>	216	0.45	0.2	40	(19)	2	(0.9)
<i>Yersinia</i>	133	0.28	0.3	30	(23)	1	(0.8)
Parásitos							
<i>Cryptosporidium</i>	1,175	2.44	N/A	217	(18)	4	(0.3)
<i>Cyclospora</i>	26	0.05	N/A	2	(8)	0	(0.0)
Total	19,542			4,445		71	

Abreviaciones: N/A = no disponible, STEC = Shiga toxin producing *Escherichia coli*.

α Por cada 100,000 personas.

β Metas objetivas de personas sanas para el 2020 para las infecciones por *Campylobacter*, *Listeria*, *Salmonella*, STEC 0157, *Vibrio* y *Yersinia* por cada 100,000 habitantes.

γ No existe un objetivo nacional de salud para este patógeno.

Fuente: Crim *et al.* 2015.

Brotos de enfermedades más recientes

Dentro de los brotes más recientes de patógenos se encuentra el brote de infección de *E. coli* vinculado a brotes de trébol, apareció a finales de enero y para el mes de abril de 2020 ya se había erradicado, se reportaron 51 casos sin muertes, las personas que se enfermaron lo pudieron contraer de brotes que ya habían expirado (CDC 2020a).

Cyclospora vinculada a la mezcla de ensaladas en bolsa, mismos que dan recomendaciones de no comer o vender productos que han sido retirados del mercado, además de tirar cualquier tipo de ensalada de la marca “fresh express”. No ha habido ninguna muerte hasta ahora, pero se encuentran haciendo investigaciones (CDC 2020b).

Brote de infecciones de *Listeria* vinculada a hongos enoki, probablemente la localidad de este brote fue la República de Corea, pero dónde causó impacto fue en Estados Unidos, afectando a 36 personas donde 4 de ellas murieron. Los síntomas comienzan de 1 a 4 semanas después de comer alimentos contaminados, pueden incluir dolor de cabeza, rigidez en el cuello, confusión, pérdida de equilibrio y convulsiones, además de fiebre y dolores musculares (CDC 2020c).

Entidades que regulan la producción de alimentos

Existen entes reguladores a nivel mundial que dictan las normas para la producción segura de los alimentos para animales y personas, como el *Codex*, y a nivel nacional como oficinas que velan por el cumplimiento de estas normas.

Codex Alimentarius. Tiene como finalidad garantizar alimentos inocuos y de calidad a todas las personas y en cualquier lugar. Es una colección de normas alimentarias y textos afines aceptados internacionalmente y presentados de modo uniforme, este contiene normas sobre todos los alimentos principales, ya sean elaborados, semielaborados o crudos, destinados a su distribución al consumidor. Además, deben incluirse todas las materias primas con las que son elaborados estos, contiene disposiciones sobre higiene de los alimentos, aditivos alimentarios, residuos de plaguicidas y de medicamentos veterinarios, contaminantes, etiquetado y presentación, métodos las normas y textos afines del *Codex* no sustituyen ni son una solución alternativa a la legislación nacional.

Las normas para la producción y regulación de alimentos se pueden encontrar en la página web de la FAO, dónde están organizadas por fecha, última modificación, idiomas en los que esta traducido (<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>), asimismo, cuentan con una serie de directrices para la producción, etiquetado, desarrollo de alimentos (<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/guidelines/es/>), códigos de prácticas de higiene (<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/codes-of-practice/es/>), límite máximo de residuos (<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/maximum-residue-limits/es/>) (*Codex alimentarius* 2020).

FDA. Es una agencia dentro del Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos que brinda documentos de orientación e información reglamentaria por temas (alimentos y suplementos dietéticos), importaciones y exportaciones de alimentos, registro de instalaciones alimentarias y otras presentaciones, protección de alimentos al por menor, ley de modernización de la seguridad alimentaria (FSMA por sus siglas en inglés), HACCP, buenas prácticas actuales de fabricación (CGMP por sus siglas en inglés) para alimentos y suplementos dietéticos, programas alimentarios federales/estatales (FDA [accessed 7 de agosto de 2020]).

SENASA. Pertenece a la Dirección Nacional de Sanidad Agropecuaria de Honduras, está encargado del diseño, dirección, coordinación y ejecución de los programas de salud animal y de sanidad vegetal, dictando normas para orientar las acciones públicas y privadas. Con ese propósito tiene a su cargo la aplicación de las normas y procedimientos sanitarios para la importación y exportación de productos agropecuarios, incluyendo el diagnóstico y vigilancia epidemiológica de plagas y enfermedades, el control cuarentenario de productos de importación y exportación, la coordinación de programas y campañas fitozoosanitarias y la coordinación de las diferentes actividades relacionadas con la sanidad agropecuaria. (SENASA 2017). La necesidad de erradicar

la malnutrición en Honduras ha creado programas para combatirlos, comenzando desde los más pequeños y en el 2011 el gobierno de la república creó la ley de seguridad alimentaria y nutricional debido a la alta necesidad de mejorar la calidad de vida de la población hondureña (La Gaceta 2011).

“One health”. Es un enfoque para diseñar e implementar programas, políticas, legislación e investigación en el que múltiples sectores se comunican y trabajan juntos para lograr mejores resultados en la salud pública. Las áreas de trabajo en las que es relevante incluyen la seguridad alimentaria, el control de zoonosis y la lucha contra la resistencia a los antibióticos. La necesidad de tener esta organización radica en que muchos de los mismos microbios infectan animales y seres humanos, ya que comparten los ecosistemas en los que viven (WHO 2017).

Manejo agronómico y fuentes de contaminación de alimentos

Los momentos de contaminación pueden existir durante todo el proceso de producción y las fuentes más comunes cuando los alimentos se encuentran en campo y cuando han pasado por un proceso poscosecha, teniendo en cuenta que en esta parte del proceso los alimentos se encuentran más propensos a contaminación porque son muchos factores como la temperatura, o la humedad relativa que pueden afectar su vida anaquel.

Contaminación en campo

Las principales fuentes de contaminación pre-cosecha son fertilizantes, agua de riego y suelo (Peter *et al.* 2005). Cuando los alimentos se encuentran en campo se enfrentan a distintas fuentes de contaminación y, dependiendo del grado de exposición, así puede ser la magnitud del daño que causen a la cosecha alcanzando pérdidas del 100% de la misma. No todos los alimentos se consumen frescos, al ingerir productos contaminados, cuando se comen crudos o no están completamente cocinados, genera un riesgo potencial para la salud humana (Newell *et al.* 2010). Algunos pueden pasar por algún proceso como sometimiento a altas o bajas temperaturas, conservantes, cambio de consistencia, o mezclas con otros alimentos que sirven para modificar o eliminar las condiciones a la que los patógenos se desarrollan. Las bacterias patógenas necesitan humedad para crecer y reproducirse. Los alimentos con alto contenido de humedad como la leche o frutas se consideran productos potencialmente peligrosos, en cambio los alimentos secos como los polvos tienen una vida útil más larga porque al contener menos contenido de humedad no generan un ambiente óptimo para la proliferación de microorganismos (Farber *et al.* 2014).

Para que la contaminación exista se mantiene una interacción constante entre distintos factores (Figura 2), que se relacionan directamente con la producción de alimentos, como el suelo, que puede ser enriquecido directamente con fertilizantes orgánicos procedentes de heces de cualquier tipo de explotación animal, que modificará las condiciones ambientales para bien o para mal de los microorganismos existentes o agregando nuevas colonias de microorganismos. Asimismo, esta condición puede ser afectada por la lluvia, produciendo escorrentía o lixiviación, provocando un movimiento de los microorganismos hacia las fuentes de agua superficiales o subterráneas las cuales se usan como riego en explotaciones agrícolas.

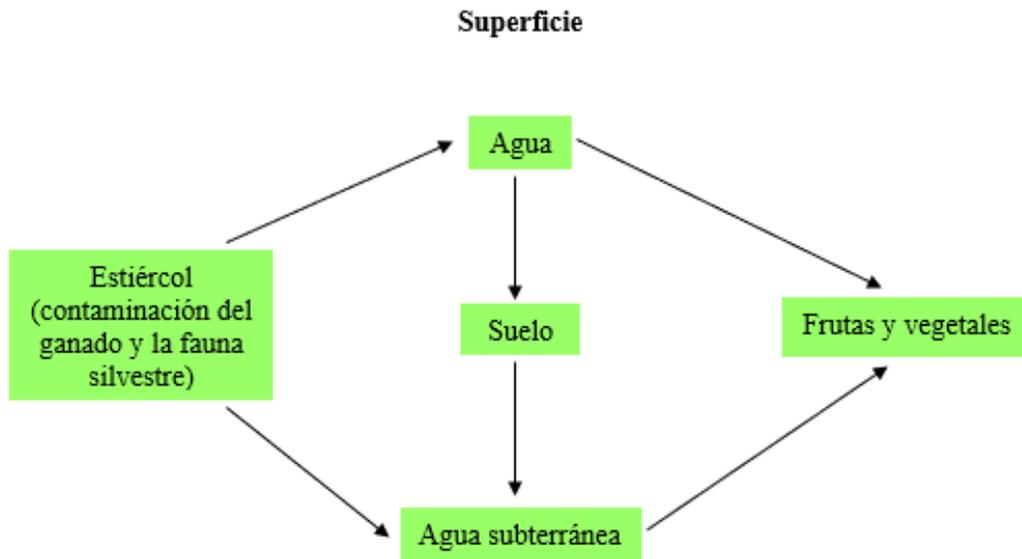


Figura 2. Factores de riesgo ambientales para la producción de alimentos en campo.
Fuente: Alegbeleye *et al.* 2018.

El suelo y los microorganismos

El suelo es la base de la producción de los alimentos y cuenta con características físicas, químicas y biológicas que lo hacen apto para la producción. Las personas están en contacto permanente con el suelo, directa o indirectamente mediante la comida, el agua y el aire; así el suelo puede actuar como vector de enfermedades que afectan a las personas (Santamaría y Toranzos 2003). El tipo de suelo es un factor importante, que influye directa o indirectamente en la estructura de las comunidades microbianas sobre la base de diversas propiedades fisicoquímicas (Garbeva *et al.* 2004). Los patógenos pueden contaminar alimentos producidos en campo mediante diferentes rutas; la deposición atmosférica, la captación de suelos y aguas subterráneas contaminadas (Harris *et al.* 2003; Lynch *et al.* 2009; Mei Soon *et al.* 2012; Alegbeleye *et al.* 2018; Harris *et al.* 2018). Los suelos pueden actuar como un filtro disminuyendo el transporte microbiano a través él, por lo tanto, minimiza la contaminación patógena de las fuentes de aguas subterráneas (Alegbeleye y Sant'Ana 2020). Algunas de las prácticas de manejo de suelo recomendadas para reducir la sobrevivencia de patógenos entéricos en el suelo según Leifert *et al.* 2008 son:

Humedad del suelo/ potencial mátrico. Está determinado por el tipo de suelo y los aportes de agua a través de la precipitación o irrigación, y se ha demostrado que es uno de los factores más importantes que influencia la sobrevivencia de los microorganismos en el suelo (Leifert *et al.* 2008).

Las características físicas relacionadas con la estructura del suelo. El tipo de suelo y su estructura pueden influenciar la presencia de patógenos. La capacidad de los microorganismos para migrar a través del suelo aumenta la probabilidad de que el suelo se contamine (Abu-Ashour *et al.* 1993). Dependiendo de la estructura del suelo así será el movimiento de los microorganismos, algunos estudios han demostrado que los coliformes viajaron desde 0.6 m en suelos franco arenoso

fino hasta 830 m en arenas y gravas. Además las bacterias y los virus han demostrado que viajan a través de los medios porosos y su recorrido depende del tipo de medio que sea (Abu-Ashour *et al.* 1993).

La temperatura y el pH del suelo. Las condiciones del pH en el suelo influyen la dinámica de los microbios. Las condiciones de pH neutro son más adecuadas para la supervivencia microbiana (Alegbeleye y Sant'Ana 2020). Un estudio realizado en china demuestra que *E. coli* O157:H7 tuvo una persistencia significativamente más larga en suelos alcalinos que en los ácidos (Wang *et al.* 2014). La temperatura en la supervivencia de los patógenos durante el almacenamiento del estiércol, la mayoría de los estudios sugieren que mientras las temperaturas se mantengan por encima del punto de congelación la supervivencia de los patógenos entéricos disminuye (Leifert *et al.* 2008).

La actividad biológica del suelo. Según estudios, en los países en desarrollo, las aguas residuales domésticas no tratadas son una importante fuente de patógenos entéricos para el suelo cuando se utilizan para riego en los cultivos (Santamaría y Toranzos 2003). Además, un estudio sobre *L. monocytogenes* sugirió que el contenido de humedad del suelo, la estación, la presencia de sistemas de raíces de las plantas y el material vegetal en descomposición, pueden influenciar el crecimiento bacteriano en el suelo (Dowe *et al.* 1997). Para ello es necesario que las condiciones de humedad del suelo sean las adecuadas, esta contribuye a la supervivencia de los virus y las bacterias. Se observan reducciones en las densidades de población bacteriana y viral en suelo seco (Santamaría y Toranzos 2003). Además, los tipos de labranza que se hacen pueden generar ambientes propicios para la supervivencia de microorganismos, un ejemplo de ello es la *E. coli* O157:H7, que varía en los suelos bajo diferentes tipos de uso de la tierra (Wang *et al.* 2014). Asimismo, la labranza mínima o labranza cero también pueden aumentar la gravedad de la enfermedad por parte de los patógenos, ya estos sobreviven mejor cuando los desechos del cultivo infestado permanecen en la superficie del suelo. Las raíces de las plantas liberan al suelo circundante una gran cantidad de compuestos, como el etileno, azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, vitaminas, polisacáridos y enzimas, que desarrollan un ambiente apropiado para los microorganismos que viven en asociación con las raíces de las plantas en la rizósfera. La rizósfera fue descrita por primera vez por Hiltner (1904) como el volumen de suelo que rodea las raíces de las plantas influenciada por la raíz viva (Garbeva *et al.* 2004).

Disponibilidad de nutrientes en el suelo/materia orgánica. El uso de materiales orgánicos como la excreta de ganado, lodos, residuos de mataderos, lodos de depuración, así como residuos de tratamiento de residuos municipales e industriales, ya que las enmiendas del suelo están muy extendidas (Avery *et al.* 2005; Goss *et al.* 2013; Alegbeleye *et al.* 2018). La exposición a las heces de rumiantes puede presentar riesgos considerables para la salud humana, ya que las heces de rumiantes pueden contener patógenos zoonóticos como *Campylobacter*, *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Salmonella* y *E. coli* O157:H7 (Harris *et al.* 2018).

Fertilizantes orgánicos

Las técnicas de tratamiento de estiércol como compostaje, digestión anaerobia y aerobia, estabilización alcalina, acondicionamiento, desecación y secado por calor han sido usadas para tratar estiércol antes de la aplicación de fertilizantes por un largo tiempo (Lu *et al.* 2012; Lorin *et al.* 2016; Alegbeleye *et al.* 2018). Las principales diferencias entre distintos tratamientos de

estiércol están relacionadas con la estabilidad y el contenido de materia orgánica, siendo el abono el fertilizante más estable y el estiércol descompuesto el peor (Lorin *et al.* 2016). La composición del estiércol es determinada en gran parte por la formulación de la alimentación, que indica el perfil de patógenos presentes en el estiércol (Franz *et al.* 2011). Aunque éstos sirven como fuente rentable de nutrientes para fines agrícolas, las investigaciones demuestran que tanto el estiércol crudo como el contaminado (tratado incorrectamente) constituyen un riesgo importante de contaminación patógena (Cuadro 2) para los productos (James 2006; Manyi-Loh *et al.* 2016; Alegbeleye *et al.* 2018). Un estudio ha demostrado que, el almacenamiento a largo plazo de desechos orgánicos provocó una significativa disminución de las cifras de *E. coli* O157:H7, por lo tanto, el almacenamiento puede ser un método para reducir la carga de patógenos de los desechos destinados a la aplicación en la tierra. Sin embargo, no se puede esperar que el almacenamiento a largo plazo elimine completamente el *E. coli* O157:H7 de los desechos (Avery *et al.* 2005). Asimismo, los organismos pueden transportar las bacterias; experimentos de laboratorio han demostrado que las moscas pueden recoger *E. coli* O157:H7 del estiércol contaminado depositándolo en el filoplano de varias especies de plantas comestibles, donde las bacterias pueden colonizar y multiplicarse (Talley *et al.* 2009).

Tipos de enmiendas orgánicas

Estiércol de animales. Los abonos de estiércol animal han servido como fertilizante óptimo en la agricultura, aunque la mayoría de estiércoles proveen al suelo distintos nutrientes como sal, que puede ser perjudicial para los agregados del suelo o dependiendo de la cantidad de lluvia puede ser fuente de contaminación en el agua subterránea (Guo *et al.* 2019). El estiércol de granja es una mezcla entre heces, orina y el material de cama que se utiliza en las granjas, que es sometido a cierto nivel de compostaje. El estiércol está sujeto a cambios debido a los componentes de las heces y la orina, como la mineralización de la ureasa que comienza después de que la orina es excretada, dando como resultado amonio (NH_4^+), bicarbonato (HCO_3^-) e hidróxido (OH^-), siendo los dos últimos componentes los que aumentan el pH (Goss *et al.* 2013). La adición de materia orgánica como el estiércol sumado a concentraciones bajas de oxígeno mejoran la resistencia de *E. coli*, asimismo un bajo pH disminuye su capacidad de sobrevivencia (Foppen y Schijven 2006).

Biosólidos municipales y los residuos sépticos. Los lodos provenientes de aguas residuales municipales están sujetos a ciertas medidas que deben cumplir, para ello se debe de reducir la carga orgánica para poder ser utilizadas en la agricultura estos residuos son pasados por distintos tratamientos como la eliminación de arenas, separados por sedimentación (tratamiento primario); digestión de microbios a una forma más metabolizable (tratamiento secundario); eliminación de nitrógeno y fósforo en solución (tratamiento terciario); estabilización del material (etapa final), para reducir o eliminar patógenos. Estos productos se pueden aplicar de manera líquida o sólida al suelo; conocidos como biosólidos, en pocas palabras, es el tratamiento de asentamiento de sólidos y la descomposición biológica parcial (Warman y Termeer 2005).

Estiércol verde y residuos de cultivos. El abono verde es el resultado de la incorporación al suelo de cualquier campo o cultivo forrajero, mientras esté verde. Los residuos de las cosechas se incorporan al suelo como rastrojo. teniendo en cuenta que la producción total de materia seca de los cultivos de cereales en todo el mundo es de unos 5,000 millones de toneladas (Wirsenius *et al.* 2010).

Residuos y desechos de alimentos. Los productos frescos que no son vendidos o los residuos orgánicos provenientes de la cocina sirven como abono en los campos agrícolas o en los jardines, usualmente después de que han sido compostados.

Desechos de los procesos de fabricación. Estos desechos son procedentes de la fabricación de productos como los residuos producidos de la elaboración de azúcar, producción de aceite de cualquier material, producción de harinas, entre otros.

Compostaje. Es uno de los tratamientos más usados para reducir el volumen de materiales orgánicos para agregarlos al suelo, mejorando sus características de manejo. La actividad de la población microbiana en la materia prima promueve el incremento de la temperatura en el centro de la mezcla, sin embargo, es necesario asegurar que todo el material tenga temperaturas superiores a los 55 °C para la eliminación de patógenos y de semillas de malezas (Goss *et al.* 2013).

Cuadro 2. Beneficios y preocupaciones relacionadas al uso de enmiendas orgánicas para la producción de plantas.

Beneficios	Preocupaciones
Fuente de macronutrientes esenciales para el crecimiento de la planta.	Desequilibrio de nutrientes aplicados al suelo; la posibilidad de pérdida de P y N compuestos en la escorrentía hacia las aguas superficiales y lixiviación a fuentes de agua subterráneas; liberación de gases de efecto invernadero y contribución a las lluvias ácidas.
Suministro de macronutrientes.	Acumulación de metales pesados en el suelo.
Mejora de los niveles de carbono en el suelo.	Liberación de antibióticos y compuestos alteradores endocrinos en el medio ambiente.
Incremento de actividad microbiológica del suelo.	Liberación de patógenos zoonóticos en el medio ambiente.
Mejora los agregados del suelo.	
Reduce la densidad aparente del suelo y compactación	
Mejora la permeabilidad del suelo.	Mayor riesgo del flujo preferencial de contaminación a los recursos hídricos.
Mayor exploración de las raíces en el suelo.	
Mejora la capacidad de retención de agua.	
Mayor resiliencia en contra de fuerzas erosivas del viento y el agua.	

Fuente: Adaptado de Goss *et al.* 2013

Agua de riego

El agua de riego es un requerimiento esencial para la producción de un cultivo, es necesario ser suplida a las plantas cada vez que lo necesiten. La producción y el procesamiento de alimentos

requieren grandes cantidades de agua de calidad variable (Kirby *et al.* 2003). Esta juega un papel muy importante en el movimiento de microorganismos hacia el suelo o directamente hacia los alimentos. La calidad microbiológica de agua de riego depende en su mayoría de donde provenga, en orden de aumento del riesgo de contaminación microbiana las fuentes de agua de riego se pueden clasificar: en agua potable o de lluvia, agua subterránea profunda, aguas subterráneas poco profundas, pozos, aguas superficiales y aguas residuales crudas o inadecuadamente tratadas (Alegbeleye *et al.* 2018).

La calidad del agua de lluvia es relativamente buena. La calidad e inocuidad dependen de dónde se recolecta, el transporte y su almacenamiento, un ejemplo claro es el agua de lluvia cosechada en los techos que puede contaminarse con bacterias y protozoarios debido a la presencia de animales en el techo (Uyttendaele *et al.* 2015). Cabe recalcar que si la fuente de agua está libre de patógenos, entonces los patógenos pueden ingresar al agua durante el camino de distribución (Hong y Moorman 2005). El agua subterránea o el agua de pozo usualmente están libres de patógenos, a excepción si ha sido contaminado mediante escorrentía u otras fuentes de contaminación cercanas al acuífero (Valipour *et al.* 2015). El agua que se encuentra en la superficie es la predominante en las fuentes de agua para riego utilizadas en algunos países, incluyendo ríos, canales abiertos, lagos, estanques, entre otros. El agua residual carece usualmente de calidad química y microbiológica, por lo tanto, requiere de un extenso tratamiento antes de seguro para usarla como agua de riego en los cultivos (Alegbeleye *et al.* 2018).

El primer producto de distintos tratamientos para aguas residuales es conocido como lodo, pero si se le da un tratamiento adicional para reducir las concentraciones de patógenos a los niveles específico, el material se convierte en biosólido. Los biosólidos son clasificados en clase A o clase B, según la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés). Los biosólidos de clase A deben tener una concentración de coliformes termotolerantes inferior a 1,000 unidades formadoras de colonias (UFC)/g, estos son de bajo riesgo y generalmente se utilizan como fertilizantes comerciales. Los biosólidos de clase B deben tener concentración de coliformes termotolerantes menor a 10^6 UFC/g. Los biosólidos de clase B pueden contener *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*, entre otros. Su uso se limita a la aplicación en tierras forestales, lugares de recuperación, dónde por cierto tiempo se limita el acceso de las personas y ganado, permitiendo la muerte de estos patógenos (Santamaría y Toranzos 2003).

Pesticidas

La necesidad actual para incrementar la producción de alimentos debido al incremento en la población mundial conduce al uso intensivo de plaguicidas y fertilizantes (Carvalho 2017). La composición química de los pesticidas puede ser estimuladora o inhibidora al crecimiento de bacterias. Un estudio demostró que, dependiendo del pesticida y la combinación de microorganismos, se observaron tres respuestas, las bacterias murieron, se mantuvieron viables sin crecer, o crecieron, además, la calidad del agua y el tipo de pesticida determinaron la sobrevivencia de las bacterias. Cabe destacar que las bacterias van a sobrevivir siempre y cuando cuenten con las condiciones adecuadas (Peter *et al.* 2005). El límite máximo de residuos (LMR) es el residuo máximo de plaguicida en un cultivo específico que no cause daños a la salud humana por el consumo de alimentos (Verger y Boobis 2013). La preocupación crece debido a que los agricultores que realizan trabajos en lugares donde se han aplicado plaguicidas, pueden estar muy expuestos a

la contaminación mediante pulverización, deriva producida por el viento, o al contacto directo con residuos de plaguicidas, cultivo o suelo (Damalas y Koutroubas 2016).

Contaminación postcosecha

Una vez que los productos se han cosechado deben llevar un proceso poscosecha que puede consistir en desinfección y clasificación de los productos, así como su almacenamiento y su procesamiento, velando que mantenga su calidad durante la cadena de producción. Un estudio identificó los cinco principales riesgos de seguridad alimentaria en todos los modos de transporte; (I) falta de seguridad para unidades de transporte o instalaciones de almacenamiento; (II) prácticas de manipulación inadecuadas de productos alimenticios en espera de envío o inspección; (III) refrigeración inadecuada o control de temperatura de productos alimenticios; gestión inadecuada de unidades de transporte e instalaciones de almacenamiento; (IV) prácticas de carga inadecuadas y (V) condiciones del equipo (Ackerley *et al.* 2010).

En un estudio realizado en Brasil se encontró evidencia de contaminación fecal en la mayoría de los productos de un mercado en la calle, con detección de *E. coli* en el 100% de las zanahorias y las hojas de amaranto rojo, el 92% de las berenjenas y el 46% de los tomates (Harris *et al.* 2018). Es muy poco o ninguno el control de sanidad que hay en los puestos de venta de manera informal, por lo que es necesario crear conciencia en los vendedores para que realicen prácticas de sanitización en sus locales para evitar la contaminación de los alimentos a agentes externos. Las condiciones del mercado local contribuyen a la contaminación del producto. Las mejoras en las condiciones sanitarias y las prácticas de manipulación de productos por parte de los vendedores podrían ser exploradas como métodos para prevenir la introducción de contaminación fecal en los mercados de productos (Harris *et al.* 2018).

La presencia de los microorganismos va a depender de la composición del alimento. La mayoría de los microorganismos no crecen en los alimentos que son ácidos (pH 4.6 o inferior) o los alimentos que son alcalinos (7.5 o superior). Por lo tanto, los alimentos que se encuentra dentro de este rango son susceptibles al desarrollo de estos (Farber *et al.* 2014).

Control de patógenos

Las posibles rutas y fuentes para producir contaminación son numerosas, se han hecho numerosos esfuerzos para entender con exactitud los mecanismos a través de los patógenos que son introducidos en los productos frescos (Alegbeleye *et al.* 2018). Las nuevas tecnologías para el control de alimentos surgieron para reemplazar a los tratamientos térmicos históricamente utilizados influenciados directamente por el cambio en la percepción y nutrición de los alimentos percibida por el consumidor (Rajkovic *et al.* 2010). Algunos de los procesos para eliminar patógenos a nivel de postcosecha son:

Procesamiento a alta presión (HPP por sus siglas en inglés). Se compara con los procedimientos de pasteurización y esterilización, debido a la reducción microbiana en el procesamiento sin causar daños apreciables en las propiedades organolépticas. El efecto de la alta presión es instantáneo en los alimentos, sin promover la formación de componentes no deseados como: componentes químicos o radicales libres. Una importante ventaja de este método en comparación a los otros es

que los alimentos pueden ser sometidos a las altas temperaturas con o sin empaques, lo que a su vez elimina la posibilidad de contaminación pos tratamiento (Rajkovic *et al.* 2010).

La aplicación de presiones en un rango de 300-600 MPa a temperatura ambiente en pocos minutos, resultara en la inactivación de células vegetativas claves para el desarrollo de enfermedades producidas por los alimentos. HPP es generalmente considerado que afecta las membranas celulares de las bacterias y perjudica su permeabilidad e intercambio de iones, pero también inactiva algunas enzimas vitales que les permiten sobrevivir y reproducir bacterias. (Rajkovic *et al.* 2010).

Calor. Es el método de conservación más utilizado para el procesamiento de los alimentos. Algunos estudios se han basado en el potencial de las células a sobrevivir o reproducirse bajo tratamientos de calor (Houteghem *et al.* 2008). El calor intenta maximizar las cualidades organolépticas y sensoriales, para ello se han determinado ciertas temperaturas que aparte de destruir los patógenos mantienen la calidad: 60 °C por 45 minutos, 65 °C por 10 minutos y 70 °C por 2 minutos. Después de que los alimentos son sometidos a estos tratamientos son rápidamente empacados y almacenados (Rajkovic *et al.* 2010).

En un estudio se determinó que no había diferencia entre las colonias de *L. monocytogenes* tratadas y no tratadas con calor bajo condiciones de almacenamiento ricas en CO₂ por lo que no causó daños a las colonias (Houteghem *et al.* 2008). Tratamientos de calor suave deben de ser combinados con otras técnicas de preservación para controlar los patógenos que causan enfermedades en los alimentos. Los microorganismos prosperan en temperaturas cálidas. Las temperaturas entre 4 y 60 °C se conocen como la zona de peligro, ya que estas son las temperaturas en las que los microorganismos crecen y prosperan. Muchos microorganismos mueren cuando al exponerse a temperaturas de 60 °C durante varios minutos, asimismo, las temperaturas bajo cero no matan a la mayoría de los microorganismos, sino que invocan la latencia, un tiempo en el que los microorganismos no pueden crecer y multiplicarse (Farber *et al.* 2014).

Pulsos intensos de luz. Es una tecnología emergente no térmica. Es usada para descontaminar superficies matando microorganismos usando pulsos de tiempo corto de un intenso amplio espectro enriquecida en luz UV-c (200 a 280 nm del espectro electromagnético) (Rajkovic *et al.* 2010).

Campos eléctricos pulsados. Es una tecnología no térmica basada en el uso de campos eléctricos de alto voltaje. Mantiene los atributos de calidad de los alimentos como características sensoriales, calidad y valor nutricional (Rajkovic *et al.* 2010).

Acido orgánico. Es usado como una económica y efectiva intervención para reducir el número o la prevalencia de bacterias (Rajkovic *et al.* 2010). El calor causa daños a los componentes macromoleculares de la célula, la función principal del estrés de proteínas por inducción de calor es reparar o destruir los componentes que le causan daño para que no interrumpan el metabolismo celular (Ahmed y Polly 2003). Asimismo, es necesario tomar ciertas medidas durante el procesamiento para disminuir la carga microbiana de los alimentos, la FDA recomienda seguir ciertas reglas para evitar la contaminación o minimizar el riesgo durante la cadena de producción:

Personal. Mantener una correcta limpieza personal, lavarse las manos correcto y frecuente, cambiar los guantes desechables (en caso de exposición a contaminantes).

Edificio y equipos. Utilizar instalaciones de procesamiento que sean fáciles de limpiar y que protejan el producto de cualquier tipo de contaminación y evitar materiales con superficies absorbentes, suaves, hendiduras, ya que estos se convertirán en focos de contaminación, mantener puertas exteriores cerradas cuando no se están utilizando, almacenar los desechos en un lugar alejada del área de trabajo, retirar el equipo que no está en uso, brindar el ambiente adecuado para tener un correcto almacenamiento de los alimentos, limpieza constante de toda la instalación, mantener fuentes de agua caliente y agua fría de la mejor calidad.

Agua de procesamiento. El agua es indispensable para la producción de alimentos frescos o procesados, así como puede ser útil para reducir la contaminación, también puede introducir contaminantes. Es necesario cumplir con las normas locales de calidad de agua y evitar la reutilización de esta ya que puede presentar un riesgo de que las poblaciones microbianas proliferen.

Lavado de productos frescos. Antes de que los alimentos lleguen a una planta de procesamiento los alimentos pueden ser lavados en campo o cuando llegan a la planta de procesamiento para eliminar en un alto porcentaje el contenido microbiano.

Pre-enfriamiento y almacenamiento en frío. El frío sirve para mantener en estado de latencia los microbios, cabe recalcar que se basan en temperaturas que mantienen los atributos de calidad (FDA 2008).

Mecanismo de sobrevivencia en alimentos

Las paredes de las células sirven como barrera física entre patógenos y los componentes internos de las células, siendo la celulosa el principal componente de estos (Vorwerk *et al.* 2004). La pared celular es una compleja composición de polisacáridos, proteínas, y lignina (Hazen *et al.* 2003). Las bacterias poseen diferentes tipos de movilidad en la superficie, y fueron descritos por J. Henrichsen en 1972 (Harshey 2003), como la motilidad por deslizamiento de flagelos y la motilidad natatoria. En la primera la célula se detiene y puede volver a comenzar en una dirección diferente, en cambio, la motilidad natatoria está ampliamente distribuida en bacterias, es más lenta y se produce normalmente en el eje mayor de la célula (Madigan *et al.* 2015). La motilidad de las bacterias está directamente relacionada con la quimiotaxis (la capacidad de orientarse a lo largo de ciertos gradientes químicos). La combinación de estos permite a las bacterias identificar y seguir nutrientes hasta alcanzar las mejores condiciones para la colonización. La forma de motilidad más conocido en las bacterias es el flagelo; un organelo rotativo especializado que pueden servir como apéndices adhesivos durante la fase inicial de la colonización (Josenhans y Suerbaum 2001).

Las plantas han desarrollado un mecanismo para percibir rápidamente la presencia de bacterias y cerrar el poro estomatal, lo que puede disminuir la contaminación de las hojas. Se puede considerar que diferentes factores ambientales como la luz, la temperatura y la humedad pueden tener un impacto en esto, pero según estudio realizado, independientemente de la humedad relativa del aire (HR), la *E. coli* O157:H7 induce un cierre estomatal en la lechuga, la romana, la albahaca, la espinaca y el cilantro (Roy y Melotto 2019).

Se puede encontrar bacterias en cualquier medio, y se desarrollarán si cuentan con las condiciones correctas. Durante este proceso se adhieren a la superficie, se multiplican y forman agregados o

microcolonias, que pueden desarrollarse en biopelículas. Estas se conocen como "aufwuchs", limo, depósitos biológicos, entre otras, y son el producto de la adhesión y el crecimiento de microorganismos incrustados en una matriz de sustancias poliméricas extracelulares (EPS por sus siglas en inglés) que actúa como un pegamento que fija las células y permite el desarrollo de un consorcio microbial (dos o más grupos de microbios viviendo simbióticamente) teniendo como principal componente el agua (hasta un 97%). Se encuentran en diferentes medios como los sistemas de agua potable, en forma de colonias delgadas e irregulares o como capas múltiples (Flemming *et al.* 2002). La EPS provee una barrera física contra la difusión de agentes antimicrobianos y protección contra factores de estrés ambiental como la radiación UV, el estrés osmótico y la desecación (Yaron y Römling 2014). Las células en la biopelícula son más resistentes a los productos químicos, a condiciones de estrés y a componentes del sistema inmunológico del huésped (Costerton *et al.* 1999; Yaron y Römling 2014). Asimismo están asociadas a causar infecciones en humanos, como cálculos renales infecciosos, endocarditis bacteriana e infección pulmonar por fibrosis quística (Parsek y Singh 2003).

Resistencia Genética

Los cultivos transgénicos se cultivan al rededor del mundo para controlar diferentes plagas de insectos y enfermedades virales. Sin embargo, el desarrollo de estos para resistir enfermedades causadas por hongos y bacterias ha sido un fracaso (Hammond-Kosack y Parker 2003). Por lo que las plantas con el paso del tiempo han desarrollado medios que sirven para evitar el ataque de los organismos patógenos y así evitar la colonización de estos. La interacción planta-microbio inicia con el reconocimiento molecular entre sí, lo que produce una cascada de eventos de señalización con el producto final de la resistencia de la planta a la susceptibilidad al patógeno (Melotto *et al.* 2017).

Las plantas poseen dos grandes tipos de resistencia a enfermedades; defensa basal y defensa mediada por el gen-R (Gururani *et al.* 2012). La defensa basal, que puede ser constitutiva tanto de la resistencia no huésped, proporciona la primera línea de defensa a la infección por una amplia gama de patógenos. A menudo, la resistencia a la enfermedad de la planta es específica del cultivar o de la adhesión, lo que se denomina resistencia del huésped, mientras que la resistencia no huésped es la resistencia contra los patógenos en todos los miembros de la enfermedad de la planta (Staskawicz *et al.* 1995; Heath 2000; Gururani *et al.* 2012) o, en otras palabras, corresponde a la resistencia mostrada por una especie completa de plantas a todos los miembros de una especie patógena específica. (Vorwerk *et al.* 2004) ejerciendo una barrera robusta y duradera (Hammond-Kosack y Parker 2003).

Las interacciones entre plantas y patógenos, se rigen por las interacciones específicas entre los loci de los genes del patógeno Avr (avirulencia) y los alelos del locus correspondiente de resistencia a las enfermedades de las plantas (R) (Dangl y Jones 2001). Las proteínas de resistencia (R) reconocen patógenos avirulentos (Avr) y a su vez desencadenan cascadas de transducción de señales que conducen a una rápida movilización de la defensa (Hammond-Kosack y Parker 2003). La virulencia se define como la capacidad de un patógeno para superar un gen de resistencia del huésped dado. Los patógenos ampliamente virulentos ocurrieron con mayor frecuencia en poblaciones de huéspedes altamente resistentes, mientras que los patógenos avirulentos dominaron las poblaciones susceptibles (Thrall y Burdon 2003).

Las proteínas R se dividen en ocho grupos basados en su organización de aminoácidos y los dominios de membrana que abarcan. La primera gran clase de genes R incluye los genes de codificación de proteínas de citoplasma con sitio de unión a nucleótidos (NBS por sus siglas en inglés) una repetición rica en leucina C-terminal (LRR por sus siglas en inglés) y un dominio de bobina en espiral putativo (CC por sus siglas en inglés) en el terminal N, la segunda clase de genes de resistencia consiste en proteínas citoplasmáticas que poseen un motivo de repetición rica en leucina (LRR) y sitio de unión a nucleótidos (NBS) y un dominio N-terminal con homología al dominio de los receptores de peaje-interleuking-1 (TIR por sus siglas en inglés) de mamíferos. La tercera clase principal de la familia de genes de resistencia sin el motivo del sitio de unión de nucleótidos (NBS) consiste en repeticiones ricas en leucina extra citoplasmática (eLRR por sus siglas en inglés), unidas a un dominio transmembrana (TrD por sus siglas en inglés). La cuarta clase de genes de resistencia que consiste en un dominio de repetición rica en leucina extracelular (LRR), un dominio transmembrana (TrD) y un dominio intracelular de serina-treonina quinasa (KIN por sus siglas en inglés). La quinta clase de genes de resistencia contiene la supuesta repetición rica en leucina extracelular (LRRs), junto con un dominio “PEST” para la degradación de la proteína, y un motivo de proteínas cortas que podría apuntar a la proteína para endocitos mediada por el receptor. La sexta clase principal de genes de resistencia que contiene un dominio de proteína de membrana (TrD), fusionado a un supuesto dominio de bobina enrollada (CC). La séptima clase principal de genes de resistencia incluye el gen de la Arabidopsis RRS1-R que confiere resistencia al fitopatógeno bacteriano *Ralstonia solanacearum*. La octava clase principal de genes de resistencia incluye los genes R enzimáticos que no contienen ni repetición rica en leucina (LRR) ni grupos de sitios de unión de nucleótidos (NBS) (Gururani *et al.* 2012).

Existe un objetivo de virulencia en una planta huésped susceptible. Tras la infección por patógenos, el factor Avr se une a su objetivo de virulencia afín dando como resultado modificaciones en este. Estas modificaciones conducen a la virulencia del patógeno y la susceptibilidad del huésped, generando así una interacción compatible. Para la protección de los objetivos de virulencia de los patógenos por las proteínas R de la planta, las interacciones incompatibles conferidas por una planta huésped resistente pueden surgir de dos maneras: (1) La proteína R1 reconoce directamente el factor Avr en sí, esta situación ahora se considera que ocurre raramente un ejemplo de este tipo de interacción ocurre entre Avr-Pita y Pi-ta; (2) La proteína R2 es una proteína protectora, que reconoce el objetivo de virulencia vegetal modificado causado por la unión anterior del factor Avr (Figura 3) (Hammond-Kosack y Parker 2003).

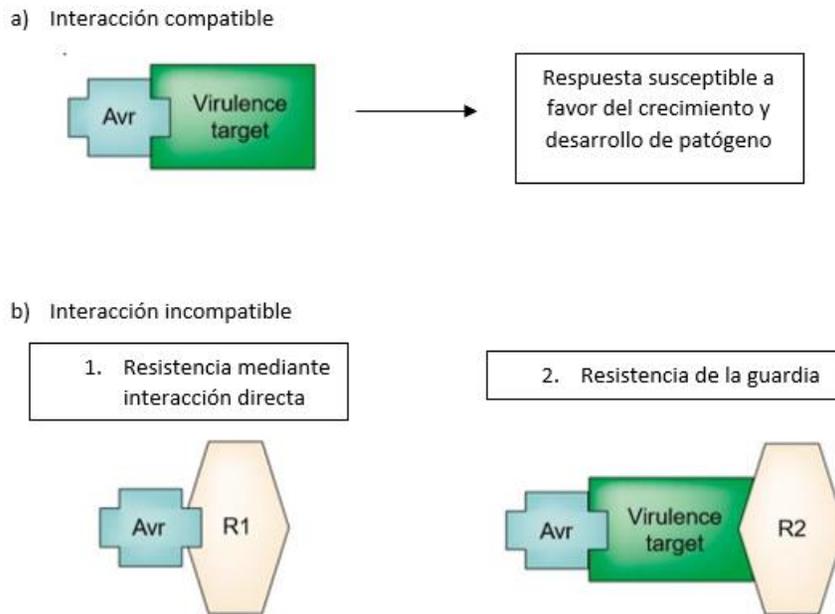


Figura 3: Protección de los objetivos de virulencia de los patógenos por las proteínas R de la planta. Fuente: Adaptado de Hammond-Kosack y Parker 2003.

La producción de alimentos a nivel mundial se debe hacer de manera responsable, sabiendo que son susceptibles a la contaminación en cualquier parte de la cadena de producción, manteniendo así la calidad en todos los procesos que esto conlleva. El entorno y las condiciones brindadas a la planta juegan un rol muy importante, ya que es necesario velar por la salud de las plantas desde que se siembran hasta su cosecha para evitar que se vuelva susceptible a cualquier tipo de enfermedad. Asimismo, el manejo agronómico correcto servirá como garantía para asegurar que la producción será inocua y no habrá riesgo de contaminación.

El manejo correcto de residuos que se van a aplicar al suelo es indispensable, porque mejoran la calidad del suelo aportando nutrientes o mejorando su estructura, sin embargo, es necesario asegurarse de que estos residuos hayan pasado por un buen proceso que asegure la eliminación de microorganismos causantes de enfermedades en humanos. Asimismo, el agua de riego proveniente de una fuente superficial o subterránea debe contar con las condiciones adecuadas para su uso. Aunque existen muchos tratamientos que sirven para eliminar los patógenos, es importante tratar de reducir lo más que se pueda la carga microbiana para ofrecer al consumidor un producto de calidad, inocuo y seguro.

4. CONCLUSIONES

- Es necesario tener plantas saludables libres de enfermedades que no sean susceptibles al ingreso de otros patógenos que habitan en el ambiente, asegurando un buen rendimiento que satisfaga las necesidades de los consumidores sin causar daños a su salud.
- La contaminación de alimentos se puede dar en cualquier momento durante la cadena de valor por lo que es necesario mantener las medidas de inocuidad desde la siembra hasta el consumidor final.
- Los organismos fitopatógenos no afectan directamente la salud de las personas, sino que son una vía para que otros organismos provenientes de fuentes externas (suelo y agua) puedan ingresar a los alimentos ya sea en campo o poscosecha.

5. RECOMENDACIONES

- Implementar BPA's (Buenas Prácticas Agrícolas) en la producción de alimentos para tratar de asegurar la calidad e inocuidad de estos.
- Realizar análisis microbiológicos frecuentes al agua para monitorear la presencia de microorganismos.
- Tratar de mantener las condiciones adecuadas de pH en el suelo, debido a que este puede un factor positivo para el crecimiento de microorganismos.

6. LITERATURA CITADA

- Abu-Ashour J, Joy DM, Lee H, Whiteley HR, Zelin S. 1994. Transport of microorganisms through soil. *Water Air Soil Pollut.* 75(1-2):141–158. doi:10.1007/BF01100406.
- Ackerley N, Sertkaya A, Lange R. 2010. Food transportation safety: characterizing risks and controls by use of expert opinion. 30(4):212–222.
- Agrios GN. 2005. *Plant pathology*. 5^a ed. Estados Unidos: Elsevier Academic Press. 948 p. ISBN: 0-12-044565-4.
- Yosef A, Courtney P. 2003. Basics of stress adaptation and implications in new-generation foods. CRC press. doi:10.1201/9781420012828.ch1.
- Alegbeleye OO, Sant'Ana A. 2020. Manure-borne pathogens as an important source of water contamination: An update on the dynamics of pathogen survival/transport as well as practical risk mitigation strategies. *Int J Hyg Environ Health.* 227:113524. doi:10.1016/j.ijheh.2020.113524.
- Alegbeleye OO, Singleton I, Sant'Ana AS. 2018. Sources and contamination routes of microbial pathogens to fresh produce during field cultivation: a review. *Food Microbiol.* 73:177–208. doi:10.1016/j.fm.2018.01.003.
- Avery LM, Killham K, Jones DL. 2005. Survival of *E. coli* O157:H7 in organic wastes destined for land application. *J Appl Microbiol.* 98(4):814–822. doi:10.1111/j.1365-2672.2004.02524.x.
- Carvalho F. 2017. Pesticides, environment, and food safety. *Food Energy Secur.* 6(2):48–60. doi:10.1002/fes3.108.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention) 2020a. Outbreak of *E. coli* infections linked to clover sprouts. Estados Unidos: CDC. [actualizado 2020 abr 22; consultado 2020 jul 01]. <https://www.cdc.gov/ecoli/2020/o103h2-02-20/index.html>.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention) 2020b. Outbreak of *Cyclospora* infections linked to bagged salad mix. Estados Unidos: CDC. [actualizado 2020 jun 29; consultado 2020 jun 30]. <https://www.cdc.gov/parasites/cyclosporiasis/outbreaks/2020/index.html>.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention) 2020c. Outbreak of *Listeria* Infections linked to enoki mushrooms. Estados Unidos: CDC. [actualizado 2020 jun 09; consultado 2020 jul 01] <https://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/enoki-mushrooms-03-20/index.html>.
- Codex alimentarius. 2013. Principios y directrices para el intercambio de información en situaciones de emergencia relacionadas con la inocuidad de los alimentos: CXG_19 1. 8 p. [actualizado 2013; consultado 2020 jul 01] http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXG%2B19-1995%252FCXG_019s.pdf.
- Codex alimentarius. 2020. A cerca del codex. Codex alimentarius; [actualizado 2020; consultado 2020 ago 20]. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/about-codex/es/>.

- Costerton JW, Stewart PS, Greenberg EP. 1999. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*. 284(5418):1318–1322. doi: 10.1126/science.284.5418.1318.
- Crim S, Griffin P, Tauxe R, Mader E, Gillis D, Cronquist A, Cartter M, D'Angelo M, Blythe D, Smith K, et al. 2015. Preliminary incidence and trends of infection with pathogens transmitted commonly through food — foodborne diseases active surveillance network, 10 U.S. Sites, 2006–2014. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*. 64(18):495–499.
- Damalas C, Koutroubas S. 2016. Farmers' exposure to pesticides: toxicity types and ways of prevention. *Toxics*. 4(1):1-10. doi:10.3390/toxics4010001.
- Dangl JL, Jones JD. 2001. Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature*. 411:826–833. doi:10.1038/35081161.
- Dowe MJ, Jackson ED, Mori JG, Bell CR. 1997. *Listeria monocytogenes* survival in soil and incidence in agricultural soils. *J of food prot*. 60(10):1201–1207. doi:10.4315/0362-028X-60.10.1201.
- Kozak GK, Crichton J, Farber j. 2014. Control of Pathogens at Retail. in: Farber J, Crichton J, Snyder OP, editores. *Retail food safety*. New York, NY: Springer New York. p. 3-15.
- FDA (Food and Drug Administration). [consultado 2020 ago 07]. Food. EE. UU: FDA. <https://www.fda.gov/food>.
- FDA (Food and Drug Administration) 2008. Guidance for industry: guide to minimize microbial food safety hazards of fresh-cut fruits and vegetables. 73. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-guide-minimize-microbial-food-safety-hazards-fresh-cut-fruits-and-vegetables>.
- Flemming HC, Percival SL, Walker JT. 2002. Contamination potential of biofilms in water distribution systems. *Water Science and Technology: Water Supply*. 2(1):271–280. doi:10.2166/ws.2002.0032.
- Fletcher J, Leach JE, Eversole K, Tauxe R. 2013. Human pathogens on plants: designing a multidisciplinary strategy for research. *Phytopathology*. 103(4):306–315. doi:10.1094/PHYTO-09-12-0236-IA.
- Foppen JW, Schijven JF. 2006. Evaluation of data from the literature on the transport and survival of *Escherichia coli* and thermotolerant coliforms in aquifers under saturated conditions. *Water Res*. 40(3):401–426. doi:10.1016/j.watres.2005.11.018.
- Franz E, Van Hoek A, Bouw E, Aarts H. 2011. Variability of *Escherichia coli* O157 strain survival in manure-amended soil in relation to strain origin, virulence profile, and carbon nutrition profile. *Appl Environ Microbiol*. 77(22):8088–8096. doi:10.1128/AEM.00745-11.
- Garbeva P, van Veen JA, van Elsas JD. 2004. Microbial diversity in soil: selection microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu Rev Phytopathol*. 42:243–270. doi:10.1146/annurev.phyto.42.012604.135455.
- Goss M, Tubeileh A, Goorahoo D. 2013. A review of the use of organic amendments and the risk to human health. *Advances in Agronomy*. in Goss M, Tubeileh A, Goorahoo D. ed. Elsevier. 120:275–379. doi:10.1016/B978-0-12-407686-0.00005-1.

- Ó Gráda C, O'Rourke K. 1997. Migration as disaster relief: lessons from the great Irish famine. *European Review of Economic History*. 1(1):3–25. doi:10.1017/S1361491697000026.
- Guo Z, Zhang J, Fan J, Yang X, Yi Y, Han X, Wang D, Zhu P, Peng X. 2019. Does animal manure application improve soil aggregation? insights from nine long-term fertilization experiments. *Sci Total Environ*. 660:1029–1037. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.01.051.
- Gururani MA, Venkatesh J, Upadhyaya CP, Nookaraju A, Pandey SK, Park SW. 2012. Plant disease resistance genes: current status and future directions. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 78:51–65. doi:10.1016/j.pmpp.2012.01.002.
- Hammond-Kosack KE, Parker JE. 2003. Deciphering plant–pathogen communication: fresh perspectives for molecular resistance breeding. *Current Opinion in Biotechnology*. 14(2):177–193. doi:10.1016/S0958-1669(03)00035-1.
- Harris AR, Islam MA, Unicomb L, Boehm AB, Luby S, Davis J, Pickering AJ. 2018. Fecal contamination on produce from wholesale and retail food markets in Dhaka, Bangladesh. *Am J Trop Med Hyg*. 98(1):287–294. doi:10.4269/ajtmh.17-0255.
- Harris LJ, Farber JN, Beuchat LR, Parish ME, Suslow TV, Garret EH, Busta FF. 2003. Outbreaks associated with fresh produce: incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce. *comprehensive reviews in food science and food safety*. 2:78–141. doi:10.1111/j.1541-4337.2003.tb00031.x.
- Harshey R. 2003. Bacterial motility on a surface: many ways to a common goal. *Annu Rev Microbiol*. 57:249–273. doi:10.1146/annurev.micro.57.030502.091014.
- Hazen SP, Hawley RM, Davis GL, Henrissat B, Walton JD. 2003. Quantitative trait loci and comparative genomics of cereal cell wall composition. *Plant Physiol*. 132(1):263–271. doi:10.1104/pp.103.020016.
- Heath MC. 2000. Nonhost resistance and nonspecific plant defenses. *Current Opinion in Plant Biology*. (3):315–319. doi:10.1016/s1369-5266(00)00087-x.
- Hong CX, Moorman GW. 2005. Plant pathogens in irrigation water: challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 24(3):189–208. doi:10.1080/07352680591005838.
- James J. 2006. Overview of microbial hazards in fresh fruit and vegetables operations. In: James J ed. *microbial hazard identification in fresh fruits and vegetables*. New Jersey. Wiley interscience. P. 1-36. doi:10.1002/0470007761.ch1.
- Josenshans C, Suerbaum S. 2001. The role of motility as a virulence factor in bacteria. *Int J Med Microbiol*. 291(8):605–614. doi:10.1078/1438-4221-00173.
- Kirby RM, Bartram J, Carr R. 2003. Water in food production and processing: quantity and quality concerns. *Food Control*. 14(5):283–299. doi:10.1016/S0956-7135(02)00090-7.
- La Gaceta. 2011. Ley de seguridad alimentaria y nutricional. La gaceta; [consultado 7 de agosto de 2020]. [http://www.poderjudicial.gob.hn/CEDIJ/Leyes/Documents/Ley%20de%20Seguridad%20Alimentaria%20y%20Nutricional%20\(2,2mb\).pdf](http://www.poderjudicial.gob.hn/CEDIJ/Leyes/Documents/Ley%20de%20Seguridad%20Alimentaria%20y%20Nutricional%20(2,2mb).pdf).
- Leifert C, Ball K, Volakakis N, Cooper JM. 2008. Control of enteric pathogens in ready-to-eat vegetable crops in organic and 'low input' production systems: a HACCP-based approach. *J Appl Microbiol*. 105(4):931–950. doi:10.1111/j.1365-2672.2008.03794.x.

- Lorin H, Costa M, Costa L, Pereira DC, Carneiro LJ. 2016. Stabilization of confined beef cattle manure: characteristics of produced fertilizers. *Eng. Agríc.* 36(5):877–885. doi:10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p877-885/2016.
- Lu Q, He ZL, Stoffella PJ. 2012. Land application of biosolids in the USA: a review. *Applied and Environmental Soil Science.* 2012(2):1–11. doi:10.1155/2012/201462.
- Lynch MF, Tauxe RV, Hedberg CW. 2009. The growing burden of foodborne outbreaks due to contaminated fresh produce: risks and opportunities. *Epidemiol Infect.* 137(3):307–315. doi:10.1017/S0950268808001969.
- Madigan MT, Martinko JM, Bender KS, Buckley DH, Stahl DA. 2015. *Brock Biología de los Microorganismos.* 14^a ed. Madrid, España: Pearson educación S.A. 1131 p. ISBN: 9788490352809.
- Manyi-Loh CE, Mamphweli SN, Meyer EL, Makaka G, Simon M, Okoh AI. 2016. An overview of the control of bacterial pathogens in cattle manure. *Int J Environ Res Public Health.* 13(9). doi:10.3390/ijerph13090843.
- Mei Soon J, Manning L, Davis WP, Baines R. 2012. Fresh produce-associated outbreaks: a call for HACCP on farms? *British Food Journal.* 114(4):553–597. doi:10.1108/00070701211219568.
- Melotto M, Zhang L, Oblessuc PR, He SY. 2017. Stomatal defense a decade later. *Plant Physiol.* 174(2):561–571. doi:10.1104/pp.16.01853.
- Newell DG, Koopmans M, Verhoef L, Duizer E, Aidara-Kane A, Sprong H, Opsteegh M, Langelaar M, Threfall J, Scheutz F, et al. 2010. Food-borne diseases - the challenges of 20 years ago still persist while new ones continue to emerge. *Int J Food Microbiol.* 139 Suppl 1:S3-15. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.021.
- Parsek MR, Singh PK. 2003. Bacterial biofilms: an emerging link to disease pathogenesis. *Annu. Rev. Microbiol.* 57:677–701. doi:10.1146/annurev.micro.57.030502.090720.
- Peter JN, Fleet GH, Heard GM. 2005. Pesticides as a source of microbial contamination of salad vegetables. *Int J Food Microbiol.* 101(2):237–250. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.009.
- Rajkovic A, Smigic N, Devlieghere F. 2010. Contemporary strategies in combating microbial contamination in food chain. *Int J Food Microbiol.* 141 Suppl 1:29-42. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2009.12.019.
- Roy D, Melotto M. 2019. Stomatal response and human pathogen persistence in leafy greens under preharvest and postharvest environmental conditions. *Postharvest Biology and Technology.* 148:76–82. doi:10.1016/j.postharvbio.2018.10.013.
- Salazar L, Muñoz G. 2019. Seguridad alimentaria en America Latina y El Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). doi:10.18235/0001784.
- Santamaría J, Toranzos GA. 2003. Enteric pathogens and soil: a short review. *Int Microbiol.* 6(1):5–9. doi:10.1007/s10123-003-0096-1.
- SENASA (Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria). 2017. Acerca de SENASA. [internet]. Tegucigalpa. [consultado 2020 ago 07]. <https://www.senasa.gob.hn/>.

- Staskawicz BJ, Ausubel FM, Baker BJ, Ellis JG, Jones JD. 1995. Molecular genetics of plant disease resistance. 268:661–667. doi:10.1126/science.7732374.
- Strange RN, Gullino ML. 2010. The role of plant pathology in food safety and food security. Dordrecht: Springer Netherlands. 154 p. ISBN: 978-1-4020-8931-2.
- Swaminathan B, Gerner-Smidt P. 2007. The epidemiology of human listeriosis. *Microbes Infect.* 9(10):1236–1243. doi:10.1016/j.micinf.2007.05.011.
- Talley JL, Wayadande AC, Wasala LP, Gerry AC, Fletcher J, DeSilva U, Gilliland SE. 2009. Association of *Escherichia coli* O157:H7 with filth flies (*Muscidae* and *Calliphoridae*) captured in leafy greens fields and experimental transmission of *E. coli* O157:H7 to spinach leaves by house flies (*Diptera: Muscidae*). *J Food Prot.* 72:1547–1552. doi:10.1186/1471-2334-5-11.
- Thrall PH, Burdon JJ. 2003. Evolution of virulence in a plant host-pathogen metapopulation. *Science.* 299(5613):1735-1737. doi:10.1126/science.1080070.
- Uyttendaele M, Jaykus L, Amoah P, Chiodini A, Cunliffe D, Jacxsens L, Holvoet K, Korsten L, Lau M, McClure P, et al. 2015. Microbial hazards in irrigation water: standards, norms, and testing to manage use of water in fresh produce primary production. *comprehensive reviews in food science and food safety.* 14(4):336–356. doi:10.1111/1541-4337.12133.
- Valipour M, Sefidkouhi M, Eslamian S. 2015. Surface irrigation simulation models: a review. *Int. J. Hydrology Science and Technology.* 5(1):51–70. doi: 10.1504/IJHST.2015.069279
- Van Houteghem N, Devlieghere F, Rajkovic A, Gómez S, Uyttendaele M, Debevere J. 2008. Effects of CO₂ on the resuscitation of *Listeria monocytogenes* injured by various bactericidal treatments. *Int J Food Microbiol.* 123(1-2):67–73. eng. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.002.
- Verger P, Boobis AR. 2013. Reevaluate pesticides for food security and safety. *Science.* 341(6147):717–718. doi:10.1126/science.1241572.
- Vorwerk S, Somerville S, Somerville C. 2004. The role of plant cell wall polysaccharide composition in disease resistance. *Trends Plant Sci.* 9(4):203–209. doi:10.1016/j.tplants.2004.02.005.
- Wang H, Zhang T, Wei G, Wu L, Wu J, Xu J. 2014. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 in soils under different land use types. *Environ Sci Pollut Res Int.* 21(1):518–524. doi:10.1007/s11356-013-1938-9.
- Warman PR, Termeer WC. 2005. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: yields and N, P and K content of crops and soils. *Bioresour Technol.* 96(8):955–961. doi:10.1016/j.biortech.2004.08.003.
- WHO (World Health Organization). 2017. One health. [WHO]. [actualizado 2017 sep 21; consultado 2020 ago 20] <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/one-health>.
- Wirsenius S, Azar C, Berndes G. 2010. How much land is needed for global food production under scenarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030? *Agricultural Systems.* 103(9):621–638. doi:10.1016/j.agry.2010.07.005.

- Yaron S, Römling U. 2014. Biofilm formation by enteric pathogens and its role in plant colonization and persistence. *Microb Biotechnol.* 7(6):496–516. doi:10.1111/1751-7915.12186.
- Zhu Q, Gooneratne R, Hussain MA. 2017. *Listeria monocytogenes* in fresh produce: outbreaks, prevalence and contamination levels. *Foods.* 6(3). doi:10.3390/foods6030021.