

**REVISIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO
MICROBIOLÓGICO EN VEGETALES QUE SE CONSUMEN CRUDOS Y SON
REGADOS CON AGUAS SUPERFICIALES CONTAMINADAS**

**YENNY CAROLINA LARROTTA DURAN
BYRON MAURICIO ORTIZ ARENAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**REVISIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO
MICROBIOLÓGICO EN VEGETALES QUE SE CONSUMEN CRUDOS Y SON
REGADOS CON AGUAS SUPERFICIALES CONTAMINADAS**

**YENNY CAROLINA LARROTTA DURAN
BYRON MAURICIO ORTIZ ARENAS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Civil**

**Directora:
ISABEL CRISTINA DOMÍNGUEZ RIVERA
Ingeniería Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma, dedico esta tesis a mi padre y mi madre que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi hermano que siempre ha estado junto a mi brindándome su apoyo incondicional.

A mi familia en general por brindarme su apoyo y compartir con migo buenos y malos momentos.

Y a mis amigos por hacer parte de mi formación profesional y por su total incondicionalidad.

Yenny Carolina Larrotta Durán

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios y a la vida por todo cuanto me ha dado, por el lugar donde nací y por la formación de mis padres, gracias por tanta dedicación y los valores adquiridos en mi familia que van siempre conmigo en cualquier lugar y cualquier instante al enfrentar una situación; porque sin ello no hubiese podido seguir adelante con la tarea de día a día, gracias y mil gracias por todo, y agradezco a la vida y a Dios por haberme situado donde estoy.

Byron Mauricio Ortiz Arenas

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1. METODOLOGÍA | 17 |
| 1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 17 |
| 1.2 FUENTES DE DATOS Y ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA | 17 |
| 1.3 ADMINISTRACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN..... | 18 |
| 1.4 ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN | 19 |
| 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 20 |
| 2.1.1 Evaluación de riesgos microbiológicos cuantitativa (ERM cuantitativa) | 21 |
| 2.1.2 Evaluación de riesgos cualitativa (incluyendo la clasificación de riesgo) | 21 |
| 2.1.3 Evaluación del impacto a la salud (EIS)..... | 22 |
| 2.2. REVISIÓN DE ESTUDIOS QUE APLICAN LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS..... | 23 |
| 2.2.1. Evolución de las publicaciones sobre el tema..... | 23 |
| 2.2.2. Países donde se desarrolla la investigación. | 25 |
| 2.2.3 Distribución de las metodologías | 26 |
| 2.3. PRODUCTOS ESTUDIADOS..... | 27 |
| 2.4 TIPOS DE AGUA PARA EL RIEGO DE LOS CULTIVOS ESTUDIADOS | 29 |
| 2.5 MEDIO AMBIENTE LOCAL | 31 |
| 2.6 PATÓGENOS IDENTIFICADOS..... | 31 |
| 2.7 POTENCIAL DE APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS IDENTIFICADAS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER..... | 34 |
| 2.8 LIMITACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS | 37 |
| 2.8.1 La EIS en la actualidad no se trata como una herramienta validada y aplicable en cualquier circunstancia | 38 |

| | |
|----------------------|----|
| 3. CONCLUSIONES..... | 41 |
| REFERENCIAS | 43 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 49 |
| ANEXOS | 56 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Número de artículos publicados cada año entre 2003 y 2015 | 24 |
| Figura 2. Número de estudios realizados en cada región..... | 25 |
| Figura 3. Porcentaje de las metodologías identificadas | 26 |
| Figura 4. Productos agrícolas | 27 |
| Figura 5. Porcentaje de tipos de agua para el riego identificadas | 30 |
| Figura 6. Patógenos identificados..... | 32 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Etapas de la evaluación de riesgo cuantitativa | 21 |
| Tabla 2. Etapas de la evaluación de riesgo cualitativa | 22 |
| Tabla 3. Etapas de la evaluación de impacto a la salud | 23 |
| Tabla 4. Grupos de frutas | 28 |
| Tabla 5. Comparación de las metodologías estudiadas para la evaluación de riesgos microbiológicos en vegetales | 34 |
| Tabla 6. Productos potenciales en el departamento de Santander según DANE 2014..... | 39 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---------------------------|-------------|
| ANEXO A. Resultados | 56 |

RESUMEN

TÍTULO: REVISIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO MICROBIOLÓGICO EN VEGETALES QUE SE CONSUMEN CRUDOS Y SON REGADOS CON AGUAS SUPERFICIALES CONTAMINADAS*

AUTORES: YENNY CAROLINA LARROTTA DURAN**
BYRON MAURICIO ORTIZ ARENAS

PALABRAS CLAVE: Productos frescos, riego, agua, evaluación de riesgos microbiológicos

DESCRIPCIÓN

El consumo de frutas y verduras frescas es beneficioso para la salud, sin embargo, cada vez hay más pruebas de la contaminación del agua de riego en estos productos, lo cual genera preocupación acerca de los posibles riesgos para la salud pública. Este estudio tuvo como objetivo revisar metodologías para evaluar el riesgo microbiológico asociado al uso de aguas contaminadas en el riego de vegetales frescos. Los estudios relevantes fueron identificados en dos bases de datos electrónicas: ScienceDirect y Scopus. Para ser elegibles, los estudios debían mostrar una información clara y suficiente sobre la metodología aplicada. De las 200 citas identificadas, 40 artículos cumplieron los criterios de elegibilidad; 25 investigaciones hacían referencia a metodologías de evaluación de riesgos cuantitativas, 11 cualitativas y 4 de impactos a la salud. La mayoría de estos estudios se realizaron en vegetales de hojas verdes y tomates; el agua residual fue identificada como el tipo de agua más usada para el riego de vegetales, además se evidenció en todos los estudios alto porcentaje de patógenos, entre los más destacados están: E. coli, salmonella, coliformes fecales y totales. La metodología de evaluación cuantitativa fue la más aplicada en los estudios debido a que proporciona estimaciones de los niveles reales de patógenos en el agua o la probabilidad de que esté expuesta a la contaminación microbiológica. Las metodologías anteriormente enunciadas tienen una incertidumbre considerable debido muchas veces a la falta de datos. Para seleccionar la metodología con mayor potencial de aplicación en Santander se tuvo en cuenta aspectos como: recursos, herramientas e información; recomendando inicialmente la aplicación de las metodologías cualitativas y cuantitativas respectivamente, además los resultados de las evaluaciones anteriores pueden aportar a una evaluación del impacto a la salud para establecer recomendaciones o políticas acerca del riesgo microbiológico.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil Directora: Isabel Cristina Domínguez Rivera, Ingeniería Civil.

ABSTRACT

TITLE: REVIEW OF METHODOLOGIES FOR RISK ASSESSMENT OF MICROBIOLOGICAL VEGETABLES CONSUMED RAW AND IRRIGATED WITH CONTAMINATED SURFACE WATER

AUTORES: YENNY CAROLINA LARROTTA DURAN**
BYRON MAURICIO ORTIZ ARENAS

KEYWORDS: Fresh products, irrigation, water, microbiological risk assessment

DESCRIPTION

The consumption of fresh fruits and vegetables is beneficial for health. However, there is evidence of contamination of irrigation water in these products, which raises concerns about potential risks to public health. This study aimed to review methodologies for assessing the microbiological risk associated with the use of contaminated irrigation water used in fresh vegetables. Relevant studies were identified on two electronic databases: ScienceDirect and Scopus. To be eligible, studies had to show a clear and sufficient information on the methodology applied. Of the 200 citations identified, 40 articles met the eligibility criteria; 25 investigations were related to quantitative risk assessment, 11 qualitative and 4 were about health impact assessment. Most of these studies were conducted in green leafy vegetables and tomatoes; all the studies identified a high percentage of pathogenic organisms, among the most prominent were: E. coli, salmonella, fecal and total coliforms. The methodology for quantitative assessment was the most applied in studies because it provides estimates of the actual levels of pathogens in water or the likelihood to be exposed to microbiological contamination, however, there is considerable uncertainty in the calculated risk. The methodologies outlined above have considerable uncertainty often due to lack of data. To select the methodology with higher potential for application in Santander aspects such as resources, tools and information were considered. Thus, it is recommended initially the application of qualitative and quantitative methodologies respectively. Then, the results of the previous methodologies can be inputs for impact assessment to establish health policies or recommendations on microbiological risk.

* Degree work

** Faculty of Physical Engineering - Mechanical. School of Civil Engineering Director: Isabel Cristina Dominguez Rivera, Civil Engineering.

INTRODUCCIÓN

El consumo de frutas y verduras ha aumentado en las últimas décadas, debido al beneficio que representa para la salud y se ha promovido la expansión en el mercado de estos productos por su creciente demanda [1]. Sin embargo, se han detectado problemas de contaminación en la producción de estos alimentos siendo un riesgo para la salud humana [1].

El agua es considerada un factor favorable para la contaminación, ya que es usada como fuente importante en actividades de riego durante la producción de frutas y verduras [2]. Debido al crecimiento de la población en zonas urbanas existe una gran demanda por el uso del agua, y por lo tanto puede generarse contaminación de las fuentes hídricas, las cuales se encuentran cerca de los cultivos. En muchos países, las aguas superficiales son la principal fuente utilizada para el riego [3]. Además, es frecuente el uso de aguas superficiales contaminadas o poco tratadas por la falta de acceso al agua potable. Por lo tanto, con el ánimo de realizar correctamente las prácticas agrícolas existen alternativas emergentes para orientar la gestión de riesgos y la identificación de patógenos [1][3].

Actualmente existen normas y directrices para garantizar la seguridad de los alimentos. Estas normas son determinadas de acuerdo al riesgo identificado en las prácticas durante la producción en el agua de riego. Según los brotes registrados por el consumo de frutas y verduras en las regiones donde se aplicaron las metodologías de evaluación de riesgo microbiológico, se identificó el agua como la principal causa de las enfermedades, siendo importante tratar la temática para mantener la producción de alimentos que son beneficiosos para la salud [1].

Este trabajo tiene como objetivo revisar las metodologías de evaluación de riesgos microbiológicos asociados al uso de aguas contaminadas en el riego de vegetales que se consumen crudos. Se busca identificar metodologías de evaluación de riesgos microbiológicos asociados al riego de vegetales que se consumen crudos, para realizar un análisis comparativo de las metodologías identificadas y así establecer cuales tienen mayor potencial de aplicación en el departamento de Santander.

1. METODOLOGÍA

Se utilizó un enfoque de revisión sistemática, que tiene como objetivo organizar la literatura existente que apoya a preguntas generales de investigación sobre un tema específico [4]. La revisión incluyó las siguientes cuatro fases principales: (i) la identificación de la pregunta de investigación; (ii) la identificación de los estudios pertinentes; (iii) selección de los estudios; y (iv) reunir, resumir, analizar y comunicar los resultados.

1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Esta revisión fue guiada por la pregunta "¿Cuáles son las metodologías actualmente aplicadas para evaluar el riesgo microbiológico asociado al uso de aguas contaminadas en el riego de vegetales que se consumen crudos? Los aspectos considerados para abordar la pregunta de investigación fueron los siguientes: metodologías (cualitativas, cuantitativas, evaluación del impacto a la salud); tipo de agua de riego (superficiales, residuales) y resultado (enfermedades, patógenos).

1.2 FUENTES DE DATOS Y ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

La búsqueda de los estudios se llevó a cabo en dos bases de datos electrónicas, proporcionadas por la Universidad Industrial de Santander: ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com/>) y Scopus (<http://www.scopus.com/>), se seleccionaron estas bases de datos porque son integrales y cubren las disciplinas

de agricultura, salud, ambiente, estudios bibliográficos y evaluaciones de producción científica. Se realizaron búsquedas utilizando las siguientes palabras clave: evaluación, riesgos, riego, microbiológico, vegetales y agua; se eligieron las publicaciones relevantes de la literatura revisada con base a los siguientes criterios:

- Evaluación de riesgos para identificar enfermedades o presencia de patógenos.
- Origen alimentario microbiano patógeno definido (bacterias, virus, protozoos).
- Consumo de productos frescos y frecuencia de consumo.
Efectos del uso del agua o tratamientos del agua en la calidad de los productos frescos.

No se aplicó ninguna restricción de idioma para identificar los estudios pertinentes y se revisaron las referencias de revisiones publicadas e informes, también esta revisión se amplió no solo a aguas superficiales y vegetales, sino a todo tipo de aguas y productos frescos, debido a que la búsqueda arrojó pocos estudios si solo se restringía a vegetales que se consumen crudos y aguas superficiales contaminadas.

1.3 ADMINISTRACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

De acuerdo a la información obtenida, los artículos se administraron usando la aplicación de Mendeley (<https://www.mendeley.com/>), la cual permitió gestionar, compartir referencias y documentos de investigación.

1.4 ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN

Un enfoque de síntesis narrativa se utilizó para proporcionar una visión general de la literatura existente. En primer lugar, se realizaron fichas de revisión de cada artículo y luego tablas de comparación de las diferentes metodologías encontradas, considerando los estudios aplicados, los resultados obtenidos y el tipo de agua de riego; teniendo esta información, se dio paso al análisis de éstas, identificando las ventajas y desventajas de la aplicación de cada metodología.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se encontró inicialmente la descripción de las metodologías potencialmente aplicables para evaluar el riesgo, seguido de la evolución de las publicaciones sobre el tema, los países donde se desarrollaron dichas evaluaciones y la distribución de las metodologías en los estudios, continuando con la identificación de los productos más relevantes, los tipos de agua para el riego de dichos productos, los patógenos hallados en los productos y finalmente una comparación de las metodologías identificadas.

Metodologías para la Evaluación de riesgos

La Evaluación de Riesgos es una estrategia que con base en hechos científicos, de una forma sistemática, permite estimar la probabilidad de que ocurra un efecto adverso (y la gravedad del mismo) sobre el ser humano o sobre el medio ambiente como consecuencia de la exposición a un agente causal. La evaluación de riesgos tiene cuatro conjuntos generales de actividades: i) identificación del peligro, ii) caracterización de la exposición, iii) evaluación de los efectos adversos probables y iv) estimación de los riesgos[3].

Existen varias metodologías para la evaluación del riesgo, entre ellas:

- Evaluación de riesgos microbiológicos cuantitativa (ERM cuantitativa).
- Evaluación de riesgos cualitativa (incluyendo la clasificación de riesgo).
- Evaluación del impacto a la salud [5].

2.1.1 Evaluación de riesgos microbiológicos cuantitativa (ERM cuantitativa).

En esta evaluación la probabilidad y/o la magnitud de las consecuencias se expresan numéricamente, debiendo incluir una descripción numérica de la incertidumbre [5]. Este método busca medir los niveles reales de la enfermedad en la población. Los pasos en este tipo de evaluación se sintetizan en la Tabla 1.

Tabla 1. Etapas de la evaluación de riesgo cuantitativa

| | Etapas | Descripción |
|---|---|--|
| 1 | El problema y la identificación del peligro | Describir el entorno ambiental en general y patógenos relevantes que pueden provocar efectos agudos o crónicos para la salud humana. |
| 2 | Análisis de dosis-respuesta | Encontrar la relación adecuada (s) entre la exposición al agente patógeno y la infección o enfermedad (a partir de estudios epidemiológicos). |
| 3 | Exposición | Determinar el tamaño y la naturaleza de las poblaciones expuestas a cada patógeno identificado por ruta, la cantidad y la duración de la exposición. |
| 4 | Caracterización del Riesgo | Integrar la información de la exposición y dosis-respuesta, para expresar los resultados de salud pública, teniendo en cuenta la variabilidad y la incertidumbre de las estimaciones |

Fuente: Adaptado de Hunter, P. R. Payment, P. Ashbolt, N. and Bartram, J. "Assessment of risk," pp. 79–100.

2.1.2 Evaluación de riesgos cualitativa (incluyendo la clasificación de riesgo).

La probabilidad y/o la magnitud de las consecuencias de este tipo de evaluación se expresan en términos cualitativos, por ejemplo alta, media o baja [3]. Los métodos cualitativos para el análisis de los peligros microbianos y gestión de riesgos son comunes en la industria alimentaria. Se aplican como parte de un proceso sistemático que incluye puntos de Análisis de Peligros y Control Crítico. Los pasos en este tipo de evaluación se sintetizan en la Tabla 2.

Tabla 2. Etapas de la evaluación de riesgo cualitativa

| | Etapa | Descripción |
|---|------------------|--|
| 1 | Peligro | Identificación de escenarios peligrosos, tales como la contaminación masiva de las fuentes de agua, fallas en el sistema de tratamiento (es decir, no necesariamente limitado a un solo patógeno). |
| 2 | Probabilidad | Clasificación de la probabilidad de que el evento es (por ejemplo, # eventos por año). |
| 3 | Consecuencia | Clasificación o descamación de la consecuencia (por ejemplo, lesiones a corto plazo o la mala salud a través de la incapacidad permanente o muerte). |
| 4 | Escala de efecto | Consideración del número de personas afectadas por la situación de peligro. |
| 5 | Riesgo | Diferentes ponderaciones pueden ser administradas para (2) a (3) y se multiplican para dar un valor para cada escenario de riesgo. |
| 6 | Rango | Cada escenario de riesgo es entonces clasificado, para proporcionar una lista de prioridades para la gestión de riesgos (ejemplo si es alto o bajo el riesgo) |

Fuente: Adaptado de Hunter, P. R. Payment, P. Ashbolt, N. and Bartram, J. "Assessment of risk," pp. 79–100.

2.1.3 Evaluación del impacto a la salud (EIS). La EIS se ha definido como una combinación de procedimientos, métodos y herramientas mediante los que una política, programa o proyecto puede ser evaluado en función de sus potenciales efectos sobre la salud de una población y la distribución de los mismos dentro de dicha población [3]. Los pasos en este tipo de evaluación se sintetizan en la Tabla 3.

Tabla 3. Etapas de la evaluación de impacto a la salud

| | Etapas | Descripción |
|---|-----------------------------|--|
| 1 | Definición del problema | El planteamiento del problema define los objetivos y el alcance de la evaluación de riesgos. El proceso está basado en tres componentes del riesgo (contaminantes, exposición y receptores). La definición del problema especifica qué aspectos deben ser evaluados. |
| 2 | Evaluación de la toxicidad | En esta etapa se identifica la toxicidad del contaminante o de los contaminantes a los cuales un receptor está o puede estar expuesto, identificando la correspondencia entre la cantidad del tóxico y la magnitud del efecto, concepto conocido como la relación dosis-respuesta. |
| 3 | Evaluación de la exposición | La evaluación de la exposición se basa en una descripción detallada, donde se puede emplear metodologías cualitativas y cuantitativas para identificación de las rutas y vías de exposición, caracterización de los receptores y escenarios de exposición, selección de factores de exposición y cálculo de la dosis de exposición del entorno. |
| 4 | Caracterización del riesgo | Es el proceso que implica combinar el peligro, la respuesta a la dosis y las evaluaciones de exposición para describir el riesgo general que representa un contaminante. También, explica las suposiciones utilizadas en la evaluación de exposición, así como las incertidumbres inherentes a la evaluación sobre cómo respondieron a la dosis para elaborar conclusiones precisas. |

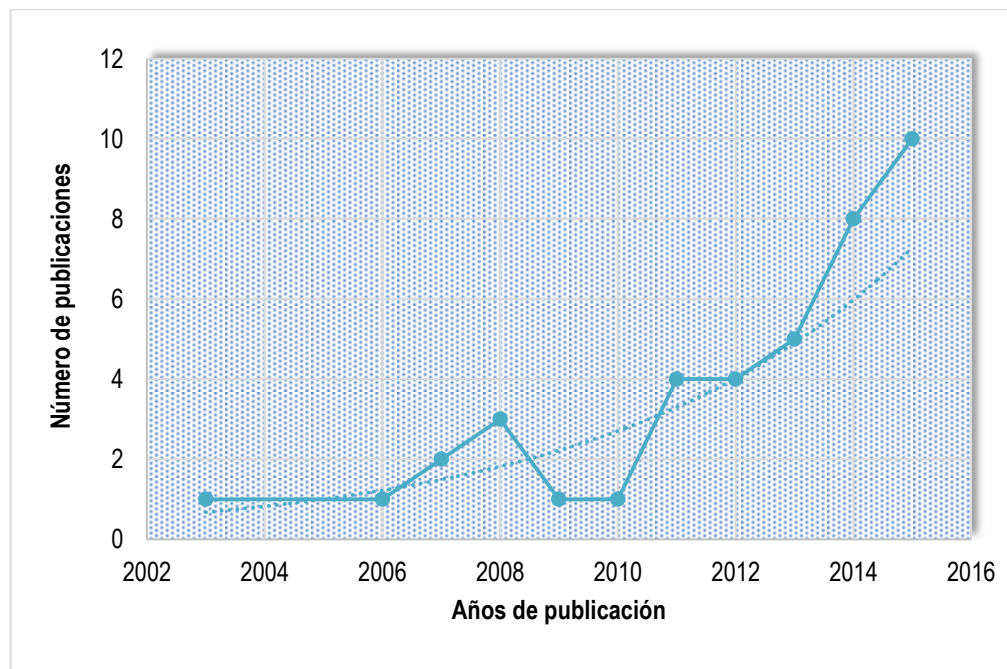
Fuente: Adaptado de Bacigalupe, A. Esnaola, S. Calderón, C. Zuazagoitia, J. and Aldasoro, E. "La evaluación del impacto sobre la salud: una herramienta para incorporarla salud en las intervenciones no sanitarias," *GacSanit*, vol. 23, no. 1, pp. 62–66, 2009

2.2. REVISIÓN DE ESTUDIOS QUE APLICAN LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

2.2.1. Evolución de las publicaciones sobre el tema. En la búsqueda de la literatura, se encontró que el número de artículos de investigación relacionados directamente con las metodologías para evaluar el riesgo microbiológico asociado al uso de aguas contaminadas en el riego de vegetales aumentó de 10 a 50 entre 2003 y 2015, lo que indica el rápido desarrollo de la investigación en el campo de

las metodologías de evaluación de riesgo microbiológico (ver Fig. 1). Se hallaron artículos de años anteriores al 2003, pero los más destacados, es decir, los que identificaban qué tipo de metodologías se había aplicado, tipos de agua, los productos frescos evaluados y los patógenos identificados se encuentran en el periodo del 2003 al 2015. Esta investigación inicial identificó un total de 200 citas, después de revisar los títulos y los resúmenes, 78 artículos potencialmente relevantes fueron revisados con detalle; 55 estudios se mantuvieron para su inclusión, pero 15 documentos fueron finalmente excluidos debido a que carecían de información crítica, es decir, no se identificaba qué tipo de metodología se utilizaba o no se mostraba clara causalidad de la contaminación del producto. Esto dejó 40 estudios con datos suficientes para hacer la revisión de los cuales: 25 documentos hacían referencia a evaluación de métodos cuantitativos, 11 a métodos cualitativos y finalmente 4 artículos se referían a evaluaciones del impacto a la salud.

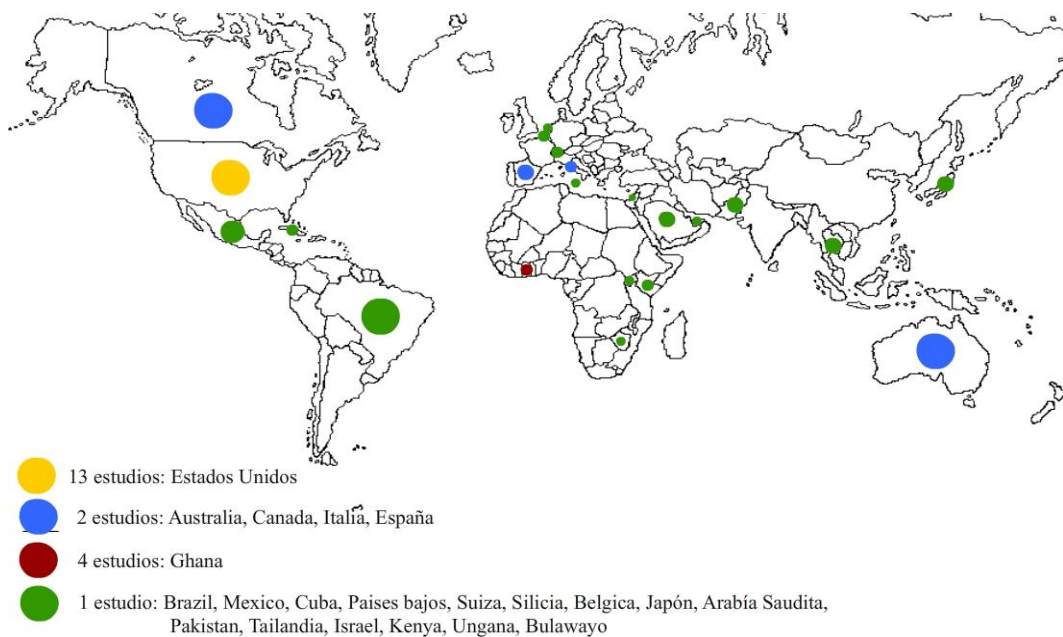
Figura 1. Número de artículos publicados cada año entre 2003 y 2015



Esta figura representa sólo los artículos de investigación que fueron seleccionados para el análisis de las metodologías, demostrando mayor interés en el campo de investigación de las metodologías de evaluación de riesgo microbiológico para los últimos años ilustrados en la figura.

2.2.2. Países donde se desarrolla la investigación. La Figura 2 muestra el número de estudios realizados en cada región; cada color indica el número de estudios realizados en dicha región. Se puede observar que la mayoría de estudios se realizaron en Estados Unidos, ya que siendo un país de mayor desarrollo ha contado con la capacidad y los recursos necesarios para implementar controles y gestionar el problema asociado con la calidad de los productos frescos. No se encontraron estudios en Colombia en las bases de datos consultadas, ya que no se han desarrollado sistemas para la evaluación del riesgo microbiológico o no están disponible tales sistemas en las bases de datos, solo hay información disponible en los puntos ilustrados en la figura 2.

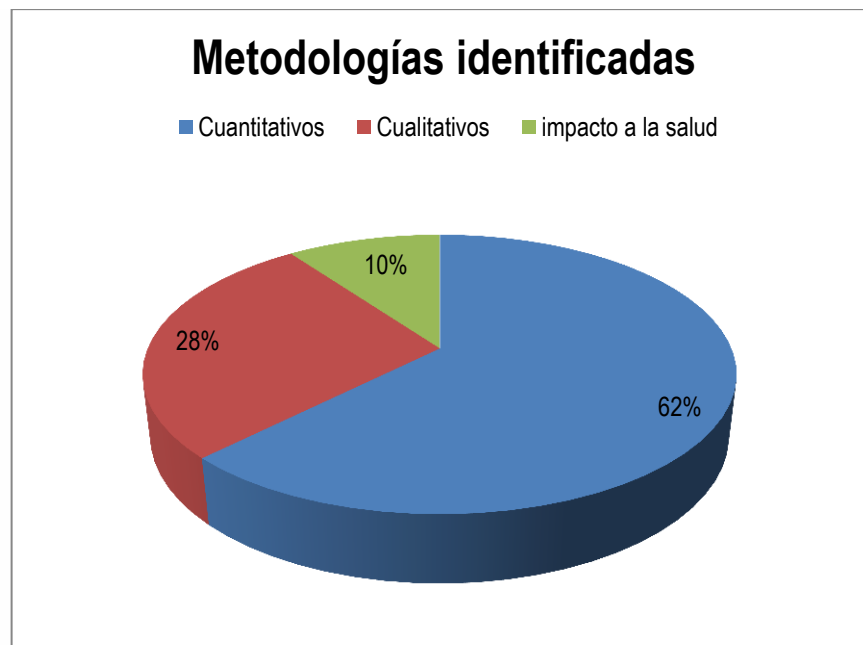
Figura 2. Número de estudios realizados en cada región.



Esta figura representa sólo los artículos de investigación que fueron seleccionados para el análisis de las metodologías.

2.2.3 Distribución de las metodologías. La Figura 3 muestra las diferentes metodologías aplicadas para los estudios donde se evidencia un alto nivel de aplicación de la evaluación de riesgos cuantitativa, a pesar de ser esta la metodología que requiere un estudio más elaborado para el modelamiento y simulación de los eventos relacionados con la contaminación basada en funciones matemáticas.

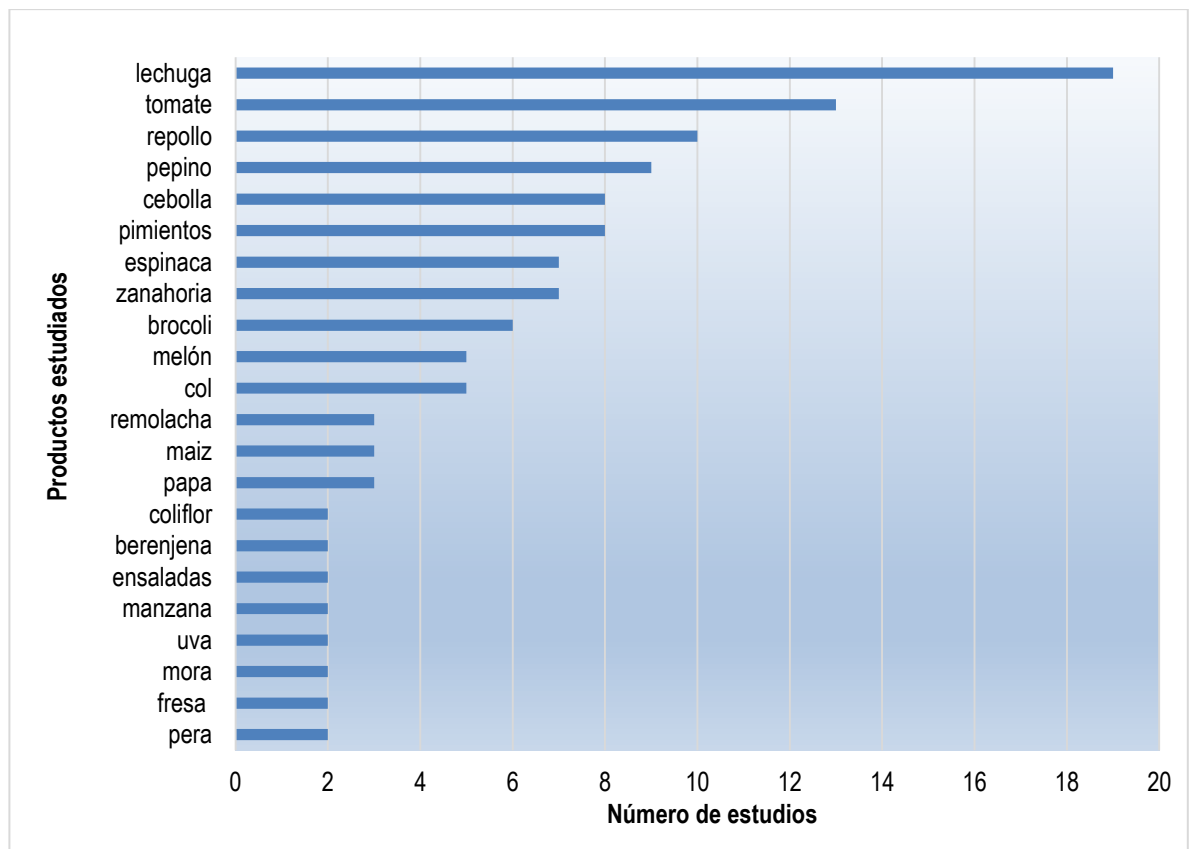
Figura 3. Porcentaje de las metodologías identificadas



2.3. PRODUCTOS ESTUDIADOS

La Figura 4., representa los alimentos de mayor consideración para los estudios elegidos. Puede observarse que productos como la lechuga, el tomate y el repollo tuvieron mayor relevancia debido a su mayor preocupación en cuanto a los peligros microbiológicos y desarrollar patógenos, se le ha otorgado según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) como los de mayor prioridad.

Figura 4. Productos agrícolas



Los alimentos que representan mayor preocupación son las verduras de hoja verde como la espinaca, lechuga o ensaladas, la cuales presentan alto riesgo según los registros de enfermedades en Europa y Estados Unidos [7][8][9][10][11]. Se destaca también el tomate como un alimento susceptible a la alta contaminación [11][12][10]. Hacen parte del tema también otros productos que no son alarmantes pero que representan un riesgo para la salud por el uso no adecuado de algunas prácticas como el cultivo de duraznos [13].

El pH de la fruta fresca es un factor determinante en el crecimiento de patógenos en los alimentos, ya que existe una relación entre la presencia de patógenos y el pH de la fruta [14][15]. El pH es en general, una medida de acidez o alcalinidad (1 – 7 pH ácido y de 7 – 14 pH básico). Se considera que las frutas con un pH significativamente alto pueden favorecer **más el crecimiento microbiano** [16]. El estudio [16] caracterizó los riesgos significativos de acuerdo a la temperatura y los límites de crecimiento de las bacterias de acuerdo al pH que posee el alimento. El estudio concluyó que el crecimiento de patógenos es poco probable en alimentos con pH menor a 4, para mayores a 4 es mayor la probabilidad de presentar bacterias [16](ver Tabla 4).

Tabla 4. Grupos de frutas

| Grupo I – Fruta con alta acidez | ph | Grupo II – Fruta de baja acidez | ph |
|---------------------------------|----|---------------------------------|----|
| ≤ 4.0 | | ≥ 4.0 | |
| Pomelo | | Melón | |
| Limón | | Melón dulce | |
| Lima | | Sandía | |
| Piña | | Banana | |
| Kiwi | | Papaya | |
| Maracuyá | | Guayaba | |
| Frambuesa | | Naranja | |
| Fresa | | Uva | |

| Grupo I – Fruta con alta acidez | ph | Grupo II – Fruta de baja acidez | ph |
|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| | ≤ 4.0 | | ≥ 4.0 |
| Grosella negra | | Manzana | |
| Arándano | | Pera | |
| Grosella | | Melocotón | |
| | | Ciruela | |
| | | Cereza | |
| | | Albaricoque | |
| | | Mango | |
| | | Mora | |

Fuente: Adaptado de Bassett J. and McClure, P. "A risk assessment approach for fresh fruits," *Journal of Applied Microbiology*. 2008

Adicionalmente, se encontró que la superficie o piel de las frutas puede actuar como una barrera ante los microorganismos patógenos, pero esta ventaja podría limitarse por la manipulación cruzada. Por ejemplo, los alimentos pueden presentar daños en los tejidos debido al mal manejo de los productos [16].

2.4 TIPOS DE AGUA PARA EL RIEGO DE LOS CULTIVOS ESTUDIADOS

El agua es un elemento indispensable durante la preparación de los alimentos, y ha sido una fuente importante de contaminación de éstos [9]. El agua de riego en las prácticas agrícolas puede clasificarse como aguas subterráneas, de pozo o tratadas [17]. Sin embargo, el poco acceso a fuentes de agua fresca ha tenido como necesidad el uso de otros tipos de agua para el riego. Por ejemplo, de los tipos de aguas encontradas en el análisis se obtuvo como resultado que el agua residual es la más utilizada para el riego de vegetales en los estudios analizados (Figura 5), generando mayor problema de salud a las personas por el consumo de estos productos. Otras fuentes de aguas para el riego encontradas en los

diferentes estudios revisados son principalmente superficiales [18][19], residuales tratadas [20][21][22] y de reservas subterráneas [23] o de lluvia recolectada [24][25].

Figura 5. Porcentaje de tipos de agua para el riego identificadas



Los estudios sugieren que las aguas lluvias recolectadas son menos propensas a la contaminación si se utilizan correctamente [1]. Estudios realizados en China, Marruecos y España, demostraron que el agua natural podría influir en la contaminación de las plantas [11]. Además, el tipo de riego influye en la contaminación. Los estudios sugieren que el riego por goteo tiene menos probabilidades de generar contaminación debido a que limita el contacto directo con el tejido vegetal comestible que el riego por surcos y el riego por aspersión [12][26][11]. Otros estudios encontraron que el riego por aspersión (modalidad de

riego mediante la cual el agua llega a las plantas en forma de lluvia), rociador o por goteo produjo un riesgo más alto a contaminar el alimento que el riego por surcos y la pulverización con niebla [12][11]. Los estudios sugieren que los recursos hídricos se manejen de una forma sostenible, ya que pueden generar riesgos para la salud, especialmente al promoverse la reutilización de aguas residuales [27].

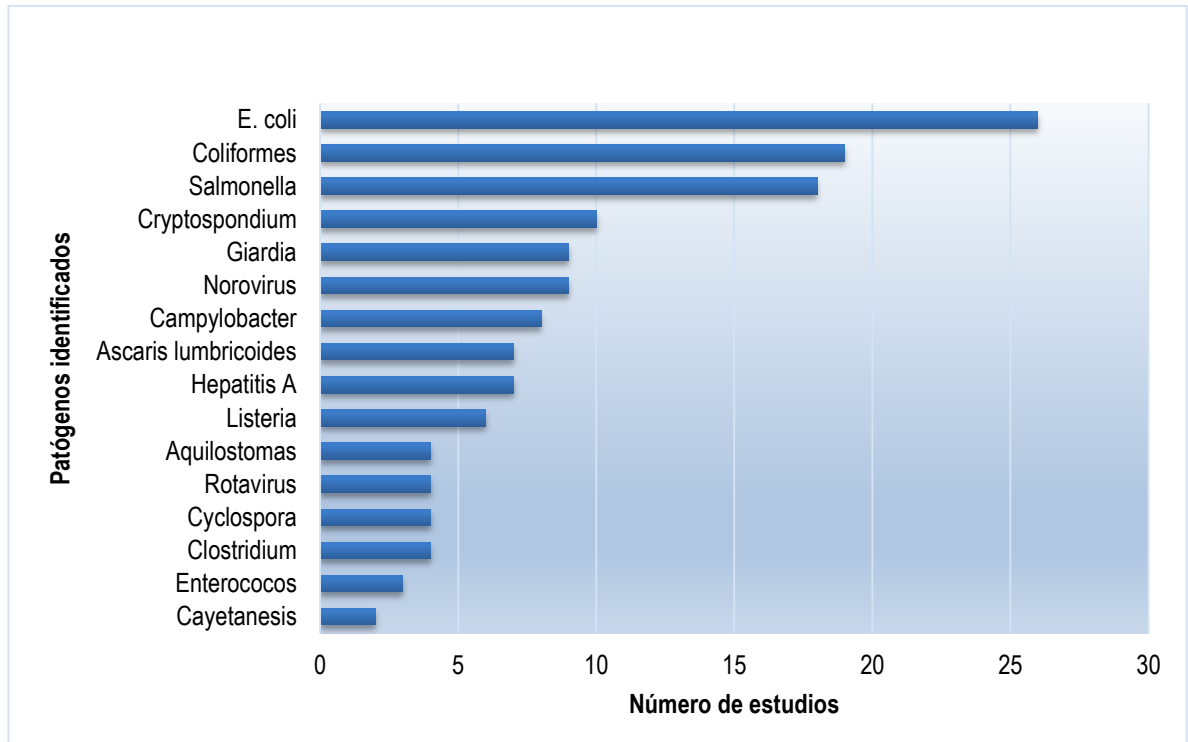
2.5 MEDIO AMBIENTE LOCAL

El ambiente local puede generar riesgos para los productos en la siembra. Por ejemplo, se detectó contaminación en muestras de hojas de espinaca que fueron expuestas a moscas domésticas contaminadas. En el ambiente local también que las temperaturas cálidas y la alta humedad facilitan la supervivencia o el crecimiento de patógenos en los productos agrícolas [28][11]. El suelo no se considera una fuente principal de contaminación, existe baja probabilidad en la transmisión de patógenos. Adicionalmente, en el medio ambiente local existen factores que pueden favorecer la contaminación del agua de riego, por ejemplo en los tomates se detectó salmonella Newport en muestras tomadas en charcos, el suelo y los zapatos de los trabajadores después del riego [11].

2.6 PATÓGENOS IDENTIFICADOS

La Figura 3 muestra la cantidad de patógenos asociados al riego de agua, donde E. coli, coliformes totales, coliformes fecales y salmonela fueron mencionados con mayor frecuencia en los estudios debido a su nivel de preocupación para la salud por el consumo de estos alimentos.

Figura 6. Patógenos identificados



En los estudios [7][14][24][29][30][31][32][33] se identificaron los patógenos presentes en las frutas que representan los peligros de enfermedad más significativos. Los estudios epidemiológicos asocian el agua como una fuente de contaminación. Los patógenos asociados a riesgos de enfermedades y que han causado brotes, también han sido objeto de estudio en los artículos revisados [34][1][19]. Los patógenos que se han asociado con varios brotes por el consumo de productos frescos son la lechuga iceberg contaminada con E.coli O157, que causó un gran brote en Suecia [1][19] probablemente por el agua del río utilizada para el riego; la salmonella Newport fue identificada en el agua de estanque para el riego de tomates [1][35].

La salmonela y E. coli son unos de los principales patógenos encontrados en muchos de los alimentos asociados al riego con aguas contaminadas [36], siendo también considerados como fuentes de bacterias en ambientes agrícolas como animales domésticos y además mamíferos, aves, reptiles e insectos [16][1][37][11]. Por ejemplo, el estudio [11] probó mayor supervivencia de estos patógenos en suelos modificados con compostaje de estiércol de aves de corral. Adicionalmente, aunque no se dispone de información sobre el norovirus en algunas regiones, hay evidencia de que el riesgo asociado con norovirus es un fenómeno global [38].

Los factores que estimulan la contaminación: huésped animal, patógenos microbianos y factores ambientales del sitio que se relacionan con la contaminación del producto [11]. Sobre estudios cuantitativos mediante un modelado probabilístico también se identificó la salmonella como una fuente de alto riesgo en el riego de cultivos comestibles con aguas residuales tratadas con proceso secundario en el tratamiento del agua [39] [23][21], mientras el pepino demostró menor riesgo y la lechuga fue la más contaminada [39].

Mediante una evaluación cuantitativa del riesgo de causar gastroenteritis fue asociado con norovirus, rotavirus y Áscaris lumbricoides, en el consumo de ensaladas por el riego de aguas residuales contaminadas. El norovirus fue un peligro microbiano de importancia a modelar debido al riesgo que puede generar en la salud pública [38][40][41].

2.7 POTENCIAL DE APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS IDENTIFICADAS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

La Tabla 5 presenta las principales características de las metodologías estudiadas, mencionado diferentes aspectos como: recursos, herramientas, modelos y limitaciones. Esta tabla comparativa fue preparada por los autores del presente trabajo basada en las revisiones de los artículos.

Tabla 5. Comparación de las metodologías estudiadas para la evaluación de riesgos microbiológicos en vegetales

| TIPO DE EVALUACIÓN | RECURSOS | HERRAMIENTAS | MODELOS | LIMITACIONES |
|--|---|---|---------|--|
| Evaluación de riesgo microbiológico cualitativa | <ul style="list-style-type: none"> •Personal humano capacitado para la recolección de la información con base a su juicio, experiencia e intuición para la toma de decisiones. •Poco tiempo empleado. | <ul style="list-style-type: none"> •Cuestionarios y entrevistas estructuradas •Literatura. •Escalas nominales y de orden jerárquico (alta, media, baja, moderado, etc.,). •Pruebas de campo | No | <ul style="list-style-type: none"> •Escasez de datos. •No se puede diferenciar lógicamente el riesgo relativo de otros escenarios, es decir otro tipo de riesgo. •Los análisis cualitativos adolecen frecuentemente de la incapacidad para determinar qué elementos de la prueba influyeron en la caracterización del riesgo. |

| TIPO DE EVALUACIÓN | RECURSOS | HERRAMIENTAS | MODELOS | LIMITACIONES |
|---|---|--|--|--|
| Evaluación de riesgo microbiológico cuantitativa | <ul style="list-style-type: none"> •Personal humano con alto grado de capacitación matemática. •Mucho tiempo empleado. | <ul style="list-style-type: none"> •Pruebas de campo y laboratorio. •Simulación matemática computacional. •Laboratorios | <ul style="list-style-type: none"> •Método de Monte Carlo. •Métodos probabilísticos (análisis de varianza Anova, distribución lognormal, distribución de poisson, prueba de mann-whitney, prueba de wilcoxon). | <ul style="list-style-type: none"> •Escasez de datos. •Los resultados no siempre son accesibles a los gestores de riesgos. • Variabilidad e incertidumbre |
| Evaluación del impacto a la salud | <ul style="list-style-type: none"> •Personal humano: técnicos, profesionales y/o expertos con conocimiento en el riesgo microbiológico y su entorno •Variabilidad de tiempo | <ul style="list-style-type: none"> •Literatura. •Pruebas de campo. •Talleres de consulta, entrevistas (cualitativos). •Encuestas, estudios epidemiológicos, análisis de riesgo, modelización (cuantitativos) | <ul style="list-style-type: none"> •Modelos para representar de forma gráfica y simplificada las complejas relaciones existentes entre los determinantes de la salud y el estado de la salud de las persona. | <ul style="list-style-type: none"> •Laguna de datos. • No es una herramienta validada y aplicable en cualquier circunstancia. |

En este trabajo se identificaron estudios que utilizan una serie de metodologías para la evaluación de riesgos microbiológicos en vegetales que se consumen frescos. Estas metodologías han permitido evaluar el riesgo mediante un conjunto de información disponible y pueden ser utilizadas de acuerdo a la situación o la

disponibilidad de datos para generar resultados los cuales estiman las causas de un problema.

Uno de los aspectos importantes a la hora de elegir la metodología a utilizar son los conocimientos técnicos, es decir poseer información sobre los procedimientos para realizar una actividad [42]. Por lo tanto, en la evaluación de riesgo cuantitativa suele exigir que al menos una parte del equipo evaluador tenga una rigurosa capacitación matemática, si no existe este recurso será más apropiado hacer una evaluación cualitativa. Aunque es posible que la evaluación de riesgo cualitativa no sea muy exigente en lo que respecta a la capacidad matemática, el analista debe aplicar su juicio de una manera apropiada y lógica.

En una evaluación cuantitativa para desarrollar un análisis matemático se requiere emplear la información necesaria, ya que puede generar incertidumbre al evaluar el riesgo debido a la ausencia de datos o suposiciones de poca confiabilidad. El método cualitativo es una metodología que permite identificar y caracterizar el peligro con el fin de ofrecer información sobre el nivel de riesgo, a diferencia del método cuantitativo que requiere una mayor complejidad para el procedimiento de análisis. Un modelo matemático elaborado puede aportar información al conocimiento sobre los riesgos microbiológicos asociados al consumo de productos frescos, permitiendo definir un parámetro dosis-repuesta de enfermedad, a diferencia del método cualitativo está basado en respuestas subjetivas (alta, media, baja, insignificante, etc.) para ofrecer información [42].

La EIS (evaluación del impacto a la salud) ofrece un gran potencial en la perspectiva de la evaluación de riesgo para la salud, aunque no está destinada a determinar la toma de decisiones puede respaldarla, informando, mejorando y aportando recomendaciones para optimizar los resultados y así elaborar políticas o estrategias para contrarrestar los diferentes riesgos, con una especial consideración por los grupos más vulnerables, una de las ventajas es que promueve la participación comunitaria [6].

En un determinado estudio se pudo observar que la evaluación cuantitativa y cualitativa pueden aplicarse mutuamente, esto significa que la evaluación cualitativa es muy útil en la fase inicial de la gestión del riesgo para ofrecer una información oportuna sobre el nivel aproximado del riesgo y el nivel de recursos que debería dedicarse a la evaluación de riesgos cuantitativa. Por citar un ejemplo, la evaluación de riesgos cualitativa puede utilizarse para definir las rutas de exposición (ej. Vegetales, agua, patógenos) la cual será el objeto de estudio en la evaluación cuantitativa [42].

De acuerdo a la rapidez en la aplicación de cada metodología, la evaluación de riesgo cualitativa requiere en general menos tiempo que la cuantitativa. Esto es válido cuando se ha establecido firmemente protocolos para la evaluación de riesgos cualitativa con una clara orientación en la interpretación de las pruebas [42]. Sin embargo, hay excepciones en las que la evaluación cualitativa exige una considerable planificación, información y programación. Por otra parte, la evaluación del impacto a la salud tiene una variabilidad en lo que concierne a la rapidez pues este factor depende del tiempo, los recursos y el personal disponible.

2.8 LIMITACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS

- En la EIS se identificó que existen limitaciones en la disponibilidad de la información requerida, puesto que este tipo de evaluaciones están hechas a menudo en poblaciones pequeñas o específicamente definidas en la que datos de la salud y contaminación relevantes no se recogen rutinariamente [6].
- Los resultados de la ERMQ (evaluación de riesgo microbiológico cuantitativo) no siempre son accesibles a los gestores de riesgos así como la falta de conocimientos matemáticos o informáticos y de instalaciones para la

evaluación [42], unida a la falta de recursos o de disponibilidad para involucrar a una fuente alternativa o adicional de conocimientos.

- La ERMC (evaluación de riesgo microbiológico cualitativo) carecen frecuentemente de la capacidad para determinar que elementos de la prueba influyeron en la caracterización del riesgo [42], es decir no posee criterios explícitos que identifiquen lo que se entiende por descripciones como riesgo alto, moderado y bajo.
- La variabilidad e incertidumbre son elementos de confusión en el proceso de evaluación de riesgos cuantitativa [42], es decir, la falta de conocimiento sobre un parámetro (ej: caracterización del riesgo o frecuencia probable de consumo).

2.8.1 La EIS en la actualidad no se trata como una herramienta validada y aplicable en cualquier circunstancia. Por el contrario, la EIS se encuentra en proceso de desarrollo metodológico con el fin de superar las limitaciones actuales, relacionadas con la medición y la interpretación de los impactos en la salud, así como con el equilibrio entre los costes y la profundidad del análisis. Sin embargo, si puede marcar un camino de avance para la salud pública, permitiendo la elaboración de políticas públicas más saludables y un uso más apropiado de los recursos limitados. Metodologías potencialmente aplicables al departamento de Santander

Con base en la revisión de literatura sobre la evaluación microbiológica del riesgo para realizar este tipo de análisis en el Departamento de Santander, se recomendaría aplicar inicialmente una evaluación cualitativa, ya que esta evaluación es muy útil en la fase inicial de la gestión del riesgo, mediante entrevistas o pruebas de campo, que permitan identificar qué tipo de riesgo existe, es decir, si hay un alto, medio, bajo, insignificante o moderado nivel de patógenos

que influyan en la contaminación de estas aguas. Dependiendo de los resultados de esta evaluación, se podrá dar proceso a controles o si por el contrario requiera mayor profundidad, se dará paso a una evaluación cuantitativa. Por otra parte, la información obtenida en las metodologías anteriormente descritas puede ser adoptada para aplicar una evaluación del impacto en la salud, las cuales sirven para crear una serie de recomendaciones que puedan minimizar los riesgos microbiológicos.

Tabla 6. Productos potenciales en el departamento de Santander según DANE 2014

| PRODUCTOS POTENCIALES EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER SEGÚN EL DANE | | |
|---|---------------------|------------------|
| Producto | Área sembrada [has] | Producción [ton] |
| Mora | 2612 | 19238 |
| Guayaba | 1037 | 4862 |
| Cebolla larga | 813 | 16041 |
| Tomate | 612 | 13844 |
| Cebolla cabezona | 601 | 4588 |

Fuente: Adaptado de DANE, "ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA ENA," Dir. Metodol. Y Prod. ESTADÍSTICA DIMPE, 2014

Habiendo identificado a partir de la revisión de literatura los productos susceptibles a contaminación, se encontró que en el Departamento de Santander hay una producción significativa de lechuga, cebolla cabezona, tomate, mora, guayaba, y cebolla larga (Tabla 6). En algunos casos, estos productos son regados con aguas de baja calidad, que pueden hacerlos más susceptibles a la contaminación. Por ejemplo, en los municipios aledaños a la cuenca Suratá se depositan aguas residuales sin tratamiento directamente en los arroyos y quebradas de la cuenca, las cuales son utilizadas frecuentemente para el riego de los productos cultivados en esta región [44]. Las metodologías estudiadas para la evaluación de riesgos

microbiológicos tendrían entonces un potencial de aplicación en el estudio de los productos que se incluyen en la Tabla 6 y que son de importancia en Santander.

3. CONCLUSIONES.

Se evidenció una evolución significativa en las publicaciones asociadas a las metodologías de evaluación de riesgo microbiológico en especial la metodología cuantitativa, ya que además de proporcionar una probabilidad sobre la presencia de un patógeno también puede calcular la cantidad de este, dando a conocer que es importante tratar esta temática con el fin de mantener la producción de vegetales que son aporte a la economía y la salud de un país. Además, se reconoció a Estados Unidos como la región donde más se aplicaron estos estudios.

El riego con agua residual fue considerado la principal causa de enfermedades por el consumo de productos frescos, debido a los altos niveles de patógenos tales como E. coli, salmonela y coliformes. El limitado acceso a fuentes de agua fresca para el riego ha ocasionado que muchos de los vegetales han sido contaminados con estos patógenos, siendo la lechuga y el tomate los vegetales más expuestos a la contaminación, ya que poseen propiedades como un valor alto de pH (mayor a 4) y son verduras de tallo bajo, lo cual favorece a la supervivencia de patógenos.

Para definir la metodología de evaluación de riesgos con mayor potencial de aplicación en Santander es necesario tener en cuenta varios aspectos como recursos, herramientas, modelos e información. Un problema para la aplicación es la escasez de datos, asociadas a la dificultad de obtener los datos con la tecnología actual, o que no se ha visto previamente la importancia de recopilar esos datos o resulta demasiado caro obtenerlos. Sin embargo, es importante avanzar hacia la aplicación de tales metodologías pues estas son necesarias para disminuir el riesgo y proteger la salud pública. Por otra parte hay una necesidad de examinar y aclarar a profundidad los posibles riesgos para la salud humana de la

gestión de aguas superficiales y residuales, con el fin de proporcionar un recurso útil para los políticos y para futuras investigaciones en la región de Santander.

REFERENCIAS

- [1] M. UYTENDAELE, L.-A. JAYKUS, P. AMOAH, A. CHIODINI, D. CUNLIFFE, L. JACXSENS, K. HOLVOET, L. KORSTEN, M. LAU, P. MCCLURE, G. MEDEMA, I. SAMPERS, and P. RAO JASTI, "Microbial Hazards in Irrigation Water," 2015.
- [2] Y. Pachepsky, D. R. Shelton, J. E. T. McLain, J. Patel, and R. E. Mandrell, "Irrigation Waters as a Source of Pathogenic Microorganisms in Produce. A Review," no. 113, 2011.
- [3] Fao and Who, "Microbiological hazards in fresh fruits and vegetables," *World Health*, 2008.
- [4] D. Levac, H. Colquhoun, and K. K. O'Brien, "Scoping studies: advancing the methodology," no. 5, pp. 69–73, 2010.
- [5] P. R. Hunter, P. Payment, N. Ashbolt, and J. Bartram, "Assessment of risk," pp. 79–100.
- [6] A. Bacigalupe, S. Esnaola, C. Calderón, J. Zuazagoitia, and E. Aldasoro, "La evaluación del impacto sobre la salud: una herramienta para incorporarla salud en las intervenciones no sanitarias," *GacSanit*, vol. 23, no. 1, pp. 62–66, 2009.
- [7] K. Y. Lim and S. C. Jiang, "Reevaluation of health risk benchmark for sustainable water practice through risk analysis of rooftop-harvested rainwater," *Water Res.*, 2013.
- [8] K. D. Mena and S. D. Pillai, "An approach for developing quantitative risk-based microbial standards for fresh produce," *J. Water Health*, 2008.
- [9] K. Holvoet, I. Sampers, M. Seynaeve, L. Jacxsens, and M. Uyttendaele, "Agricultural and management practices and bacterial contamination in greenhouse versus open field lettuce production," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015.

- [10] M. Estrada-Acosta, M. Jiménez, C. Chaidez, J. León-Félix, and N. Castro-del Campo, "Irrigation water quality and the benefits of implementing good," *Environ. Monit. Assess.*, 2014.
- [11] S. PARK, B. SZONYI, R. GAUTAM, K. NIGHTINGALE, J. ANCISO, and R. IVANEK, "Risk Factors for Microbial Contamination in Fruits and Vegetables," *J. o f Food Prot.*, vol. 75, no. 11, pp. 2055–2081, 2012.
- [12] R. Aiello, G. L. Cirelli, S. Consoli, F. Licciardello, and A. Toscano, "Risk assessment of treated municipal wastewater reuse in Sicily," *Water Sci. Technol.*, 2013.
- [13] G. A. Vivaldi, S. Camposeo, P. Rubino, and A. Lonigro, "Microbial impact of different types of municipal wastewaters used to irrigate nectarines in southern italy," *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2013.
- [14] A. Zouahri, H. Dakak, A. Douaik, M. El Khadir, and R. Moussadek, "Evaluation of groundwater suitability for irrigation in the Skhirat region, Northwest of," *Environ. Monit. Assess.*, 2015.
- [15] B. Keraita, P. Drechsel, and P. Amoah, "Influence of urban wastewater on stream water quality and agriculture in and around Kumasi, Ghana," *Environ. Urban.*, vol. 15, no. 2, pp. 171–178, 2003.
- [16] J. Bassett and P. McClure, "A risk assessment approach for fresh fruits," *Journal of Applied Microbiology*. 2008.
- [17] L. J. Harris, J. Bender, E. A. Bihn, T. Blessington, M. D. Danyluk, P. Delaquis, L. Goodridge, A. M. Ibekwe, S. Ilic, K. Kniel, J. T. Lejeune, D. W. Schaffner, D. Stoeckel, and T. V Suslow, "A Framework for Developing Research Protocols for Evaluation of," *J. Food Prot.*, vol. 75, no. 12, pp. 2251–2273, 2012.
- [18] G. Dunn, L. Harris, C. Cook, N. Prystajecy, C. British, and C. Ontario, "A comparative analysis of current microbial water quality risk," *Sci. Total Environ.*, vol. 469, no. 468, pp. 544–552, 2014.
- [19] A. Allende and J. Monaghan, "Irrigation Water Quality for Leafy Crops A Perspective of Risks and Potential Solutions," *Public Health*, 2015.

- [20] N. Ayuso-Gabella, D. Page, C. Masciopinto, A. Aharoni, M. Salgot, and T. Wintgens, "Quantifying the effect of Managed Aquifer Recharge on the microbiological human health risks of irrigating crops with recycled water," *Agric. Water Manag.*, 2011.
- [21] P. Antwi-Agyei, S. Cairncross, A. Peasey, V. Price, J. Bruce, K. Baker, C. Moe, J. Ampofo, G. Armah, and J. Ensink, "A farm to fork risk assessment for the use of wastewater in agriculture in Accra, Ghana," *PLoS One*, 2015.
- [22] A. W. Olivieri, E. Seto, R. C. Cooper, M. D. Cahn, J. Colford, J. Crook, J.-F. Debroux, R. Mandrell, T. Suslow, G. Tchobanoglous, R. A. Hultquist, D. P. Spath, and J. J. Mosher, "Risk-Based Review of California's Water-Recycling Criteria for Agricultural Irrigation."
- [23] D. Alsalah, N. Al-Jassim, K. Timraz, and P. Y. Hong, "Assessing the groundwater quality at a Saudi Arabian agricultural site and the occurrence of opportunistic pathogens on irrigated food produce," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015.
- [24] S. Ishii, T. Nakamura, S. Ozawa, A. Kobayashi, D. Sano, and S. Okabe, "Water Quality Monitoring and Risk Assessment by Simultaneous," 2014.
- [25] M. L. Lewis Ivey, J. T. LeJeune, and S. A. Miller, "Vegetable producers' perceptions of food safety hazards in the Midwestern USA," *Food Control*, 2012.
- [26] S. Mutengu, Z. Hoko, and F. S. Makoni, "An assessment of the public health hazard potential of wastewater," *Phys. Chem. earth*, vol. 32, pp. 15–18, 2007.
- [27] A. Ferrer, H. Nguyen-Viet, and J. Zinsstag, "Quantification of diarrhea risk related to wastewater contact in Thailand," *Int. Assoc. Ecol. Heal.*, no. 9, pp. 49–59, 2012.
- [28] R. J. Gelting, M. A. Baloch, M. A. Zarate-Bermudez, and C. Selman, "Irrigation water issues potentially related to the 2006 multistate E. coli O157:H7 outbreak associated with spinach," *Agric. Water Manag.*, 2011.
- [29] L. Jacxsens, P. A. Luning, J. G. A. J. van der Vorst, F. Devlieghere, R. Leemans, and M. Uyttendaele, "Simulation modelling and risk assessment as

- tools to identify the impact of climate change on microbiological food safety - The case study of fresh produce supply chain,” *Food Res. Int.*, 2010.
- [30] S. Lam, H. Nguyen-Viet, T. T. Tuyet-Hanh, H. Nguyen-Mai, and S. Harper, “Evidence for Public Health Risks of Wastewater and Excreta Management Practices in Southeast Asia,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015.
- [31] S. Fuhrmann, M. S. Winkler, P. H. H. Schneeberger, C. B. Niwagaba, J. Buwule, M. Babu, K. Medicott, J. Utzinger, and G. Cissé, “Health risk assessment along the wastewater and faecal sludge management and reuse chain of Kampala, Uganda: a visualization,” *Geospat. Health*, 2014.
- [32] A. De Keuckelaere, L. Jacxsens, P. Amoah, G. Medema, P. McClure, L. A. Jaykus, and M. Uyttendaele, “Zero Risk Does Not Exist: Lessons Learned from Microbial Risk Assessment Related to Use of Water and Safety of Fresh Produce,” *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2015.
- [33] M. I. G. González and S. C. Rubalcaba, “Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura,” *Revista Cubana de Salud Publica*. 2011.
- [34] A. Tserendorj, A. J. Anceno, E. R. Houpt, C. R. Icenhour, O. Sethabutr, C. S. Mason, and O. V Shipin, “Molecular Techniques in Ecohealth Research Toolkit: Facilitating Estimation of Aggregate Gastroenteritis Burden in an Irrigated Periurban Landscape.”
- [35] S. Jackson, N. Rodda, and L. Salukazana, “Microbiological assessment of food crops irrigated with domestic greywater,” *Water SA*, 2006.
- [36] S. Ceuppens, C. T. Hessel, R. De Quadros Rodrigues, S. Bartz, E. C. Tondo, and M. Uyttendaele, “Microbiological quality and safety assessment of lettuce production in Brazil,” *Int. J. Food Microbiol.*, 2014.
- [37] S. Pagadala, S. C. Marine, S. A. Micallef, F. Wang, D. M. Pahl, M. V. Melendez, W. L. Kline, R. A. Oni, C. S. Walsh, K. L. Everts, and R. L. Buchanan, “Assessment of region, farming system, irrigation source and sampling time as food safety risk factors for tomatoes,” *Int. J. Food Microbiol.*, 2015.

- [38] S. F. Barker, P. Amoah, and P. Drechsel, “A probabilistic model of gastroenteritis risks associated with,” *Sci. Total Environ.*, vol. 487, no. 1, pp. 130–142, 2014.
- [39] Y. M. Amha, Kumaraswamy, R., and F. Ahmad, “A probabilistic QMRA of Salmonella in direct agricultural reuse of treated municipal wastewater,” *Water Sci. Technol.*, vol. 71, no. 8, pp. 1203–1211, 2015.
- [40] H. F. Mok, S. F. Barker, and A. J. Hamilton, “A probabilistic quantitative microbial risk assessment model of norovirus disease burden from wastewater irrigation of vegetables in Shepparton, Australia,” *Water Res.*, vol. 54, pp. 347–362, 2014.
- [41] M. Bouwknecht, K. Verhaelen, A. Rzeżutka, I. Kozyra, L. Maunula, C.-H. von Bonsdorff, A. Vantarakis, P. Kokkinos, T. Petrovic, S. Lazic, I. Pavlik, P. Vasickova, K. A. Willems, A. H. Havelaar, S. A. Rutjes, and A. M. de Roda Husman, “Quantitative farm-to-fork risk assessment model for norovirus and hepatitis A virus in European leafy green vegetable and berry fruit supply chains,” *Int. J. Food Microbiol.*, no. 198, pp. 50–58, 2015.
- [42] FAO and OMS, “Caracterización de Riesgos de Peligros Microbiológicos en los Alimentos,” *Ser. evaluación riesgos Microbiol.*, no. 17, 2009.
- [43] DANE, “ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA ENA,” *Dir. Metodol. Y Prod. ESTADÍSTICA DIMPE*, 2014.
- [44] CDMB, “PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO AMBIENTAL SUBCUENCA RÍO SURATÁ.”
- [45] D. M. S. Pavione, R. K. X. Bastos, and P. D. Bevilacqua, “Quantitative microbial risk assessment applied to irrigation of salad crops with waste stabilization pond effluents,” *Water Sci. Technol.*, 2013.
- [46] W. Fripp, C. D. Woodyard, and M. Hanna, “Fecal Coliform Contamination of Drinking Water Techniques,” *EWB-USA*, 2015.
- [47] O. B. Akpor and Muchie, “Environmental and public health implications of wastewater quality,” *African J. Biotechnol.*, vol. 13, no. 10, pp. 2379–2387, 2011.

- [48] J. H. J. Ensink and W. Van Der Hoek, "Implementation of the WHO guidelines for the safe use of wastewater in Pakistan: Balancing risks and benefits," *J. Water Health*, 2009.
- [49] E. A. Bihn, C. D. Smart, C. A. Hoepting, and R. w. Worobo, "Use of surface water in the production of fresh fruits and vegetables A survey of fresh produce growers and their water management practices," *Food Prot. Trends*, vol. 33, no. 5, pp. 307–314, 2013.
- [50] A. W. Olivieri, E. Seto, R. C. Cooper, M. D. Cahn, J. Colford, J. Crook, J.-F. Debroux, R. Mandrell, T. Suslow, G. Tchobanoglous, R. A. Hultquist, D. P. Spath, and J. J. Mosher, "Risk based review of California's water recycling criteria for agricultural irrigation," *J. Environ. Eng*, vol. 140, no. 6, 2014.
- [51] R. K. X. Bastos, P. D. Bevilacqua, C. A. B. Silva, and C. V. Silva, "Wastewater irrigation of salad crops further evidence for the evaluation of the WHO guidelines," *Water Sci. Technol.*, 2008.
- [52] P. Amoah, P. Drechsel, R. C. Abaidoo, and M. Henseler, "Irrigated urban vegetable production in Ghana: Microbiological contamination in farms and markets and associated consumer risk groups," *J. Water Health*, 2007

BIBLIOGRAFÍA

Aiello, R. Cirelli, G. L. Consoli, S. Licciardello, F. and Toscano, A. "Risk assessment of treated municipal wastewater reuse in Sicily," *Water Sci. Technol.*, 2013.

Akpor O. B. and Muchie, "Environmental and public health implications of wastewater quality," *African J. Biotechnol.*, vol. 13, no. 10, pp. 2379–2387, 2011.

Allende A. and Monaghan, J. "Irrigation Water Quality for Leafy Crops A Perspective of Risks and Potential Solutions," *Public Health*, 2015.

Alsalah, D. Al-Jassim, N. Timraz, K. and Hong, P. Y. "Assessing the groundwater quality at a Saudi Arabian agricultural site and the occurrence of opportunistic pathogens on irrigated food produce," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015.

Amha, Y. M. Kumaraswamy, R., and Ahmad, F. "A probabilistic QMRA of Salmonella in direct agricultural reuse of treated municipal wastewater," *Water Sci. Technol.*, vol. 71, no. 8, pp. 1203–1211, 2015.

Amoah, P. Drechsel, P. Abaidoo, R. C. and Henseler, M. "Irrigated urban vegetable production in Ghana: Microbiological contamination in farms and markets and associated consumer risk groups," *J. Water Health*, 2007

Antwi-Agyei, P. Cairncross, S. Peasey, A. Price, V. Bruce, J. Baker, K. Moe, C. Ampofo, J. Armah, G. and Ensink, J. "A farm to fork risk assessment for the use of wastewater in agriculture in Accra, Ghana," *PLoS One*, 2015.

Ayuso-Gabella, N. Page, D. Masciopinto, C. Aharoni, A. Salgot, M. and Wintgens, T. “Quantifying the effect of Managed Aquifer Recharge on the microbiological human health risks of irrigating crops with recycled water,” *Agric. Water Manag.*, 2011.

Bacigalupe, A. Esnaola, S. Calderón, C. Zuazagoitia, J. and Aldasoro, E. “La evaluación del impacto sobre la salud: una herramienta para incorporarla salud en las intervenciones no sanitarias,” *GacSanit*, vol. 23, no. 1, pp. 62–66, 2009.

Barker, S. F. Amoah, P. and Drechsel, P. “A probabilistic model of gastroenteritis risks associated with,” *Sci. Total Environ.*, vol. 487, no. 1, pp. 130–142, 2014.

Bassett J. and McClure, P. “A risk assessment approach for fresh fruits,” *Journal of Applied Microbiology*. 2008.

Bastos, R. K. X. Bevilacqua, P. D. Silva, C. A. B. and Silva, C. V. “Wastewater irrigation of salad crops further evidence for the evaluation of the WHO guidelines,” *Water Sci. Technol.*, 2008.

Bihn, E. A. Smart, C. D. Hoepting, C. A. and Worobo, R. W. “Use of surface water in the production of fresh fruits and vegetables A survey of fresh produce growers and their water management practices,” *Food Prot. Trends*, vol. 33, no. 5, pp. 307–314, 2013.

Bouwknegt, M. Verhaelen, K. Rzeżutka, A. Kozyra, I. Maunula, L. Von Bonsdorff, C.-H. Vantarakis, A. Kokkinos, P. Petrovic, T. Lazic, S. Pavlik, I. Vasickova, P. Willems, K. A. Havelaar, A. H. Rutjes, S. A. and de Roda Husman, A. M. “Quantitative farm-to-fork risk assessment model for norovirus and hepatitis A virus in European leafy green vegetable and berry fruit supply chains,” *Int. J. Food Microbiol.*, no. 198, pp. 50–58, 2015.

CDMB, “PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO AMBIENTAL SUBCUENCA RÍO SURATÁ.”

Ceuppens, S. Hessel, C. T. De Quadros Rodrigues, R. Bartz, S. Tondo, E. C. and Uyttendaele, M. “Microbiological quality and safety assessment of lettuce production in Brazil,” *Int. J. Food Microbiol.*, 2014.

DANE, “ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA ENA,” *Dir. Metodol. Y Prod. ESTADÍSTICA DIMPE*, 2014.

De Keuckelaere, A. Jacxsens, L. Amoah, P. Medema, G. McClure, P. Jaykus, L. A. and Uyttendaele, M. “Zero Risk Does Not Exist: Lessons Learned from Microbial Risk Assessment Related to Use of Water and Safety of Fresh Produce,” *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2015.

Dunn, G. Harris, L. Cook, C. Prystajek, N. British, C. and Ontario, C. “A comparative analysis of current microbial water quality risk,” *Sci. Total Environ.*, vol. 469, no. 468, pp. 544–552, 2014.

Ensink, J. H. J. and Van Der Hoek, W. “Implementation of the WHO guidelines for the safe use of wastewater in Pakistan: Balancing risks and benefits,” *J. Water Health*, 2009.

Estrada-Acosta, M. Jiménez, M. Chaidez, C. León-Félix, J. and Castro-del Campo, N. “Irrigation water quality and the benefits of implementing good,” *Environ. Monit. Assess.*, 2014.

FAO and OMS, “Caracterización de Riesgos de Peligros Microbiológicos en los Alimentos,” *Ser. evaluación riesgos Microbiol.*, no. 17, 2009.

Fao and Who, "Microbiological hazards in fresh fruits and vegetables," *World Health*, 2008.

Ferrer, A. Nguyen-Viet, H. and Zinsstag, J. "Quantification of diarrhea risk related to wastewater contact in Thailand," *Int. Assoc. Ecol. Heal.*, no. 9, pp. 49–59, 2012.

Fripp, W. Woodyard, C. D. and Hanna, M. "Fecal Coliform Contamination of Drinking Water Techniques," *EWB-USA*, 2015.

Fuhrimann, S. Winkler, M. S. Schneeberger, P. H. H. Niwagaba, C. B. Buwule, J. Babu, M. Medicott, K. Utzinger, J. and Cissé, G. "Health risk assessment along the wastewater and faecal sludge management and reuse chain of Kampala, Uganda: a visualization," *Geospat. Health*, 2014.

Gelting, R. J. Baloch, M. A. Zarate-Bermudez, M. A. and Selman, C. "Irrigation water issues potentially related to the 2006 multistate E. coli O157:H7 outbreak associated with spinach," *Agric. Water Manag.*, 2011.

González M. I. G. and Rubalcaba, S. C. "Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura," *Revista Cubana de Salud Publica*. 2011.

Harris, J. Bender, J. Bihn, E. A. Blessington, T. Danyluk, M. D. Delaquis, P. Goodridge, L. Ibekwe, A. M. Ilic, S. Kniel, K. Lejeune, J. T. Schaffner, D. W. Stoeckel, D. and Suslow, T. V "A Framework for Developing Research Protocols for Evaluation of," *J. Food Prot.*, vol. 75, no. 12, pp. 2251–2273, 2012.

Holvoet, K. Sampers, I. Seynnaeve, M. Jacxsens, L. and Uyttendaele, M. "Agricultural and management practices and bacterial contamination in greenhouse versus open field lettuce production," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015.

Hunter, P. R. Payment, P. Ashbolt, N. and Bartram, J. "Assessment of risk," pp. 79–100.

Ishii, S. Nakamura, T. Ozawa, S. Kobayashi, A. Sano, D. and Okabe, S. "Water Quality Monitoring and Risk Assessment by Simultaneous," 2014.

Jackson, S. Rodda, N. and Salukazana, L. "Microbiological assessment of food crops irrigated with domestic greywater," *Water SA*, 2006.

Keraita, B. Drechsel, P. and Amoah, P. "Influence of urban wastewater on stream water quality and agriculture in and around Kumasi, Ghana," *Environ. Urban.*, vol. 15, no. 2, pp. 171–178, 2003.

L. Jacxsens, P. A. Luning, J. G. A. J. van der Vorst, F. Devlieghere, R. Leemans, and M. Uyttendaele, "Simulation modelling and risk assessment as tools to identify the impact of climate change on microbiological food safety - The case study of fresh produce supply chain," *Food Res. Int.*, 2010.

Lam, S. Nguyen-Viet, H. Tuyet-Hanh, T. T. Nguyen-Mai, H. and Harper, S. "Evidence for Public Health Risks of Wastewater and Excreta Management Practices in Southeast Asia," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015.

Levac, D. Colquhoun, H. and O'Brien, K. K. "Scoping studies: advancing the methodology," no. 5, pp. 69–73, 2010.

Lewis Ivey, M. L. LeJeune, J. T. and Miller, S. A. "Vegetable producers' perceptions of food safety hazards in the Midwestern USA," *Food Control*, 2012.

Lim, K. Y. and Jiang, S. C. "Reevaluation of health risk benchmark for sustainable water practice through risk analysis of rooftop-harvested rainwater," *Water Res.*, 2013.

Mena K. D. and Pillai, S. D. "An approach for developing quantitative risk-based microbial standards for fresh produce," *J. Water Health*, 2008.

Mok, H. F. Barker, S. F. and Hamilton, A. J. "A probabilistic quantitative microbial risk assessment model of norovirus disease burden from wastewater irrigation of vegetables in Shepparton, Australia," *Water Res.*, vol. 54, pp. 347–362, 2014.

Mutengu, S. Hoko, Z. and Makoni, F. S. "An assessment of the public health hazard potential of wastewater," *Phys. Chem. earth*, vol. 32, pp. 15–18, 2007.

Olivieri, A. W. Seto, E. Cooper, R. C. Cahn, M. D. Colford, J. Crook, J. Debroux, J.-F. Mandrell, R. Suslow, T. Tchobanoglous, G. Hultquist, R. A. Spath, D. P. and J. Mosher, J. "Risk-Based Review of California's Water-Recycling Criteria for Agricultural Irrigation."

Olivieri, A. W. Seto, E. Cooper, R. C. Cahn, M. D. Colford, J. Crook, J. Debroux, J.-F. Mandrell, R. Suslow, T. Tchobanoglous, G. Hultquist, R. A. Spath, D. P. and Mosher, J. J. "Risk based review of California's water recycling criteria for agricultural irrigation," *J. Environ. Eng*, vol. 140, no. 6, 2014.

Pachepsky, Y. Shelton, D. R. McLain, J. E. T. Patel, J. and Mandrell, R. E. "Irrigation Waters as a Source of Pathogenic Microorganisms in Produce. A Review," no. 113, 2011.

Pagadala, S. Marine, S. A. Micallef, F. Wang, D. M. Pahl, M. V. Melendez, W. L. Kline, R. A. Oni, C. S. Walsh, K. L. Everts, and R. L. Buchanan, "Assessment of region, farming system, irrigation source and sampling time as food safety risk factors for tomatoes," *Int. J. Food Microbiol.*, 2015.

Park, S. Szonyi, B. Gautam, R. Nightingale, K. Anciso, J. and Ivanek, R. "Risk Factors for Microbial Contamination in Fruits and Vegetables," *J. o f Food Prot.*, vol. 75, no. 11, pp. 2055–2081, 2012.

Pavione, D. M. S. Bastos, R. K. X. and Bevilacqua, P. D. "Quantitative microbial risk assessment applied to irrigation of salad crops with waste stabilization pond effluents," *Water Sci. Technol.*, 2013.

Tserendorj, A. Anceno, A. J. Houpt, E. R. Icenhour, C. R. Sethabutr, O. Mason, C. S. and Shipin, O. V "Molecular Techniques in Ecohealth Research Toolkit: Facilitating Estimation of Aggregate Gastroenteritis Burden in an Irrigated Periurban Landscape."

Uyttendaele, M. Jaykus, L.-A. Amoah, P. Chiodini, A. Cunliffe, D. JACXSENS, L. Holvoet, K. Korsten, L. Lau, M. McClure, P. Medema, G. Sampers, I. and Rao P. Jasti, "Microbial Hazards in Irrigation Water," 2015.

Vivaldi, G. A. Camposeo, S. Rubino, P. and Lonigro, A. "Microbial impact of different types of municipal wastewaters used to irrigate nectarines in southern italy," *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2013.

Zouahri, A. Dakak, H. Douaik, A. El Khadir, M. and Moussadek, R. "Evaluation of groundwater suitability for irrigation in the Skhirat region, Northwest of," *Environ. Monit. Assess.*, 2015.

ANEXOS

En la Tabla 7 aparece un resumen de los artículos revisados donde se incluye información como: países donde se hicieron estas evaluaciones, el tipo de agua utilizada para el riego, en seguida los productos frescos que fueron estudiados, los patógenos encontrados en el análisis, las metodologías aplicadas para estas evaluaciones y finalmente los respectivos resultados en cada estudio.

ANEXO A. Resultados

| REFERENCIA | PAÍS-CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|----------------|------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------|-------------|--|
| Amha.2015 [39] | Emiratos Árabes Unidos; Asia | Residuales tratadas | Lechuga, repollo, pepino | Salmonella spp | ERMQ | Los resultados mostraron la carga de morbilidad mediana elevada, en comparación con la carga de morbilidad aceptable establecido por la Organización Mundial de la Salud, que es 10^{-6} discapacidad años de vida ajustados por persona por año. De los tres vehículos considerados, lechuga mostró el mayor riesgo de infección en todos los escenarios considerados, mientras que el pepino mostró el menor riesgo. |

| REFERENCIA | PAÍS-CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---|--|-------------|---|
| Barker. 2014 [38] | Ghana; África | Pozos, Arroyos, tuberías | Ensaladas | Rotavirus, norovirus, áscaris lumbricoides | ERMQ | El modelo de agua predijo consistentemente estimaciones más bajas de riesgo, aunque éstos tienden a subestimar significativamente el riesgo del consumo de ensaladas tan importante en la finca fuentes de contaminación no se tuvieron en cuenta |
| Mok. 2014 [40] | Australia; Oceanía | Residuales | Lechuga, brócoli, col, pepino | Norovirus | ERMQ | En general, el consumo de pepino y brócoli regadas con aguas residuales plantea los mínimos riesgos mientras que el consumo de lechuga plantea los mayores riesgos |
| Ayuso-Gabella. 2011 [20] | Australia, Italia, España, Israel | Residuales tratadas | Brócoli, repollo, zanahoria, lechuga, cebolla, nabo, tomate | Rotavirus, Cryptosporidium, Campylobacter | ERMQ | Los resultados indicaron que los riesgos de la mediana para todos los escenarios y agentes patógenos evaluados fueron aceptables. |
| Bouwknegt. 2015 [41] | Países Bajos; Europa | Superficiales | Fresa, zarzamora, mora, uva | Norovirus, hepatitis A | ERMQ | No se encontraron virus patógenos humanos en las cadenas de suministro de estas frutas, El modelo presentado en el estudio es relativamente fácil de aplicar. |

| REFERENCIA | PAÍS-CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------|---|---|-------------|---|
| Pavione. 2013 [45] | Suiza; Europa | Residuales tratadas | Pepino, Brócoli, repollo, lechuga | Norovirus, hepatitis A | ERMQ | El riesgo medio anual de infección fue siempre menor en pepino que para el brócoli, el repollo o lechuga; El modelo QMRA ofrece un punto de partida útil para la gestión de los riesgos asociados con el riego por aspersión de ciertos cultivos hortícolas con precipitaciones. |
| Lim. 2013 [7] | Estados Unidos; Norte América | Lluvias | Lechuga, pepino, tomate | Giardia spp, Cryptosporidium spp, Salmonella spp, CAMPYLOBACTER spp, Legionella pneumophila, Clostridium perfringens, E. coli y enterococos | ERMQ | La lechuga presenta el riesgo más alto, que es seguido por tomate y pepino, respectivamente. Este estudio servirá como una plataforma para impulsar la investigación necesaria en la zona, proporcionar información para el establecimiento de nuevas normas y directrices para la práctica sostenible del agua |
| Bassett 2008 [16] | Estados Unidos; Norte América | Subterránea, residual | Naranja, limón, manzana, melón, mango ,kiwi, banana, papaya, melocotón, ciruela, frambuesa, pera, fresa, mora, piña | Virus de hepatitis A, norovirus, protozoos, cryptosporidium spp, cyclospora cayetanensis, giardia intestinal, áscaris spp. | ERMC | Se utilizó enfoque de evaluación cualitativa que emplea la metodología del Codex y se dio como resultado que los productos de mayor riesgo son de baja acidez como las frutas (promueven el crecimiento de algunos agentes patógenos infecciosos). |

| REFERENCIA | PAÍS-CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|--------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|-------------|---|
| Mutengu. 2007 [26] | Bulawayo; África | Residuales | maíz, tomate, zanahoria | Coliformes fecales | EIS | Se recomienda que los mecanismos de tratamiento de aguas residuales sean adecuadas. En cuanto a los riesgos de salud asociados con el uso de las aguas residuales, el 70% eran conscientes de los riesgos, pero no eran conscientes del tipo de infecciones que podrían presentarse. |
| Mena 2008 [8] | Estados Unidos; Norte América | Residuales | Zanahoria | Salmonella spp. | ERMQ | Los diferentes tipos de aplicaciones de riego pueden afectar las estimaciones de riesgo, con el riego por surcos que podría aumentar el riesgo de contaminación del producto. Debido a la falta de técnicas adecuadas para cuantificar múltiples de patógenos, existe un número limitado de informes. |

| REFERENCIA | PAÍS-CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|---------------------|-------------------------------|----------------|---|---|-------------|--|
| Ishii. 2014 [24] | Japón; Asia | Pozos, Arroyos | Repollo, remolacha, cítricos | E. coli, Shigella spp, Salmonella spp, Campylobacter jejuni, Clostridium , Legionella pneumophila, Listeria monocytogenes, Vibrio cholerae, Vibrio parahaemolyticus | ERMQ | El enfoque de microfluidos PCR cuantitativa detecto varios patógenos entéricos en el riego de estos cultivos, por tal razón esta investigación proporciona información más fiable y completa para la evaluación de riesgos que el actual enfoque basado en indicadores fecales |
| Jacxsens. 2010 [29] | Estados Unidos; Norte América | Lluvias | Lechuga, repollo, achicoria, tomates, pimientos, cilantro, albahaca | Escherichia coli, Norovirus y la hepatitis A virus, Cyclospora, Cryptosporidium parvum | ERMQ | Se realizó una ERMQ modelando el ambiente para una precipitación es decir aumentando la temperatura, variando las precipitaciones y el dióxido de carbono atmosférico, identificando la E.coli y salmonella como los patógenos más repetitivos mediante un ensayo de PCR. Este enfoque permitió identificar las regiones y los |

| REFERENCIA | PAÍS-CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|-----------------|-----------------------|------------------------|-------------------|---|-------------|---|
| | | | | cayatanensis | | sectores más vulnerables y evaluar los potenciales riesgos de la contaminación microbiológica. |
| Dunn. 2014 [18] | Canadá; Norte América | Superficiales, potable | Uvas | E. coli, coliformes, Cryptosporidium, Giardia | ERMC/ERMQ | Se aplicó una ERMQ mediante entrevistas y posteriormente se realizó un análisis de varianza anova la cual ayudo a caracterizar el riesgo identificando la E. coli y coliformes como los patógenos más relevantes. |

| REFERENCIA | PAÍS- CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|----------------------|----------------------------------|---|----------------------|--------------------|-------------|---|
| Pagadala. 2015 [37]. | Estados Unidos; Norte América | Superficiales, potable, subterránea | Tomate | E. coli | ERMQ | De las 422 muestras analizadas, el 9,5% fueron positivos para E. coli genérico, que se encuentra en el 5,4% (n = 259) de los frutos de tomate, el 22,5% (n = 102) de agua de riego, el 8,9% (n = 45) de tierra, Las prácticas de gestión del agua pueden ser lagunas importantes para garantizar un seguimiento más preciso y agua más segura de llegar a los campos, sobre todo cuando se utiliza el agua subterránea. |
| Fripp. 2015 [46] | Estados Unidos; Norte América | Residuales, superficiales | | Coliformes fecales | ERMC | HACH Pathoscreen: era fácil de usar en el campo y requiere sólo un espacio pequeño en una mochila. Metil umbeliferil beta: es una buena solución si solamente unas pocas muestras necesitan ser evaluados. 3M Petrifilm para Recuento de Coliformes Placa: Esta prueba es barata, requiere un equipo mínimo, y necesita muy poco espacio para el almacenamiento de las pruebas antes de su uso. Tiras de prueba agua segura: Esta prueba de presencia / ausencia era relativamente barato, fácil de realizar, y siempre arroja resultados rápidos. |

| REFERENCIA | PAÍS- CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|------------------------|---------------------|--------------|---|---|-------------|--|
| Jackson. 2006 [35] | Kenia; África | Residuales | Espinaca, pimiento verde, patata, cebolla, remolacha, zanahoria | coliformes totales, E. coli, Enterococcus | ERMQ | Se detectaron muy pocos niveles de E. coli en los cultivos, sin embargo los coliformes totales fueron de magnitud mayor en las aguas grises que en cualquiera de los controles de riego. Cuando los riesgos para los diferentes tratamientos se compararon mediante el análisis ANOVA, se encontró que no había diferencia significativa entre los tratamientos. |
| Antwi-Agyei. 2015 [21] | Ghana; África | Residuales | Lechuga, cebolla, repollo, zanahoria, ensalada frescas | E. coli, adenovirus humano, norovirus | ERMQ | El estudio encontró que más del 80% de las muestras estaban contaminados con E. coli, esta contaminación tuvo un nivel alto debido a la gran cantidad de personas que consumen comida de la calle, y el hecho de que representa el mayor riesgo para la salud pública que fue apoyada por los modelos QMRA. |

| REFERENCIA | PAÍS- CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|-----------------------|----------------------------------|--|---------------------------|--|-------------|---|
| Harris.2012 [17] | Estados Unidos; Norte América | Residuales tratadas, superficiales, subterránea | Lechuga, melón, cereza | E. coli, salmonella | ERMC | En este estudio se concluyó típicamente cuando el patógeno ya no se recupera a partir del producto en medios de enriquecimiento no inhibitorio en más de un punto de tiempo. En pruebas de campo al final del ensayo también se puede definir por la madurez de la cosecha o el tiempo de cosecha típica, Este documento también debe ser útil para evaluar la solidez de los datos existentes y por lo tanto debe ayudar en la identificación de las necesidades de investigación futuras. |
| Alsalah. 2015 [23] | Arabia Saudita; Asia | Subterráneas | tomate, pimiento verde | Coliformes, E. faecalis, P. aeruginosa | ERMQ | El E. faecalis en hallada en estas frutas se encontraba dentro del límite aceptable. Sin embargo, el riesgo anual derivada de P. aeruginosa fue ligeramente por encima del límite aceptable. se puede decir que la calidad del agua subterránea en este sitio agrícola no era virgen y que se necesitan mejores prácticas de manejo agrícola junto con las estrategias de tratamiento de las aguas subterráneas para mejorar la seguridad alimentaria |

| REFERENCIA | PAÍS-CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|---------------------|-----------------|--------------|---------------------------|--|-------------|---|
| Akpor.2011 [47] | África | Residuales | | coliformes, E. coli, estreptococos fecales | EIS | Efluentes de aguas residuales son los principales contribuyentes a una variedad de problemas de contaminación del agua, Existe la necesidad de una planificación cuidadosa, el tratamiento adecuado y apropiado, el monitoreo regular y adecuada legislación, también hay la necesidad de garantizar que las normas y limitaciones efluentes no se vean comprometidas, según lo establecido por los organismos reguladores. |
| Lam. 2015 [30] | Sudeste de Asia | Residuales | Berenjena, pimiento verde | E. coli, Giardia lamblia, Entamoeba histolytica, Ascaris lumbricoides, Trichuris trichiura, anquilostoma, coliformes totales, enterococos, Salmonella spp. | EIS | La evidencia disponible sugiere que los posibles riesgos para la salud ocupacional de las prácticas de gestión de aguas residuales incluyen diarrea, infección de la piel, infección parasitaria, infección bacteriana, y la epilepsia. Los resultados sugieren que las prácticas de manipulación, tratamiento y aprovechamiento de residuos pueden ser dañinas para la salud humana, en particular la salud de los agricultores. |
| Fuhrmann. 2014 [31] | Uganda; África | Residuales | Ñame | Áscaris lumbricoides, anquilostomas, Trichuris trichiura, Entamoeba histolytica, Giardia intestinalis, coliformes, E. coli, Salmonella spp. | EIS | Los resultados de la toma de muestras del medio ambiente mostraron que en el agua de los humedales Nakivubo, exceden los estándares nacionales. Por otra parte, las concentraciones medias de E. coli, fueron superiores a los umbrales expuesta en las directrices de la OMS para el uso seguro de las aguas residuales en la agricultura. Una quinta parte de las muestras de agua se encontraron positivas |

| REFERENCIA | PAÍS- CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--|-------------|--|
| Ensink.2009 [48] | Pakistán; Asia | Residuales | Espinaca, coliflor | Coliformes fecales, E. coli, Anquilostomas, Giardia intestinalis | ERMC | La investigación mostró un impacto negativo del uso de aguas residuales sin tratar en la salud de las familias productoras de aguas residuales. Sin embargo, en ausencia de tratamiento de aguas residuales, la única alternativa al uso de aguas residuales en Pakistán es la eliminación de las aguas residuales sin tratar en ríos y canales de riego. Esto podría suponer potencialmente mucho mayores riesgos para la salud como el río y el agua de riego, como la única fuente de necesidades de agua potable, entre ellos, para millones de personas en las áreas rurales de Pakistán. |
| Allende. 2015 [19] | Estados Unidos; Norte América | Superficiales, potable | Tomate, pimiento, pepino | E. coli, salmonella, Campylobacter, listeria. | ERMQ | El uso de indicadores fecales, especialmente E. coli, permite a los productores identificar las fuentes de agua donde hay una vía de contaminación fecal, lo que permite la categorización del riesgo de las fuentes de agua. El agua superficial representa una de las fuentes de agua de mayor riesgo, por tanto, donde los productores están utilizando las aguas superficiales para aplicaciones agrícolas, en particular para verduras de hoja verde o que está destinada a ser consumida cruda, por lo tanto estrategias de mitigación pueden ser necesario. |
| Aiello. 2013 [12] | Sicilia; Europa | Residuales | Tomate | Campylobacter, Cryptosporidium, rotavirus, E. coli | ERMQ | No hay contaminación significativa en frutos de tomate que no está en contacto con el suelo y el acolchado plástico, mientras que un contenido no despreciable de E. coli fue grabado bajo la condición del peor caso de crecimiento del fruto en contacto con el suelo de regadío. |

| REFERENCIA | PAÍS-CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|---------------------------|--------------------------------------|---------------|--|--|-------------|--|
| Lewis Ivey. 2012 [25] | Estados Unidos; Norte América | Superficiales | Tomate, maíz dulce, espárragos | E. coli, Salmonella, coliformes, Listeria, Clostridium, Cyclospora, Cryptosporidium | ERMC | La encuesta fue codificada manualmente mediante la asignación de un número único a cada posible respuesta y los códigos de respuesta se introdujeron en una hoja de cálculo multivariable Excel, dando como resultado que los productores de hortalizas creen que las bacterias son los contaminantes más importantes de productos frescos. |
| De Keuckelaere. 2015 [32] | Canadá; Norte América España; Europa | Superficiales | Lechuga, espinaca, pimiento, pepino, brócoli, repollo, cebolla, col, zanahoria, tomate, papa, y el melón | E. coli, Salmonella spp, Listeria monocytogenes, Campylobacter spp, enterovirus, virus de hepatitis A, norovirus y rotavirus, Cryptosporidium spp., Giardia spp., Entamoeba histolytica, Ascaris lumbricoides. | ERMQ | En general, después de haber analizado los estudios QMRA seleccionados, se puede concluir que los virus a menudo dieron lugar a las estimaciones de más alto riesgo y las verduras de hoja verde son el producto de mayor preocupación. Aun así, los resultados de estos ejercicios se pueden utilizar para guiar la gestión de riesgos en la prevención de la contaminación e identificar las áreas que necesitan más investigación o recopilación de datos. |
| Holvoet. 2015 [9] | Bélgica; Europa | Pozos | Lechuga | E. coli, Salmonella spp., Campylobacter spp, coliformes totales, E. coli | ERMC | En general, hubo un mayor riesgo en el suministro de agua para las granjas de campo abierto en comparación con las granjas de efecto invernadero. Las granjas de efecto invernadero hicieron más para evitar la contaminación microbiológica, sus medidas para el control de la calidad del agua de riego y la protección de los embalses de la contaminación externa eran más avanzados debido a la aplicación de tratamiento de aguas y precauciones, como el uso de zanjas elevadas para evitar la introducción de agua de escorrentía. |

| REFERENCIA | PAÍS- CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|---|-------------|---|
| Estrada- Acosta.2014 [10] | México; Centro América | Ríos | Tomate | Salmonella | ERMQ | Cepas de Salmonella se detectaron en 13 muestras de agua de riego (36,1%), mientras que sólo dos muestras de tomate fueron positivas (5,5%). Salmonella ágena y Salmonella Weltevreden estaban presentes en los tomates. Salmonella Oranienburg fue el serotipo más ampliamente dispersos y variable, con 10 perfiles de PFGE diferentes. |
| Vivaldi. 2013 [13] | Italia; Europa | Residuales tratadas | Duraznos | E. coli, coliformes totales, coliformes fecales, salmonella. | ERMQ | Coliformes totales fueron confirmados como omnipresente en este entorno agrícola y la contaminación por E. coli en las superficies de las frutas. El agua procedente de la laguna simplificada (tratamiento terciario) dio lugar a la contaminación del suelo baja que luego se tradujo en ninguna contaminación de la fruta. |
| Ceuppens. 2014 [36]. | Brasil; Sur América | Lluvias, subterránea, estanque | Lechuga | E. coli, coliformes, enterococos, salmonella. | ERMQ | El análisis estadístico reveló los siguientes factores de riesgo ambientales y agro técnicos para aumentar la carga microbiana y la prevalencia de patógenos en la producción de lechuga: alta temperatura, la inundación de los campos de lechuga, la aplicación de abono orgánico contaminado, el riego con agua de calidad inferior y grandes distancias entre el campo y baños. La calidad del agua de riego parece el factor más crucial para mejorar y / o mantener la calidad microbiológica y la seguridad durante la producción primaria de lechuga. |

| REFERENCIA | PAÍS- CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|------------------------|----------------------------------|--|---|---|-------------|---|
| Bihn. 2013 [49] | Estados Unidos; Norte América | Superficiales | Baya, cebolla, melón tomate, manzana, haba, remolacha, brócoli, coliflor, maíz, pepino, berenjena, ajo, pera, pimiento, calabaza. | E. coli, Salmonella, Cyclospora, Virus de la hepatitis A, | ERMC | Los resultados del estudio indican que sólo el 20% de los encuestados están haciendo una evaluación ambiental de las zonas que rodean las fuentes de agua, también sugiere que los riesgos microbianos pueden ser reducidos mediante la aplicación de agua de riego en la mañana para promover la exposición al sol y el secado de la cosecha |
| Olivieri. 2014 [50] | Estados Unidos; Norte América | Residuales tratadas, no tratadas | Lechuga | Cryptosporidium, Giardia lamblia, E. coli | ERMQ | Se encontraron altos niveles de virus entéricos humanos Cryptosporidium parvum, Giardia lamblia, y Escherichia coli O157: H7 estos están por encima del riesgo aceptable por la Organización Mundial de la Salud. los resultados del QMRA , confirma que las prácticas agrícolas actuales consistentes con los criterios del Agua de reciclaje no aumentan el riesgo de salud pública y que la modificación las normas para hacerlas más restrictiva no va a mejorar la salud pública |

| | | | | | | |
|------------------------|-------------------------|------------|-------------------------------|--|------|--|
| González. 2011 [33] | Cuba; Centro América | Residuales | Repollo, lechuga, cebolla. | E. coli, Salmonella spp, Listeria monocytogenes, Campylobacter spp, enterovirus, virus de hepatitis A, norovirus rotavirus, Cryptosporidium spp., Giardia spp., Entamoeba histolytica, Ascaris lumbricoides, anquilostomas, Trichuris trichiura, Entamoeba histolytica. | ERMQ | Como resultado se enumeran aspectos a considerar para el uso seguro de las aguas residuales y disminuir el riesgo microbiológico: 1. Determinación coliformes termotolerantes o Escherichia coli por la técnica de fermentación de tubos múltiples (Número Más Probable/100 mL). 2. Determinación de huevos viables de helmintos (por sedimentación y conteo). 3. Determinación de patógenos bacterianos (en ocasiones, por ejemplo un brote de cólera) por métodos de concentración como el hisopo de Moore. |
|------------------------|-------------------------|------------|-------------------------------|--|------|--|

| REFERENCIA | PAÍS-CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------|--|--|-------------|---|
| Bastos .2088 [51] | Brasil; Sur América | Residuales | Lechuga, col rizada, rúcula, espinaca, pimiento verde . | Áscaris lumbricoides, Necator americanus, Ancylostoma duodenal, E. coli, salmonella, coliformes. | ERMQ | A partir de los resultados de la simulación del riesgo se podría inferir que los riesgos de infección de parásitos serían las más altas, estando por debajo de la respectiva guía tolerable, el único escenario simulado en el que el riesgo estimado vendría algo cerca del directriz de riesgo tolerable sería para la infección por Giardia entre consumidores de altos ingresos "de la lechuga regados con efluentes que contiene 10 ⁴ E. coli por 100 ml. |
| Amoah. 2007 [52] | Ghana; África | Residuales, arroyos | Lechuga | Coliformes fecales, coliformes totales, helmintos. | ERMC | El estudio identificó la granja y el agua de riego como los puntos principales de la contaminación de la lechuga. Los niveles medios de coliformes fecales excedieron la norma recomendada. No hubo diferencias significativas en los niveles promedio de contaminación de la lechuga en diferentes puntos de entrada (de granja, mercado al por mayor y al por menor). |
| Gelting. 2011 [28] | Estados Unidos; Norte América | Ríos, subterráneas | Espinaca | E.coli | ERMC | El análisis de los datos disponibles sugiere que las profundidades a las aguas subterráneas y las interacciones del agua subterránea en la superficie pueden presentar riesgos para los cultivos listos para el consumo. Estos riesgos deben ser evaluados y cuantificados aún más para entender e identificar los factores que contribuyeron a este y otros brotes. |

| REFERENCIA | PAÍS- CONTINENTE | TIPO DE AGUA | PRODUCTOS FRESCOS | PATÓGENO | METODOLOGÍA | RESULTADOS |
|-------------------------|----------------------------------|-----------------|--|---|-------------|---|
| PARK. 2012 [11] | Estados Unidos; Norte América | Residuales | Lechuga, espinaca, tomates, perejil. | Listeria monocytogenes, Salmonella, E. coli. | ERMC | La evaluación de la calidad de los estudios revisados confirmó la existencia de algunos factores que inducen al riesgo, incluyendo el cultivo de productos en el tipo de suelo, y el uso de riego por aspersión con agua contaminada, con un riesgo especial de contaminación en la superficie inferior de la hoja. |
| Keraita.2003 [15] | Ghana; África | Residuales | Lechuga, repollo, cebollas | E. coli, coliformes totales, coliformes fecales. | ERMC | Altos niveles de coliformes fecales se registraron en la ciudad y aguas abajo, así como en las verduras en los mercados de Kumasi, muchas corrientes de aguas residuales contaminadas se utilizan para el riego. Aunque la agricultura urbana y peri-urbana tiene un impacto positivo en el suministro de alimentos y medios de vida, esta problemática con lleva a riesgos para la salud de los agricultores y los consumidores |
| A. Ferrer. 2012 [27] | Tailandia; Asia | Residuales | lechuga, col, pepino | Giardia lamblia, Entamoeba histolytica, G. lamblia, E. histolytica. | ERMQ | Dos protozoos, Giardia lamblia y Entamoeba histolytica, se cuantificaron y analizaron por PCR en tiempo real, se llevó a cabo evaluación de la exposición y, por último, se calculó el riesgo de infección debido al contacto con aguas residuales en diferentes escenarios. Los resultados mostraron que el agua y verdura fueron fuertemente contaminadas con G. lamblia y E. histolytica. El riesgo de infección fue alta en los escenarios analizados y en gran medida supera el riesgo aceptable teniendo en cuenta las directrices de la OMS. |

ERMQ: Evaluación de riesgo cuantitativa

ERMC: Evaluación de riesgo cualitativa

EIS: Evaluación del impacto en la salud