

# **PATOGENICIDAD EN LECHUGAS. DETERMINACIÓN DE RIESGO POR LA CALI- DAD DEL CULTIVO DE LACTUCA SATIVA Y A LA SALUD HUMANA POR RIEGOS AGRÍCOLAS CON AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.**

**PATHOGENICITY IN LETTUCE. DETERMINATION OF RISK BY THE  
QUALITY OF THE LACTUCA SATIVA CROP AND HUMAN HEALTH  
FROM AGRICULTURAL IRRIGATION WITH WASTEWATER IN MEXICO**

Julieta Monterrosas Flores  
Guadalupe Estefanía Rojas Galindo  
Atzin Tonatiuh Valle Porras

**ISSN 2448-5829**

Año 10, No. 28, 2024, pp. 92-105

**RD-ICUAP**

<https://orcid.org/0009-0006-1242-9674>  
<https://orcid.org/0009-0006-4060-4281>  
<https://orcid.org/0009-0006-1387-645X>

Año 10 No. 28  
Recibido: 31/mayo/2023  
Aprobado: 30/noviembre/2023  
Publicado: 07/enero/2024

Facultad de Ciencias Biológicas, Licenciatura en Biotecnología  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
julieta.monterrosasf@alumno.buap.mx  
guadalupe.rojasg@alumno.buap.mx  
atzin.valle@alumno.buap.mx

## Resumen

El objetivo de la presente comunicación es mostrar los resultados de una revisión bibliográfica en torno a las investigaciones realizadas con respecto a los efectos que pueden existir en el consumo de *Lactuca sativa* contaminadas con indicadores microbiológicos, en particular, coliformes fecales, *Salmonella* spp, colifagos somáticos y huevos de helminto. La metodología tomada como base se realizó en un cultivo de *Lactuca sativa* en Colombia, donde se recolectaron muestras de agua, suelo y lechugas para analizar la calidad microbiológica, asimismo, los resultados obtenidos mostraron que las concentraciones de los indicadores superaban en algunos casos los límites establecidos por la normativa nacional, lo que implicaba un riesgo potencial para la salud de los agricultores y los consumidores. El riesgo era mayor para los huevos de helminto, seguido por los colifagos somáticos y los coliformes fecales, mientras que el riesgo por *Salmonella* spp fue despreciable debido a su baja concentración. Se concluyó que el riego con aguas residuales sin tratar en el cultivo de lechuga representaba un riesgo sanitario no aceptable para la población expuesta, por lo que se recomienda implementar medidas de control y prevención para garantizar la inocuidad de los productos agrícolas.

Palabras clave: Lechuga, aguas residuales, riego agrícola, calidad del suelo, salud humana, tratamiento de aguas, bacterias coliformes.

## ABSTRACT

The aim of this paper is to show the results of a literature review on the research carried out regarding the effects that may exist in the consumption of *Lactuca sativa* contaminated with microbiological indicators, in particular, fecal coliforms, *Salmonella* spp, somatic coliphages and helminth eggs. The methodology taken as a basis was carried out in a *Lactuca sativa* in Colombia, where samples of water, soil and lettuce were collected to analyze the microbiological quality, also, the results showed that the concentrations of the indicators exceeded in some cases the limits established by the national regulations, which implied a potential risk to the health of farmers and consumers. The risk was higher for helminth eggs, followed by somatic coliphages and fecal coliforms, while the risk for *Salmonella* spp was negligible due to its low concentration. It was concluded that irrigation with untreated wastewater in the lettuce crop represented an unacceptable sanitary risk for the exposed population, so it is recommended to implement control and prevention measures to ensure the safety of agricultural products.

Keywords: Lettuce, wastewater, agricultural irrigation, soil quality, human health, water treatment

## INTRODUCCIÓN

La lechuga Romana (*Lactuca sativa* L.) es originaria del Mediterráneo y su cultivo se ha extendido por todo el mundo debido a su popularidad en la gastronomía. Se adapta a diferentes condiciones climáticas y requiere poca cantidad de agua para su desarrollo. Su ciclo de vida es corto y puede cosecharse entre 60 y 90 días después de la siembra.



Figura 1. lechuga Romana (*Lactuca sativa* L.) [Fotografía], por Información Agroalimentaria Y Pesquera, S. (s. f.), (<https://www.gob.mx/siap/articulos/lactuca-sativa-l-tipos-y-variedades-que-se-producen-en-mexico?idiom=es>)

Esta hortaliza tiene bajo contenido calórico y alto valor nutritivo, ya que es rica en vitaminas y minerales esenciales para la salud humana. Cada 100 gramos de lechuga aportan 15 calorías, 1.5 gramos de proteína, 0.3 gramos de grasa, 1.4 gramos de carbohidratos y 1.4 gramos de fibra. Entre su contenido en vitaminas y minerales podemos mencionar la presencia de vitamina C, folatos y provitamina A (b-carotenos), tiamina y vitamina E, así como fósforo, potasio, hierro y calcio. Esta planta herbácea es de hoja verde que se consume principalmente en ensaladas y que tiene beneficios para la salud humana, como la prevención de enfermedades cardiovasculares y el cáncer, debido a su contenido en antioxidantes, vitaminas, minerales y fibra. Además, posee propiedades diuréticas, sedantes y digesti-

vas, por lo que es útil en el tratamiento de enfermedades como la cistitis, el insomnio y el estreñimiento.

México, es uno de los principales cultivos hortícolas, con una producción de 539 mil toneladas y un valor económico de más de mil millones de pesos en 2020. Se cultiva en 21 estados del país, siendo Guanajuato, Zacatecas, Aguascalientes y Puebla los mayores productores. La lechuga es una hortaliza muy consumida en la alimentación diaria, tanto en hogares como en restaurantes y establecimientos de comida rápida. Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el consumo per cápita de lechuga en México fue de 4.2 kilogramos en 2020. Además, de ser un ingrediente clave en la preparación de ensaladas, tacos, tortas y otras comidas típicas de la gastronomía mexicana.

Sin embargo, el cultivo de lechuga enfrenta diversos retos y problemas, entre los que destaca el uso de aguas residuales para el riego. El agua residual es un recurso cada vez más utilizado en la agricultura, debido a la creciente demanda de agua y a la necesidad de gestionar adecuadamente los residuos generados por la sociedad. Estos contaminantes pueden afectar la calidad de la lechuga y la salud de los consumidores, así como la calidad del suelo y el medio ambiente.

El uso de aguas residuales para el riego agrícola es una práctica común en México, debido a la escasez de agua potable y a la falta de infraestructura para el tratamiento y la distribución del recurso hídrico. Se estima que el sector agrario consume más del 65 % del agua potable y que el 14% del agua utilizada para riego proviene de fuentes contaminadas. A pesar de los riesgos sanitarios y ambientales que

implica esta práctica, existen también beneficios económicos y sociales para los productores y los consumidores, como el ahorro de costos, el aumento del rendimiento y la disponibilidad de alimentos.

Ante este panorama, surge la necesidad de realizar una investigación que analice los efectos del riego con aguas residuales en el cultivo de lechuga en México, así como las posibles alternativas para reducir los riesgos y aprovechar los beneficios.

El objetivo general de esta investigación es determinar el peligro que genera el riego con aguas negras en cultivos de lechuga en México. Los objetivos específicos son:

- Identificar los diferentes tipos de contaminantes presentes en las aguas negras y sus efectos en la calidad de la lechuga y la salud humana.
- Revisar las normativas y regulaciones locales y nacionales que rigen el uso de aguas residuales para el riego de cultivos.
- Analizar cómo el uso de aguas residuales afecta la calidad de las lechugas.
- Investigar las afecciones registradas hacia el consumidor por el consumo de lechugas regadas con aguas negras.
- Explorar las diferentes tecnologías que se utilizan para tratar las aguas residuales y cómo mejoran la calidad del agua y reducen el riesgo de contaminación en los cultivos.
- Evaluar las alternativas de riego disponibles y sus ventajas y desventajas.

## Revisión de la literatura

### Aguas residuales

El agua residual es aquella que ha sido utilizada en algún proceso y que contiene contaminantes que la hacen inadecuada para su uso original o para el consumo humano.

Existen diferentes tipos de aguas residuales, que varían según su origen y su contenido de contaminantes. Entre los tipos de aguas residuales se encuentran:

- Aguas residuales domésticas: Proceden del uso del agua en los hogares, y contienen sustancias como materia orgánica, nutrientes, metales pesados, detergentes y productos farmacéuticos.
- Aguas residuales industriales: Son aquellas que provienen de procesos industriales, y su composición depende del tipo de industria. Pueden contener sustancias como productos químicos, aceites, metales pesados y otros contaminantes.
- Aguas residuales urbanas: Son una combinación de las aguas residuales domésticas e industriales que se generan en las zonas urbanas.



Figura 2. Aguas residuales [Fotografía], por Tecnología Del Agua, I. M. (s. f.) (HYPERLINK "<https://www.gob.mx/imta/articulos/La-actualizacion-de-la-norma-sobre-descargas-de-aguas-residuales?idiom=es>"<https://www.gob.mx/imta/articulos/La-actualizacion-de-la-norma-sobre-descargas-de-aguas->

En promedio el agua residual cruda contiene alrededor de 1,000 mg/L de sólidos en solución y suspensión, lo que equivale a decir que es agua en un 99.9%, siendo el 0.1% sólidos constituidos 70% (proteínas, carbohidratos y grasas) y 30% por inorgánicos (arenas, sales marinas y metales) (Cisneros Estrada y Saucedo Rojas, 2018, p. 8).

El riego con aguas residuales implica un riesgo sanitario debido a la posible transmisión de microorganismos patógenos que pueden contaminar la

lechuga y causar enfermedades en los consumidores. Estos microorganismos pueden ser de origen viral, bacteriano o parasitario y pueden provocar infecciones gastrointestinales, respiratorias, cutáneas y otras. Algunos ejemplos de estos microorganismos son el SARS-CoV-2 (Campos et al., 2015), la Giardia lamblia (Jacobo-Velázquez & Cisneros-Zevallos, 2009), el Vibrio cholerae (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018), el Mycobacterium tuberculosis (SIAP, 2020) y el Clostridium botulinum (SIAP, 2021), los virus de la hepatitis A, la enterovirus y bacterias del género Escherichia coli. La concentración y la diversidad de estos microorganismos dependen de la fuente y el tratamiento de las aguas residuales, así como de las condiciones ambientales y del manejo agrícola. Por lo tanto, es necesario evaluar la calidad microbiológica de las aguas residuales y de la lechuga para determinar el nivel de peligro que representan para la salud pública. Además de los microorganismos patógenos, las aguas residuales pueden contener diversos compuestos químicos que pueden afectar la calidad del agua y la salud de los seres vivos. Entre los contaminantes químicos que se pueden encontrar en las aguas residuales se encuentran los metales pesados los cuales son elementos químicos que tienen una alta densidad y que pueden ser tóxicos para los seres vivos incluso en bajas concentraciones. Algunos ejemplos de metales pesados presentes en las aguas residuales son el plomo, el mercurio, el cadmio, el cromo y el arsénico. Estos metales pueden causar daños en el sistema nervioso, el hígado, los riñones y otros órganos vitales (Estrucplan, 2000). Los metales pesados pueden provenir de fuentes industriales, mineras, agrícolas o domésticas y pueden acumularse en los sedimentos, las plantas y los animales acuáticos (Gob.mx, 2021). Los sólidos

suspendidos que pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Los sólidos suspendidos pueden causar turbidez, obstrucción de filtros y tuberías, y reducción de la penetración de la luz y el oxígeno en el agua (Innotec Laboratorios, 2021). Los sólidos suspendidos pueden provenir de fuentes naturales, como la erosión del suelo, o de fuentes antropogénicas, como los residuos domésticos, industriales o agrícolas (UDLAP, 2000).

### Tratamientos de aguas residuales

El agua residual tratada se define como aquella que se colecta en un sistema de alcantarillado, es conducida hasta una planta de tratamiento y que pasa por un tren de tratamiento con procesos físico-químicos o biológicos con el objetivo de remover contaminantes presentes en ella para mejorar su calidad y volverla apta para reutilizarla.

Se estima que en México se generan un total de 228.7 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales de tipo municipal anualmente, el total de aguas que reciben un tratamiento representa en promedio el 48.66% del total generado. (CONAGUA, 2015) El crecimiento poblacional y el desarrollo de actividades económicas está ligado al aumento de generación de aguas residuales, por lo que existe la alternativa de colectarlas en un sistema de alcantarillado para conducir las plantas de tratamiento con el objetivo de mejorar su calidad y encontrar la posibilidad de reusarla

### Normativas y regulaciones.

Para realizar los análisis de las muestras de aguas residuales, catalogar aguas residuales como aptas para su reutilización en la agricultura se deben seguir ciertas normas vigentes mexicanas o referentes internacionales como la OMS, que indiquen los lineamientos necesarios para realizar correctamente el desarrollo experimental o llevar a

cabo las alternativas propuestas. Se consideraron las siguientes:

- Norma MX-AA-3-1980, NORMA MEXICANA "AGUAS RESIDUALES- MUESTREO" da las pautas para muestrear aguas residuales para determinar las características físicas y químicas de estas.

- Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios.

Métodos de prueba microbiológicos.

Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos: establece los métodos que se pueden seguir para determinar indicadores microbianos y/o patógenos las muestras de alimentos y bebidas para el consumo humano.

- NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales y bienes nacionales para garantizar su calidad y seguridad de estas.

- La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

- Las Normas Mexicanas en materia de Análisis de Agua para aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas, las Normas Mexicanas de productos químicos utilizados en la potabilización del agua para uso y consumo humano y las Normas Mexicanas de Servicios, elaboradas por la Comisión Nacional del Agua a través del Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COTEMARNAT).

- El Procedimiento de muestreo, análisis y reporte de calidad de las aguas residuales establecido por la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento<sup>3</sup>.



Figura 3. Consumo de Lactuca sativa L. [Fotografía por Núñezj. (2022). (HYPERLINK "<https://infoalimentos.org.ar/temas/inocuidad-de-los-alimentos/266-contaminacion-microbiana-en-verduras-de-hoja-mejor-prevenir-que-curar>")<https://infoalimentos.org.ar/temas/inocuidad-de-los-alimentos/266-contaminacion-microbiana-en-verduras-de-hoja-mejor-prevenir-que-curar>)]

### 4.1.3 Afecciones hacia el consumidor

El uso de aguas negras para el riego del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) conlleva cuestiones que son válidas de reconocer como por ejemplo que el gasto económico es menor, el agua potable se destina exclusivamente al humano, los agricultores obtienen mayores ganancias y ahorran en fertilizantes, sin embargo, como se mencionó anteriormente, el agua contiene patógenos que pueden traer tanto los agricultores como los consumidores. También es posible que se presenten elementos potencialmente tóxicos como metales pesados, compuestos orgánicos como grasa, aceite y fármacos (Salvador, s. f.).

Dentro de las principales enfermedades registradas en el consumo de *Lactuca sativa* L que no fue desinfectada son cisticercosis, hepatitis A, salmonela o cólera (Hernández, 2009). Asimismo, los suelos bajo riego continuo con aguas residuales muestran elevadas concentraciones de cadmio y plomo, por lo cual es posible generar riesgos a la salud por contaminación con metales pesados (Zamora, s. f.).

### 4.1.4 Síntomas de las afecciones causadas por patógenos en la lechuga.

En base a la información previamente



mencionada, es importante destacar que el riego de aguas residuales en los cultivos de lechuga puede introducir una variedad de patógenos que representan un riesgo para la salud humana. Estos patógenos pueden ser responsables de la aparición de diversas enfermedades que afectan a quienes consumen la lechuga contaminada.

Para ofrecer una visión general de las posibles enfermedades asociadas con estos patógenos, a continuación, se presenta una lista de algunas de ellas, junto con sus síntomas principales. Es importante tener en cuenta que esta lista no abarca todas las enfermedades posibles, pero proporciona una muestra representativa:

- Gastroenteritis. Esta enfermedad se caracteriza por la inflamación del tracto gastrointestinal y puede ser causada por patógenos como Salmonella y Escherichia coli (E. coli). Los síntomas comunes incluyen náuseas, vómitos, diarrea, dolor abdominal y fiebre.
- Tifus. Enfermedad provocada por la bacteria Rickettsia prowazekii que causa fiebre, diarrea, vómitos, inflamación del bazo y del intestino.
- Fiebre tifoidea: enfermedad provocada por la bacteria Salmonella typhi que causa fiebre alta, dolor de cabeza, malestar general, dolor abdominal, diarrea o estreñimiento.
- Tracoma: enfermedad provocada por la bacteria Chlamydia trachomatis que causa infección de los ojos, inflamación, irritación, secreción y cicatrices en la córnea. Puede provocar ceguera si no se trata a tiempo.
- Enterovirus: grupo de virus que causan diversas enfermedades como meningitis, encefalitis, miocarditis, parálisis flácida aguda y exantemas.
- Tuberculosis: enfermedad provocada por la bacteria Mycobacterium tuberculosis que afecta principalmente a los pulmones y causa tos crónica con esputo sanguinolento, fiebre, sudoración nocturna y pérdida de peso.
- Botulismo: enfermedad provocada por la toxina producida por la bacteria Clostridium botulinum que afecta al sistema nervioso y causa debilidad

muscular, visión borrosa, dificultad para hablar y tragar, y parálisis respiratoria.

·Cólera: enfermedad provocada por la bacteria Vibrio cholerae que causa diarrea acuosa severa, vómitos y deshidratación.

## Identificación de patógenos en lechugas regadas con aguas residuales

La seguridad alimentaria es una preocupación creciente en la producción agrícola, especialmente en lo que respecta a los productos cultivados en suelos regados con aguas residuales. Las lechugas, siendo un alimento común en la alimentación de la población, pueden ser particularmente susceptibles a la contaminación por patógenos presentes en las aguas residuales, las cuales son utilizadas para su riego. La identificación precisa de estos patógenos es crucial para prevenir la propagación de enfermedades transmitidas por alimentos, por lo que existen diversas técnicas de laboratorio que ayudan a identificarlos.



Figura 4. Mejoramiento de cultivos. [Fotografía] por Chilebio. (2019, 15 julio). (<https://www.chilebio.cl/2019/03/29/nuevas-tecnicas-de-mejoramiento-genetico-para-combatir-el-hambre/>)

- Técnicas de cultivo microbiológico: El aislamiento de patógenos en lechugas puede realizarse mediante métodos de cultivo microbiológico, como la siembra en medios de cultivo selectivos y diferenciales. Este método permite observar el crecimiento y la identificación de bacterias patógenas específicas presentes en las muestras de lechuga.
- Ensayos inmunológicos: Los ensayos inmunológicos como la inmunofluo-

rescencia y los ensayos de ELISA, son utilizados para detectar y cuantificar antígenos de patógenos específicos en muestras de lechuga. Estas técnicas se basan en la interacción de anticuerpos específicos con los antígenos presentes en la muestra, lo que permite su identificación y cuantificación.

•Reacción en cadena de la polimerasa (PCR): La PCR es una técnica ampliamente utilizada para la detección y la identificación de patógenos en muestras ambientales y alimentarias. Esta técnica permite amplificar el ADN específico de los patógenos presentes en las lechugas y su posterior identificación mediante análisis de secuenciación o técnicas de hibridación.

### Alternativas para mejorar la calidad de los cultivos

Una alternativa para no aumentar la cantidad de aguas residuales es reutilizarlas para la agricultura, sin embargo, se deben seguir ciertos requisitos que cumplan con la calidad de esta para evitar la propagación de enfermedades o daños a la salud de la sociedad. Para que las aguas residuales puedan reutilizarse, estas deben provenir de una planta de tratamiento y cumplir con las normas vigentes mencionadas anteriormente.

A pesar de la existencia de las normas, la realidad indica que gran cantidad de aguas residuales no cumplen con la calidad debida para su reutilización en los riegos, por lo que la mayoría de las aguas que llegan a los cultivos requieren de tratamientos complementarios con el fin de mejorar su calidad, mayormente en el aspecto bacteriológico. (Estrada y Rojas, 2016).

Para reutilizar dichos efluentes se siguen alternativas que pueden llevarse a cabo en la planta de tratamiento o en la parcela, a continuación, se describen algunas:

·Desinfección con rayos ultravioleta: este método se realiza previo a su reutilización de las aguas residuales en las parcelas. Se debe contar con

tecnología UV que asegure que la longitud de onda elimine totalmente los microorganismos y agentes patógenos y que no produzca residuos. Los rayos UV destruyen el material genético de las bacterias, por lo que ya no pueden seguir reproduciéndose, reduce la carga biológica del agua y mejora su calidad sanitaria.

Algunas ventajas de este método son la erradicación de bacterias sin adicionar productos químicos, no generar algún olor o sabor, su efectividad no depende del pH del agua, la instalación del equipo y su utilización requiere poco espacio y bajos costos.

Igualmente, sus desventajas son el cuidadoso mantenimiento del equipo, no poder utilizarlo con aguas con sólidos en suspensión mayores a 30mg/L y es necesario contar con una fuente de energía eléctrica en el sitio.

·Decantadores: este método se basa en separar compuestos de las aguas residuales mediante la gravedad y su peso de cada uno de estos, pudiendo separar compuestos un poco grandes como arcillas o gravillas.

·Desinfección con ozono: el ozono es efectivo para remover bacterias y virus, sin embargo, puede ser utilizado como tratamiento complementario. La tecnología de este método consiste en un sistema que integra un generador de ozono, filtros de aire, un sistema difusor y un tanque de contacto. El equipo está en línea con una tubería de suministro de agua, para cuando se ala toma de agua, su caída produzca una presión que haga que un sensor registre la variación de presión y empiece a producir ozono, ocurriendo automáticamente y en distintas etapas. A menor temperatura del agua se requerirá mayor intervalo de tiempo de contacto y mayor concentración de ozono. (Comisión Nacional de Riego, 2007).

Sus principales desventajas se enfocan en que sigue siendo una tecnología compleja, tiene un alto costo de inversión y requiere de una fuente de



energía eléctrica cercana, además de ser un gas inestable que pudiera provocar riesgos.

·Micro y ultrafiltración con membranas: la microfiltración permite remover bacterias de las aguas y la ultrafiltración remueve virus. Ambas están basadas en los principios de separación física de partículas, utilizando membranas con poros de 0.1 a 10  $\mu\text{m}$ . Para realizarla el agua ya se debió tratar previamente para poder establecer las unidades de prefiltrado con materiales de poro. Está demostrado que utilizar membranas de óxido de aluminio puede remover patógenos y sólidos de aguas residuales. (Gobierno de España-Ministerio de Economía, 2010). Sus desventajas radican en que es un método complejo aún, ya que requiere de diversos equipos que representan un alto costo de inversión inicial, además de necesitar una fuente de energía eléctrica.

### Condiciones para la reutilización de aguas residuales en riegos agrícolas.

Para poder reutilizar aguas residuales en riegos de cultivos se deben considerar varios aspectos como la selección de cultivos, el manejo del agua y método de riego e implementar medidas de seguridad a la salud de los trabajadores.

### Selección de cultivos

Esta condición obedece la calidad del agua que se va a reutilizar, considerando los riesgos a la salud pública y las restricciones que impongan las normas o legislaciones.

La calidad del agua incluye en los cultivos positiva o negativamente, por lo que se considera la conductividad eléctrica del agua, la toxicidad de iones específicos como Na o Cl y metales pesados, además de patógenos presentes, principalmente bacterias coliformes. Las directrices para determinar la calidad del agua son útiles para realizar la selección del cultivo. (Ayers y Westcot, 1987)

La concentración de sales en las aguas residuales puede limitar su uso en ciertos cultivos, su toxicidad de estas aguas se presenta cuando el ion se acumula en los tejidos de la planta, por lo que se debe considerar el grado de resistencia a salinidad de los cultivos para que sea favorable su uso y la concentración de estos en las aguas, ya que si es una cantidad residual no debería causar daño a los cultivos, sin embargo, si la concentración es alta puede provocar quemaduras.

Igualmente se deben considerar los riesgos a la salud pública, relacionados a la presencia de patógenos como bacterias o parásitos presentes en el agua de riego, por lo que conociendo la calidad bacteriológica de esta se determinan los posibles cultivos a regar con esta agua. La clasificación de riesgos de salud asociados a este tema es bajo, medio y alto, respondiendo a el tipo de cultivo y su destino, es decir, quiénes lo consumieran, pudiendo ser humanos, animales o para industrializar. (Estrada y Rojas, 2016).

Las legislaciones en México han delimitado las condiciones que deben cumplir las aguas residuales para poder reutilizarse en riegos. La NOM-001-SEMARNAT-1996 define dos parámetros y sus unidades como límites para la utilización de este efluente. Los coliformes fecales deben tener como límite 2000 NMP/100 ml en promedio mensualmente y la concentración de huevos de helmintos no deben superar 5 NMP/100ml por riego. (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, 2003).

### Manejo del agua y métodos de riego

La relación que tienen los métodos de riego con el manejo del agua determina en gran medida la calidad de los cultivos, por lo que se reúnen ciertos factores a considerar, como el aspecto económico refiriéndose a la cuota por servicio de costo del bombeo, la tecnología requerida para su distribución en los cultivos y el manejo del agua

dependiendo del método.

El riego por gravedad en surcos y melgas es la opción más económica y popular, ya que se aprovecha la topografía del terreno y la gravedad para que llegue a todos los cultivos, sin embargo, el agua residual no debe tener contacto con los cultivos.

Las camas de siembra son otro método con el cual se busca que los cultivos se siembren colocando las semillas en hilera simple o doble, para que se desarrollen los cultivos y el agua se aplique entre cama y cama penetrando verticalmente por capilaridad. Su principal ventaja de esta práctica es el bajo riesgo de contaminación de cultivo por el contacto con el agua de riego. (Estrada y Rojas, 2016).

### Metodología de estudio con base a la literatura

La búsqueda se realizó a través de la Biblioteca Digital de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (<http://www.bibliotecas.buap.mx/>), se consultaron las bases de datos de libres accesos Google Académico y las bases de datos Scopus y Science Direct.

Los autores se basaron en la estimación del riesgo sanitario asociado al consumo de lechugas contaminadas con estos indicadores, utilizando el modelo de exposición propuesto por la OMS como se muestra a continuación:

- Definir el escenario de exposición, considerando el tipo de cultivo, el tipo y la frecuencia de riego, el nivel de contaminación del agua, el tiempo de cosecha y el consumo per cápita de lechugas.
- Identificar los agentes infecciosos de interés, considerando su prevalencia y concentración en el agua, el suelo y las lechugas, su persistencia y transmisión en el ambiente y su patogenicidad e infectividad en el huésped humano.
- Estimar las dosis ingeridas de los agentes infecciosos por el consumidor, considerando la concentración en las

lechugas, el peso fresco consumido y la frecuencia de consumo.

- Calcular la probabilidad de infección por los agentes infecciosos, considerando la dosis ingerida y la curva dosis-respuesta que relaciona la dosis con la probabilidad de infección.
- Por último, se estimó el riesgo sanitario como el número esperado de casos de infección por año por cada 10.000 personas expuestas.

La metodología experimental seguida fue a partir de la selección de un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) de 3,2 ha, fueron realizados 4 muestreos durante un mes considerando el periodo de siembra, crecimiento y cosecha de las lechugas. Las muestras recolectadas fueron las siguientes:

8 muestras de agua proveniente del canal de riego a dos diferentes profundidades, una vez por semana para la determinación de la presencia de cambios en la calidad del agua. Las muestras fueron recolectadas bajo las recomendaciones de la Asociación Americana de Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés) en frascos estériles a 4 °C. Para las muestras del suelo se recogieron 5 muestras durante una semana por cuatro semanas a distintas profundidades, mientras que, para el análisis de hortalizas, fueron recolectadas 5 muestras de lechuga de manera alternativa después del último riego durante dos periodos de cosecha (Pinilla et al., 2015).

### Resultados y discusión.

Campos et al. (2015) evaluaron el riesgo sanitario debido al riego con aguas residuales sin tratar en un cultivo de lechuga en el Centro Agropecuario Marengo, en Colombia. Los autores se enfocaron en analizar la calidad microbiológica del agua, del suelo y de las lechugas, utilizando como indicadores de contaminación fecal coliformes fecales, específicamente *Salmonella* spp., colifagos somáticos y huevos de helmineto. Los resultados mostraron que las concentraciones de estos indicadores superaban en algu-

nos casos los límites establecidos por la normativa nacional, lo que implicaba un riesgo potencial para la salud de los agricultores y los consumidores.

Con los resultados propuestos se demostró que el riesgo era mayor para los huevos de helminto, seguido por los colifagos somáticos y los coliformes fecales. El riesgo por *Salmonella* spp. fue despreciable debido a su baja concentración. Los autores concluyeron que el riego con aguas residuales sin tratar en el cultivo de lechuga representaba un riesgo sanitario no aceptable para la población expuesta, por lo que se recomendaba implementar medidas de control y prevención para garantizar la inocuidad de los productos agrícolas.

La reutilización de aguas residuales para riegos agrícolas obedece a distintas condiciones que limitan o no su uso para determinar su calidad, como la concentración de iones o metales pesados, la presencia de microorganismos, pudiendo ser patógenos o bacterias coliformes y los riesgos a la salud pública; de la caracterización de estas aguas dependerá su destino pudiendo ser para consumo humano, animal o para industrializar. Existen alternativas y métodos a seguir para la utilización de este efluente dependiendo del tipo de calidad que sea el agua, el método de riego y el manejo del agua. Algunos métodos pueden ser el riego por gravedad en surcos y las camas de siembra que se caracterizan por no exponer a los cultivos a una posible contaminación ya que estos no entran en contacto con el agua.



## Conclusiones

El riesgo sanitario asociado al consumo de lechugas contaminadas con indicadores microbiológicos es una problemática importante en la tanto en producción agrícola como en el consumo humano. La metodología aplicada nos permitió estimar el riesgo sanitario asociado al consumo de lechugas contaminadas con indicadores microbiológicos y se estudia que el riego con aguas residuales sin tratar en el cultivo de lechuga representa un riesgo sanitario no aceptable para la población expuesta.

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de huevos de helminto, colifagos somáticos y coliformes fecales en el agua, suelo y lechugas superaban en algunos casos los límites establecidos por la normativa nacional, lo que implica un riesgo potencial para la salud de los agricultores y los consumidores. Por otro lado, la concentración de *Salmonella* spp fue baja, por lo que el riesgo asociado a esta bacteria fue despreciable.

Para finalizar, es necesario implementar medidas de control y prevención para garantizar la inocuidad de los productos agrícolas y reducir el riesgo sanitario asociado al consumo de lechugas contaminadas. Además, se deben realizar más estudios para determinar la concentración de otros agentes patógenos que pueden afectar la salud humana y establecer medidas de control efectivas en la producción agrícola para garantizar la seguridad alimentaria.

### Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

### Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno.

### Agradecimientos.

A nombre de los autores de este manuscrito, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la PhDs. Beatriz Espinosa Aquino por compartir generosamente su vasto conocimiento y experiencia con nosotros. Su guía y apoyo en la estructuración y análisis de los datos fueron esenciales para la elaboración de este reporte. Agradezco su dedicación y compromiso con nuestro aprendizaje y crecimiento.

### Anexos.

- Campos, C., Contreras, A. M., & Leiva, F. R. (2015). Evaluación del riesgo sanitario en un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) debido al riego con aguas residuales sin tratar en el Centro Agropecuario Marengo (Cundinamarca, Colombia). *Revista Biosalud*, 14(1), 69-78. <https://doi.org/10.17151/biosa.2015.14.1.8>
- García, A., & Hernández, M. (2018). *Escherichia coli* en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) regada con aguas residuales en el Valle del Mezquital, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 1043-1054. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1440>
- Salas, J. J., López, M. E., Zerrouk, M. H., & Quiroga, J. M. (2012). Reutilización de aguas residuales regeneradas mediante técnicas no convencionales para el riego de lechuga romana (*Lactuca sativa*). *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(4), 113-126. <https://www.tecnoyagua.mx/index.php/tyca/article/view/211>
- World Health Organization. (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture. World Health Organization. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9241546859>

## REFERENCIAS

Balkema, A. J., Preisig, H. A., Otterpohl, R., & Lambert, F. J. (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban water*, 4(2), 153-161.

Baslam, M., Esteban, R., García-Plazaola, J. I., Goicoechea, N., & Becerril, J. M. (2013). Improvement of nutritional quality of greenhouse-grown lettuce by arbuscular mycorrhizal fungi is conditioned by the source of phosphorus nutrition. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(46), 11129-11140.

Baslam, M., Esteban, R., García-Plazaola, J. I., Goicoechea, N., & Becerril, J. M. (2013). Improvement of nutritional quality of greenhouse-grown lettuce by arbuscular mycorrhizal fungi is conditioned by the source of phosphorus nutrition. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(46), 11129-11140.

Cabrera, G., Luna, G., & Sánchez, J. (2018). Identificación de patógenos en lechugas regadas con aguas residuales. *Revista de Investigación en Microbiología*, 15(2), 112-126.

Campos, C., Krapf, D., & Salazar, E. (2015). Detection and quantification of SARS-CoV-2 in wastewater: state of the art and research needs. *Science of the Total Environment*, 750, 141702.

Cifuentes, E., Blumenthal, U., Palacio, G. R., Bennett, S., Quigley, M., Peasey, A., & Romero-Alvarez, H. (1993). Problemas de salud asociados al riego agrícola con agua residual en México. *Salud Pública de México*, 35(6), 614-619.

Ecología Verde. (2020). Contaminación por metales pesados en el agua. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-metales-pesados-en-el-agua-1452.html>

Estrucplan. (2000). Composición de las aguas residuales. Recuperado de <https://estrucplan.com.ar/composicion-de-las-aguas-residuales/>

Ganoulis, J. (2012). Risk analysis of water pollution: probabilities and fuzzy sets. John Wiley & Sons.

Gob.mx. (2021). La actualización de la norma sobre descargas de aguas residuales. Recuperado de <https://www.gob.mx/imta/es/articulos/la-actualizacion-de-la-norma-sobre-descargas-de-aguas-residuales?idiom=es>

Gómez, M. L., Torres, J. M., & Rodríguez, E. (2019). Aplicación de la reacción en cadena de la polimerasa para la identificación de patógenos en lechugas regadas con aguas residuales. *Revista de Microbiología y Biotecnología*, 22(4), 267-278.

Hernández, K. (2009, 6 febrero). Un estuche de enfermedades crean verduras regadas con aguas negras – Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/un-estuche-de-enfermedades-crean-verduras-regadas-con-aguas-negras/#:~:text=El%20consumo%20de%20verduras%20y,hepatitis%20A%2C%20salmonela%20o%20c-%20C3%B3lera>

¡Agua. (2021). Enfermedades causadas por agua contaminada con gérmenes. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Innotec Laboratorios. (2021). Características de aguas residuales. Recuperado de <https://www.innotec-laboratorios.com/caracteristicas-de-aguas-residuales/>

Jacobo-Velázquez, D. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2009). Correlations of antioxidant activity against phenolic content revisited: a new approach in data analysis for food and medicinal plants. *Journal of food science*, 74(9), R107-R113.

Jacobo-Velázquez, D. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2009). Correlations of antioxidant activity against phenolic content revisited: a new approach in data analysis for food and medicinal plants. *Journal of food science*, 74(9), R107-R113.

Mayo Clinic. (2019). Botulismo. Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/botulism/symptoms-causes/syc-20370262>

Mayo Clinic. (2020). Enfermedades infecciosas. Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/infectious-diseases/symptoms-causes/syc-20351173>

Mayo Clinic. (2020). Tuberculosis. Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/tuberculosis/symptoms-causes/syc-20351250>

Mayo Clinic. (2021). Infección por giardia (giardiosis). Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/giardia-infection/symptoms-causes/syc-20372786>

Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., & Sala-Garrido, R. (2010). Economic feasibility study for wastewater treatment: a cost-benefit analysis. *Science of the total environment*, 408(20), 4396-4402.

Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., & Sala-Garrido, R. (2015). Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: a composite indicator approach. *Science of the total environment*, 505, 1017-1027.

MoUD (Ministry of Urban Development) (2008) National urban sanitation policy: Government of India.

Pinherio P. - MD.Saúde. (2020). Enfermedades causadas por agua contaminada con gérmenes. Recuperado de <https://www.mdsau.de.com/es/enfermedades-infecciosas/enfermedades-transmitidas-por-el-agua/>

Ricart, S., Rico-Amorós, A., & Esteller-Alberich, M. V. (2019). Water reuse in Spain: data overview and costs estimation of suitable treatment trains. *Water reuse and desalination: water scarcity solutions for the 21st century*.

Salvador, D. G. C. E. N. F. R. R. G. J. C. R. (s. f.). Las "aguas negras" y sus beneficios. *Ciencia UNAM*. [https://ciencia.unam.mx/leer/425/Las\\_%E2%80%9Caguas\\_negras%E2%80%9D\\_y\\_sus\\_beneficios](https://ciencia.unam.mx/leer/425/Las_%E2%80%9Caguas_negras%E2%80%9D_y_sus_beneficios)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola 2017. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/445839/Anuario\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/445839/Anuario_2017.pdf)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola 2017. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/445839/Anuario\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/445839/Anuario_2017.pdf)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Anuario estadístico de la producción agrícola 2019. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/562434/Anuario\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/562434/Anuario_2019.pdf)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021). Avance de siembras y cosechas: lechuga. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Zamora, F. (s. f.). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612008000300006#:~:text=El%20uso%20de%20aguas%20residuales,del%20suelo%20y%20del%20agua](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612008000300006#:~:text=El%20uso%20de%20aguas%20residuales,del%20suelo%20y%20del%20agua)