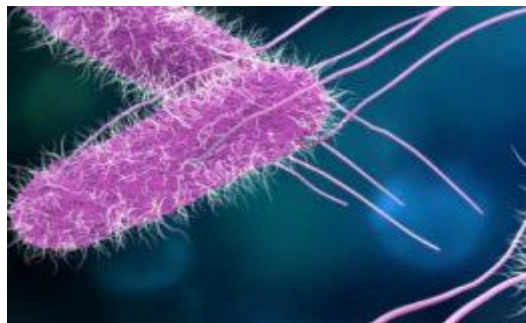


MÁSTER EN SEGURIDAD Y CALIDAD DE LOS ALIMENTOS

CURSO ACADÉMICO 2020-2021

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Escherichia coli ENTEROHEMORRÁGICA EN ALIMENTOS LISTOS PARA CONSUMO



Alumno: Héctor Ramos Rodríguez

Tutora: M^a Victoria de Zárate Machado

Convocatoria: Septiembre 2021

AUTORIZACIÓN

D. Dña. M^a Victoria de Zárate Machado, Profesora Titular del Área de Microbiología del Dpto. de Bioquímica, Microbiología, Biología Celular y Genética de la Universidad de La Laguna,

INFORMA:

Que **D. Héctor Ramos Rodríguez**, alumno del Máster Universitario en Seguridad y Calidad de los Alimentos de la Universidad de La Laguna, ha realizado bajo mi dirección el Trabajo Fin de Máster titulado “***Escherichia coli* enterohemorrágica en alimentos listos para consumo**”

Revisado la memoria de este TFM, autorizo su presentación para que proceda a su lectura y defensa pública para optar al título del Máster Universitario en Seguridad y Calidad de los Alimentos.

En San Cristóbal de La Laguna a 6 de septiembre de 2021

Fdo: M^a Victoria de Zárate Machado

Tutora

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.

La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <https://sede.ull.es/validacion/>

Identificador del documento: 3775427□□□□ Código de verificación: XoXOmD/J

Firmado por: Victoria de Zárate Machado
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 06/09/2021 11:56:04

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	2
3. MATERIAL Y METODOS	3
4. <i>Escherichia coli</i> ENTEROHEMORRÁGICA	4
5. BROTES DE ECEH ASOCIADOS A ALIMENTOS LISTOS PARA CONSUMO	6
6. FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN	8
7. TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN	11
8. CONCLUSIONES	14
9. BIBLIOGRAFÍA	15

RESUMEN

Escherichia coli enterohemorrágica (ECEH) es una bacteria patógena de origen intestinal que se transmite principalmente por consumo de alimentos listos para consumo (ALPC). Las verotoxinas producidas por ECEH son capaces de producir en humanos enfermedades tan graves como son la colitis hemorrágica y el síndrome hemolítico urémico (SHU). En Europa y Norteamérica, *E. coli* O157:H7 es el serotipo prevalente en los brotes recientes asociados a ALPC, principalmente por consumo de las ensaladas de hojas verdes. La colonización de los ALPC por ECEH se ve favorecida por su capacidad para internalizarse en los tejidos de vegetales y para formar biofilms en la superficie de alimentos y su entorno de procesado. Las principales medidas de prevención de la transmisión de ECEH pasan por evitar el contacto con materia fecal, mantener la integridad física de los vegetales, llevar a cabo buenas prácticas de higienes y la aplicación de tratamientos combinados de conservación que sean eficaces y que no afecten a las propiedades organolépticas de los ALPC.

Palabras claves: *Escherichia coli* enterohemorrágica; verotoxina; alimentos listos para el consumo; brotes infecciosos; conservación.

ABSTRACT

Enterohaemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC) is a pathogenic bacterium of intestinal origin that is predominantly transmitted by consumption of ready-to-eat (RTE) foods. Verotoxins produced by EHEC can cause serious diseases as severe as haemorrhagic colitis and haemolytic-uremic syndrome (HUS) in humans. In Europe and North America, *E. coli* O157:H7 is the prevalent serotype in recent outbreaks associated with RTE foods, mainly from consumption of leafy green salads. The colonization of RTE foods by EHEC is enhanced by its ability to internalize in plant tissues and to form biofilms on the food surface and its processing environment. The most important measures to prevent the transmission of EHEC involve avoiding contact with faecal material, maintaining the physical integrity of vegetables, following good hygienic practices and the application of effective combined preservation treatments that do not affect the organoleptic properties of RTE foods.

Keywords: Enterohaemorrhagic *Escherichia coli*; verotoxin, ready-to-eat foods; infectious disease outbreaks, preservation.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los alimentos listos para el consumo (ALPC) son cualquier alimento que se consuma normalmente en estado crudo o cualquier alimento manipulado, elaborado, mezclado, cocido o preparado de otra manera, que se consuma normalmente sin ninguna manipulación ulterior. Bajo esta denominación se incluyen una variada gama de alimentos tanto de origen vegetal, como son las frutas, las verduras, la margarina, la leche de soja etc., como de origen animal, como son la leche, la mantequilla, los embutidos, el queso, el jamón serrano o el sushi.

La demanda de los ALPC se ha disparado en los últimos tiempos, tanto por su practicidad, como por su carácter fresco y natural. Sin embargo, debido a que estos alimentos no van a sufrir ningún tratamiento térmico antes de su consumo, pueden transmitir microorganismos patógenos como *Escherichia coli* enterohemorrágica (ECEH), que constituye una de las principales preocupaciones sanitarias especialmente en los frescos de origen vegetal (Kintz *et al.*, 2019; Luna-Guevara *et al.*, 2019).

Para valorar el riesgo de transmisión de ECEH por parte de los ALPC es importante conocer las posibles fuentes de contaminación, así como establecer medidas de prevención y técnicas de conservación eficientes que impidan su entrada y crecimiento en los mismos (Cho *et al.*, 2016; Sharma *et al.*, 2016).

2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión sobre *Escherichia coli* enterohemorrágica en ALPC. Para ello, se describirán las características de la bacteria, el cuadro clínico que produce y su mecanismo de patogenicidad. Luego, se abordarán los brotes infecciosos más recientes asociados a ALPC, así como las principales fuentes de contaminación y medidas de prevención. Finalmente se describirán los sistemas de conservación más eficaces y novedosos que se han desarrollado para evitar su transmisión por consumo de estos alimentos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

La búsqueda de información para la elaboración de esta revisión se realizó mediante buscadores como Web of Science, Scopus y Google Académico, o mediante el acceso directo a las páginas oficiales de revistas científicas y a la bibliografía mencionada por otros artículos. También se han consultado las páginas web de la EFSA (European Food Safety Authority), ECDPC (European Centre of Disease Prevention and Control) y CDC (Centers for Disease Control and Prevention). Los términos utilizados para filtrar las búsquedas fueron: “enterohemorrhagic *E. coli*”, “shiga toxin producing *E. coli*”, “ready-to-eat food” y “outbreaks EHEC”.

La selección de la bibliografía se realizó a través de la lectura del resumen con el fin de seleccionar aquella que mejor se adaptaran al tema de esta revisión. Además, se decidió que la mayoría de los trabajos fueran publicados en los últimos 5 años.

4. *Escherichia coli* ENTEROHEMORRÁGICA

E. coli, es una bacteria de la familia *Enterobacteriaceae* que forma parte de la microbiota del tracto gastrointestinal de animales homeotermos (Allocati *et al.*, 2013). Es un bacilo gramnegativo, oxidasa negativo, catalasa positivo, anaerobio facultativo, mesófilo, fimbriado y comunmente móvil por flagelos peritricos (Croxen *et al.*, 2013). Históricamente, *E. coli* se ha clasificado mediante serología de los antígenos somáticos O (compuesto de complejos fosfolípido-polisacárido de la pared) y H (flagelares) (López *et al.*, 2018).

Escherichia coli enterohemorrágica (ECEH) incluye serotipos patógenos de *E. coli* de distribución mundial y prevalente en países desarrollados, cuyo reservorio natural es el tracto digestivo de animales rumiantes, sobre todo, el ganado bovino (Mikhail *et al.*, 2018; Henry *et al.*, 2019). La infección por ECEH puede manifestarse clínicamente como: estado de portador asintomático, diarrea acuosa, y dos manifestaciones muy graves que pueden conducir a la muerte, como son la colitis hemorrágica y el síndrome hemolítico urémico (SHU), éste último caracterizado por anemia hemolítica, causada por la destrucción de los glóbulos rojos, un número bajo de plaquetas (trombocitopenia) e insuficiencia renal repentina (Rivero *et al.*, 2004). La

colitis hemorrágica suele durar entre 1 y 7 días y se presenta con fiebre o febrícula, dolor abdominal y retortijones intensos que va acompañado de diarrea acuosa, que puede convertirse en sanguinolenta en 24 horas (Prats *et al.*, 1996). Por otro lado, la sintomatología en los casos que derivan en SHU comienzan con diarrea, generalmente sanguinolenta, que aparece a los 3 días de la ingestión del alimento contaminado (Bell *et al.*, 1994), acompañada de fiebre, dolor abdominal y/o vómitos. La duración de la diarrea es variable y dependiente del serotipo causante, siendo de 7 días en el *E. coli* O157:H7, y más prolongada en los *E. coli* no O157. El SHU se da con mayor frecuencia en los niños menores de 5 años y en las personas de más de 60 y puede llevar asociado un fracaso renal agudo e hipertensión, pero también puede derivar en afectaciones isquémicas en otros órganos, produciendo alteraciones neurológicas, cardiológicas o gangrena de partes acras (Trachtman *et al.*, 2012; Percheron *et al.*, 2018). Además, la presencia de fiebre y un recuento leucocitario elevado son factores de riesgo para el desarrollo de la microangiopatía trombótica (Tarr *et al.*, 2005).

Existen más de 400 serotipos de ECEH, que, atendiendo a su incidencia y su asociación con casos de SHU y la frecuencia de ocurrencia de brotes, pueden ser divididos en 5 seropatotipos (A al E) (Tabla 1) (Karmali *et al.*, 2003).

Tabla 1. Seropatotipos de ECEH.

Seropatotipos	Frecuencia de ocurrencia de brotes	Serotipos
A	Común	O157:H7; O157:H-
B	No común	O26:H11; O103:H2; O111:H-; O121:H19; O145:H-; O104:H21
C	Rara	O91:H21; O113:H21 y otros serotipos asociados a casos esporádicos de SHU
D	Rara	Serotipos con una incidencia relativa baja y asociados con casos leves de diarrea
E	Nula	Serotipos ECEH no implicados en enfermedad humana

* H-: No móvil.

El seropatotipo A incluye cepas altamente virulentas causantes de numerosos brotes y frecuentemente asociadas con SHU, con dosis infectivas entre 10 y 100 células.

El seropatotipo B incluye cepas que han causado brotes ocasionales y son relativamente comunes en casos de colitis hemorrágica y SHU. El seropatotipo C reúne cepas no implicados en brotes pero que se han aislado de pacientes con colitis hemorrágica y SHU. El seropatotipo D incluye cepas que nunca se han asociado con SHU, pero que sí se han aislado de pacientes con diarrea y colitis hemorrágica. Por último, el seropatotipo E incluye muchos serotipos aislados de animales, alimentos y medio ambiente no implicados en casos clínicos. Es por tanto importante determinar el serotipo de la cepa ECEH para poder saber el riesgo patogénico potencial de la misma (Farfán-García *et al.*, 2016).

En cuanto al mecanismo de patogenicidad, las cepas de ECEH llevan los determinantes genéticos para producir las lesiones de anclaje y aclaramiento en el intestino grueso y los de la producción de toxinas de Shiga (Stx), también conocidas como verotoxinas, que son las responsables de ocasionar la colitis hemorrágica y el SHU. Las verotoxinas están divididas en dos subgrupos, Stx1 y Stx2, inmunológicamente diferentes y cada cepa de ECEH puede presentar uno o ambos. La detección de los genes de virulencia que codifican Stx1 y Stx2, es un indicador eficaz para saber que se trata de una enfermedad producida por ECEH. Además, hay estudios que indican que el gen Stx1 prevalece en muestras de ganado mientras que el gen Stx2 prevalece en muestras de alimentos (Farfán-García *et al.*, 2016; González y Cerquiera, 2020).

Las toxinas Shiga (Stx) son proteínas del grupo AB5 constituidas por dos tipos de subunidades (A y B). La unión de la subunidad B al glicolípido globotriaosilceramida (Gb3) de la célula huésped (célula endotelial, Gb3+), va a permitir su endocitosis. Una vez en el citoplasma celular, las subunidades A y B se disocian, siendo la subunidad A capaz de eliminar una adenina del 28S rARN (ácido ribonucleico ribosómico), inhibiendo la síntesis proteica (Figura 1) (Melton-Celsa, 2014; Bryan *et al.*, 2015). Las Stx son capaces de inducir la apoptosis de la célula endotelial y atravesar la célula epitelial intestinal vía transcelular hacia el torrente sanguíneo (Erwert *et al.*, 2003). La predilección por el endotelio renal viene probablemente derivada de la elevada presencia de Gb3 que expresan las células del endotelio glomerular (van Setten *et al.*, 1997). El SHU se desarrolla tras producirse el daño en la célula endotelial, lo que supone una activación de las plaquetas con la consecuente agregación plaquetaria y formación de trombos en la microcirculación. Estos microtrombos causan obstrucción de la luz vascular y, por tanto, isquemia tisular.

Además, la anemia hemolítica se produce cuando los hematíes contactan con los trombos plaquetarios y se rompen. (Kaplan *et al.*, 1998).

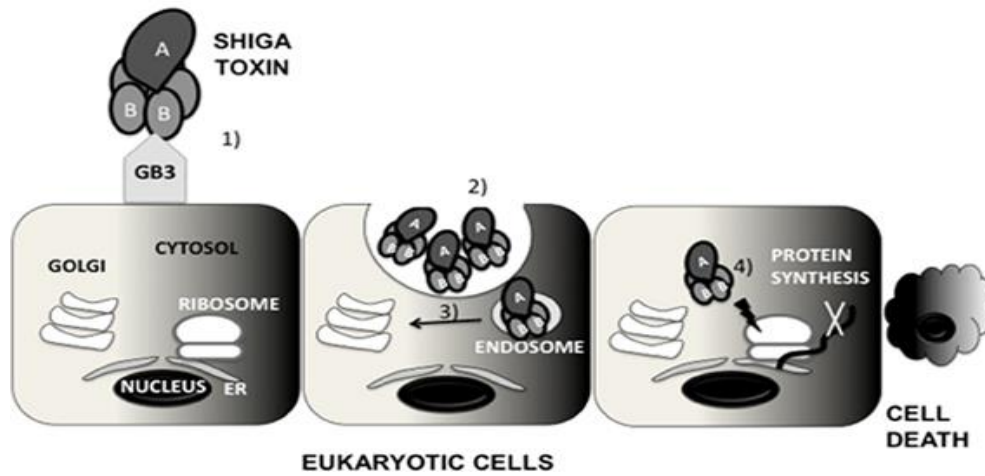


Figura 1. Mecanismo de acción de la toxina de Shiga (Sperandio y Pacheco, 2012).

5. BROTES DE ECEH ASOCIADOS A ALIMENTOS LISTOS PARA CONSUMO.

En la Tabla 2 se recogen los principales brotes recientes de infecciones alimentarias causadas por ECEH asociados a ALPC, registrados en Europa y Norteamérica.

Tabla 2. Brotes recientes de ECEH asociados ALPC en Europa y Norteamérica.

ALPC	Serotipo	Localización	Año	Número casos	Muertes	Referencias
Ensalada de rúcula	No-O157	Finlandia	2016	237	0	Kinnula <i>et al.</i> , 2018
Ensalada de hojas mixtas	O157:H7	Reino Unido	2016	165	2	Gobin <i>et al.</i> , 2018
Brotes de alfalfa	O157:H7	EE. UU.	2016	11	0	CDC, 2016
Leche cruda	O103:H2	Austria	2017	39	0	Mylius <i>et al.</i> , 2018
Mantequilla de soja	O157:H7	EE. UU.	2017	32	0	Hassan <i>et al.</i> , 2019
Verduras de hoja verde	O157:H7	EE. UU.	2017	25	1	CDC, 2017
Leche cruda	O157:H7	Inglaterra	2017	7	0	Treacy <i>et al.</i> , 2019
Lechuga romana	O157:H7	EE. UU.	2018	240	5	Bottichio <i>et al.</i> , 2020
Lechuga romana	O157:H7	EE. UU. y Canadá	2018	65	0	CDC, 2018
Queso tipo gouda de leche cruda	O121	Canadá	2018	7	0	Boyd <i>et al.</i> , 2021
Lechuga romana	O157:H7	EE. UU.	2019	167	0	CDC, 2019a
Sándwiches preenvasados (lechuga y espinaca)	O26:H11	Reino Unido	2019	32	0	Butt <i>et al.</i> , 2021
Lechuga romana	O157:H7	EE. UU.	2019	23	0	Hoff, 2021
Quesos de leche cruda	O26:H11	Francia	2019	16	0	Jones <i>et al.</i> , 2019
Ensalada fresca picada	O157:H7	EE. UU.	2019	10	0	CDC, 2019b
Brotes de trébol	O103	EE. UU.	2020	51	0	CDC, 2020a
Verduras de hoja verde	O157:H7	EE. UU.	2020	40	0	CDC, 2020b
Pepinos	O157:H7	Reino Unido	2020	36	0	Mulchandani <i>et al.</i> , 2021

Del estudio de la Tabla 2, se deduce que el O157:H7 es el serotipo de ECEH más frecuentemente aislado y el que registró fallecimientos en los brotes alimentarios asociados a ALPC. Además, en todos los grandes brotes estuvieron implicados alimentos de origen vegetal, destacando las ensaladas de hojas verdes, lo que confirma su prevalencia en la transmisión de ECEH, frente a los alimentos de origen animal, debido principalmente a que su consumo se realiza en fresco (Hoagland *et al.*, 2018). En cuanto a los alimentos de origen animal, la leche cruda y sus derivados, como el queso, son los que se han visto implicados en los brotes más recientes.

6. FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN.

Debido a que ECEH habita en el intestino, la transmisión ocurre principalmente por contacto con heces contaminadas.

Las fuentes principales de contaminación en los alimentos de origen vegetal son: aguas de escorrentía contaminadas, riego con aguas no tratadas, uso de estiércol contaminado, malas prácticas en el procesamiento y de higiene (Mikhail *et al.*, 2018; Kintz *et al.*, 2019) que pueden conllevar a la contaminación cruzada y a la formación de biofilms en las superficies de procesado y manipulado (Hu *et al.*, 2019) (Figura 2).

La adhesión, internalización y crecimiento de ECEH en los vegetales se ve influida por una multitud de factores. Las condiciones ambientales, la rugosidad de la superficie, la presencia de aberturas naturales en la epidermis de la planta o los daños causados por plagas o por maquinarias de trabajo pueden favorecer la internalización de ECEH en los tejidos vegetales (Erickson, 2012). Otros factores que influyen son la composición química del vegetal, la acidez y el contenido de aceite, azúcares y agua, el tipo de cepa o serotipo, la ruta de contaminación, las condiciones climáticas, el tipo de superficie y la edad de la planta (Torres Armendáriz *et al.*, 2016).

En los cultivos vegetales, las medidas de prevención de contaminación por ECEH deben incluir el tratamiento del estiércol animal o del compost, del agua de riego y de las semillas. Además, la limitación del daño a las plantas a través de plagas y equipos pueden ayudar a reducir los riesgos pre-cosecha (Murphy *et al.*, 2016; Hoagland *et al.*, 2018). De la misma manera, es importante que los trabajadores que realizan labores de cosecha se cambien periódicamente los guantes o usen desinfectante

(Erickson *et al.*, 2018a y b). Debido a que los cultivos en invernaderos suelen presentar menores tasas de contaminación por ECEH y otros patógenos, frente a los cultivos en campo abierto, es necesario extremar las medidas control en estos últimos (Holvoet *et al.*, 2015).

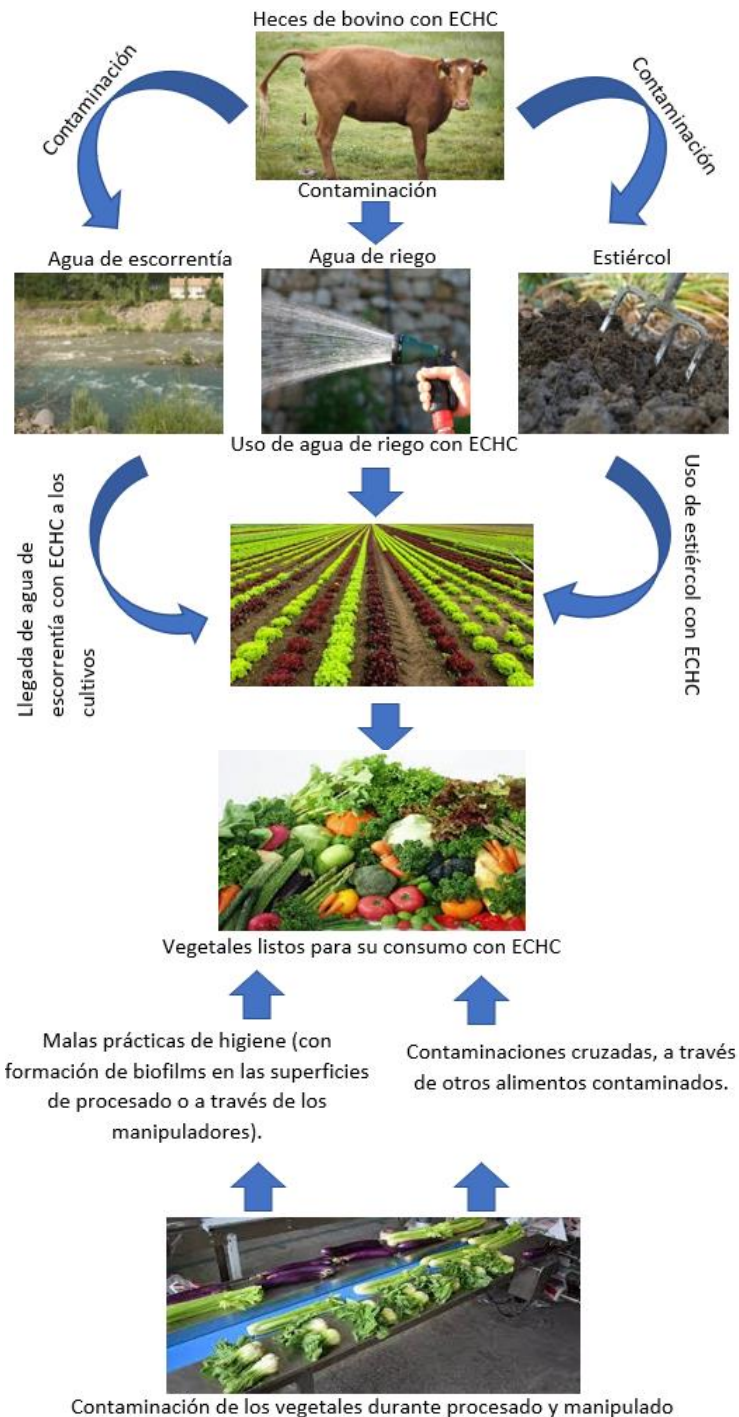


Figura 2. Principales fuentes de contaminación con ECEH de los vegetales listos para su consumo.

Los ALPC de origen animal, en la mayoría de los casos, sufren un tratamiento térmico o de curación que reduce el riesgo de transmisión de patógenos. Si están presentes, la mayoría de las veces indican contaminación cruzada, mal manejo de las canales, deficiencia en el tratamiento térmico o de curación, temperatura de conservación deficitaria y/o déficit de higiene con formación de biofilms que contienen estos patógenos, en las superficies de fabricación (Figura 3) (Fernandes *et al.*, 2017; Wang, 2019).

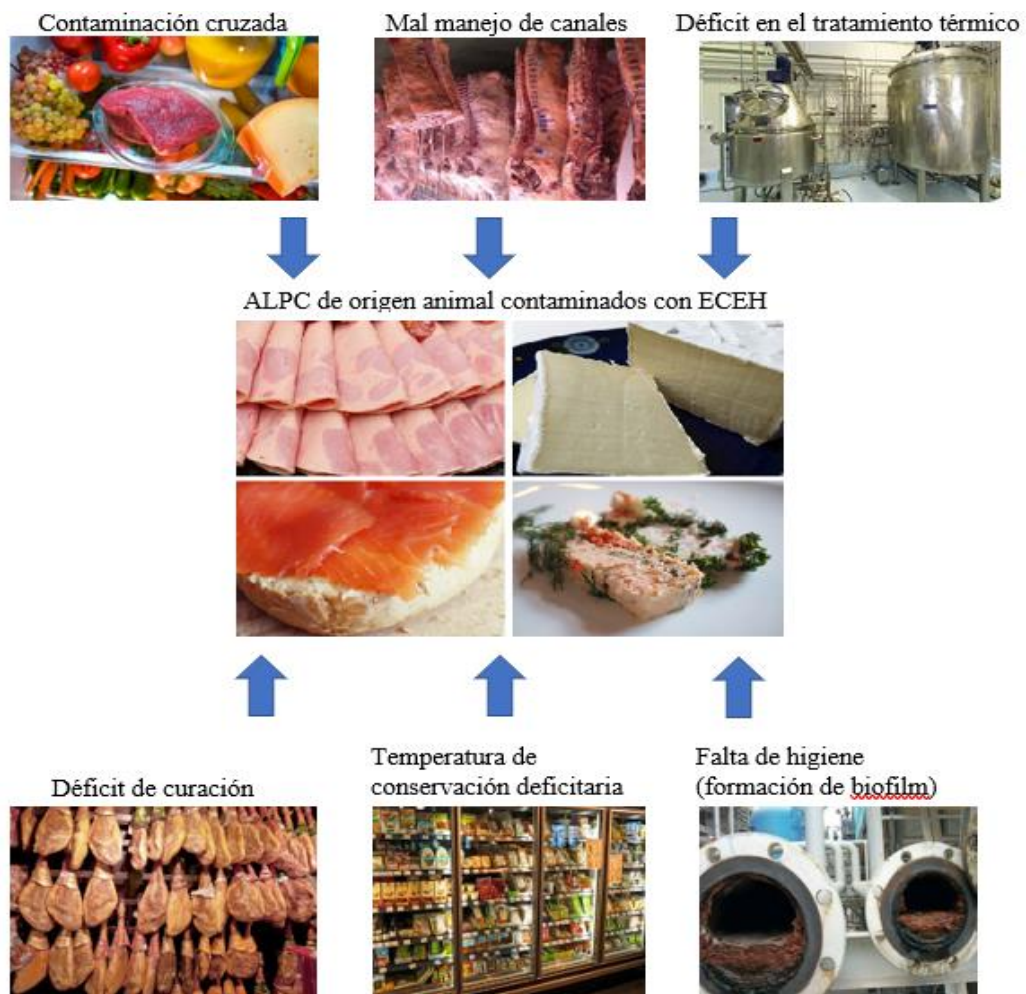


Figura 3. Principales fuentes de contaminación con ECEH de los ALPC de origen animal.

Para la prevención de contaminación en ALPC de origen animal es muy importante el control de las temperaturas durante el procesamiento, por ejemplo, durante la pasteurización; el correcto faenado de las canales, evitando la contaminación con heces; el control del proceso de curación y la correcta limpieza de las superficies para evitar la formación de biofilms (Fernandes *et al.*, 2017). Una vez en los ALPC de origen animal, debido a su alto contenido en nutrientes, el crecimiento de ECEH puede ser rápido si no se controlan parámetros como el pH, actividad de agua y la temperatura y tiempo de almacenamiento (FAO, 2011).

7. TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN.

Tradicionalmente, para la conservación de los ALPC de origen vegetal se ha usado la refrigeración, desinfección química y almacenamiento en atmósfera protectora, entre otros. En cuanto a los ALPC de origen animal, destacan la pasteurización, congelación, refrigeración, almacenamiento en atmósfera protectora, o adición de sales o azúcares (Angulo, 2020). Debido a que se siguen produciendo brotes por ECEH en ALPC conservados de manera convencional, la industria alimentaria ha promovido la búsqueda de nuevas estrategias de conservación que sean efectivas y que afecten lo menos posible al sabor, aroma y color de estos alimentos

En la Tabla 3 se muestran algunos de estos tratamientos experimentales que cumplen con los requisitos anteriores y que tienen una posible aplicación en ALPC de origen vegetal.

Tabla 3. Tratamientos experimentales de conservación frente a ECEH en ALPC de origen vegetal.

Tratamiento	ALPC	Referencias
Aceite de clavo (anti-biofilm)	Verduras	Cui <i>et al.</i> , 2020
Esterilización ultrasónica (EU)	Zumos vegetales de pepino y calabaza amarga	Lin <i>et al.</i> , 2019a
Campos magnéticos pulsados (CMP) combinado con aceite esencial de <i>Litsea cubeba</i> 1,5mg/ml	Zumos de pepino, zanahoria, espinaca y calabaza amarga	Lin <i>et al.</i> , 2019b
Agua electrolizada de baja concentración (LcEW) combinada con un breve aumento de temperatura (80-70°C).	Zanahoria	Liu <i>et al.</i> , 2019
300 ppm de aceite esencial de hierba de limón, 5000 ppm de diacetato de sodio y 80 ppm de natamicina	Brócoli	Ben-Fadhel <i>et al.</i> , 2017
Agua electrolizada más NaCl (0.05%)	Vegetales lavados listos para consumo	Gómez-López <i>et al.</i> , 2017
Concentrado de zumo de arándano más solución de ácido orgánico (ácido cítrico y quínico)	Pimientos y arándanos	Harich <i>et al.</i> , 2017

El uso de liposomas sólidos de aceite de clavo exhibe una excelente actividad anti-biofilm frente a *E. coli* O157:H7 en la superficie de verduras mantenidas a 4 °C y 25°C, prolongando así su vida útil (Cui *et al.*, 2020). La EU disminuye significativamente la viabilidad de *E. coli* O157:H7 en zumos de verduras, debido a un aumento de la permeabilidad de las membranas, que provoca la fuga de proteínas y ADN y a la generación de radicales libres que aumentan el estrés oxidativo intracelular (Lin *et al.*, 2019a). El tratamiento sinérgico con CMP y aceite esencial de *Litsea cubeba* rompe la membrana celular de *E. coli* O157:H7 (Lin *et al.*, 2019b). La aplicación de

LcEW combinada con calor de corta duración muestra una inhibición eficaz de ECEH en zanahorias (Liu *et al.*, 2019). El tratamiento con 300 ppm de aceite esencial de hierba de limón, 5000 ppm de diacetato de sodio y 80 ppm de natamicina, muestra un efecto aditivo, pero no sinérgico, contra ECEH para la conservación de brócoli a 4°C (Ben-Fadhel *et al.*, 2017). El agua electrolizada más NaCl (0.05%), demostró una gran eficacia para evitar la contaminación cruzada con *E. coli* O157:H7 durante el proceso de lavado de los ALPC (Gómez-López *et al.*, 2017). Por último, el concentrado de zumo de arándano combinado con una solución de ácido orgánico mostró, *in situ*, una reducción de 2,5 unidades logarítmicas del número de unidades formadoras de colonias (ufc) de *E. coli* O157:H7 en pimientos rojos pre cortados después de 7 días de almacenamiento a 4°C (Harich *et al.*, 2017).

Los principales tratamientos experimentales para conservar los ALPC de origen animal se recogen en la Tabla 4.

Tabla 4. Tratamientos experimentales de conservación frente a ECEH en ALPC de origen animal.

Tratamiento	ALPC de origen animal	Referencias
Vinagre combinado con zumo de limón	Producto cárnico procesado	Ijabdeniyi <i>et al.</i> , 2019
Luz ultravioleta pulsada (LUP)	Superficies de queso semiduro	Keklik <i>et al.</i> , 2019

El vinagre combinado con zumo de limón tuvo un efecto bactericida, con reducción de 5 unidades logarítmicas del número ufc de *E. coli* O157:H7 en salami almacenado a 4°C durante 144 h (Ijabdeniyi *et al.*, 2019). El tratamiento con LUP más favorable en queso kashar se dio en las condiciones 45s-13 cm (44 J/cm²), logrando reducciones de aproximadamente 3 log₁₀ ufc/cm² de *E. coli* O157:H7, mientras que no alteró el pH, la oxidación de lípidos y el contenido de humedad (Keklik *et al.*, 2019).

8. CONCLUSIONES.

1. *Escherichia coli* enterohemorrágica (ECEH) es una bacteria patógena de distribución mundial, cuyo reservorio principal es el tracto digestivo de animales rumiantes, sobre todo el ganado bovino, y comprende 5 seropatotipos (A al E) con diferente riesgo patogénico potencial.
2. Las toxinas de Shiga o verotoxinas producidas por ECEH, inhibidoras de la síntesis de proteínas, son las responsables de los cuadros clínicos más graves de la infección, como son la colitis hemorrágica y el síndrome hemolítico urémico, que en algunos casos puede causar la muerte de la persona que lo padece.
3. Los brotes recientes más importantes en Europa y Norteamérica por ECEH en ALPC, se han debido a la presencia del serotipo O157:H7 en alimentos de origen vegetal, principalmente ensaladas de hojas verdes.
4. La fuente de contaminación de ECEH es de origen fecal y su eficacia para colonizar los ALPC depende de numerosos factores, entre los que destacan la formación de biofilms en la superficie del propio alimento y en el entorno del procesado y su capacidad de internalización en los tejidos de origen vegetal.
5. Las principales medidas de prevención de la contaminación de los ALPC por ECEH pasan por evitar el contacto con materia fecal y la formación de biofilms, mantener la integridad física de los vegetales, llevar a cabo buenas prácticas de higiene, y controlar la temperatura durante el procesamiento de los de origen animal.
6. Debido a que los tratamientos convencionales de conservación en ALPC no son siempre eficaces frente a ECEH, se han desarrollado algunas estrategias novedosas, que normalmente combinan varios tratamientos de tipo físico y/o

químico, logrando reducir su riesgo de transmisión sin afectar a las propiedades organolépticas de estos alimentos.

9. BIBLIOGRAFÍA.

- Allocati, N., Masulli, M., Alexeyev, M. F., Di Ilio, C. (2013). *Escherichia coli* in Europe: an overview. *International journal of environmental research and public health*, 10(12), 6235-6254.
- Angulo, L. D. M. (2020). Principales bacterias transmitidas por alimentos, preservación y control, p. 56-77. En: Ramírez, L.G. (ed.), *Agrobiología: una visión general y sus aplicaciones*. Mérida Publishers, Venezuela.
- Bell, B. P., Goldoft, M., Griffin, P. M., Davis, M. A., Gordon, D. C., *et al.* (1994). A multistate outbreak of *Escherichia coli* O157:H7-associated bloody diarrhea and hemolytic uremic syndrome from hamburgers: the Washington experience. *The Journal of the American Medical Association*, 272(17), 1349-1353.
- Ben-Fadhel, Y., Saltaji, S., Khlifi, M. A., Salmieri, S., Vu, K. D., Lacroix, M. (2017). Active edible coating and γ -irradiation as cold combined treatments to assure the safety of broccoli florets (*Brassica oleracea* L.). *International Journal of Food Microbiology*, 241, 30-38.
- Bottichio, L., Keaton, A., Thomas, D., Fulton, T., Tiffany, A., *et al.* (2020). Shiga toxin-producing *Escherichia coli* infections associated with romaine lettuce-United States, 2018. *Clinical Infectious Diseases*, 71(8), 323-330.
- Boyd, E., Trmcic, A., Taylor, M., Shyng, S., Hasselback, P., *et al.* (2021). Foodborne outbreak in British Columbia related to raw milk Gouda-like products, 2018. *The Canada Communicable Disease Report*, 47(1), 11-16.
- Bryan, A., Youngster, I., McAdam, A. J. (2015). Shiga toxin producing *Escherichia coli*. *Clinics in Laboratory Medicine*, 35(2), 247-272.
- Butt, S., Allison, L., Vishram, B., Greig, D. R., Aird, H., *et al.* (2021). Epidemiological investigations identified an outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* serotype O26: H11 associated with pre-packed sandwiches. *Epidemiology & Infection*, 149, 1-35.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2016). Outbreak of *E. coli* O157:H7 infections linked to alfalfa sprouts. Disponible en: <https://www.cdc.gov/ecoli/2016/o157-02-16/index.html>

- Centers for Disease Control and Prevention. (2017). Outbreak of *E. coli* O157:H7 infections linked to leafy greens. Disponible en: <https://www.cdc.gov/ecoli/2017/o157h7-12-17/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2018). Outbreak of *E. coli* O157:H7 infections linked to romaine lettuce. Disponible en: <https://www.cdc.gov/ecoli/2018/o157h7-11-18/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2019a). Outbreak of *E. coli* O157:H7 infections linked to romaine lettuce. Disponible en: <https://www.cdc.gov/ecoli/2019/o157h7-11-19/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2019b). Outbreak of *E. coli* O157:H7 infections linked to fresh express sunflower crisp chopped salad kits. Disponible en: <https://www.cdc.gov/ecoli/2019-outbreaks.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2020a). Outbreak of *E. coli* O103 infections linked to clover sprouts. Disponible en: <https://www.cdc.gov/ecoli/2020/o103h2-02-20/index.html>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2020b). Outbreak of *E. coli* O157:H7 infections linked to leafy greens. Disponible en: <https://www.cdc.gov/ecoli/2020/o157h7-10-20b/index.html>
- Cho, T. J., Kim, N. H., Kim, S. A., Song, J. H., Rhee, M. S. (2016). Survival of foodborne pathogens (*Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella Typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, and *Vibrio parahaemolyticus*) in raw ready-to-eat crab marinated in soy sauce. *International Journal of Food Microbiology*, 238, 50-55.
- Croxen, M. A., Law, R. J., Scholz, R., Keeney, K. M., Wlodarska, M., Finlay, B. B. (2013). Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 26(4), 822-880.
- Cui, H., Zhang, C., Li, C., Lin, L. (2020). Inhibition of *Escherichia coli* O157: H7 biofilm on vegetable surface by solid liposomes of clove oil. *LWT*, 117, 108656.
- Erickson, M. C. (2012). Internalization of fresh produce by foodborne pathogens. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3, 283-310.
- Erickson, M. C., Liao, J. Y., Habteselassie, M. Y., Cannon, J. L. (2018a). Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* during washing of contaminated gloves in levulinic acid and sodium dodecyl sulfate solutions. *Food Microbiology*, 73, 275-281.
- Erickson, M. C., Liao, J. Y., Webb, C. C., Habteselassie, M. Y., Cannon, J. L. (2018b). Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* deposited on gloves

in a liquid state and subjected to drying conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 200-206.

- Erwert, R. D., Eiting, K. T., Tupper, J. C., Winn, R. K., Harlan, J. M., Bannerman, D. D. (2003). Shiga toxin induces decreased expression of the anti-apoptotic protein Mcl-1 concomitant with the onset of endothelial apoptosis. *Microbial Pathogenesis*, 35(2), 87-93.
- FAO (2011). Prevención de la *E. coli* en los alimentos. Disponible en: <http://www.fao.org/food-chain-crisis/resources/news/detail/es/c/80952/>
- Farfán-García, A. E., Ariza-Rojas, S. C., Vargas-Cárdenas, F. A., Vargas-Remolina, L. V. (2016). Mecanismos de virulencia de *Escherichia coli* enteropatógena. *Revista Chilena de Infectología*, 33(4), 438-450.
- Fernandes, F. P., Voloski, F. L. S., Ramires, T., Haubert, L., Reta, G. G., et al. (2017). Virulence and antimicrobial resistance of *Salmonella spp.* and *Escherichia coli* in the beef jerky production line. *FEMS Microbiology Letters*, 364(9).
- Gobin, M., Hawker, J., Cleary, P., Inns, T., Gardiner, D., et al. (2018). National outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157: H7 linked to mixed salad leaves, United Kingdom, 2016. *Eurosurveillance*, 23(18), 1700197.
- Gómez-López, V. M., Gil, M. I., Allende, A. (2017). A novel electrochemical device as a disinfection system to maintain water quality during washing of ready to eat fresh produce. *Food Control*, 71, 242-247.
- Gonzalez, A., Cerqueira, A. (2020). Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in the animal reservoir and food in Brazil. *Journal of Applied Microbiology*, 128(6), 1568-1582.
- Harich, M., Maherani, B., Salmieri, S., Lacroix, M. (2017). Antibacterial activity of cranberry juice concentrate on freshness and sensory quality of ready to eat (RTE) foods. *Food Control*, 75, 134-144.
- Hassan, R., Seelman, S., Peralta, V., Booth, H., Tewell, M., et al. (2019). A multistate outbreak of *E. coli* O157: H7 infections linked to soy nut butter. *Pediatrics*, 144(4), e20183978.
- Henry, M. K., McCann, C. M., Humphry, R. W., Morgan, M., Willett, A., et al. (2019). The British *E. coli* O157 in cattle study (BECS): factors associated with the occurrence of *E. coli* O157 from contemporaneous cross-sectional surveys. *BMC Veterinary Research*, 15(1), 1-13.
- Hoagland, L., Ximenes, E., Ku, S., Ladisch, M. (2018). Foodborne pathogens in horticultural production systems: Ecology and mitigation. *Scientia Horticulturae*, 236, 192-206.

- Hoff, C. (2021). Notes from the Field: An Outbreak of *Escherichia coli* O157: H7 Infections Linked to Romaine Lettuce Exposure-United States, 2019. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 70(18), 689-690.
- Holvoet, K., Sampers, I., Seynnaeve, M., Jacxsens, L., Uyttendaele, M. (2015). Agricultural and management practices and bacterial contamination in greenhouse versus open field lettuce production. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(1), 32-63.
- Hu, W. S., Nam, D. M., Choi, J. Y., Kim, J. S., Koo, O. K. (2019). Anti-attachment, anti-biofilm, and antioxidant properties of *Brassicaceae* extracts on *Escherichia coli* O157: H7. *Food Science and Biotechnology*, 28(6), 1881-1890.
- Ijabdeniyi, O. A., Naraindath, K., Ajayeoba, T. A. (2019). Prevalence of selected foodborne pathogens in the processed meat products from Durban and their growth after treatment with vinegar and lemon juice. *International Food Research Journal*, 26(6), 1725-1732.
- Jones, G., Lefèvre, S., Donguy, M. P., Nisavanh, A., Terpant, G., et al. (2019). Outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) O26 paediatric haemolytic uraemic syndrome (HUS) cases associated with the consumption of soft raw cow's milk cheeses, France, March to May 2019. *Eurosurveillance*, 24(22), 1900305.
- Kaplan, B. S., Meyers, K. E., Schulman, S. L. (1998). The pathogenesis and treatment of hemolytic uremic syndrome. *Journal of the American Society of Nephrology*, 9(6), 1126-1133.
- Karmali, M. A., Marcorenhas, M., Shen, S., Riebell, K., Johnson, S., et al (2003). Association of genomic Oisland 122 of *Escherichia coli* EDL933 with verocitotoxin producing *Escherichia coli* serotypes that are linked to epidemic and/or serious disease. *Journal of Clinical Microbiology*. 41:4930-40.
- Keklik, N. M., Elik, A., Salgin, U., Demirci, A., Koçer, G. (2019). Inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* O157: H7 on fresh kashar cheese with pulsed ultraviolet light. *Food Science and Technology International*, 25(8), 680-691.
- Kinnula, S., Hemminki, K., Kotilainen, H., Ruotsalainen, E., Tarkka, E., et al. (2018). Outbreak of multiple strains of non-O157 Shiga toxin-producing and enteropathogenic *Escherichia coli* associated with rocket salad, Finland, autumn 2016. *Eurosurveillance*, 23(35), 1700666.
- Kintz, E., Byrne, L., Jenkins, C., McCarthy, N. O. E. L., Vivancos, R., Hunter, P. (2019). Outbreaks of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* Linked to Sprouted Seeds, Salad, and Leafy Greens: A Systematic Review. *Journal of Food Protection*, 82(11), 1950-1958.

- Lin, L., Wang, X., Li, C., Cui, H. (2019a). Inactivation mechanism of *E. coli* O157: H7 under ultrasonic sterilization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 59, article: 104751.
- Lin, L., Wang, X., Cui, H. (2019b). Synergistic efficacy of pulsed magnetic fields and Litsea cubeba essential oil treatment against *Escherichia coli* O157: H7 in vegetable juices. *Food Control*, 106, article: 106686.
- Liu, Q., Jin, X., Feng, X., Yang, H., Fu, C (2019). Inactivation kinetics of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium on organic carrot (*Daucus carota* L.) treated with low concentration electrolyzed water combined with short-time heat treatment, *Food Control*, 106, article: 106702.
- López, J. D. F., de Lourdes Enriquez, M., Ocaña, A. N. (2018). Caracterización serológica de *Escherichia coli* en cepas de origen humano. *Portal de la Ciencia*, 41-52.
- Luna-Guevara, J. J., Arenas-Hernandez, M. M. P., Martínez de la Peña, C., Silva, J. L., Luna-Guevara, M. L. (2019). The role of Pathogenic *E. coli* in fresh vegetables: behavior, contamination factors, and preventive measures. *International Journal of Microbiology*, article: 2894328.
- Melton-Celsa, A. R. (2014). Shiga toxin (Stx) classification, structure, and function. *Microbiology Spectrum*, 2(4), 2-4.
- Mikhail, A. F. W., Jenkins, C., Dallman, T. J., Inns, T., Douglas, A., *et al.* (2018). An outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157: H7 associated with contaminated salad leaves: epidemiological, genomic and food trace back investigations. *Epidemiology & Infection*, 146(2), 187-196.
- Mulchandani, R., Brehmer, C., Butt, S., Vishram, B., Harrison, M., *et al.* (2021). Outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157 linked with consumption of a fast-food product containing imported cucumbers, United Kingdom, August 2020. *International Journal of Infectious Diseases*, <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.04.001>.
- Murphy, S., Gaffney, M. T., Fanning, S., Burgess, C. M. (2016). Potential for transfer of *Escherichia coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* Senftenberg from contaminated food waste derived compost and anaerobic digester liquid to lettuce plants. *Food Microbiology*, 59, 7-13.
- Mylius, M., Dreesman, J., Pulz, M., Pallasch, G., Beyrer, K., *et al.* (2018). Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O103: H2 outbreak in Germany after school trip to Austria due to raw cow milk, 2017–The important role of international collaboration for outbreak investigations. *International Journal of Medical Microbiology*, 308(5), 539-544.

- Percheron, L., Gramada, R., Tellier, S., Salomon, R., Harambat, J., (2018). Eculizumab treatment in severe pediatric STEC-HUS: a multicenter retrospective study. *Pediatric Nephrology*, 33(8), 1385-1394.
- Prats, G., Frías, C., Margall, N., Llovet, T., Gaztelurrutia, L., *et al.* (1996). Colitis hemorrágica por *Escherichia coli* verotoxigénica. Presentación de 9 casos. *Enferm Infecc Microbiol Clin*, 14(1), 7-15.
- Rivero, M. A., Padola, N. L., Etcheverría, A. I., Parma, A. E. (2004). *Escherichia coli* enterohemorrágica y síndrome urémico hemolítico en Argentina. *Medicina (Buenos Aires)*, 64(4), 352-356.
- Sharma, M., Millner, P. D., Hashem, F., Camp, M., Whyte, C., *et al.* (2016). Survival and persistence of nonpathogenic *Escherichia coli* and attenuated *Escherichia coli* O157: H7 in soils amended with animal manure in a greenhouse environment. *Journal of Food Protection*, 79(6), 913-921.
- Sperandio, V., Pacheco A. R. (2012). Shiga toxin in enterohemorrhagic *E. coli*: regulation and novel anti-virulence strategies. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2, article: 81.
- Tarr, P. I., Gordon, C. A., Chandler, W. L. (2005). Shiga-toxin-producing *Escherichia coli* and haemolytic uraemic syndrome. *The Lancet*, 365(9464), 1073-1086.
- Torres Armendáriz, V., Manjarrez Domínguez, C. B., Acosta-Muñiz, C. H., Guerrero-Prieto, V. M., Parra-Quezada, R. Á., *et al.* (2016). Interacciones entre *Escherichia coli* O157: H7 y plantas comestibles.¿ Se han desarrollado mecanismos de internalización bacteriana? *Revista Mexicana de Fitopatología*, 34(1), 64-83.
- Trachtman, H., Austin, C., Lewinski, M., Stahl, R. A. (2012). Renal and neurological involvement in typical Shiga toxin-associated HUS. *Nature Reviews Nephrology*, 8(11), 658-669.
- Treacy, J., Jenkins, C., Paranthaman, K., Jorgensen, F., Mueller-Doblies, D., *et al.* (2019). Outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157: H7 linked to raw drinking milk resolved by rapid application of advanced pathogen characterisation methods, England, August to October 2017. *Eurosurveillance*, 24(16), 1800191.
- van Setten, P. A., van Hinsbergh, V. W., van der Velden, T. J., van de Kar, N. C., Vermeer, M., *et al.* (1997). Effects of TNF α on verocytotoxin cytotoxicity in purified human glomerular microvascular endothelial cells. *Kidney International*, 51(4), 1245-1256.
- Wang, R. (2019). Biofilms and meat safety: a mini-review. *Journal of Food Protection*, 82(1), 120-127.