



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Instituto de Ciencias
Centro de Agroecología

Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Factores de contaminación microbiológica en el agua de uso agrícola del sistema productivo de cilantro (*Coriandrum sativum L.*), propuesta de medidas preventivas

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestro en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Presenta
LUCERO LEYVA ABASCAL

Director de la Tesis
DRA. MARÍA LORENA LUNA GUEVARA

Co-Director
DR. JESÚS FRANCISCO LÓPEZ OLGUÍN

Puebla, Pue.

Agosto, 2022



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Instituto de Ciencias
Centro de Agroecología

Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Factores de contaminación microbiológica en el agua de uso agrícola del sistema productivo de cilantro (*Coriandrum sativum L.*), propuesta de medidas preventivas

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestro en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Presenta
LUCERO LEYVA ABASCAL

Director de la Tesis
DRA. MARÍA LORENA LUNA GUEVARA

Co-Director
DR. JESÚS FRANCISCO LÓPEZ OLGUÍN

Puebla, Pue.

Agosto, 2022

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

AGRADECIMIENTO INSTITUCIONAL

Agradezco la colaboración a los Productores de cilantro del Estado de Puebla, México.

Al proyecto de apoyo VIEP (100050799-VIEP2021).

Al Dr. Miguel Ángel Villalobos López, del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del IPN (CIBA, Tlaxcala), por su colaboración en la identificación molecular de cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp.

Al laboratorio del Centro de Inocuidad Alimentaria (CFS) de la Universidad de Georgia, Campus Griffin por facilitar el acceso a las instalaciones del Centro para la detección molecular del parásito *Cyclospora cayetanensis*, que se logró mediante el fondo del programa 100K Strong Americas de la Fundación Jenkins y Coca-Cola.

Al Doctor Juan Silva del Departamento de Procesamiento e inocuidad alimentaria de la Universidad de Misisipipi State por su apoyo para la otorgación del Kit RapidChek® SELECT™ y su apoyo en la identificación molecular de las cepas *E. coli* mediante pruebas de PCR.

Así mismo, se agradece al programa de Becario CONACYT de Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas, 1078234.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A la vida, porque a través de ella puedo vivir, apreciar y sentir lo hermoso que me rodea.

A mi familia, nada es posible o tendría sentido sin ellos: mi esposo Ricardo que sin dudar está ahí cuando digo “¡quiero...!” , a Sarah porque su existencia alumbró mi vida y sus sueños acompañaron mis desvelos, a mis padres que me han dado la mejor de las vidas, a mis hermanos por su complicidad y compañía, a mi suegra que con su amor y dulzura me regala su tiempo para que yo pueda dedicarme a estudiar.

A mis amigos y profesores que siempre están ahí, presentes o a distancia para compartir sus alegrías y cariño conmigo.

A los Doctores Jesús Olguín López, Dionicio Juárez Ramón, Ynes Ortega y Miguel Ángel Villalobos porque hicimos un excelente equipo de trabajo y aún a distancia supimos dar lo mejor de cada uno, por su paciencia y cariño, gracias.

A mi querida profesora la Dra. Lorena Luna, siempre agradeceré el día que la conocí, desde ese momento quise ser su compañera de trabajo, la admiro y quiero profundamente.

A los productores, empacadores, proveedores y operadores de cilantro de Puebla que me dieron la bienvenida en sus espacios de trabajo.

DEDICATORIAS

Para Sarah y Ricardo, porque elegimos este camino juntos. Todos los días los amo.

Índice de contenido

Resumen	10
Abstract	11
CAPÍTULO I	12
Introducción General	12
Planteamiento del problema	14
Objetivo general	16
Objetivos específicos.....	16
Hipótesis.....	16
CAPÍTULO II	17
2.1 Agua de uso agrícola.....	17
2.1.1 Fuentes de contaminación del agua de uso agrícola.....	18
2.1.2 Agua de producción o precosecha	20
2.1.3 Agua de procesamiento o postcosecha	24
2.2 Cilantro	27
2.2.1 Relevancia productiva	27
2.2.2 Región productiva del Sureste de México	29
2.2.3 Relación comercial entre Estados Unidos y México	31
2.2.4 Alerta de importación 24-23	31
2.2.5 Sistema productivo	36
2.3 Inocuidad de productos agrícolas frescos	38
2.3.1 Inocuidad de productos agrícolas frescos.....	38
2.3.2 Relevancia de inocuidad del cilantro	41
2.3.2 Microorganismos patógenos	44
2.3.3 Microorganismos presentes en el cilantro	54
2.4 Sistemas de inocuidad	57
2.4.1 Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos (FSMA).....	57
2.4.3 Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación en la producción primaria de vegetales (SRRC)	59
CAPÍTULO III	63
CAPÍTULO IV	64
4.1 INTRODUCCIÓN.....	66
4.2 METODOLOGÍA	68
4.2.1 Diagnóstico regional de sitios de producción y empaque	68
4.2.2 Análisis de la información.....	71
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
4.3.1 Diagnóstico general de la zona agrícola de Puebla	71
4.3.2 Descripción del producto cilantro de exportación	73
4.3.3 Análisis del sistema cilantro e identificación de actores	74
4.3.4 Actividades de intervención.....	82
4.4 CONCLUSIONES.....	87
CAPÍTULO V	93

5.1 INTRODUCCIÓN.....	95
5.2 METODOLOGÍA	97
5.2.2 Muestreo.....	97
5.2.3 Análisis microbiológicos.....	98
5.2.4 Diseño de medidas preventivas en función de los resultados obtenidos.....	105
5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	106
5.3.1 Muestreos y resultados microbiológicos	106
5.3.2 Medidas preventivas	125
5.4 CONCLUSIONES.....	128
<i>CAPÍTULO VI.....</i>	132
<i>Literatura citada.....</i>	135

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Herramientas de diagnóstico y su aplicación para generación de información sobre el sistema productivo cilantro.	72
Cuadro 2 Funciones desempeñadas por los actores del sistema productivo cilantro.	78
Cuadro 3. Análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas relacionadas con la inocuidad del cilantro de la unidad de empaque.	83
Cuadro 4. Toma de muestras de agua y producto en el SPC en diferentes estacionalidades y su procesamiento.....	98
Cuadro 5. Procedencia de muestras y resultados microbiológicos de muestreos realizados durante el mes de Marzo.....	107
Cuadro 6. Procedencia de muestras y resultados microbiológicos de muestreos realizados durante el mes de Julio	109
Cuadro 7 Procedencia de muestras y resultados microbiológicos de muestreos realizados durante el mes de Noviembre	111
Cuadro 8 Medidas preventivas de contaminación para el sistema productivo de cilantro	126

Índice de Figuras

Figura 1. Sistema de riego por goteo: bomba y mangueras, agua de uso agrícola durante el cultivo de cilantro.	20
Figura 2. Agua de uso agrícola durante la precosecha de cilantro para fumigación y fertilización	21
Figura 3. Agua de uso agrícola durante la postcosecha en operaciones de lavado de cilantro dentro de la Unidad de Empaque.	24
Figura 4. Agua de uso agrícola durante la postcosecha de cilantro en la etapa de enfriamiento (hielo) para producto empacado.....	25
Figura 5. Cilantro poblano para cosecha destinado a mercado internacional	28
Figura 6. Microscopía electrónica de barrido del biofilm formado por <i>Escherichia coli</i> (UAL, 2007).	49
Figura 7. Microscopía electrónica de barrido del biofilm formado por <i>Salmonella</i> (Merino, 2019).	50
Figura 8. Microscopía de <i>Cyclospora cayetanensis</i>	53
Figura 9. Ciclo de vida del parásito <i>Cyclospora cayetanensis</i> (CDC, 2021)	54
Figura 10 Plan de investigación. Donde SPC= Sistema productivo cilantro; UP= Unidad productivo; UE= Unidad empaque.	63
Figura 11. Etapas de producción del Sistema Producto Cilantro.	75
Figura 12 Dinámicas entre etapas y actores del sistema productivo cilantro	79
Figura 13. Porcentajes de participación de los actores del sistema productivo cilantro en el curso Inocuidad de productos frescos (PSR).	86
Figura 14. Etapas de análisis bacteriológicos de las muestras de agua y cilantro del sistema productivo cilantro (SPC).	99
Figura 15. Método de detección molecular para <i>Cyclospora cayetanensis</i> (BAM, 2022)	102
Figura 16. Recuento de organismos coliformes totales en muestras de agua durante la precosecha y postcosecha.	113
Figura 17. Recuento de <i>Escherichia coli</i> en muestras de agua.	114
Figura 18. Porcentajes de positividad de la presencia de <i>Salmonella</i> spp. en muestras de agua.	115

Figura 19 Recuento de organismos coliformes totales (UFC/g) en muestras de cilantro colectadas en diferentes temporadas del año.....	116
Figura 20. Recuento de <i>Escherichia coli</i> en muestras de cilantro	117
Figura 21. Presencia de <i>Salmonella</i> spp. en muestras de cilantro.....	118
Figura 22. Presencia de <i>Cyclospora cayetanensis</i> en muestras de cilantro	119
Figura 23 Recuento de organismos coliformes totales en muestras de manos..	120
Figura 24 Recuento de <i>Escherichia coli</i> en muestras de manos.....	121
Figura 25 Recuento de <i>Salmonella</i> spp. en muestras de manos	122

Resumen

El agua de uso agrícola puede ser una fuente potencial de contaminación durante la producción de cilantro (*Coriandrum sativum L.*), por ser un medio ideal de reproducción y transporte de patógenos causantes de enfermedades transmitidas por los alimentos. El cilantro de Puebla, México ha sido asociado a brotes anuales de ciclosporiasis razón de la alerta de importación 24-23 de la FDA que prohíbe la entrada del producto durante el periodo de mayor prevalencia del parásito *Cyclospora cayetanensis*. Debido a su relevancia económica y gastronómica, es necesario asegurar su inocuidad. La presente investigación tuvo por objetivo identificar las fuentes de contaminación durante las etapas de producción, cosecha y postcosecha de cilantro considerando la temporalidad del muestreo sobre la presencia de los microorganismos *Escherichia coli*, *C. cayetanensis* y *Salmonella spp.* La metodología implicó 5 etapas: 1) diagnóstico, 2) selección de los sitios de producción y empaque, 3) toma de muestras, 4) análisis microbiológicos y 5) diseño de medidas preventivas de contaminación. Se analizaron 136 muestras de agua, cilantro, superficies y manos de operadores en las que se confirmó la presencia de organismos coliformes totales por recuento en placa, *E. coli* y *Salmonella spp.*, las cepas obtenidas se aislaron para identificación. Se confirmaron factores de contaminación microbiológica en agua de uso agrícola, manos y producto empacado, además se determinó la presencia del parásito *C. cayetanensis* en cilantro. En Julio se encontraron los mayores recuentos de coliformes totales (3×10^7) y *E. coli* (4×10^5) en cilantro y manos, se identificó la presencia de *Salmonella spp.* en agua de pozo, agua de lavado de producto y manos. Existe diferencia entre los resultados obtenidos para las temporadas de sequía e invierno. Se propusieron medidas preventivas relacionadas con la implementación de sistemas de inocuidad, monitoreo de microorganismos patógenos en etapas de producción, cosecha y cosecha, capacitación de operadores, así como la creación de instalaciones sanitarias en el campo de producción.

Palabras clave: cilantro, exportación, FSMA, *Cyclospora cayetanensis*, agua de uso agrícola

Abstract

Agricultural water can be a potential source of contamination during the production of coriander (*Coriandrum sativum L.*), is an ideal medium for the reproduction and transport of pathogenic organisms that cause foodborne illness. Coriander from Puebla, Mexico has been associated with outbreaks of cyclosporiasis, reason for the implementation of FDA import alert 24-23 that prohibits the entry of the product during the period of highest prevalence of the parasite *Cyclospora cayetanensis*. Due to its economic and gastronomic relevance, it is necessary to ensure its safety. The objective of this research was to identify the sources of contamination during the production, harvest and post-harvest of coriander, considering the season of the sampling on the presence of the microorganisms *Escherichia coli*, *Cyclospora cayetanensis* and *Salmonella* spp. The methodology involved 5 stages: 1) diagnostic, 2) selection of production and packaging sites, 3) sampling, 4) microbiological analysis and 5) design of preventive controls. Were obtained 136 samples of water, coriander, surfaces and hands of workers in which the presence of total coliforms was confirmed by plate count, *E. coli* and *Salmonella* spp., the strains obtained were isolated for identification. Factors of microbiological contamination in agricultural water, hands and packaged product were confirmed, also the presence of the parasite *Cyclospora cayetanensis* in coriander. During the month of July, the highest counts of total coliforms (3×10^7 UFC/g) and *E. coli* (6×10^5 UFC/g) were found in coriander and hands, *Salmonella* spp. was identified in wells, water for produce wash and worker's hands. There is a difference between the results of the summer and winter seasons. Preventive measures were proposed to implement safety systems, monitoring pathogenic microorganisms in the production, harvest and postharvest of cilantro, training of workers and the built of sanitary facilities in the production fields.

Key words: coriander, export FSMA, *Cyclospora cayetanensis*, agricultural water

CAPÍTULO I

Introducción General

El agua es un recurso indispensable para la producción de alimentos, según su empleo, el agua de uso agrícola puede destinarse a actividades de producción (riego, fertiirrigación, aspersiones, protección contra heladas) o bien, de uso durante la cosecha y en actividades postcosecha (empaque, almacenamiento y transporte) según la Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos (FSMA, por sus siglas en inglés (2019), debe ser inocua y de calidad sanitaria adecuada para su uso previsto, así al entrar en contacto con el alimento o partes comestibles del producto vegetal no representará un riesgo de contaminación microbiológica para los productos.

Al mismo tiempo, el agua puede ser una fuente potencial de contaminación de alimentos agrícolas frescos como asegura la Agencia de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) que es el caso de agua utilizada en el proceso de producción y postcosecha de cilantro (*Coriandrum sativum*) de Puebla, producto que ha estado asociado a brotes ciclosporiasis en Estados Unidos durante los años 2012- 2014. Estos eventos dieron inicio a las inspecciones de la FDA en las unidades de producción y empaque de Los Reyes de Juárez de Puebla, sitios donde se encontraron evidencia suficiente para asociar al producto poblano con la presencia de diversos microorganismos patógenos incluido el parásito *C. cayetanensis*. Dando inicio a la Alerta de importación 24-23 que entró en vigor en 2014 prohibiendo el ingreso del cilantro poblano al mercado americano desde el primero de abril hasta el treinta y uno de agosto de cada año (FDA, 2021).

La implementación de la Alerta 24-23 ha provocado un impacto social y económico entre los productores poblanos quienes han enfrentado el problema de inocuidad del cilantro con sus propios recursos. En México, el Servicio Nacional de Sanidad, inocuidad y Calidad (SENASICA) que supervisa y certifica unidades de producción de hortalizas y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) que regula y certifica unidades de empaque de hortalizas, han intervenido capacitando al personal operativo en inocuidad, pero el tiempo y dinero

requeridos para dichos cambios proviene de los agricultores quienes reconsideran que el cambio es benéfico en temas de salud y de mejora productiva. La Alerta de Importación complicó el escenario rural poblano en el que se viven procesos de despojo de agua y tierra, por causas ambientales, políticas y sociales, pues los espacios rurales ya no les pertenecen a los campesinos, si no al mercado internacional (Toscana *et al.*, 2016), que al mismo tiempo los presiona para cubrir su demanda de disponibilidad de alimentos frescos de calidad e inocuos.

Cuando el cilantro de exportación es rechazado en la frontera se genera como consecuencia grandes pérdidas económicas para los diversos grupos de productores, por lo que es importante someter a un análisis los factores que determinan la contaminación microbiológica y aquellos que influyen en el proceso de implementación de medidas preventivas de la contaminación. La FDA indica en la Alerta 24-23 que el agua de uso agrícola en el sistema productivo de cilantro es una fuente potencial de contaminación microbiológica.

En el presente proyecto de investigación se plantean los objetivos de trabajo para determinar si el agua de uso agrícola en el sistema productivo y de empaque de cilantro de Puebla es una fuente potencial de contaminación microbiológica..

Planteamiento del problema

El cilantro (*Coriandrum sativum* L.) es una hortaliza de hoja comestible cultivada a cielo abierto y es cosechada cuando la planta alcanza una altura entre 30-40 cm. Una vez cosechado, el cilantro tiene diversos usos gastronómicos y su consumo es mayormente fresco, altamente demandado en México, país productor y que destina parte de su producción a exportación para Estados Unidos. Es considerado un Producto Agrícola Fresco (PAF) en el mercado nacional e internacional y tiene relevancia productiva para el Estado de Puebla.

Sin embargo, este producto agrícola fresco ha sido asociado a brotes de padecimientos ocasionados por las bacterias patógenas como *Shigella* y *Salmonella*, además de parásitos como *Cyclospora cayetanensis*, parásito que provoca la enfermedad ciclosporiasis (Gómez-Aldapa *et al.*, 2016) en diferentes lugares de Estados Unidos durante tres años consecutivos, por lo que la FDA implementó la Alerta 24-23, afectando de manera directa e indirecta a los actores que participan en el Sistema Productivo Cilantro (SPC) desde su producción hasta su comercialización. A pesar de que el cilantro mexicano no ha sido asociado a brotes de diarrea por patotipos de *Escherichia coli*, la relevancia de este patógeno y su presencia constante en vegetales frescos reafirma la importancia de su detección (Gómez-Aldapa *et al.*, 2016). La presencia de bacterias resistentes a los antibióticos en vegetales frescos es un tema de relevancia para estudios de salud pública por su prevalencia en productos agrícolas frescos que son mínimamente procesados.

La relación comercial que existe entre Estados Unidos y México es sumamente estrecha debido a las importantes cantidades de productos de origen agrícola que México que se exportan al mercado americano, por lo que la implementación de Alertas refiere un problema para el sector productivo. La presencia de organismos patógenos como el parásito *Cyclospora cayetanensis* se debe a una falta de inocuidad durante el manejo del producto, cuando los microorganismos asociados al producto son de origen entérico, se refiere a una contaminación cruzada del producto por parte de quien lo manipula (FDA, 2022).

La industria alimentaria tiene como objetivo que los productos que llegan a los consumidores sean nutritivos, saludables e inocuos. Específicamente, la inocuidad del cilantro se ve afectada por la presencia de microorganismos patógenos que pueden provenir de distintas fuentes de contaminación, por lo que sería necesario considerar cada etapa del Sistema Producto Cilantro (SPC) desde su cultivo en campo, su cosecha y manejo postcosecha, para identificar las fuentes de contaminación con las que puede estar en contacto, para realizar un plan de muestreo y análisis microbiológicos correspondientes. Según los hallazgos de la FDA durante sus visitas a los sitios de producción en Puebla, el agua de uso agrícola, es decir, el agua de uso en la producción y en actividades post cosecha puede ser la fuente más probable de contaminación microbiana, por lo que resulta relevante analizar cada fuente de agua de uso agrícola presente durante el sistema productivo cilantro.

Objetivo general

Evaluar la calidad microbiológica del agua de uso agrícola como fuente de contaminación en el sistema productivo de cilantro (SPC) y determinar su efecto sobre la inocuidad final del producto.

Para el cumplimiento del objetivo general, se desglosaron tres objetivos específicos que implicaron las tres fases del plan de investigación del proyecto: diagnóstico, evaluación y propuesta de medidas preventivas.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico del sistema productivo y de empaque de cilantro de Puebla para identificar el funcionamiento y las fuentes de agua de uso agrícola.
- Identificar las fuentes de contaminación (peligros microbiológicos) durante las etapas precosecha, cosecha y poscosecha del Sistema productivo cilantro, considerando la temporalidad del muestreo sobre la presencia de *Escherichia coli*, *Cyclospora cayetanensis* y *Salmonella spp.*
- Proponer las medidas de control de contaminación en el sistema productivo de cilantro. en función de los dos objetivos anteriores. evaluaciones de los microorganismos patógenos presentes en el agua de uso agrícola.

Hipótesis

En el agua de uso agrícola del sistema productivo cilantro de Puebla existen factores identificables de contaminación microbiológica que impactan la inocuidad del producto.

CAPÍTULO II

Marco teórico y conceptual

2.1 Agua de uso agrícola

El agua es un recurso indispensable para la producción de alimentos, en el mundo, las actividades agrícolas ocupan hasta el 70% del agua que se extrae, más de 330 millones de hectáreas destinadas a producir alimentos cuentan con sistemas de riego, ese tipo de agricultura representa el 20% del total de la superficie cultivada y aporta el 40 % de la producción total de alimentos a nivel mundial (Banco Mundial, 2020) .

Según su empleo, el agua de uso agrícola puede destinarse a actividades de producción (riego, fertirrigación, aspersiones, protección contra heladas) o bien, de uso en actividades postcosecha , empaque, almacenamiento) (FSMA, 2019).

Como requisito para la agricultura, el agua de uso agrícola debe ser inocua y de calidad sanitaria adecuada para su uso previsto, así al entrar en contacto con el alimento o partes comestibles del producto vegetal no representaría un riesgo de contaminación microbiológica para los productos. La calidad del agua de riego y procesamiento incide sobre la productividad de los cultivos y su manejo, la presencia de microorganismos en ella puede significar un efecto benéfico o uno perjudicial (Corrales *et al.*, 2017).

Es necesario que los productores que decidan destinar sus cultivos al mercado internacional como productos de exportación hacia los Estados Unidos realicen la evaluación del agua de uso agrícola definiendo tres factores:

1. Sistema(s) de agua de uso agrícola
 - a. Ubicación y naturaleza de la fuente de agua
 - b. Tipo de sistema de distribución
 - c. El grado de protección del sistema
2. Prácticas del agua de uso agrícola:
 - a. El tipo de método de aplicación
 - b. Intervalo de tiempo entre la aplicación directa y la cosecha

3. Características del cultivo

- a. Susceptibilidad del producto a la adhesión superficial o internalización de microorganismos

Se debe considerar que existen factores que condicionarán las evaluaciones del agua de uso agrícola como:

1. Condiciones ambientales

- a. Frecuencia de lluvias intensas o eventos climáticos extremos
- b. Temperatura del aire
- c. Exposición al sol (UV)

2. Otros factores relevantes

- a. Resultados de pruebas que podrían respaldar la evaluación

El acceso al agua y la seguridad hídrica son fundamentales para la seguridad alimentaria, los ingresos y los medios de vida de las comunidades rurales, la falta de acceso seguro a los recursos hídricos es una gran limitación para millones de agricultores pobres, principalmente los que habitan en zonas de secano, pero también aquellos que realizan una agricultura de irrigación (FIDA, 2016).

El agua de uso agrícola puede ser una fuente de contaminación microbiológica para los productos hortícolas y comprometer su inocuidad cuando algún microorganismo patógeno se introduce y usa el agua como medio de propagación, por lo que entender los riesgos asociados a este proceso resulta importante para la reducción de los mismos. Cuando las fuentes de agua de uso agrícola no son inocuas o son adecuadas para su uso, se deben descontinuar inmediatamente su uso (FSMA, 2022).

2.1.1 Fuentes de contaminación del agua de uso agrícola

Si se determina que, existen uno o más peligros conocidos razonablemente previsibles relacionados con la actividad animal, los mejoradores de suelo, desechos humanos en los terrenos adyacentes o cercanos para los cuales la mitigación es razonablemente necesaria se deben implementar medidas inmediatamente en la misma temporada de cultivo. Para lograr la identificación de

peligros, se requiere que cada unidad productiva recolecte muestras para evaluaciones asegurando que sean recolectadas asépticamente de forma inmediata antes o durante la temporada de cultivo y sean representativas de su uso del agua y que sean analizadas para la presencia de *Escherichia coli* o cualquier otro microorganismo indicador científicamente válido, organismo de referencia u otro analito. La frecuencia de muestreo y los criterios microbianos utilizados tendrían que ser apropiados para ayudar a determinar, junto con otros factores evaluados, si es necesaria la mitigación, por ejemplo: tratar el agua, inspección frecuente, cambiar el método de aplicación de agua. Incluso se puede considerar el protocolo de la FDA desarrollado para ayudar a registrar los tratamientos químicos para el agua que es utilizada en producción o postcosecha (FSMA, 2022).

Las fuentes de contaminación por patógenos de humanos de las frutas y hortalizas frescas son diversas. Entre ellas se encuentran las manos de los trabajadores y el agua de uso agrícola, se tienen registros de dos brotes de enfermedades uno por *Salmonella* y otro por *Escherichia coli* O157:H7 en EE. UU asociados al consumo de tomates y lechugas frescas, en ambos casos, los estudios epidemiológicos realizados señalaron que el agua con la que se regaron estos productos estaba contaminada con las bacterias mencionadas (Rendón. *et al.*, 2008).

Las actividades agrícolas no sólo requieren de fuentes de agua de calidad e inocua, al mismo tiempo, la agricultura puede ser una fuente de contaminación para el agua, cuando no se han implementado prácticas sostenibles que protejan a los ecosistemas y por lo tanto a la salud humana, pues existe una sobreexplotación de mantos acuíferos y un mal manejo del entorno que permite la filtración de contaminantes químicos típicamente usados para la producción altos en nitratos, materia orgánica, sedimentos y sales que contaminan los mantos acuíferos; la agricultura. Los contaminantes agrícolas más preocupantes para la salud humana son los patógenos del ganado, plaguicidas, nitratos en las aguas subterráneas, oligoelementos metálicos y los contaminantes emergentes, incluidos los antibióticos y los genes resistentes a los antibióticos excretados por el ganado (FAO, 2018).

Además de ser un potencial vehículo de transporte y reproducción para los microorganismos, el agua es un recurso presente en la mayoría de los procesos en la industria de los alimentos y puede tener contacto con todas las superficies que tienen contacto directo o no con los alimentos, como las manos de los trabajadores, las mesas de trabajo, transporte, máquinas y utensilios. Debido a eso, es de suma importancia que se controlen los puntos críticos donde la contaminación puede darse.

2.1.2 Agua de producción o precosecha

El agua de precosecha, de acuerdo con lo descrito en la Ley FSMA es el agua de uso agrícola destinada al uso para el cultivo de los productos en actividades agrícolas como riego (Figura 1), fertilización o fumigación (Figura 2) (FDA, 2022).



Figura 1. Sistema de riego por goteo: bomba y mangueras, agua de uso agrícola durante el cultivo de cilantro.



Figura 2. Agua de uso agrícola durante la precosecha de cilantro para fumigación y fertilización

Los recursos hídricos están sometidos a enormes presiones debido al incremento de demanda de agua de calidad y al mismo tiempo esto está condicionado por factores políticos, sociales y ambientales; el acelerado incremento de la población genera una mayor demanda de agua para consumo, industria y la agricultura, entre otros. La inocuidad del agua de producción es de suma relevancia por el potencial efecto que tiene en la salud humana y de los ecosistemas, entre las características de calidad e inocuidad se consideran la salinidad, sodicidad y toxicidad, además, se consideran indicadores de que permiten determinar su aptitud para ser usada con fines agrícolas como la relación de adsorción de sodio, carbonato de sodio residual, el pH, la conductividad eléctrica, el grado de acidez, porcentaje de sodio posible, salinidad efectiva, salinidad potencial, índice de permeabilidad. Cuando la fuente de agua es subterránea, depende de factores como características topográficas y del suelo, actividades humanas que afectan su calidad, la presencia de corrientes superficiales vecinas de agua y la percolación pueden afectarla.

El cambio climático es otro factor que afecta las fuentes de agua, específicamente las condiciones hidrogeológicas como la temperatura del agua y el balance de sales presentes. En relación con las características de calidad e inocuidad del agua destinada a labores agrícolas, existe una tendencia de generar un manejo integrado

de recursos hídricos para incrementar su uso eficiente, que impactarían de manera directa en los cultivos (Tartabull y Betancourt, 2016).

El agua de uso agrícola de pre cosecha debe ser inocua y de calidad. Para eso, la Ley FSMA (2019) indica que es necesario que se consideren actividades y colindancias de las fuentes de agua que se utilicen en el campo, pues la actividad animal, aplicación de mejoradores biológicos en suelo y la presencia de desechos humanos sin tratamientos puede afectar estas fuentes. El productor debe considerar la naturaleza de los sistemas de agua, proximidad de terrenos adyacentes y cercanos al sistema de agua, así como la topografía de los alrededores. Se deben evaluar los efectos de cualquier cercado contenido o medida preventiva de acceso a fauna silvestre. También será relevantes las barreras naturales cercanas a las fuentes de agua como tierra, zanjas y plantas.

En México, los volúmenes de aguas nacionales concesionados o asignados a los usuarios se agrupan para fines prácticos en usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y termoeléctricas) y no consuntivos (hidroeléctricas y conservación ecológica). El mayor uso es el agrícola, con el 75.7% del volumen concesionado para uso consuntivo. La fuente predominante es la superficial, con el 63.4% del volumen concesionado para este uso. Las superficies sembrada y cosechada para el año agrícola 2017-2018 y cultivos perennes, en régimen de riego y temporal fueron de 21.16 y 20.27 millones de hectáreas respectivamente. En 2018 la aportación del sector agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza al Producto Interno Bruto Nacional (PIB) fue de 3.5%. Al año 2018, la superficie sembrada bajo riego en México fue de 6.17 millones de hectáreas, de las cuales un poco más de la mitad corresponden a 86 distritos de riego, y el restante en más de 40 mil unidades de riego. Tomando en cuenta que existen variaciones anuales, el volumen de agua subterránea concesionada para este uso agrupado es 18.0% mayor en 2018 que en 2009. En el año 2008 se registró un volumen total de 61.2 km³ de agua utilizados por el sector agrícola, de los cuales 40.7 corresponden al agua superficial (reservorios artificiales) y 20.5 a fuentes subterráneas (acuíferos) (CONAGUA, 2019).

En algunos países, gran parte de las descargas de aguas domésticas sin tratamiento son empleadas para riego agrícola u otro tipo de reúso. En la Ciudad de México, el reúso de agua residual tiene sus orígenes a partir de la construcción de tres salidas artificiales para las aguas residuales del Valle de México, en 1890. Su reúso que ha permitido el incremento en la productividad agrícola, se puede considerar como una medida para reducir el impacto ambiental del uso del agua en la agricultura. En contraparte, este tipo de práctica es la causa principal de la transmisión de enfermedades diarreicas ocasionadas por parásitos helmintos.

A nivel mundial alrededor de 1,8 millones de personas mueren cada año debido a enfermedades diarreicas (incluido el cólera); un 90% de esas personas son niños menores de cinco años, principalmente procedentes de países en desarrollo (Chávez-Mejía, 2002). Además, se ha estimado que el 88% de las enfermedades diarreicas son producto de un abastecimiento de agua insalubre, de un saneamiento y una higiene deficientes. El agua es un vehículo importante de agentes patógenos causales de enfermedades diversas en el humano, dentro de los que destacan bacterias como el *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi*, *Yersinia enterocolitica*, virus como el de la hepatitis A y de Norwalk, protozoos importantes como *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica* y *Cryptosporidium parvum* (Félix-Fuentes *et al.*, 2007). La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA) en 1992 sugiere nueve procesos capaces de remover los microorganismos (huevos de helmintos HH, bacterias, virus y quistes), siendo las lagunas de estabilización las que presentan una mayor eficiencia para remover tanto los parásitos (1 a 3 unidades logarítmicas) y los coliformes fecales (1 a 6 unidades logarítmicas); este tipo de proceso es favorable para el reúso de agua residual en riego agrícola a bajo costo, siempre y cuando se opere correctamente, ya que tiene la ventaja de ser adecuado en poblaciones con pocos habitantes, que dispongan de una extensión grande de terreno y con poca evaporación; por lo tanto, no serían aplicables para algunas partes de México (Chávez-Mejía, 2002).

La agricultura es una actividad económica de alto consumo de recursos hídricos por lo que es importante que se aproveche en cada etapa de su uso y que no se contamine, pues el agua de uso durante la producción agrícola puede convertirse

en una fuente de contaminación potencial y esto implicaría un mal aprovechamiento del recurso por un manejo inadecuado. Los alimentos agrícolas frescos que son rechazados o desperdiciados durante su proceso y comercialización representan una pérdida económica, pero también de recursos naturales y humanos que fueron utilizados para su obtención.

2.1.3 Agua de procesamiento o postcosecha

El agua de uso para el procesamiento o postcosecha, de acuerdo con lo descrito en la Ley FSMA es el agua de uso agrícola dentro de unidades de empaque que pueden implicar operaciones de lavado y enjuague (Figura 3), enfriamiento o conservación (Figura 4) (FDA, 2022).



Figura 3. Agua de uso agrícola durante la postcosecha en operaciones de lavado de cilantro dentro de la Unidad de Empaque.



Figura 4. Agua de uso agrícola durante la postcosecha de cilantro en la etapa de enfriamiento (hielo) para producto empacado.

Los alimentos de origen agrícola deben pasar por operaciones mínimas de proceso para poder ser aptos para su consumo, de acuerdo con su uso final. Generalmente estas operaciones se llevan a cabo en sitios o unidades de empaque donde a partir de procesos mínimos o complejos se les da un valor agregado a los productos y finalmente son transportados para su comercialización. Sin embargo, las características de calidad e inocuidad de los productos agrícolas frescos se ven afectadas durante las labores posteriores a la cosecha debido a la influencia de factores en las etapas de cosecha, transporte, selección, manejo y almacenamiento, que pueden generar condiciones de deterioro prematuro, deshidratación y sobre todo contaminación por microorganismos. Como resultado de la falta de control en los procesos que afectan a los alimentos se encuentran la pérdida y rechazo de productos. Si bien el control de la contaminación cruzada de los alimentos puede iniciar desde las medidas preventivas tomadas en campo, las buenas prácticas de manufactura dentro de las industrias deben ser adecuadas para estandarizar sus materias primas y reducir los factores de contaminación para obtener productos inocuos. Debido a que los alimentos de campo que son destinados a su consumo

fresco, no pasan por etapas de proceso que eliminen o reduzcan la carga microbiológica por métodos de cocción, entonces los procesos de lavado y desinfección serán etapas de control crítico para asegurar la remoción de los microorganismos presentes (Corrales, 2018).

Para que las operaciones de lavado y desinfección sean eficaces, el agua que se utilizará en dichas operaciones debe tener características de calidad e inocuidad adecuadas y no se conviertan en fuentes potenciales de contaminación por presencia de organismos patógenos. Los aseguramientos de la inocuidad de productos frescos dentro de las unidades de empaque son relevantes para garantizar una vida pos-cosecha y de anaquel prolongada, así como para garantizar la salud del consumidor.

En la Alerta de importación 24-23 de la FDA implementada en agosto de 2015, se indica que el cilantro que se produce y empaca en el Estado de Puebla y se destina a exportación en los Estados Unidos, se indica que factores de contaminación identificables en el agua de uso agrícola del sistema productivo cilantro pueden ser la principal fuente de contaminación para el producto que ha sido asociado a brotes de ciclosporiasis por seis años consecutivos. También se indica que otras potenciales fuentes de contaminación pueden ser la contaminación fecal en campo, irrigación con agua contaminada, el lavado y/o enfriamiento de producto con agua contaminada y la falta de prácticas higiénicas de manejo de producto por operadores en las zonas de cosecha y empaque (FDA, 2022).

En función de lo estipulado en la Alerta 24-23, se puede considerar la necesidad de valorar las fuentes de contaminación e identificar los organismos presentes que tengan potencial patógeno para el producto dentro y fuera de las unidades de empaque, puesto que los empacadores realizan la comercialización del producto, así sería posible reducir las pérdidas de productos causadas por la falta de inocuidad en su manejo.

Posterior a la cosecha, el producto se traslada a las unidades de empaque para ser acopiados, seleccionados, lavados, recibir un tratamiento desinfectante y finalmente, empacados en frío para su transporte. Para estas operaciones, el agua

de uso agrícola de ser de calidad e inocua, con la posibilidad de evaluar sus indicadores como pH, turbidez, niveles de cloro e indicadores microbiológicos y dichas características deben monitorearse. El enfriamiento de producto debe realizarse inmediatamente después de la operación de desinfección, pues es el método más efectivo para retardar el deterioro de los vegetales de hoja comestible como el cilantro, para inhibir el crecimiento microbiano. Sin embargo, los microorganismos que pueden estar presentes en el agua de uso agrícola podrían introducirse en los vegetales a través de su epidermis o por heridas o aberturas (Corrales, 2018).

De acuerdo con Harris et al. (2003), está demostrado que existe infiltración del agua del lavado dentro de las hortalizas y esto favorece la contaminación de microorganismos cuando esa agua está contaminada, debido a que microorganismos patógenos como *Salmonella spp* y *Escherchia coli* tienen la capacidad de infiltrarse en los espacios entre células a través de los poros cuando existen condiciones adecuadas para ellos. Incluso se indica en Harris et al. (2003) que, la adición de detergentes en agua de lavado favorece la infiltración porque reduce la tensión superficial.

2.2 Cilantro

2.2.1 Relevancia productiva

El cilantro (*Coriandrum sativum L.*) es una planta aromática anual catalogada como hortaliza de hoja verde, comestible y perteneciente a la familia *Apiaceae*, alcanza entre 30 y 70 cm de altura, posee una alta demanda culinaria debido a sus características aromáticas y de sabor, relacionadas con la estimulación al apetito y su reconocimiento como parte de los remedios naturistas (INAGRI, 2021). Las propiedades de olor y sabor están asociadas a compuestos polifenólicos como son los ácidos: ferúlico, cafeico, gálico y clorogénico, reconocidos por sus propiedades bioactivas, antibacteriana y antifúngica, además de ser una fuente importante de vitaminas A, B12, C y ácido fólico (Rodríguez-Quintero *et al.*, 2021).

La agricultura mexicana cultiva alrededor de 80 mil toneladas anuales de cilantro en 7 mil hectáreas. Un volumen significativo se va a mercados internacionales. A nivel

Nacional los principales estados productores son Puebla, Baja California, Sonora, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco con 27,109.62; 5,841.46; 5,071.31; 2,718.00; 2,502.80; 2,020.80 toneladas anuales respectivamente. Tibaduiza-Roa *et al.*, (2018) señalan puntalmente que, en el estado de Puebla anualmente se cultivan 2,380 hectáreas de cilantro generando 71,400 empleos directos y 204,058 indirectos, esto debido a que cuenta con regiones geográficas con condiciones ambientales óptimas para la producción agrícola, a cielo abierto, de diversos cultivos (Figura 5).



Figura 5. Cilantro poblano para cosecha destinado a mercado internacional

Las ventas de cilantro a Estados Unidos han incrementado en toneladas anuales durante 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017: 28,477; 35,266; 41,485; 47,840; 51,164; 63,436 toneladas anuales respectivamente y han representado un valor comercial de: 16,393,448; 23,199,534; 29,342,774; 31,624,519; 36,830,774 y 46,555,643 de dólares respectivamente (SIAP, 2018). Para el año 2017, se destacan las ventas a Estados Unidos que adquirió 98.1%.

Sin embargo, como cultivo ha sido objeto de alertas sanitarias por estar asociado a brotes de ciclosporiasis en consumidores de Estados Unidos. Arvizu *et al.* (2015) indica que después de evaluar las condiciones de producción de cilantro en Puebla existe la necesidad de mejorar el sistema de producción, para asegurar la inocuidad del producto final.

Los vegetales frescos como el cilantro están expuestos en toda su cadena de producción a factores que influyen en sus características de inocuidad que pueden ser ambientales como: temperatura, humedad relativa, precipitación, viento, composición del suelo; por otra parte, las labores que se realizan para su obtención: abonamiento, riego, poda, cosecha. En consecuencia, su manejo puede incrementar los riesgos de contaminación si no se trabaja bajo medidas preventivas de control para la inocuidad, por esa razón, es importante que las unidades de producción y empaque implementen sistemas de inocuidad, basados en la identificación de sus puntos críticos para asegurar la inocuidad del cilantro.

Cuando los productos agrícolas frescos pierden no cumplen con estándares de calidad e inocuidad requeridos, se generan pérdidas postcosecha de esos productos, esto puede ser debido a factores abióticos (ambientales) y bióticos (organismos patógenos), lo que afecta a los sistemas productivos generando impacto económico y productivo.

2.2.2 Región productiva del Sureste de México

Aunado a la importancia nutricional y funcional, los productos agrícolas mexicanos por su consumo en fresco, incluyendo el cilantro, son ampliamente demandados por el mercado de Estados Unidos, lo que fomenta una relación comercial entre ambas naciones. Asimismo, estos alimentos deben cumplir con los requerimientos de calidad e inocuidad para su comercialización; siendo factores que determinan su aceptación o rechazo; en ambos casos el impacto económico para los actores de los sistemas productivos genera incertidumbre e inestabilidad en la planeación de ciclos de producción. En 2019 se produjeron 99,754 toneladas de cilantro en México, las cuales corresponden a la siembra anual de 1,704 ha y tiene un valor de producción de \$362,696.35 pesos. Puebla se ubica en el primer lugar nacional de producción de cilantro, con 29,355.98 toneladas anuales, de las cuales aproximadamente 22,000 ton son destinadas para exportación al mercado de los Estados Unidos (SADER, 2017; Tibaduiza-Roa *et al.*, 2018), por lo cual esta hortaliza representa uno de los nueve Sistemas Producto más importantes a nivel estatal.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2017) indica que son 48 los municipios de la entidad productores de cilantro, destacando aquellos que se ubican en la región del Valle de Serdán, donde se ubican las localidades de: Tepeaca, Quecholac, Tecamachalco, Los Reyes de Juárez y Palmar de Bravo.

La importancia económica del cilantro hace relevante la problemática generada en torno a su comercialización restringida a los Estados Unidos desde el 2014, debido a que la Agencia regulatoria de los Estados Unidos la FDA (Food Drug Administration), encontró relación entre los brotes consecutivos de padecimientos gastrointestinales por ciclosporiasis en este país y las condiciones inadecuadas de manejo e higiene de los sitios de cultivo y empaque de cilantro del Estado de Puebla, las cuales afectaban la inocuidad del producto. A partir de lo anterior, se implementó la Alerta de importación 24-23 (2014), impidiendo el ingreso del cilantro poblano al mercado de EUA, durante el periodo de abril-agosto de cada año (FDA, 2021a), propiciando que la producción generada en el Estado de Puebla se destine al consumo nacional.

La Alerta de Importación afectó el escenario rural poblano, el cual se ha visto limitado por factores ambientales, políticos, sociales y económicos. Específicamente, es relevante identificar el impacto que ha tenido sobre los actores clave del sistema productivo cilantro, (productores, cosechadores y empacadores) quienes participan en la producción, empaque y comercialización del cilantro para su exportación principalmente a EUA. La importancia de asegurar el suministro de alimentos inocuos y sanos, reduce los efectos de las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), que además de afectar la salud de los consumidores, tienen consecuencias negativas en la economía de los países en desarrollo. Los productores y empacadores de cilantro de Puebla tienen claro que la apertura comercial que brindan los tratados comerciales implica una ventaja de demanda de productos y pueden significar un avance tecnológico, en infraestructura y productividad para su entorno, por esa razón, tienen interés en trabajar de manera coordinada para fortalecer la inocuidad del cilantro dentro del sistema productivo poblano.

De acuerdo con la nueva regulación para la exportación de alimentos frescos a EUA (FSMA, 2019) cuando se garantiza la inocuidad de los alimentos que son destinados a exportación, se promueve el comercio internacional fomentando el crecimiento económico para determinados países (FAO/OMS, 2013).

2.2.3 Relación comercial entre Estados Unidos y México

Existe una relación estrecha entre Estados Unidos y México, pues en 2018, México fue el tercer socio comercial más importante de EE.UU. y el segundo lugar como mercado de importaciones y de exportaciones. Durante el primer trimestre de 2019. La diferencia de los ecosistemas y climas permite que los consumidores mexicanos y estadounidenses tengan una opción más amplia de productos frescos de alta calidad, proteínas animales y alimentos procesados durante todo el año, a precios accesibles. México es el principal proveedor de Estados Unidos de productos agrícolas con ventas por 27 mil millones de dólares en 2018, mientras que, Estados Unidos es el mercado número uno para las exportaciones mexicanas de cerveza de malta, tomates, aguacate, bayas, nueces, pepinos, albahaca, cilantro, cebollín y calabacita, entre otros (SADER, 2021).

A medida que el suministro de alimentos se vuelve cada vez más global, las alianzas entre la FDA con las contrapartes reguladoras en México y los productores de alimentos en otras naciones son más importantes que nunca. El trabajo que la FDA ha realizado en colaboración con el gobierno y la industria alimentaria de México demuestra lo mucho que podemos lograr por el bien de todos nuestros consumidores cuando trabajamos juntos (FDA, 2022).

2.2.4 Alerta de importación 24-23

Las acciones regulatorias de la FDA están sujetas a una revisión completa para determinar la causa raíz del brote de enfermedades, así se podría comprender cómo el patógeno fue transmitido por el alimento, esa es la finalidad de la trazabilidad. Los reportes de brotes se generan en el Centro de Control y Prevención de Enfermedades de Estados Unidos (CDC, por sus iniciales en inglés), el mismo centro indicó que desde finales de los años setentas, ha habido un incremento significativo en el consumo de alimentos frescos en los Estados Unidos,

presumiblemente por una promoción activa de campañas de mejoras para la salud y cambio en estilos de vida, al mismo tiempo, los consumidores están mayormente expuestos a los microorganismos patógenos que se encuentran en vegetales y frutas que reciben un procesamiento mínimo para su comercialización, operaciones como el lavado, desinfección, corte y empaque no implican procesos eficientes para la eliminación de los microorganismos como en el caso del cilantro. Una vez que se determina cuál ha sido la causa del brote, la FDA inicia una investigación para identificar las localidades donde se recibió el producto y posteriormente, inicia la complejidad de determinar la cadena de distribución del alimento, así se inspeccionan los sitios de producción para encontrar evidencia de que la contaminación del producto haya dado de manera directa. La FDA tiene como requisito la implementación de acciones regulatorias para reducir las posibilidades del surgimiento de nuevos brotes por la misma causa.

En el caso del cilantro, el sistema productivo implica tres etapas, de ellas dos se llevan a cabo en campo, la producción y cosecha, mientras que el procesamiento se realiza en instalaciones del empaque, por lo que se deberían implementar medidas preventivas de control de contaminación en cada etapa del sistema, tanto en campo como en empaque.

Los brotes de ciclosporiasis han sido recurrentes durante los años 2012, 2013, 2014 y 2015 en consumidores de cilantro poblano en Estados Unidos, señalando al producto como vehículo sospechoso de la enfermedad (FDA, 2020).

El 26 de Agosto de 2014, el CDC de Estados Unidos, recibió la notificación de 304 casos confirmados de infección por *C. cayetanensis*; de los cuales 207 de los estados de Arkansas, California, Connecticut, Florida, Illinois, Maine, Maryland, Massachusetts, Michigan, Minnesota, Montana, Nebraska, Pennsylvania, New Jersey, New York, Texas, Virginia, Wisconsin, and Washington no habían viajado fuera del país en un tiempo cercano previo a presentar los síntomas de la enfermedad. El 64% de los casos se reportaron en el estado de Texas y durante el mes de Julio (CDC, 2020). Recibieron hospitalización 183 personas y no hubo

reportes de ninguna defunción. La edad de las personas de contagio se encuentra en un rango de 3 a 88 años y la mayoría (56%) fueron mujeres.

Durante el rastreo epidemiológico de trazabilidad, la FDA identificó cuatro restaurantes en Texas en los que múltiples personas sin relación entre ellas que presentaron síntomas de ciclosporiasis consumieron cilantro fresco de dos a cuatro días antes de enfermar, esto se relacionó con las investigaciones preliminares sobre el cilantro poblano. Si las incidencias continúan, la presión sobre los productores poblanos de cilantro aumentaría (FDA, 2016).

En la Alerta de importación 24-23 que emitió la FDA el 27 de agosto de 2015, se dice que es extremadamente improbable que estos brotes de ciclosporiasis se deban a eventos de contaminación aislados debido a su naturaleza recurrente, tanto en el momento en que ocurren (de abril a agosto de cada año) como con su asociación al consumo de cilantro poblano. Hasta el momento, ningún proveedor (centros de venta, distribución), fecha de empaque, fecha de envío o código de lote ha revelado la explicación de los brotes.

Por lo tanto, la FDA sugiere que la fuente de contaminación por *C. cayetanensis* es probablemente atribuible a una fuente más amplia de contaminación. Las posibles fuentes de contaminación pueden ser presencia de heces fecales dentro de las áreas de cultivo, riego del campo de cultivo con agua contaminada o con aguas residuales, tratamientos de lavado o enfriado de producto con agua contaminada, carencia o malas prácticas de higiene por parte de los operadores de cultivo y proceso, falta de procesos adecuados de limpieza y desinfección de quipos y materiales que entran en contacto con el producto.

Para determinar qué prácticas y condiciones de cultivo y manejo de producto se realizaban en la zona productora de cilantro en Puebla, la FDA, la COFEPRIS y el SENASICA realizaron la inspección en 11 fincas productoras y empacadoras, de ellas 5 se relacionaron con los brotes de *C. cayetanensis* y se observaron condiciones reprobables en 8 de ellas; debido a que dentro de las condiciones observadas en los sitios se incluían la presencia de heces fecales humanas y papel de baño en las zonas de cultivo y sus alrededores, mantenimiento inadecuado en

los servicios sanitarios y estaciones de lavado de manos (sin jabón, sin papel de baño, sin agua, sin toallas de papel) o simplemente la carencia de las instalaciones de servicios sanitarios; las superficies que tienen contacto con el producto (taras de plástico, tablas de picar y envases) visiblemente sucias y sin lavar; y, el agua utilizada para propósitos de lavado de producto completamente expuesta y vulnerable a la contaminación de aguas residuales.

Además, en uno de los sitios se detectó la presencia de *C. cayetanensis* en el agua destinada para el uso de los operadores en el lavado de manos y servicio sanitario que se encontraba dentro de un tinaco que provee dicha agua. Por lo tanto, la FDA considera que las vías más probables de contaminación del cilantro fresco son: el contacto con el parásito proveniente del tracto intestinal de humanos infectados dentro de los campos de cultivo, áreas de cosecha, proceso o de empaque contaminadas con el parásito por medio de agua contaminada usada en los riegos, agua utilizada para la aplicación de agroquímicos o por el uso de aguas contaminadas (FDA, 2020).

La presencia de microorganismos patógenos en agua de uso agrícola sugiere un riesgo potencial de transmisión de la enfermedad si los vegetales frescos regados con esa agua son consumidos por humanos (Steele & Odumeru, 2004).

Esto llevó a la FDA a concluir que, el Cilantro importado proveniente del Estado de Puebla, México se encuentra adulterado porque aparentemente se procesó, preparó o empacó bajo condiciones insalubres y pueden perjudicar a la salud del consumidor. Por lo tanto, está sujeta a la denegación de admisión bajo la Sección 801 (a)(3) del Acta. La estacionalidad de los brotes anteriores de *C. cayetanensis* justifica la detención del cilantro poblano durante cada periodo entre el 1 de abril y el 31 de agosto de cada año. La detención cubre cilantro fresco en cualquier versión (intacto, picado o cortado), ya que el corte o picado incrementan la oportunidad de contaminación y la posibilidad de contaminación cruzada en un volumen mayor de producto, aunque los productos que lo contengan como ingrediente no están cubiertos por la alerta, tampoco el cilantro que ha sido procesado adicionalmente al corte o picado (deshidratado, cocido, molido).

Para facilitar la entrada de los productos a Estados Unidos, los embarques de productos provenientes de algún lugar de México excepto Puebla, deben proporcionar la documentación como: facturas o notas de embarque que declaren la finca de origen. La FDA ha detectado incluso a las compañías proveedoras de cilantro del Estado de Puebla que comercializan el producto bajo el nombre de empresas fuera de Puebla, por lo que se publicó una lista verde con los nombres y datos de las compañías a las que se les ha permitido el acceso por ser proveedores que cumplen con los requerimientos de procesos de calidad para producir cilantro inocuo, los proveedores que no pertenezcan a esa lista, no tienen acceso al mercado americano. En este caso, la FDA les sugiere que cumplan con: utilización de agua de uso agrícola adecuada; modificaciones en suelos y biosólidos; control de fauna doméstica y silvestre; prácticas de higiene entre los operadores; instalaciones sanitarias, eliminación de aguas residuales; limpieza y saneamiento de equipos y utensilios; limpieza y sanitización de instalaciones y transportes; programas de monitoreo de prácticas de higiene y seguridad y una selección de medidas preventivas y acciones correctivas, mismos requisitos que se solicitan para el cumplimiento de la Ley FSMA. Si se cumplen con esas condiciones la FDA puede añadir la compañía a la lista verde de proveedores.

Para el SENASICA, el gobierno estatal, los productores y empacadores es prioridad dar seguimiento al problema para generar estrategias que reduzcan los riesgos de contaminación química, física y biológica durante los procesos de producción primaria y de empaque de cilantro, pues el Estado de Puebla comercializa anualmente 150 mil toneladas de hierbas aromáticas y hortalizas en 35 países del mundo.

Así como el cilantro, existen otros sistemas productivos de hortalizas que comparten etapas de producción y cosecha en campo para posteriormente ser trasladados a sitios de empaque, entonces, el diseño de un plan de inocuidad para el cilantro y su implementación como sistema, puede utilizarse como modelo para iniciar investigación en posible contaminación de hortalizas frescas de la región de Puebla debido a que comparten fuentes de contaminación en común.

2.2.5 Sistema productivo

2.2.5.1 Producción

El cilantro de Puebla se siembra en cualquier época del año, siendo los meses de agosto a diciembre y el producto puede destinarse a venta en el mercado local, nacional o internacional. Es una hierba aromática poco exigente con el tipo de suelo, puede sembrarse en suelo arcilloso, arenoso e incluso de contenido bajo de materia orgánica; las semillas se siembran en hileras a 30 cm de distancia entre cada una a 1 cm de profundidad del suelo. El cultivo dura entre 60 y 80 días dependiendo de la variedad y el tipo de clima. Su reproducción es más aprovechable en zonas frescas, pues necesita un período de frío para lograr un adecuado crecimiento y desarrollo. En zonas calientes también se desarrolla, sin embargo, su aporte es reducido con un rendimiento en menor escala. El clima caliente hace florecer muy rápidamente al cilantro y limita el desarrollo de follaje. Las temperaturas entre 10° y 30° C proveen las condiciones óptimas de crecimiento. El cilantro tolera heladas ligeras (IICA, 2007). Las labores más comunes son: riego, deshierbe, manejo de plagas, cosecha de follaje o cosecha de semilla. El terreno debe prepararse hasta cerca de 20 cm de profundidad, para facilitar la germinación de las semillas (Tibaduiza-Roa *et al.*, 2018).

El cilantro es una planta de crecimiento indeterminado, con una raíz pivotante, y muy ramificada. Su ciclo ontogénico se desarrolla en dos etapas: vegetativa y reproductiva. En la primera etapa, durante el establecimiento del cultivo, se produce la aparición de hojas en la base. En la segunda etapa, se elongan los tallos, y se desarrollan las flores y los frutos. Las inflorescencias son grupos de flores o frutos que nacen en un mismo punto del tallo y se elevan a igual o casi igual altura. El cultivo de cilantro responde a días largos, es decir, en la medida en que recibe mayor cantidad de horas luz se acorta la etapa desde emergencia a dimorfismo foliar. La temperatura regula las etapas de dimorfismo floración, la floración-fructificación y la madurez (IICA, 2007).

Las labores culturales como aporque se deben realizar después de la aplicación de abono para mejorar la absorción de nutrientes y la aireación del suelo, deshierba

(escarda) se recomienda realizar esta labor 15 a 20 días después de brotar la semilla para evitar competencia por nutrientes, se recomienda la deshierba manual (Tibaduiza-Roa *et al.*, 2018). Existen buenas prácticas agrícolas (BPA) que deberían seguirse para asegurar el manejo adecuado del producto en campo, esto como parte de los sistemas de inocuidad que se implementen en cada región.

El cilantro debe estar bien desarrollado, de color verde, en estado fresco, entero, limpio, libre de hojas amarillentas o descoloridas, libre de pudrición, libre de plagas, y libre de cualquier olor o sabor extraño. El largo del tallo del cilantro debe ser mayor a 17 cm.; con un grosor de mazo mayor a 3.5 cm. Deberá ajustarse a los requisitos fitosanitarios del país destino.

2.2.5.2 Cosecha

Esta actividad se realiza de forma manual, en grupos de 30 a 50 personas llamados cuadrillas de cosecha. Estas personas son enviadas generalmente por las unidades de empaque que indican las características con las que debe cumplir su producto. Las plantas de cilantro cortadas se atan en manojos de 50 g y se colocan en cajas de plástico, las cuales se organizan en los camiones que las entregarán inmediatamente al empaque (Tibaduiza-Roa *et al.*, 2018).

Las actividades realizadas por las cuadrillas de cosechas deberían ser planeadas y supervisadas por las mismas unidades de empaque que envían a estos grupos con la finalidad de mantener un control en el sistema y generar una sinergia de colaboración articulada entre las actividades dentro y fuera del empaque, comenzando por las unidades de producción.

2.2.5.3 Empaque (manejo postcosecha)

El manejo postcosecha comienza con el acopio de cilantro que proviene de diferentes unidades de producción, las cajas pasan al área de proceso donde la primera actividad consiste seleccionar visualmente las plantas y sacudirlas manualmente para retirar suelo u otro material físico que pudiera venir adherido a ellas. Posteriormente las plantas de cilantro se colocan en cajas de plástico limpias de 20 kg y pasan a un área de lavado por aspersion o inmersión con agua potable tratada con ácido peracético (80 ppm) en algunos casos. Después de lavado, el

cilantro se empaqueta y cubre con hielo para bajar su temperatura. Se aplica hielo molido en la base y en la superficie de las cajas de cilantro, con la finalidad de mantener frescas las hojas sin congelarlas. Enseguida, las cajas en tarimas se almacenan o embarcan en el transporte, debe mantenerse una temperatura de 0-5°C hasta su envío a Estados Unidos en camiones con termo refrigeración a 0-5°C. Cada proceso dentro de las unidades de empaque debería basarse en un plan de inocuidad con procedimientos de monitoreo para asegurar la calidad e inocuidad del producto que se comercializa, independientemente del mercado al que esté destinado.

2.2.5.4 Transporte

Los vehículos utilizados para el transporte del producto deben ser cerrados en todos sus lados, de manera que prevengan la contaminación del producto. El interior de las cajas de carga debe ser construido preferentemente de materiales lisos, sin poros, no absorbentes, no corrosivos y no tóxicos. Antes de realizar el embarque del producto, es necesario inspeccionar que el interior de la caja de carga se encuentre libre de olores, materias extrañas, sustancias químicas, roturas o aberturas. Las cajas de carga en que se transporte el producto, deberán ser usadas exclusivamente para el transporte de frutas o vegetales frescos. La temperatura interior de la caja debe ser supervisada y mantenida en un rango apropiado que no dañe el producto y minimice el desarrollo de microorganismos patógenos. La carga y descarga debe ser realizada cuidadosamente, evitando dañar el producto (IICA, 2007).

2.3 Inocuidad de productos agrícolas frescos

2.3.1 Inocuidad de productos agrícolas frescos

La inocuidad de los alimentos es una disciplina, proceso o acción de carácter científico que ayuda a prevenir que los alimentos contengan sustancias que puedan perjudicar la salud de las personas. La alimentación es la tercera necesidad humana más básica, tras el aire y el agua. Solo cuando los alimentos son inocuos, pueden contribuir a nuestra salud y seguridad alimentaria. Cuando no lo son, las personas no pueden desarrollarse, no pueden reducirse el hambre y la pobreza y no es

posible llevar una vida sana. Si un alimento no es inocuo, no es un alimento. Todas las personas que producen, elaboran, transportan, almacenan, preparan, sirven y consumen alimentos deben emplear prácticas que permitan mantener su inocuidad. Los gobiernos desempeñan un papel fundamental en la elaboración de legislación, la aplicación de políticas, la realización de inspecciones, el cumplimiento de la reglamentación, la educación y la comunicación con el público y la respuesta a incidentes y situaciones de emergencia relacionados con la inocuidad de los alimentos cuando se producen (FAO, 2002).

Los alimentos pueden volverse no inocuos en cualquier punto de la cadena de suministro. Los contaminantes pueden penetrar en los productos alimenticios a través del suelo, el agua, el aire o el equipo utilizado durante la producción y la elaboración. El almacenamiento inadecuado de los alimentos, su manipulación de manera antihigiénica y su transporte a una temperatura incorrecta pueden contribuir a que se vuelvan nocivos.

El consumidor también puede ser el causante si, por ejemplo, no cocina los alimentos de forma apropiada. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) exigen que todas las personas, en particular las que son pobres y vulnerables, tengan acceso a alimentos inocuos, nutritivos y suficientes durante todo el año. La inocuidad de los alimentos es una parte fundamental de la seguridad alimentaria (ODS 2) y contribuye a la salud humana (ODS 3). La inocuidad de los alimentos contribuye asimismo a objetivos económicos y de otra índole. Las áreas de investigación en microbiología, toxicología, química, epidemiología, biología, genética aportan evidencias de los peligros que existen para la inocuidad alimentaria y sus riesgos y ayudan a elegir formas (políticas, normas, prácticas) de gestionarlos. Es imposible inspeccionar y analizar cada producto alimenticio del mercado para detectar posibles peligros. En cambio, sí es posible aplicar la ciencia para priorizar y anticipar los peligros para la inocuidad de los alimentos y adoptar medidas preventivas y controles en diferentes fases o etapas de la elaboración a lo largo de la cadena alimentaria, con el fin de reducir la probabilidad de que surjan problemas de inocuidad alimentaria y sus consecuencias negativas (FAO, 2022).

Existen tres tipos de peligros que representan riesgos mayores para la inocuidad de los alimentos y pueden ser: físicos, químicos y biológicos. De ellos, los peligros biológicos se refieren a la presencia de organismos como bacterias, virus y parásitos que se asocian a brotes de enfermedades en el ser humano y llegan al alimento a través de la manipulación de los productos (OMS, 2022). Muchos microorganismos se encuentran de manera natural presentes en el ambiente donde las condiciones climatológicas pueden promover su desarrollo, sobre todo en ambientes rurales.

De acuerdo con Harris *et al.* (2003), cualquier sistema de procesamiento de productos vegetales frescos que omita la efectiva eliminación o inhibición de microorganismos en el alimento dará como resultado un producto que puede ser portador de microorganismos potencialmente peligrosos para la salud humana. El diseño de medidas adecuadas de prevención de contaminación para vegetales frescos implica su dificultad debido a los múltiples factores y variables a las que están expuestos desde su cultivo en campo al aire libre.

Los daños mecánicos, cambios físicos y fisiológicos en los productos, predisponen al ataque por parte de agentes bióticos como bacterias y parásitos, generalmente esto ocurre en las etapas previas al transporte de los productos frescos y las condiciones inadecuadas de temperatura y humedad relativa durante su trayecto y comercialización favorecen su desarrollo.

Algunos microorganismos han desarrollado mecanismos de ataque, supervivencia o crecimiento en micro espacios intercelulares dependiendo del tipo de vegetal, ya que en la superficie vegetal los microorganismos se encuentran interactuando como agregados y posiblemente, compitiendo por los nutrientes limitados disponibles entre esos espacios donde se unen las células epidermis donde las ceras cuticulares son menos densas y permiten acumulación de agua. El agua libre disponible en aberturas de los vegetales. Las frutas y hortalizas de consumo en fresco pueden servir como vehículos de una amplia diversidad de bacterias, parásitos y virus patógenos al hombre (Beuchat, 1996).

El cilantro que se destina como producto de exportación, junto con otras hortalizas de la región de Puebla, sólo recibe un mínimo procesamiento a través de

operaciones como selección, lavado, desinfección (en algunos casos) y empaque para mantener cadena de frío mediante hielo, ninguna de las operaciones implicadas en el procesamiento es eficiente para la eliminación o inactivación de microorganismos. Los tratamientos de lavado y desinfección son operaciones relevantes para la reducción de microbiota endémica y patógenos en vegetales frescos; la aplicación de detergentes antes de la desinfección puede ayudar a remover organismos de la superficie de los vegetales (Samadi *et al.*, 2009).

El control de la temperatura es crítico para la prevenir la reproducción de bacterias en cualquier alimento fresco (Harris *et al.*, 2003).

Además, las materias primas provienen de diversos sitios de producción en las zonas rurales, lo que incrementa potencialmente la posibilidad de contaminación del producto y crea un momento de complejidad para la trazabilidad. Otros factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de los microorganismos son las condiciones atmosféricas de temperatura y humedad relativa que influyen de manera directa en los microorganismos.

2.3.2 Relevancia de inocuidad del cilantro

El intercambio de alimentos mediante la exportación e importación forman parte de un ejercicio económico que mantiene relaciones entre los países que participan en ella y esto mantiene la diversificación de los mercados.

La FDA y las agencias responsables de la regulación de la inocuidad alimentaria en México COFEPRIS y SENASICA, colaboran regulando alrededor de un tercio de todos los alimentos para humanos que se importan a los Estados Unidos y que tiene origen mexicano, incluyendo el 60% de importaciones de productos agrícolas frescos. Gracias a la colaboración entre los dos países, se considera que ha habido un avance en áreas como las inspecciones, la respuesta a los brotes y la capacitación en inocuidad alimentaria. En octubre de 2020 se hizo oficial la Alianza para la Inocuidad Alimentaria (FSP, por sus siglas en inglés), ampliando y fortaleciendo el alcance para incluir la inocuidad de todos los alimentos para consumo humano regulados por la FDA. La alianza original para la Inocuidad de los Productos Agrícolas Frescos y Mínimamente Procesados (PSP, por sus siglas en

inglés), firmada en 2014, creó un marco para que México y los EE. UU. trabajaran juntos para contener los brotes potencialmente graves relacionados con productos agrícolas y para disminuir la exposición de los consumidores a enfermedades transmitidas por alimentos. Para implementar la FSP, se han establecido cuatro grupos de trabajo con miembros de las agencias mencionadas para aumentar la cooperación en las áreas de: prioridades estratégicas, colaboración de laboratorios, respuesta y prevención de brotes, y capacitación en inocuidad alimentaria (FDA, 2022).

Durante las importaciones diarias de alimentos que hace México a Estados Unidos, la trazabilidad tradicional que implica pruebas convencionales de laboratorio puede llevar demasiados días para obtener un resultado (Allard *et al.*, 2018) la vida útil de los alimentos agrícolas frescos como el cilantro en anaqueles, tiendas de autoservicio y mercados no son suficientemente largas como para que sus lotes sean liberados mediante la obtención de resultados de pruebas convencionales, esto retrasaría su comercialización. Por tal motivo, existen medidas preventivas que son implementadas a través de los sistemas de inocuidad en las empresas de producción y procesamiento para evitar contaminar el producto, así, las unidades de producción y empaque que implementan sus sistemas y actualizar sus registros para considerar que su monitoreo brinda seguridad al consumidor.

Si algún alimento que se exportó de México a Estados Unidos está asociado a un brote de alguna enfermedad originada por la presencia de microorganismos patógenos y se detecta, se generan llamadas de alerta para el retiro del producto del mercado, cuando hay una incidencia en estos casos, la medida de control que se implementa son las Alertas de importación que no permiten su comercialización en determinadas temporadas del año, o bien, de manera definitiva, lo que genera un impacto económico y político en el sistema productivo de ese alimento, los actores que participan en el sistema y el sector agrícola de México. De ahí la relevancia de que se implementen los sistemas de inocuidad a cada producto de origen agrícola y específicamente, en el caso del cilantro poblano es necesario que se implementen para dar atención a la Alerta 24-23 y que sea posible incrementar el número de proveedores de cilantro confiables en la Lista Verde de la FDA.

Durante la comercialización de productos frescos agrícolas, los alimentos destinados a exportación deben cumplir con estándares mínimos de calidad e inocuidad que establecen las agencias regulatorias de sanidad de cada país. Los productos frescos agrícolas destinados para consumo humano que ingresan a los Estados Unidos se someten a una inspección de la FDA, agencia encargada de asegurar la protección de salud pública, regida por los lineamientos establecidos en la Norma de Inocuidad de productos agrícolas frescos (FSMA por sus siglas en inglés). Cuando un alimento incide de manera recurrente en faltas de inocuidad, como ha sido el caso del Cilantro (*Coriandrum sativum L.*) proveniente de Puebla, México por estar asociado a brotes de ciclosporiasis en distintas zonas de Estados Unidos se genera un proceso de retiro del producto del mercado y se rechaza antes durante la inspección sanitaria en frontera, lo que trae repercusiones económicas para los productores.

Es tan importante que se reduzca los riesgos de contaminación cruzada en los alimentos para evitar su retiro o cancelación del mercado, como procurar que los consumidores tengan acceso a alimentos inocuos y de calidad, por lo tanto, la implementación de sistemas de inocuidad, es en este momento, la solución más idónea para asegurar la inocuidad del cilantro.

Existen sistemas para elaboraciones de planes de inocuidad y deben actualizarse cada determinado tiempo para ser considerado como un proveedor confiable por quien adquirirá el producto. Los sistemas de inocuidad para productos agrícolas frescos son los Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC) de COFEPRIS y deben implementarse en los sitios o unidades de producción y de empaque de cilantro.

Cada nuevo hallazgo relacionado con los mecanismos de contaminación es más adelante incorporado a las guías o manuales de buenas prácticas agrícolas y de manufactura, así todos los actores del sistema pueden acceder a estas guías generadas para incorporarlas en sus sistemas mediante una adecuada capacitación.

La COFEPRIS es la Autoridad Sanitaria encargada de llevar a cabo el control y vigilancia sanitaria de establecimientos dedicados al acondicionamiento, procesamiento y comercialización de las frutas y hortalizas destinadas al consumo nacional o para exportación. Esta vigilancia se realiza en todos los establecimientos que acondicionen, procesen y comercialicen frutas y hortalizas en todo el país, poniendo énfasis en los procedimientos y actividades implementadas por el establecimiento para garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en la Legislación Sanitaria Nacional.

Para poder asegurar la calidad sanitaria de los productos agrícolas, particularmente del cilantro exportado a los Estados Unidos, la COFEPRIS ha desarrollado en conjunto con otras dependencias gubernamentales, un mecanismo de verificación del cumplimiento derivado del cual se emite un listado de Establecimientos procesadores de cilantro exportadores a los EE.UU., en el cual la Autoridad Sanitaria de los Estados Unidos de América podrá consultar aquellos establecimientos que cumplen con la Legislación Sanitaria Nacional y que cuentan con al menos un proveedor confiable. De tal manera que permita a la FDA, gestionar el ingreso de dichos establecimientos a la Lista Verde que se ubica publicada dentro de la Alerta sanitaria 24-23 (COFEPRIS, 2017).

2.3.2 Microorganismos patógenos

Los microorganismos patógenos son causantes de las enfermedades transmitidas por los alimentos (ETAs) por la existencia de células viables en el alimento fresco y que posiblemente durante su manejo y almacenamiento inadecuado se dan condiciones de desarrollo y supervivencia (PAHO/OMS, 2022).

El intercambio comercial de importaciones y exportaciones de alimentos entre países fortalece sus economías y relaciones, los alimentos vegetales de origen agrícola que están destinados a su consumo fresco han incrementado su demanda a nivel mundial porque contienen vitaminas, minerales, antioxidantes y otros nutrientes, que lo hacen atractivo para el consumo humano; sin embargo, también representan un sustrato importante para el crecimiento bacteriano. De acuerdo a diferentes agencias internacionales, el consumo de productos agrícolas

contaminados por bacterias patógenas ocasiona severas pérdidas económicas, entre las que se incluyen, el pago de indemnizaciones a los consumidores por toxicidad bacteriana, pérdida total del producto y en el mercado internacional, el cierre de fronteras a la comercialización de estos productos (Cortés-Higareda *et al.*, 2021).

Los alimentos, actúan también como un medio de transporte y reproducción para microorganismos que pueden ser o no patógenos y afectar la salud del consumidor. Algunos microorganismos pueden ser inhibidos, removidos o controlados mediante procesos estandarizados de las operaciones unitarias que la industria alimentaria implementa, asegurando un control de condiciones de inocuidad. La industria alimentaria implementa sistemas de inocuidad con la finalidad de asegurar el producto final, su implementación dependerá del tipo de alimento, características de proceso y condiciones que requiere el producto final para ser comercializado. Por esa razón, las agencias nacionales e internacionales son encargadas de asegurar dicha implementación de acuerdo con los estándares requeridos por el cliente final.

De manera independiente a la ubicación del consumidor y las leyes de inocuidad bajo las que esté regulado su mercado, de acuerdo con la FAO (2013) todas las personas tienen derecho a acceder física y económicamente a alimentos sanos, inocuos y nutritivos para que le sirvan como fuente de energía para el desempeño de sus actividades diarias, de manera estable, bajo el concepto de seguridad alimentaria. Por lo tanto, la presencia de organismos patógenos en los alimentos es un problema que requiere análisis multifactorial y multidimensional, para determinar cuáles son los microorganismos patógenos que afectan la inocuidad de cada alimento, cuáles son las fuentes de contaminación para ese alimento y cómo puede prevenirse mediante la generación de medidas de control.

Los microorganismos patógenos de mayor relevancia para la salud pública pertenecen a las familias de bacterias, virus y parásitos, cada organismo requiere diferentes condiciones para su reproducción y supervivencia que se dan por niveles de humedad, pH, acidez, agua disponible, temperatura y humedad de cada alimento. Las bacterias son organismos unicelulares de entre 0.5 y 10 μm que

pueden encontrarse en todo tipo de ambientes y se transportan a través del agua, el aire, los insectos, plantas, animales y humanos; pueden ser patogénicas o toxigénicas dependiendo de su capacidad infecciosa y participan también en la descomposición de la materia orgánica que conforma al alimento. Su reproducción es rápida y puede darse en presencia o no de aire, en condiciones de pH neutras, en amplios espectros de temperaturas y con suficiente disponibilidad de agua (PAHO, 2022). Por otra parte, los parásitos son organismos que dependen de un hospedero vivo para crecer y reproducirse, tanto organismos unicelulares como protozoarios, hasta animales pluricelulares como las solitarias (OMS, 2022); estos pueden afectar los tejidos musculares y órganos del ser humano, los parásitos pueden también transmitirse por el agua, el suelo y de persona a persona (CDC, 2022).

La contaminación de alimentos frescos se da cuando un organismo patógeno llega al producto y sobrevive dentro del periodo de tiempo del consumo en niveles suficientes para provocar una enfermedad (Harris *et al.*, 2003), es decir, el microorganismo necesita solo estar presente en el alimento sin necesidad de reproducirse para causar un daño, tal es el caso de algunos virus y parásitos que no pueden multiplicarse fuera de un organismo animal. Otros microorganismos, por el contrario, deben ser ingeridos en altas cantidades para causar una infección como es el caso de algunas bacterias.

A pesar de que los microorganismos patógenos pertenecen a diversas familias y son fisiológicamente distintos, existen características comunes como los de origen entérico, que se encuentran de manera natural en el tracto intestinal y materia fecal de humanos y animales, y que con características óptimas de desarrollo en ambientes agrícolas como textura del suelo, fuentes de agua de uso agrícola, residuos de plantas y herramientas o superficies de manufactura, pueden asegurar su desarrollo y durante actividades como la cosecha, corte, manejo, transporte y almacenamiento pueden verse favorecidas (Habteselassie *et al.*, 2006).

La contaminación del producto en campo puede ocurrir de manera directa o indirecta por diferentes vías de contaminación: animales, insectos, suelo, aire, agua,

utensilios sucios y manejo por operadores. Y dentro de las instalaciones de las unidades de empaque existen además otras fuentes potenciales de contaminación: agua de lavado y enjuague, hielo, plagas o fauna invasiva, vehículos de transporte y contacto con operadores. La contaminación de alimentos frescos por presencia de bacterias patógenas, virus o protozoos son generalmente las causas principales de enfermedades transmitidas por alimentos; las fuentes potenciales de contaminación pueden ser elementos que tienen contacto directo con los productos durante su producción, o mismos insumos de proceso como el estiércol, suelo, aguas residuales, aguas superficiales, vida silvestre; y las causas de la contaminación pueden ser el contacto directo con el producto durante las etapas de proceso como riego, cosecha, lavado, corte, remojo, manipulación, preparación, empaque, embalaje, comercialización y conservación. Los microorganismos tienen la capacidad de internalizarse en los vegetales a través de los canales de agua y así protegerse del estrés abiótico (Gómez-Aldapa *et al.*, 2016).

Entre las bacterias asociadas con los alimentos son: *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Shigella sonnei*, *Salmonella spp.*, y *Staphylococcus aureus* (Luna-Guevara *et al.*, 2019).

La supervivencia y el crecimiento de las bacterias patógenas dependerá de las características específicas del microorganismo, así como de los factores físicos (pH, temperatura, humedad, concentración de O₂ y CO₂) que afectan el crecimiento y algunas actividades metabólicas; químicos (disponibilidad de nutrientes, sustratos) y biológicos, que incluyen la presencia de microbiota competitivas e interacciones entre las bacterias y los productos frescos agrícolas. En ambientes hostiles, las bacterias patógenas pueden entrar en un estado viable no cultivable (VBNC), como una estrategia para sobrevivir y persistir sobre su hospedero durante largos períodos de tiempo; durante ese estado, estos microorganismos pierden la capacidad de crecer en medios de cultivo estándar, como la técnica de recuento en placa, pero mantienen su membrana intacta la cual contiene información genética, igualmente, son metabólicamente activas y llevan a cabo los procesos de respiración y transcripción del ARN. Al respecto, reportaron 35 géneros de bacterias transmitidas por alimentos que pueden ingresar a un estado VBNC, dentro de las

bacterias Gram negativas los autores señalan a los géneros: *Aeromonas*, *Brucella*, *Campylobacter*, *Citrobacter*, *Edwardsiella*, *Cronobacter*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio* y *Yersenia*. De acuerdo a estas bacterias patógenas y debido a su no detectabilidad por los métodos microbiológicos convencionales son una amenaza para la salud pública y la seguridad alimentaria, ya que, en este estado pueden estar presentes iniciando una infección no aparente y manifestarse semanas o meses después (Cortés-Higareda *et al.*, 2021).

Las bacterias pueden también internalizarse en los productos a través de sus epidermis o bien, pueden adherirse firmemente a la superficie de los productos frescos formando agregados polimicrobianos, ya sea en forma de esferas, flóculos y biopelículas (uniones celulares de bacterias a una superficie), entre otros (Posada, 2013).

2.3.2.1 *Escherichia coli*

El microorganismo *Escherichia coli* es una bacteria Gram negativa con forma de bacilo flajelado (Figura 6), anaerobia facultativa, esto le permite desarrollarse a bajas concentraciones de oxígeno como habitualmente es el tracto intestinal humano y de la mayoría de los mamíferos. De acuerdo a su mecanismo de patogénesis se identifican siete patogrupos, que por ejemplo, en México son de vital importancia porque se asocia a brotes de diarrea tanto en población nacional y visitantes; de acuerdo con su virulencia se pueden distinguir los grupos: enteroxigénico *E. coli* (ETEC); enteropatogénico *E. coli* (EPEC); enteroinvasiva *E. coli* (EIEC); enteroagregado *E. coli* (EAEC); adherente difuso *E. coli* (DAEC); Shiga productora de toxina *E. coli* (STEC) y enteroagregado hemorrágica *E. coli* (EAHEC) (Gómez-Aldapa *et al.*, 2016).

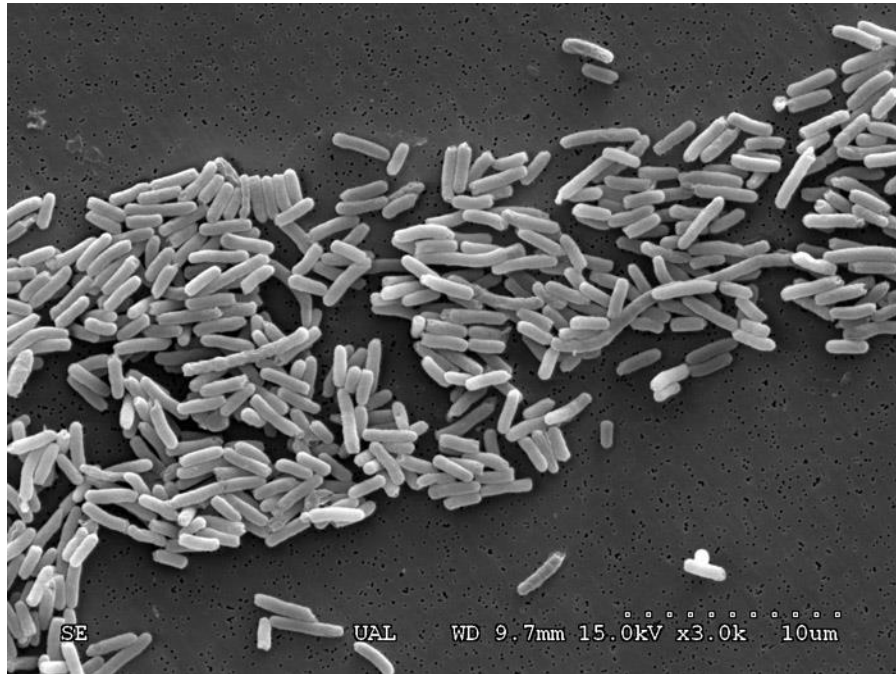


Figura 6. Microscopía electrónica de barrido del biofilm formado por *Escherichia coli* (UAL, 2007).

Si bien, la mayoría de las cepas de *E. coli* no son consideradas patógenos, la presencia de este organismo en los alimentos crudos y en agua es considerado un indicador directo o indirecto de contaminación fecal. Las bacterias patógenas pueden secretar proteínas, que pueden ser muy tóxicas para los seres humanos; por ejemplo, la toxina Shiga producida por *E. coli* principalmente por el serovar O157:H7, puede causar gastroenteritis y síndrome hemolítico-urémico el cual consta de insuficiencia renal aguda, anemia hemolítica y trombocitopenia, sintomatología que se describió por primera vez en niños en 1950. Esta toxina puede producir bacteriemia, afectación de sistema nervioso central e infección asociada al embarazo como meningoencefalitis en los neonatos. Las toxinas bacterianas pueden ser de dos tipos: endotoxinas o exotoxinas. Las endotoxinas son lipoproteínas de la membrana externa de las bacterias Gram negativas, son moderadamente tóxicas y termoestables. Por otro lado, las exotoxinas son proteínas secretadas por bacterias Gram positivas y Gram negativas siendo más potentes que las endotoxinas y más específicas ya que actúan a nivel enzimático (Cortés-Higareda *et al.*, 2021).

2.3.2.2 *Salmonella* spp.

Salmonella es el género de bacterias patógenas con la mayor incidencia en frutas y hortalizas. Pertenece a la familia *Enterobacteriaceae*, son bacterias bacilos Gram negativas (Figura 27, no forman esporas, presentan un diámetro de 0.7 a 1.5 μm y una longitud de 2 a 5 μm , son microorganismos anaerobios facultativos y tienen motilidad. El género se divide en dos especies: *S. entérica* y *S. bongori*. *Salmonella entérica* tiene más de 2500 serovares y se divide en 6 subespecies designadas por números romanos: I (*entérica*), II (*salamae*), IIIa (*arizonae*), IIIb (*diarizonae*), IV (*houtenae*) y VI (*indica*). De manera general, los serovares de ambas especies de *Salmonellase* clasifican por sus características antigénicas.

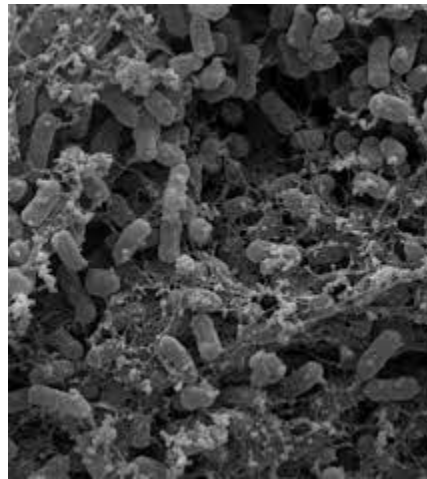


Figura 7. Microscopía electrónica de barrido del biofilm formado por *Salmonella* (Merino, 2019).

Esta bacteria crece entre los 5 y 45°C, con temperaturas óptimas entre 35 y 37°C. Adicionalmente, se ha reportado que formando biopelículas estas crecen en un pH de 4.5 a 7.4 y cuando se encuentran en estado planctónico crecen a un pH de 3. El género de bacterias *Salmonella* puede producir una enterotoxina termolábil y una citoxina que inhibe la síntesis de proteína las cuales desempeñan un papel importante en los síntomas diarreicos de la salmonelosis. Pueden sobrevivir varias semanas en el agua, varios años en el suelo y en condiciones favorables de humedad, pH y temperatura puede permanecer dentro de diferentes tejidos vegetales incluyendo algunas semillas dentro de las frutas. Además, se ha demostrado que este género de bacterias puede moverse dentro de las plantas

usando sus flagelos y logran colonizarlas a través de las estomas en presencia de la luz, dentro de los factores de virulencia principales de *Salmonella* en el inicio de una infección son los flagelos. La ingesta de productos agrícolas contaminados con *Salmonella* spp. puede presentar en los seres humanos sintomatología abdominal por haber ingeridos alimentos contaminados, estos episodios pueden ir acompañados por diarrea, náuseas, vómito, dolor abdominal y/o fiebre. Siendo los serovares *Typhi* (fiebre tifoidea), *Paratyphi* (paratifoidea), *Typhimurium* (gastroenteritis) y *Enteritidis* (gastroenteritis), patógenos específicos de los humanos. Hasta un 7% de los casos por *S. Typhimurium* y *S. Enteritidis* puede presentar bacteriemia o infecciones extra intestinales principalmente en niños, ancianos, pacientes inmunocomprometidos o con enfermedades crónicas (Cortés-Higareda *et al.*, 2021).

Si en el agua de las cintas de goteo se encuentra la presencia de especies de *Salmonella*, las condiciones ambientales adecuadas para su desarrollo y sobrevivencia en campo pueden presentarse y ser consideradas como un punto de contaminación (Rendón *et al.*, 2008).

La inocuidad alimentaria comprende varios aspectos que se integran en la prevención, minimización y eliminación de riesgos por bacterias patógenas a lo largo de la cadena postcosecha de los diferentes productos agrícolas donde el proceso de limpieza y desinfección de frutas y hortalizas son el objetivo más importante, ya que la unión de las bacterias patógenas a la superficie de estos productos agrícolas es un proceso. La efectividad de la desinfección va a depender entre otros, del tipo de desinfectante (antimicrobiano), la temperatura de aplicación, el tiempo de exposición, la concentración, el pH, la resistencia de la bacteria y la naturaleza de la superficie en la que se fijó la bacteria (acero inoxidable, plástico etc.). Se ha reportado la complejidad que representa la eliminación de *Salmonella* en productos frescos o recién cortados debido a la formación de biopelículas para adherirse y colonizar frutos y vegetales de hoja verde principalmente, puesto que, *Salmonella* spp se adhiere con mayor facilidad en las hojas de lechuga 'Romana' que quedan más expuestas al medio ambiente después del corte después de 2 h a 25°C (Cortés-Higareda *et al.*, 2021).

En el caso de los antimicrobianos estos deben estar presentes en concentraciones que garanticen su eficiencia, ya que la materia orgánica presente reduce la disponibilidad de la forma activa de estas sustancias, siendo los agentes químicos como el cloro (hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio) el más utilizado, además del ozono, ácido per acético, dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno y ácidos orgánicos. Existe también otro método físico a base de luz ultravioleta, uso de los aceites esenciales y el quitosano como alternativas de control de origen natural (Posada, 2013).

2.3.2.3 *Cyclospora cayetanensis*

La *Cyclospora cayetanensis* es un parásito causante de enfermedad intestinal llamada ciclosporiasis (cuyo síntoma común es la diarrea) al momento en que un consumidor ingiere alimentos o agua contaminada con dicho parásito. Generalmente se transmite cuando las heces fecales infectadas con *C. cayetanensis* contaminan los alimentos o el agua; el contagio de humano a humano es poco probable, debido a que requiere cierto periodo de tiempo que pueden ser de días a semanas después de haber sido expulsado por las heces para volverse infeccioso para otra persona (FDA, 2018).

C. cayetanensis pertenece al filo Apicomplexa de la subclase Coccidiasina (Figura 8), este coccidio se transmite a través de la ingestión de agua y alimentos contaminados, una vez que llega al intestino delgado, se multiplica en las células epiteliales provocando atrofia y alteración en las vellosidades. Se produce la liberación de ooquistes inmaduros por las heces y se mantienen en el ambiente de 7 a 25 días antes de esporular. Los ooquistes maduros son los infectantes y contienen dos esporoquistes ovoidales con dos esporozitos, después de un periodo de incubación de dos semanas puede provocar los síntomas de la enfermedad ciclosporiasis (Weitzel *et al.*, 2017).

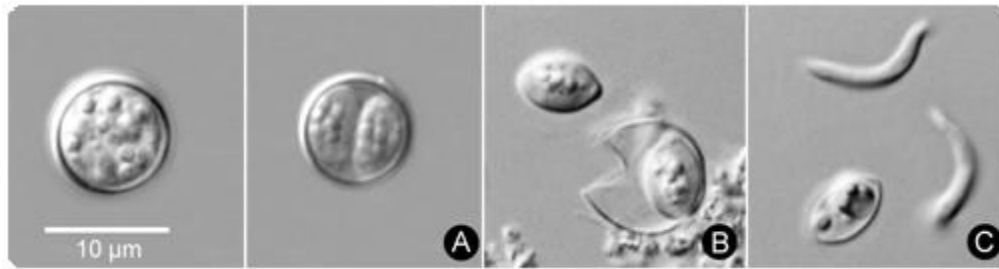


Figura 8. Microscopía de *Cyclospora cayetanensis*.

En la Figura 8 se observa un ovoquiste no esporulado, con un citoplasma no diferenciado; luego se muestra un ovoquiste en proceso de esporulación que contiene dos esporoquistes inmaduros (A). Un ovoquiste que se abrió mecánicamente ha liberado uno de sus dos esporoquistes (B). La imagen de la derecha muestra un esporoquiste libre, así como dos esporozoítos libres, la fase infecciosa del parásito (C) (CDC, 2020).

El único huésped identificado para este parásito es el ser humano (Figura 9). La ciclosporiasis es endémica de diversos países subtropicales dentro de los que destaca México, sin embargo *C. Cayetanensis* no se limita a productos importados pues en Julio de 2018 la FDA determinó la presencia de *C. cayetanensis* en dos muestras locales de cilantro poblano. Por otra parte, Cama y Ortega (2018) mencionan que, el agua de uso agrícola puede ser una fuente de contaminación altamente probable para *C. Cayetanensis* usada para riego de cultivos de productos frescos.

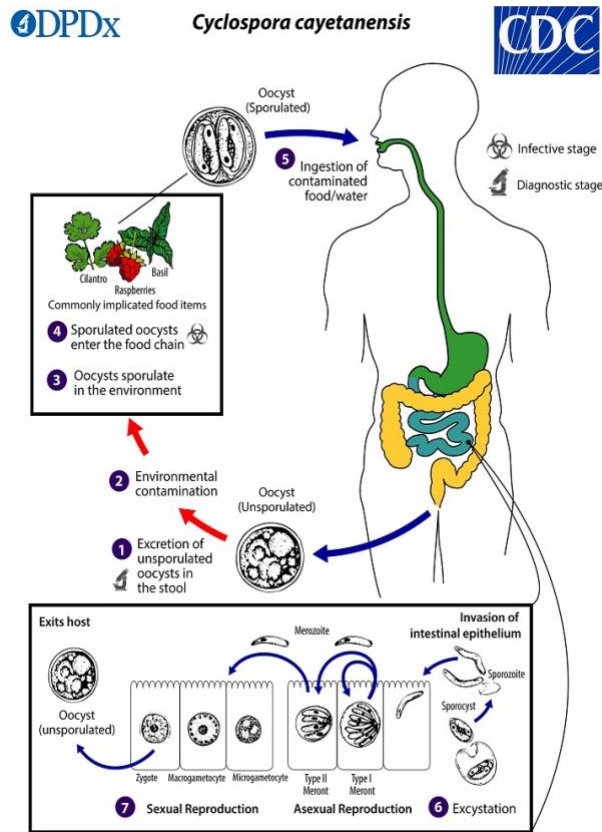


Figura 9. Ciclo de vida del parásito *Cyclospora cayetanensis* (CDC, 2021)

El diagnóstico parasitológico clásico se basa en la detección de oocistos redondos (8-10 μm) en deposiciones, además de técnicas microscópicas disponibles. Una alternativa (menos específica) es el examen de autofluorescencia. La biología molecular ofrece una nueva alternativa diagnóstica, ya que algunos paneles intestinales comerciales incluyen este parásito. El tratamiento de elección es cotrimoxazol (Weitzel *et al.*, 2017).

2.3.3 Microorganismos presentes en el cilantro

La inocuidad de los productos frescos agrícolas afecta tanto a consumidores como a productores, quienes están sujetos al cumplimiento de normativas de estándar nacional o internacional (dependiendo de su consumidor final). Por lo tanto, los productores son un actor clave para el logro de la inocuidad de productos frescos agrícolas y está en sus manos la reducción de riesgos de contaminación (FSMA,

2019). El logro del cumplimiento de características de inocuidad puede impactar la viabilidad financiera de los productores y la salud y seguridad del consumidor.

Las frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas son susceptibles a la contaminación por bacterias patógenas tales como *E. coli*, *L. monocytogenes* y *Salmonella*, entre otras, las cuales causan severos daños a la salud humana y a la economía de los países en donde se detectan. Por ejemplo, anualmente, *Salmonella* es responsable del 30% de las muertes causadas por infecciones transmitidas por alimentos. No obstante, la problemática tiene mayor impacto, ya que, según la Organización Mundial de la Salud del 60 al 80% de los casos por salmonelosis no se reportan. En el caso particular de México, el problema es mayor ya que a pesar de que todos estos patógenos están ampliamente distribuidos en el territorio nacional no se tienen registros confiables de su incidencia. Al respecto, se ha reportado que las frutas y hortalizas frescas, son los principales hospederos de estas bacterias patógenas, sin embargo, su detección oportuna aún no se ha implementado en la cadena de producción y durante el manejo poscosecha de los productos agrícolas. La mayoría de las bacterias pueden formar biopelículas en la superficie del hospedero lo que permite su sobrevivencia a pesar del método de control (Cortés-Higareda *et al.*, 2021).

La contaminación microbiana de frutas y hortalizas frescas, agua de riego y suelo de cultivo, son consideradas las principales fuentes que ocasionan la pérdida de la inocuidad de alimentos. La forma común y además autorizada para verificar la ausencia de contaminación de origen fecal es la detección de coliformes fecales y *E. coli* (NOM-001-ECOL-1996; UM-FDA, 2002), ya que un número elevado de estas bacterias indicadoras sugiere la presencia de patógenos específicos, como *Salmonella* o patotipos de *Escherichia coli* (López *et al.*, 2009).

De acuerdo con (Santos *et al.*, 2018), se han analizado muestras de cilantro provenientes de localidades y mercados que exceden los límites permitidos por SRRC para coliformes totales, que indica como un máximo de 2 NMP/g coliformes totales, mientras que las muestras de cilantro analizadas corresponden en un 96% a 104-109 NMP/g para organismos coliformes totales. En cuanto al análisis de

presencia de parásitos, *Ascaris lumbricoides* es el organismos de mayor frecuencia, el cual es un nematodo intestinal de distribución mundial y de los más comunes que afectan al hombre, se transmite por la ingestión de huevos fecundados, se relaciona con la importancia que tiene para México este parásito, pues la áscaris, es la segunda infección gastrointestinal más común. Por otra parte un parásito que es importante resaltar es *Entamoeba coli*, un protozoario no patógeno intestinal humano, debido a que solamente vive en el intestino humano; la presencia de *E. coli* en las verduras es el signo de contaminación con heces humanas, por lo que es probable la existencia de organismos intestinales patógenos en dichas verduras (Santos *et al.*, 2018).

Los productos agrícolas frescos pueden estar contaminados por microorganismos en poblaciones desde 10^3 a 10^7 CFU/g, su rápida propagación hacen compleja la detección y monitoreo para lograr la trazabilidad desde el campo hasta su consumo, pues los productos agrícolas frescos de hoja comestible como el cilantro tiene una vida útil de hasta 14 días (Samadi *et al.*, 2009).

Los principales microorganismos patógenos involucrados en brotes de ETA son *E. coli* 0157:H7, *Salmonella* y *L. monocytogenes*. *Shigella spp* también se han asociado a brotes de enfermedades por consumo de diversas variedades de lechuga. Además, se ha documentado la presencia de *Aeromonas* en una variedad de vegetales frescos incluyendo alfalfa, brócoli, coliflor, lechuga, cilantro, perejil y espinacas. Diversos reportes coinciden en que, para los productos vegetales frescos se encuentre recuentos de organismos totales oscilan entre 10^3 y 10^9 NMP/g. La contaminación de hortalizas puede ser consecuencia de irrigación con agua contaminada con heces de humanos o de animales, uso de abonos orgánicos como estiércol, omisión o desconocimiento de las condiciones sanitarias básicas de manipulación, así como deficiente calidad sanitaria del agua utilizada para lavar los vegetales cosechados. Se han recuperado cepas de *E. coli* de una gran variedad de alimentos de consumo fresco, con un amplio rango de recuperación encontrando porcentajes de 22-75% (Rincón *et al.*, 2010).

Salmonella constituye un gran problema de salud pública, tanto por la morbimortalidad debida a gastroenteritis y fiebres entéricas, como por las repercusiones económicas que conlleva, principalmente en la industria avícola. Los aislamientos de *Salmonella spp* en hortalizas y ensaladas tipo buffet, han sido reportados hasta en un 20,00% en verduras. Esta notable diferencia de aislamiento de *Salmonella* en vegetales parece estar relacionada con varios factores: la flora competitiva que retarda su crecimiento, pH ácido, baja disponibilidad de azúcares, baja concentración del microorganismo, daño celular como consecuencia del procesamiento del alimento. Además, la presencia de flagelos parece necesaria para que *Salmonella* pueda adherirse a las hojas de los vegetales (Rincón *et al.*, 2010).

La presencia de organismos patógenos en vegetales tipo hoja como organismos coliformes y especies de *Aeromonas* reflejan la necesidad de considerar estos alimentos como un factor de riesgo para la adquisición de ETAS. Por lo tanto, se deben establecer criterios microbiológicos que indiquen los valores máximos admisibles de estos microorganismos en vegetales frescos, a fin de garantizar su inocuidad para los consumidores (Rincón *et al.*, 2010).

2.4 Sistemas de inocuidad

2.4.1 Ley de Modernización de la Inocuidad de los Alimentos (FSMA)

Bajo la Ley FSMA de la FDA, se establecieron regulaciones de inocuidad alimentaria que los productores de alimentos nacionales y extranjeros deben seguir y estableció la responsabilidad de los importadores de verificar que sus productores primarios y proveedores en México y otros países cumplan con dicha Ley. Las infecciones por *C. cayetanensis* siguen siendo una gran preocupación en ambos países. Por ejemplo, en 2019, un brote de ciclosporiasis asociado a albahaca fresca cultivada en México enfermó a más de 240 personas en 11 estados. Las alianzas estratégicas con las autoridades reguladoras de México, la academia y las organizaciones comerciales han permitido la coordinación de eventos de capacitación específicos para proporcionar educación sobre la biología y la contaminación de *C. cayetanensis*. En 2020, la FDA, junto con el SENASICA, la

COFEPRIS y socios claves de la industria y la academia, celebraron un seminario en persona y un seminario virtual sobre este parásito para los productores y empacadores de hierbas frescas del estado de Puebla, México (FDA, 2022).

De acuerdo con FDA (2021), cerca de 48 millones de personas en los Estados Unidos (1 de cada 6) se enferman y pueden llegar a requerir hospitalización debido a enfermedades transmitidas por los alimentos (ETAs) y de acuerdo con las estadísticas mueren al año 3,000 personas debido a brotes de enfermedades relacionadas con la contaminación por organismos patógenos en alimentos. Por lo que, la inocuidad de los alimentos es de interés público. La FDA, ha generado regulaciones específicas para alimentos específicos, de manera que, se regule su producción y se asegure su inocuidad. La mejor forma de asegurar la inocuidad de los alimentos es mediante la implementación de medidas preventivas que brinden un control de las fuentes de contaminación. Por esa razón, el congreso generó la Ley de modernización FSMA, para que de manera sistémica se mejore la inocuidad de los alimentos (FDA, 2021).

La Ley FSMA, hay siete regulaciones fundamentales:

1. Norma de la Inocuidad de los Productos Agrícolas Frescos
2. Controles Preventivos de Alimentos para Humanos
3. Controles Preventivos de Alimentos para Animales
4. Programas de verificación de Proveedores Extranjeros
5. Certificación de Terceros Acreditados
6. Adulteración Internacional
7. Transporte Sanitario de Alimentos

Específicamente, la regulación de Inocuidad de los Productos Agrícolas Frescos, establece los estándares, basados en la ciencia para el cultivo, cosecha y empaque de productos de origen agrícola tanto en sitios nacionales como internacionales.

La Norma de Inocuidad de los Productos Agrícolas Frescos contiene los estándares mínimos basados en la ciencia para el cultivo, la cosecha, empaque y almacenamiento inocuo de frutas y verduras; se enfoca en los peligros biológicos

relacionados con el cultivo, la cosecha y empaque de los productos agrícolas frescos (FDA, 2022).

Se enfoca en las principales fuentes de contaminación para estos alimentos como lo son: el agua, los animales, suelos, humanos, instalaciones, equipos y herramientas. Su fundamento son las Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura y es un requisito para exportar alimentos a los Estados Unidos.

2.4.3 Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación en la producción primaria de vegetales (SRRC)

La Ley FSMA implica una profunda revisión de las disposiciones legales que competen a la FDA en lo relativo a vigilar y asegurar la inocuidad de los alimentos que se consumen en los Estados Unidos. Bajo esta Ley, la FDA deja su tradicional papel reactivo en la atención de la inocuidad alimentaria, para ejercer ahora una práctica preventiva, para evitar los brotes de enfermedades transmitidas por alimentos mediante actividades de prevención, detección, respuesta y control de importaciones. Los cambios que bajo esta Ley se adoptan, cubren la totalidad de la cadena de producción alimenticia (producción, procesamiento, transportación, empaque y preparación de los alimentos) “de la granja al punto de venta”. Y cubre todos los alimentos que regula la FDA (producción y cosecha de frutas y vegetales para consumo en fresco). Quedando excluidas las carnes rojas, carnes de aves, y los productos de huevo congelados, secos o líquidos, cuya regulación corresponde al Departamento de Agricultura (USDA). Los incidentes de alimentos contaminados no obedecen tamaños, ni nacionalidades. Estados Unidos es un importante importador de alimentos, de ahí que la Ley FSMA da un peso muy importante al control de los alimentos importados, estableciendo un apartado especial referente a estos. Bajo este apartado, se otorga autoridad a FDA para que exija que el importador cuente con un Programa de Verificación de Proveedor Extranjero. La existencia de este programa permite asegurar que sus abastecedores observan los requisitos que en materia de inocuidad alimentaria se exigen a todos los establecimientos estadounidenses.

Como parte de su estrategia el SENASICA desde el año 2013 ha realizado diversas actividades tendientes a divulgar la FSMA y sus propuestas de reglamentos; así como promocionar el sistema oficial mexicano denominado “Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación en la producción primaria de vegetales” (SRRC).

El Gobierno mexicano establece como prioridad la implementación de políticas públicas que promuevan y regulen la instrumentación de los SRRC en las unidades de producción y manufactura de alimentos de origen agrícola, pecuario, acuícola y pesquero (SAGARPA, 2016).

Los productores necesitan mantener sus mercados e incursionar en nuevos ya sean agrícolas, pecuarios, acuícolas y pesqueros ofreciendo productos sanos a los mercados nacionales y extranjeros. Con esa finalidad, se presentó en 2007 el modelo para la operación y certificación de los SRRC bajo el marco jurídico de la Ley Federal de Sanidad Vegetal, para verificarlos, certificar productos de importación, promoción de armonización y equivalencia internacional, aplicar sanciones, regular plaguicidas y generar acuerdos para desarrollo de proyectos.

Los SRRC consideran las n buenas prácticas de producción que son medidas y procedimientos establecidos por la SAGARPA (2018), para garantizar que durante el proceso de producción primaria de los productos de origen animal, vegetal, acuícola y de pesca, éstos se obtienen en condiciones sanitarias óptimas que minimizan o previene la contaminación por factores químicos, físicos y biológicos. La finalidad de los lineamientos generales de implementación de SRRC es alcanzar la inocuidad de los alimentos, los productores nacionales fortalecen sus actividades dando certeza al consumidor nacional e internacional de ofrecer productos alimenticios que disminuyen el riesgo de afectar la salud. Lo implementan coordinadores de inocuidad de organismos auxiliares y profesionales autorizados en SRRC por el SENASICA. Mientras que su evaluación está a cargo de terceros especialistas autorizados por el SENASICA.

Los SRRC tienen su aplicación en los procesos primarios de producción y tienen por finalidad reducir la probabilidad de que un alimento se contamine durante el proceso de producción, cosecha y/o empaquetado al interactuar de manera directa o

indirecta con sustancias y superficies de contacto que puedan introducir o posicionar un contaminante de tipo biológico, químico y/o físico y con ello la salud del consumidor sea amenazada.

En los sistemas de producción primaria pueden implementarse los esquemas de SRRC para Unidades de Producción (UP), Unidades de Empaque (UE), Cuadrillas de cosecha y Áreas integrales (SAGARPA, 2016).

En la industria agrícola las fuentes de agua y sus usos determinarán su clasificación, manejo y características de calidad e inocuidad. Las normas oficiales mexicanas (NOM) que regulan el uso y calidad del agua son:

- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (agua de riego),
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, que refiere a la salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (agua de manejo) y
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-201-SSA1-2002, para productos y servicios, incluidos el agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel, con sus especificaciones sanitarias (hielo).

Además, de acuerdo con la regulación de la Ley FSMA, se establecen dos tipos de criterios para la calidad microbiana del agua, los cuales se basan en la presencia de *E. coli*, lo que puede indicar la presencia de contaminación fecal. No se permiten *E. coli* genéricos detectables para ciertos usos del agua en la agricultura en la que es razonablemente probable que los microbios potencialmente peligrosos, si están presentes, se transfieran al producto a través del contacto directo o indirecto; pudiendo ser: agua utilizada para el lavado de manos durante y después de la cosecha, en las superficies de contacto con alimentos, en el contacto directo con los productos (hielo incluido) durante o después de la cosecha y el agua utilizada para el riego de brotes. La norma establece que: “En caso de detectarse *E. coli* genérico se debe interrumpir inmediatamente dicho uso del agua y deben tomarse

acciones correctivas antes de volver a utilizarla para cualquiera de estos propósitos”; además, se prohíbe el uso de las aguas superficiales sin tratar para cualquiera de estos propósitos (Eleven, 2020; FSMA, 2022).

CAPÍTULO III

Metodología

La investigación se llevó a cabo considerando tres etapas , mismas que se resumen en el siguiente diagrama de flujo (Figura 10) y se describen detalladamente en los Capítulos IV y V.

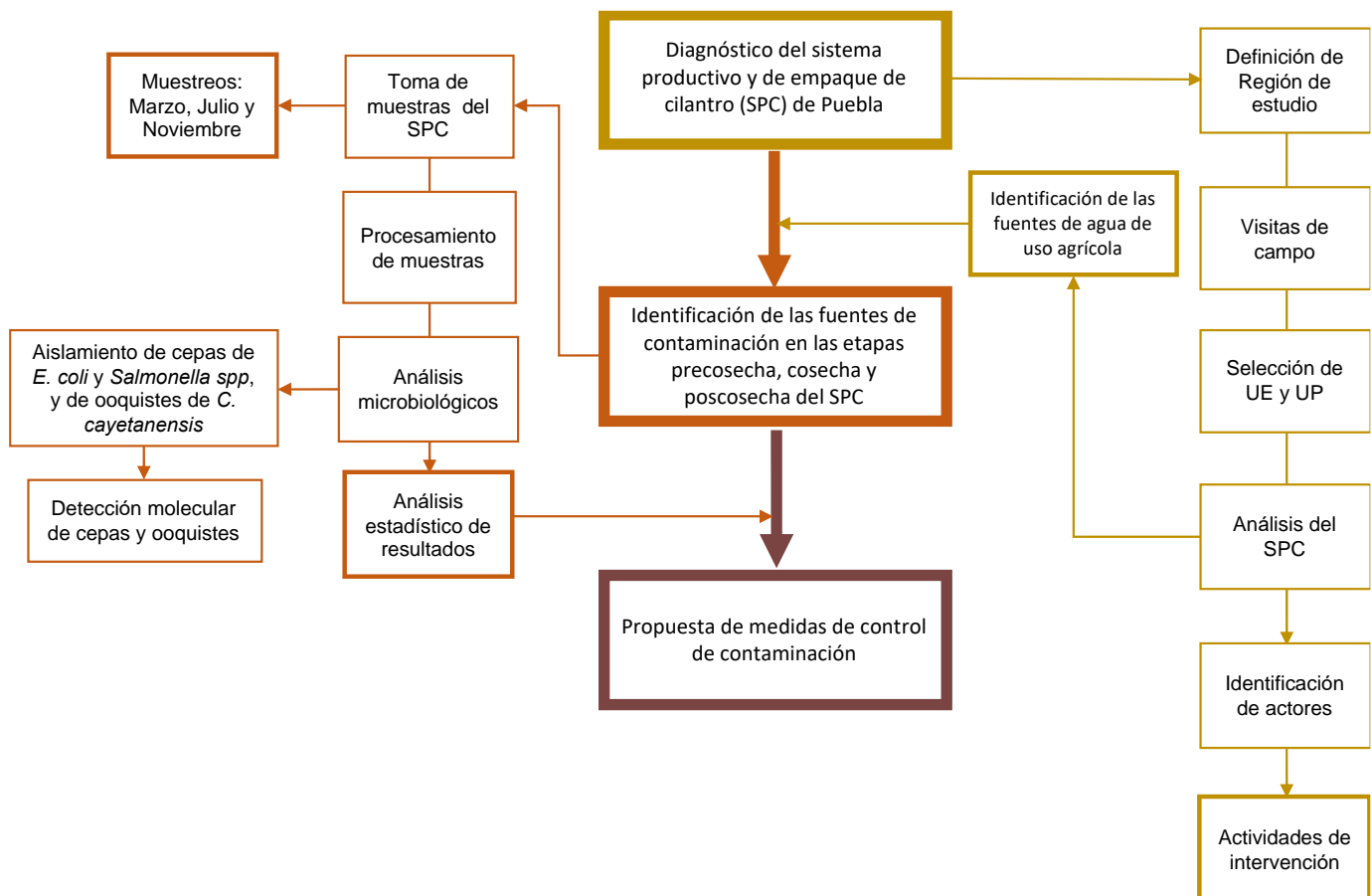


Figura 10 Plan de investigación. Donde SPC= Sistema productivo cilantro; UP= Unidad productivo; UE= Unidad empaque.

CAPÍTULO IV

Cultivo, cosecha y postcosecha en el sistema productivo cilantro (*Coriandrum sativum* L.)

CULTIVATION, HARVEST AND POSTHARVEST IN THE PRODUCTIVE SYSTEM OF CORIANDER (*Coriandrum sativum* L.)

ABSTRACT

Coriander (*Coriandrum sativum* L.) is an aromatic plant with high culinary demand in Mexico and one of the fresh products of Puebla that is exported to the United States. This product has been affected by FDA Import Alert 24-23, which prohibits its export, due to the detection of pathogens associated with foodborne outbreaks in consumers. The aim of this research was to make a diagnostic of the grow, harvest and post-harvest (in the packaging units of the productive areas) to characterize the stages of the process and to know the capacities that must be strengthened to achieve product safety. Through the application of surveys and interviews applied to farmers, packers, operators and safety advisors, and a Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT) analysis, the characterization of processes was carried out. It was concluded that there is a disarticulation of the system and deficiencies in the safe handling of the product. A high productive capacity was observed in the region, in spite of, highly marginalization, poverty, insecurity and environmental deterioration, which should be managed from an analysis that considers the social, economic and environmental dimensions.

Keywords: import alert, coriander, export, SWOT, safety.

Resumen

El cilantro (*Coriandrum sativum L.*) es una planta aromática con alta demanda culinaria en México y uno de los productos agrícolas de Puebla que se exporta a los Estados Unidos. Este producto ha sido afectado por la Alerta de importación 24-23 de la FDA que prohíbe su exportación, debido a la detección de patógenos asociados a brotes de enfermedades en consumidores. El objetivo de esta investigación fue realizar un diagnóstico del proceso de producción, cosecha y post-cosecha (en las unidades de empaque de la región productora) para caracterizar las etapas del proceso y conocer las capacidades que deben fortalecerse para lograr la inocuidad del producto. Mediante la aplicación de encuestas y entrevistas aplicadas a productores, empacadores, operadores y asesores de inocuidad, y un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), se realizó la caracterización de los procesos de producción, cosecha y empaque. Se concluyó que existe una desarticulación del sistema y carencias en el manejo inocuo del producto. Se observó una alta capacidad productiva en una región con alto grado de marginación, pobreza, inseguridad y deterioro ambiental, que sugiere que los problemas pueden tener un origen multifactorial y debe tratarse desde un análisis que considere las dimensiones social, económica y ambiental.

Palabras clave: alerta importación, cilantro, exportación, FODA, inocuidad.

4.1 INTRODUCCIÓN

El cilantro (*Coriandrum sativum* L.) es una planta aromática anual catalogada como hortaliza de hoja verde, comestible y perteneciente a la familia *Apiaceae*, alcanza entre 30 y 70 cm de altura, posee una alta demanda culinaria debido a sus características aromáticas y de sabor, relacionadas con la estimulación al apetito y su reconocimiento como parte de los remedios naturistas (INAGRI, 2021). Las propiedades de olor y sabor están asociadas a compuestos polifenólicos como son los ácidos: ferúlico, cafeico, gálico y clorogénico, reconocidos por sus propiedades bioactivas, antibacteriana y antifúngica, además de ser una fuente importante de vitaminas A, B₁₂, C y ácido fólico (Rodríguez-Quintero *et al.*, 2021).

Aunado a la importancia nutricional y funcional, los productos agrícolas mexicanos por su consumo en fresco, incluyendo el cilantro, son ampliamente demandados por el mercado de Estados Unidos, lo que fomenta una relación comercial entre ambas naciones. Asimismo, estos alimentos deben cumplir con los requerimientos de calidad e inocuidad para su comercialización; siendo factores que determinan su aceptación o rechazo; en ambos casos el impacto económico para los actores de los sistemas productivos genera incertidumbre e inestabilidad en la planeación de ciclos de producción. De acuerdo con el Servicio de Comercio Electrónico en la Ciudad de México (SMATTCOM, 2019), durante el 2019 se produjeron 99,754 toneladas de cilantro en México, las cuales corresponden a la siembra anual de 1,704 ha y tiene un valor de producción de \$362,696.35 pesos. Puebla se ubica en el primer lugar nacional de producción de cilantro, con 29,355.98 toneladas anuales, de las cuales aproximadamente 22,000 ton son destinadas para exportación al mercado de los Estados Unidos (SADER, 2017; Tibaduiza-Roa *et al.*, 2018), por lo cual esta hortaliza representa uno de los nueve *Sistemas Producto* más importantes a nivel estatal.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2017) indica que son 48 los municipios de la entidad productores de cilantro, destacando aquellos que se ubican en la región del Valle de Serdán, donde se ubican las localidades de: Tepeaca, Quecholac, Tecamachalco, Los Reyes de Juárez y Palmar de Bravo.

La importancia económica del cilantro hace relevante la problemática generada en torno a su comercialización restringida a los Estados Unidos desde el 2014, debido a que la Agencia regulatoria de los Estados Unidos la FDA (Food Drug Administration), encontró relación entre los brotes consecutivos de padecimientos gastrointestinales por ciclosporiasis en este país y las condiciones inadecuadas de manejo e higiene de los sitios de cultivo y empaque de cilantro del Estado de Puebla, las cuales afectaban la inocuidad del producto. A partir de lo anterior, se implementó la Alerta de importación 24-23 (2014), impidiendo el ingreso del cilantro poblano al mercado de EUA, durante el periodo de abril-agosto de cada año (FDA, 2021^a), propiciando que la producción generada en el Estado de Puebla se destine al consumo nacional.

La Alerta de Importación afectó el escenario rural poblano, el cual se ha visto limitado por factores ambientales, políticos, sociales y económicos. Específicamente, es relevante identificar el impacto que ha tenido sobre los actores clave del sistema productivo cilantro, (productores, cosechadores y empaques) quienes participan en la producción, empaque y comercialización del cilantro para su exportación principalmente a EUA. La importancia de asegurar el suministro de alimentos inocuos y sanos, reduce los efectos de las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), que además de afectar la salud de los consumidores, tienen consecuencias negativas en la economía de los países en desarrollo.

De acuerdo con la nueva regulación para la exportación de alimentos frescos a EUA (FSMA, 2019) cuando se garantiza la inocuidad de los alimentos que son destinados a exportación, se promueve el comercio internacional fomentando el crecimiento económico para determinados países (FAO/OMS, 2013). De acuerdo con los antecedentes mencionados, la presente investigación tuvo por objetivo analizar el sistema productivo cilantro en la región agrícola de Puebla, para identificar las etapas del manejo del cultivo, su cosecha y procesamiento, así como la identificación de los actores clave del sistema y la forma en que interactúan entre ellos y cuáles son las capacidades que deben fortalecerse para mejorar la inocuidad del producto.

4.2 METODOLOGÍA

4.2.1 Diagnóstico regional de sitios de producción y empaque

4.2.1.1 Región de estudio

La investigación se desarrolló en la zona agrícola productora de cilantro de San Bartolomé, Palmarito y Xaltepec en Puebla, entre las coordenadas 18°50'10" N, 97°33'40" W y 18°57'30" N, 97°37'50" W, tiene una altitud entre 2050 y 2240 m, se ubica dentro de la zona de los climas templados de Valle de Tepeaca y Puebla. Su clima es semi cálido, subhúmedo y templado con cambios térmicos en los meses de enero y junio, se aprecia una temperatura media anual de 18 °C, con una mínima de 15 °C y máxima de 21 °C (CONAGUA, 2021).

Esta región productiva abarca a los municipios de Acatzingo, General Felipe Ángeles, Los Reyes de Juárez, Palmar de Bravo, Quecholac, Tecamachalco, San Nicolás Buenos Aires y San Salvador el Seco; y 16 sitios ejidales incluidos La Purísima, Jesús de Nazareno, San Bartolomé Tochapán, San Miguel Xaltepec, San Antonio Limones y La Cruz, Palmarito. La principal actividad económica de estos sitios es la agricultura actualmente implica la producción de hortalizas incluyendo cilantro, cebolla, col, brócoli, zanahoria y lechuga (Barrientos-Gutiérrez *et al.*, 2013).

4.2.1.2 Visitas de campo y generalidades del sistema productivo de cilantro para exportación

Se realizaron visitas de campo y se aplicaron encuestas a informantes clave del sistema productivo cilantro incluyendo productores, empaques, asesores o técnicos de inocuidad del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Puebla (CESAVEP), instructores en inocuidad de Productos Frescos (Produce Safety Rule) capacitados por la Produce Safety Alliance, asesores privados de inocuidad de Unidades de Coadyuvancia en Certificación y verificación y representantes de la Unión de Exportadores de Cilantro y Hortalizas (UNACOMEX A. C.) pertenecientes a la región de estudio. Se utilizó como herramienta de diagnóstico un cuestionario, diseñado con 25 reactivos para obtener información cualitativa general del sistema productivo cilantro, incluyendo condiciones de cultivo, cosecha y procesamiento

para exportación, los actores que participan en él y los impactos que ha implicado la implementación de la alerta de importación 24-23 en ellos.

4.2.1.3 Selección de las unidades de producción y empaque

A partir de la información recabada con el punto anterior, fue posible establecer el contacto con 50 unidades de producción fueron seleccionadas siguiendo el criterio de que proveen a unidades de empaque que exportan cilantro a EUA y se solicitó su participación para el levantamiento de la encuesta correspondiente. Se diseñó un cuestionario como herramienta de diagnóstico con un total de 71 preguntas, cerradas, semi abiertas y abiertas para recopilar información sobre el cultivo de cilantro. El cuestionario estuvo dividido en cuatro secciones: 1) Historial de producción y terreno de cultivo, 2) Sistema de producción, 3) Insumos de producción, 4) Labores agrícolas, 5) Inocuidad, 6) Infraestructura, 7) Operadores, 8) Mejoradores de suelo, 9) Fauna silvestre y 10) Agua de producción. El cuestionario se diseñó en función de los requerimientos estipulados en el Acta de Modernización de la Ley de Inocuidad de Alimentos Frescos de la Produce Safety Alliance (FSMA, por sus siglas en inglés) que deben considerar los productores y empacadores que se encuentren exportando sus hortalizas frescas a EUA.

4.2.1.3.1 Descripción del producto cilantro de exportación

Se realizó una descripción general del producto, consumidores potenciales, forma de uso y consumo, vida útil esperada y condiciones de almacenamiento del cilantro de acuerdo con el Reglamento de Controles Preventivos para Alimentos de Consumo Humano de la ley FSMA.

4.2.1.3.2 Análisis del sistema cilantro e identificación de actores

Mediante la información obtenida por parte de los informantes clave y etapas principales del sistema productivo cilantro: precosecha, cosecha y postcosecha o empaque de producto. A partir de estas etapas se investigaron las labores y operación de manejo realizadas por los actores participantes.

4.2.1.3.3 Descripción de una unidad de empaque

Mediante la información recabada en las unidades de producción fue posible contactar una unidad de empaque cuyo funcionamiento fuese “típico” a otras procesadoras similares en la región. Se incluye una breve descripción de la empresa de empaque con información de su mercado de consumo, etapas del proceso y fuentes de agua de uso postcosecha dentro de la planta como sugiere el Reglamento de Controles Preventivos para Alimentos de Consumo Humano de la ley FSMA.

4.2.1.4 Actividades de intervención

4.2.1.4.1 Evaluación de necesidades de fortalecimiento

Se realizó una evaluación de las capacidades de la unidad de empaque para detectar la necesidad de fortalecimiento con respecto al manejo del cilantro durante la postcosecha, usando la técnica de análisis FODA (**F**ortalezas, **O**portunidades, **D**ebilidades y **A**menazas) para atender las prioridades y garantizar la inocuidad del producto, de acuerdo como marcan las directrices para la identificación de las necesidades y capacidades de la FAO/OMS (2013).

4.2.1.4.1 Actividades de capacitación con los actores clave en el cumplimiento de los requisitos de la ley FSMA

A partir del análisis FODA de la unidad de empaque y la comunicación directa con productores de la región se detectaron las inquietudes comunes entre los productores, siendo las importantes: la necesidad de capacitación sobre la regulación FSMA y poder comparar la situación actual del sistema producto cilantro con la situación futura deseada. Por lo que se brindó la capacitación a productores que proveen de cilantro a la unidad de empaque y los operadores que intervienen en el proceso, considerando a fondo características de la audiencia como son: edad, nivel de escolaridad y conocimiento sobre el manejo inocuo del cilantro.

4.2.2 Análisis de la información

La información obtenida en las actividades anteriores se registró en una base de datos de EXCEL Office (2010) y posteriormente fueron ingresados al programa estadístico SPSS® centurión 18 para su análisis.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación implicó etapas del diagnóstico general sobre la producción de cilantro en la zona agrícola de Puebla, para conocer las características del producto cilantro de exportación y definir los procesos del sistema productivo, actores que participan en el sistema, el funcionamiento de una unidad de empaque y finalmente actividades de intervención en el sistema, a partir de la identificación de capacidades a fortalecer de una unidad de empaque para mejorar la inocuidad del cilantro, durante su manejo en el proceso de precosecha, cosecha y postcosecha. En el Cuadro1 se presenta el tipo de información obtenida en cada una de las etapas que conformaron la investigación, la herramienta utilizada y tipo de informante al que se entrevistó.

4.3.1 Diagnóstico general de la zona agrícola de Puebla

De acuerdo con la SEMARNAT (2021), la región productiva tuvo una superficie sembrada de 70,795.41 hectáreas de producción agrícola, de la que son usuarios 17,875 productores, principalmente de maíz, alfalfa, frijol, sorgo y hortalizas de hoja fresca como el cilantro. En el año agrícola 2016-2017 la superficie total de riego fue de 54,829.08 ha, utilizando un volumen total de agua de 264,498,700 m³ (CONAGUA, 2021; SADER, 2017).

De acuerdo con la SAGARPA (2018), en Puebla se identifican 348,736 unidades de producción en el sector rural dedicadas a la agricultura, de las cuales el 14% usan sistema de riego y el 86% son cultivos por temporal, en dichas unidades de producción se realizan prácticas agrícolas con un uso diferenciado de los componentes de la tecnología moderna, algunas veces combinadas con tecnología tradicional y en otros, completamente tradicional.

Cuadro 1. Herramientas de diagnóstico y su aplicación para generación de información sobre el sistema productivo cilantro.

Etapa	Herramienta	Aplicada a	Tipo de información obtenida
Diagnóstico	Entrevistas semi estructuradas	Informantes clave de agencias de regulación sanitaria: CESAVER, Unidades de Coadyuvancia y el presidente del UNACOMEX	Región productiva de hortalizas de Puebla Actores del sistema cilantro Sistema productivo, cosecha y empaque Comercialización Efectos de la implementación de la Alerta 24-23
Descripción del producto	Entrevista semiestructurada	Trabajadores en las unidades de empaque de hortalizas	Características del producto cilantro de exportación, demandas de los consumidores en EUA, sistema de conservación, materias primas y manejo.
Análisis del sistema cilantro e identificación de actores	Cuestionarios de preguntas abiertas, semi abiertas	Agricultores, empacadores, asesores de inocuidad, agencias sanitarias	Caracterización de los procesos de producción, cosecha y empaque de cilantro
Descripción de la unidad de empaque	Visitas de campo y verificación <i>in situ</i>	Empacadores	Sistema de trabajo, tipo de consumidores, mercado destino del producto, etapas del proceso, medidas de control de inocuidad
Actividades de intervención	Análisis FODA y detección de capacidades a fortalecer	Unidad de empaque y productores	Necesidades de capacitación en controles de inocuidad que regula la Ley FSMA

Durante las entrevistas semiestructuradas con los informantes clave, se mencionó sobre el impacto de la Alerta sanitaria 24-23 y sus consecuencias, la cual fue percibida según diferentes enfoques entre los productores y empaques y está asociada a una presión económica ya existente por la venta del producto. Cabe mencionar que esta Alerta permanece vigente y se considera una medida regulatoria de gran relevancia debido a que involucra a la inocuidad como requerimiento de las etapas de producción, cosecha y empaque del producto fresco cilantro.

4.3.2 Descripción del producto cilantro de exportación

En las instalaciones de las unidades de empaque, el cilantro puede ser acopiado de diferentes sitios de producción y seleccionado por los operadores según los requerimientos del cliente. Los parámetros de calidad para el cilantro son en su mayoría visuales: fresca aparente, uniformidad en tamaño, forma, color y ausencia de defectos como hojas amarillentas, dañadas, pudrición, presencia de insectos o marchitamiento (Cantwell y Reid, 2014). El cilantro de exportación se comercializa en cajas de madera que contienen manojos de aproximadamente 25 g del producto que se enrollan con una cinta plástica, los rollos son envueltos en papel plastificado y son cubiertos con hielo triturado para mantener fresco el producto. Las cajas de madera deben mantenerse en temperaturas de refrigeración durante su traslado, por lo que se utilizan camiones tipo “Thermo King” para que el producto mantenga sus condiciones de calidad, al llegar a su mercado destino. El aroma característico y sabor son esenciales para la decisión del consumidor, aunque estas propiedades pueden disminuir durante su almacenamiento (Jemni *et al.*, 2019).

Diversas fuentes indican que los valores de temperatura y humedad de almacenamiento óptimo para conservar hierbas de olor son de 0 °C y 95%, respectivamente, para lograr una vida de anaquel de hasta tres semanas (Cruz-Álvarez *et al.*, 2013; Cantwell y Reid, 2014; López-Blancas *et al.*, 2014; Jemni *et al.*, 2019). Es frecuente que el cilantro sea enfriado y transportado con hielo, aunque su presentación en mercado directo sea en refrigeración, y no sea posible evitar la pérdida de agua en el producto, que a su vez será causa de pérdida de calidad. Al

mismo tiempo, las temperaturas de refrigeración ayudan a desacelerar la proliferación de bacterias como *Salmonella* y *Escherichia coli* (FDA, 2021b).

4.3.3 Análisis del sistema cilantro e identificación de actores

4.3.3.1 Análisis del sistema cilantro

Con la información recabada durante el diagnóstico se elaboró la Figura 11, misma que muestra las diferentes etapas para el cultivo, cosecha y manejo postcosecha del cilantro. La producción de cilantro en Puebla implica las mismas labores agrícolas que son practicadas en los principales estados productores de esta hortaliza: Baja California, Tlaxcala, Yucatán, Estado de México, Hidalgo, Coahuila y Guanajuato, sumando el 88% de la producción total nacional (Gordillo, 2000). De acuerdo con la SAGARPA (2018), en Puebla se identifican 348,736 unidades de producción en el sector rural dedicadas a la agricultura, de las cuales el 14% usan sistema de riego y el 86% son cultivos por temporal, en dichas unidades de producción se realizan prácticas agrícolas con un uso diferenciado de los componentes de la tecnología moderna, algunas veces combinadas con tecnología tradicional y en otros, completamente tradicional.

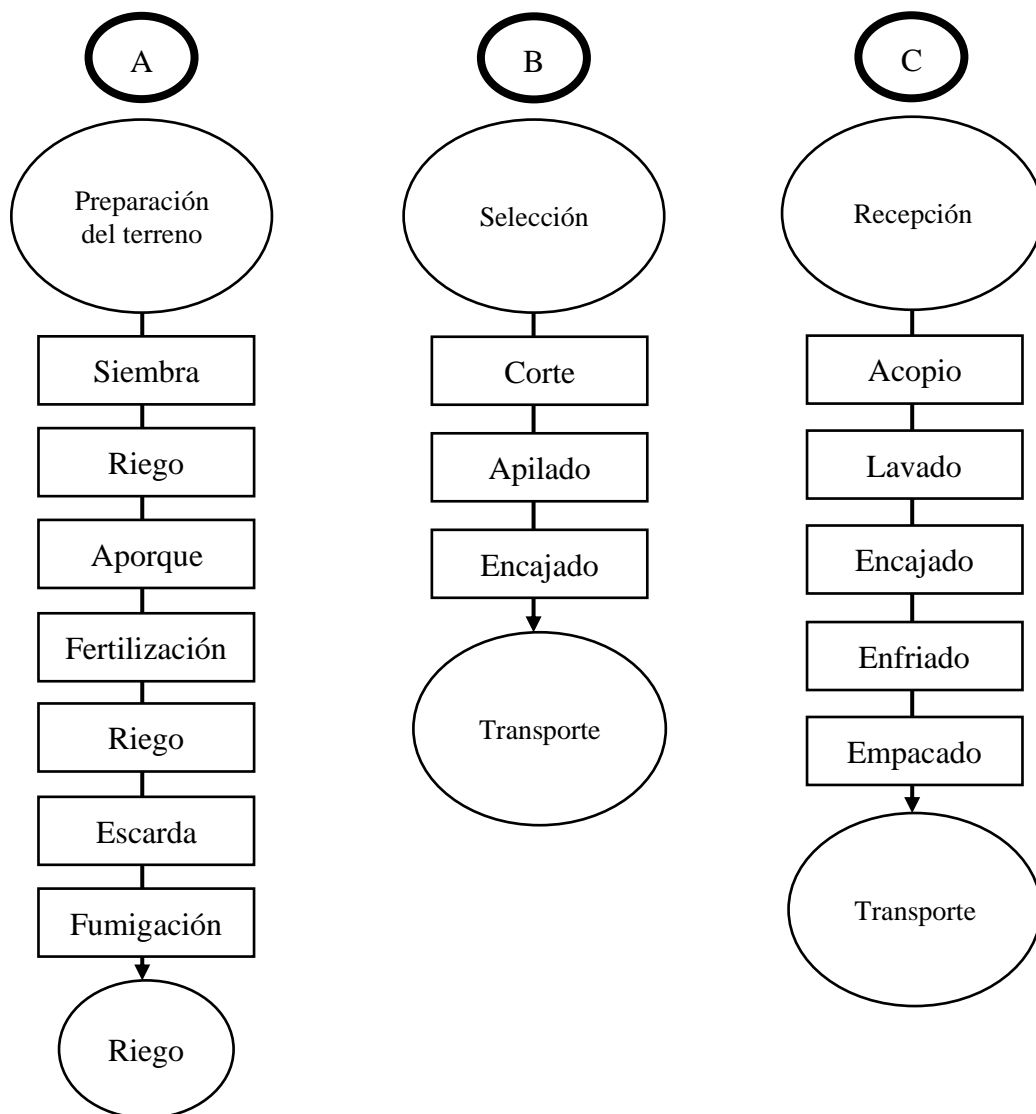


Figura 11. Etapas de producción del Sistema Producto Cilantro.

(A) Labores agrícolas de la producción de cilantro (B), Operaciones de cosecha de cilantro y (C) Operaciones de procesamiento de cilantro.

Durante las entrevistas semiestructuradas con los informantes clave, se mencionó sobre el impacto de la Alerta sanitaria 24-23 y sus consecuencias, que es percibida según diferentes enfoques entre los productores y empacadores y está asociada a una presión económica ya existente por la venta del producto. Cabe mencionar que esta Alerta permanece vigente y se considera una medida regulatoria de gran relevancia que involucra a la inocuidad como parte de las etapas de producción, cosecha y empaque del producto fresco cilantro.

4.3.3.2 Producción (manejo precosecha)

De acuerdo con las respuestas recabadas de los cuestionarios aplicados a los productores de cilantro y con lo reportado por Tibaduiza-Roa (2018), el cultivo del cilantro se realiza a cielo abierto y se define según el desarrollo de siete operaciones agrícolas principales que requiere el cultivo de cilantro incluyendo preparación del terreno, riego, siembra, aporque, escarda, fumigación y fertilización (Figura 11-A). Dependiendo de las condiciones de la unidad productiva, el sistema de riego utilizado puede ser por aspersión o por goteo, en este último el uso del agua se hace más eficiente (Gordillo, 2000), al mismo tiempo, se aprovecha el sistema de riego fertirrigación para la aplicación de fertilizantes. Una vez sembrada y regada la semilla de cilantro, inicia el proceso de germinación (2-3 días), los brotes son visibles en el suelo y comienza el desarrollo de raíces y tallos (14-20 días). De acuerdo con Gordillo (2000), el tallo desarrolla una altura desde 26 hasta 40 cm, soportando hojas superiores que desarrollan de 4 a 7 puntas y varios lóbulos de 2.5 a 10 cm de largo y de 2 a 7.5 cm de ancho, el desarrollo foliar implica periodos de 30 a 40 días y se procede al corte de la planta antes de la floración (60-72 días), en tiempos de sequías, pueden llegar a ser hasta 90 días de cosecha (Mejía *et al.*, 2014; INTAGRI, 2021).

4.3.3.3 Operaciones de cosecha

En el diagrama de la Figura 11-B se mencionan cada etapa de las operaciones de cosecha. Una vez que la planta de cilantro ha alcanzado una altura de entre 30-45 cm, transcurrido un periodo de 60 a 72 días en campo, la planta está lista para ser cortada. El corte se realiza por cuadrillas de cosecha conformadas por grupos de personas externas a la unidad de producción contratados por la unidad de empaque, cuya labor es seleccionar las plantas de cilantro de acuerdo con los requerimientos demandados por la unidad de empaque. Se debe procurar que el cilantro no se corte en etapa “tierna” o inmadura para evitar que se “alacie”, término que usan los productores para referirse al rápido deterioro en el color y textura de la hoja. El corte se realiza con cuchillos sobre el ras del suelo, haciendo manojos para después colocarlos en cajas. Gordillo (2000) sugiere que el corte del cilantro sea durante la

madrugada o al atardecer ya que es menos susceptible a la deshidratación y el producto debe colocarse de inmediato en un lugar fresco y seco en cajas plásticas. Sin embargo, los procesos de cosecha son bastante largos (4-8 horas) y en la región de Tecamachalco las cajas de cilantro cosechado pasan periodos largos de tiempo expuestas al sol alcanzando T mayores a los 35°C. Los racimos de cilantro son colocados en cajas de plástico y transportados a la planta de proceso a temperatura ambiente (25-33 °C). Según el nivel de la demanda de producto solicitada por el exportador, los proveedores son seleccionados por las unidades de empaque para enviar a la cuadrilla y cosechar, posteriormente se traslada el producto a sus instalaciones donde se procesa y empaca para su comercialización. El objetivo principal de la etapa de cosecha de cilantro es conservar la apariencia fresca o de la planta intacta (Cantwell y Reid, 2014).

4.3.3.4 Empaque (manejo postcosecha)

En la región de estudio, se ubican 12 unidades de empaque formales que comercializan cilantro y otras hortalizas a los Estados Unidos, las cuales se proveen de materia prima de unidades productivas de la región, lo anterior fue mencionado por los informantes clave del sistema productivo de cilantro. Dentro de la planta de empaque se procesa el cilantro acopiado proveniente de unidades productivas de la región y a partir de 5 operaciones: selección, lavado, empacado, enfriado y empacado para su comercialización (Figura 11-C).

4.3.3.5 Actores del sistema cilantro

De acuerdo con la información recabada en los cuestionarios 1 y 2, en el sistema se identifican cinco actores principales: agricultor (productor), recolector o cosechador, operador y técnicos de inocuidad. Los primeros dependen del trabajo agrícola en los territorios que habitan, es decir, de la demanda de materia prima por parte de las unidades de empaque y éstas, a su vez, dependen de la demanda del mercado exterior; los productores y empacadores del sistema productivo cilantro señalan que la mayoría del cilantro que se exporta desde Puebla se destina al Estado de Texas, Estados Unidos, donde es distribuido a tiendas de autoservicio y restaurantes.

En el Cuadro 2 se describen las actividades de los actores del sistema productivo cilantro, la forma en que han venido interaccionando los productores (64) y las cuadrillas de cosecha (3 con 120 operadores) de cilantro en los últimos 3 años, que en conjunto tienen un acuerdo con una unidad de empaque que procesa y comercializa el cilantro en Estados Unidos. Dentro de la unidad de empaque laboran 38 operadores de proceso en un mismo turno de hasta 20 horas diarias realizando las operaciones postcosecha. Los productores, cuadrillas de cosecha y operadores de empaque reciben asesoría o recomendaciones de inocuidad por parte de 3 agencias regulatorias de inocuidad de alimentos: local privada, nacional de gobierno e internacional. Cada función y actor es importante y debe considerarse dentro de los planes de inocuidad que sean diseñados para procesos de manejo precosecha, cosecha y postcosecha (FAO, 2017; FSMA, 2019).

Cuadro 2 Funciones desempeñadas por los actores del sistema productivo cilantro.

ACTORES	ACTIVIDAD	ACTORES ENTREVISTADOS	LUGAR
Agricultor	Labores agrícolas	64	Unidad de producción
Cosechador	Selección y corte de cilantro	3	Unidad de producción
Empacador	Procesamiento y empaque de cilantro	1	Unidad de empaque
Operador	Operaciones de procesamiento	38	Unidad de empaque
Técnico de inocuidad	Supervisión y asesoría en inocuidad	6	Unidad de producción/Unidad de empaque
Agencia regulatoria	Regula cumplimiento de normas e implementación de sistemas de inocuidad	3	Local, nacional e internacional

En el sistema productivo cilantro de la región de estudio se identificaron actores en cada etapa del sistema que son similares a otros sistemas productivos de hortalizas en México, Como señalan los empacadores comparten similitudes con otros sistemas de procesamiento de alimentos conocidos como “cadenas de suministro”

en los que son comunes las actividades de abastecimiento, producción, almacenamiento, transporte y distribución (FAO, 2007); específicamente para los alimentos frescos con vida de anaquel corta, como el cilantro, se requiere de un control de las temperaturas desde su cosecha hasta su empaque. Tradicionalmente, los actores del sistema productivo cilantro no funcionan de manera articulada, generando deficiencias en el sistema tales como: falta de control de producción, desfase en tiempos programados de cosecha y procesamiento o desacuerdos económicos sobre costos de compra y venta del producto; esto hace vulnerable el sistema productivo y pueden generarse problemas durante el manejo del producto, así como el aumento en el riesgo de pérdida de inocuidad del producto (Gutiérrez, 2021).

En la Figura 12 se observa el sistema productivo cilantro conformado por las etapas de manejo precosecha, cosecha y postcosecha; así como la interacción entre sus actores. Los recuadros indican las operaciones y labores principales y las flechas indican el sentido del proceso. Los procesos de cultivo y empaque se encuentran delimitados por la línea punteada.

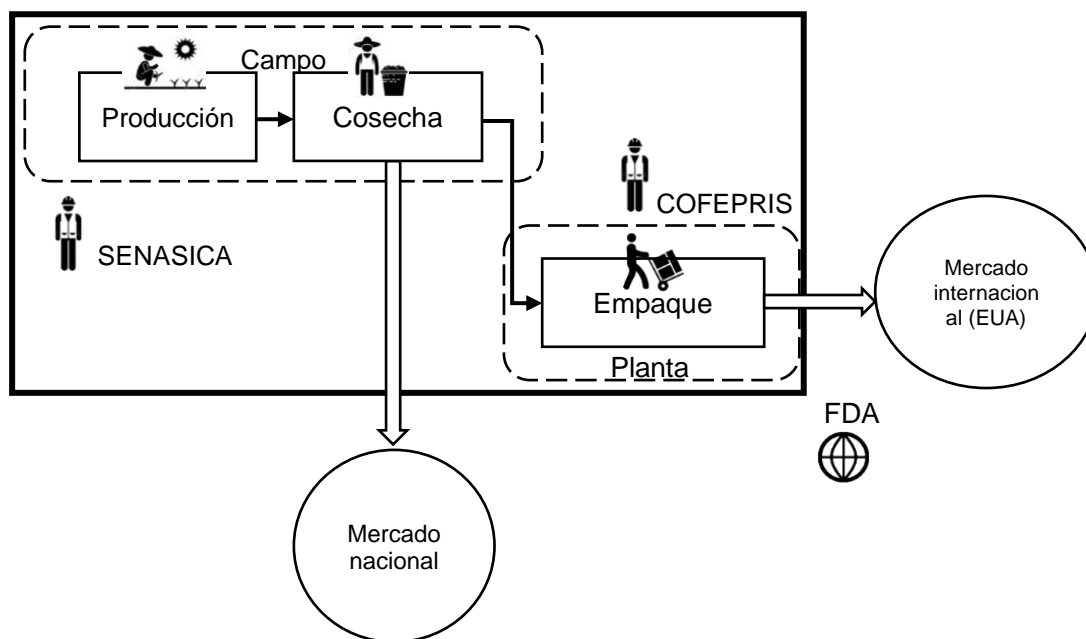


Figura 12 Dinámicas entre etapas y actores del sistema productivo cilantro

Los sistemas productivos de hortalizas o cadenas de suministro de vegetales frescos implican principalmente dos procesos complejos: manejo y distribución (Shin *et al.*, 2019), que en el caso de diversas hortalizas como cebollín, perejil, coliflor, lechuga, brócoli, zanahoria y calabacita, con origen en México, son generados por productores y empacadores, que en ocasiones pueden tener ambas funciones; se enfrentan a complicaciones por la naturaleza perecedera de los productos y la necesidad de su conservación, así como las complejidades a nivel productivo, operacional, económicos y ambientales (Rubio *et al.*, 2009). Además, cuando los productos agrícolas frescos son destinados a exportación, estos deben cumplir con los requisitos de la normatividad vigente específica para el tipo de producto en el mercado, que generalmente es selección, limpieza y lavado, empaquetado y conservación en frío (FAO, 2002; Shin *et al.*, 2019).

4.3.3.5.1 Características generales de los productores de cilantro de Puebla

En Puebla predominan productores con un rango de edad entre 35 y 75 años y se observa una importante ausencia de jóvenes en estas actividades. Al mismo tiempo, se observa un nivel educativo bajo, con un promedio de 6 años de grado académico básico, es decir, sexto año de educación primaria, comparado con los 9 años (tercer año de educación secundaria) del promedio de escolaridad en el Estado de Puebla, aunado a un alto porcentaje de analfabetismo (19%) (INEGI, 2022). Por otra parte, la mayoría de los productores son generadores de empleos para personas con menor conocimiento de estas labores (auxiliares).

En cuanto a equidad de género, se observó desigualdad en alta proporción, ya que sólo uno de los productores entrevistados es mujer y únicamente una de las unidades de empaque de hortalizas de las 17 ubicadas en la región es dirigida y representada por una mujer. Esto puede deberse a que en los entornos rurales de México predominan costumbres que permiten el acceso físico y financiero a tierras agrícolas a personas del género masculino, aun cuando se observaron en las labores agrícolas gran cantidad de mujeres. El INEGI (2016) ubicó a Puebla como la segunda entidad con mayor porcentaje de mujeres productoras (9.6%) y con un

20% de participación en labores agrícolas, el tiempo que las mujeres rurales dedican a su trabajo aporta el 19% del valor de la producción del campo poblano.

También es pertinente señalar que el 94% de los productores indicaron no haber recibido asesorías técnicas o capacitaciones referentes a la normatividad regulatoria requerida para ser considerados como un proveedor confiable de cilantro y ser incluidos en la lista oficial de SENASICA (2022), donde sólo figuran 12 unidades productivas en comparación con las 348,736 unidades de producción reportadas por SAGARPA (2018). En general se observa que, los productores con sistemas tecnificados, tienen mayor capacidad para la implementación de los cambios requeridos y dar cumplimiento con la legislación vigente para exportación. Mientras que, para los pequeños productores presentan un mayor número de dificultades en cuestión de inversiones para infraestructura y algunos obstáculos burocráticos no esperados. Entre las inquietudes y aspiraciones que mencionaron los productores de cilantro destacan la construcción de sanitarios y estaciones de lavado de manos en las unidades productivas, perforación y mantenimiento de pozos y cercado perimetral de las unidades productivas, condiciones que son requeridas por las unidades de empaque para comprar los lotes de producción, algunas de ellas son demandadas por el consumidor que se apega a los requisitos establecidos por la ley FSMA (2019). Es evidente que, el acceso financiero a recursos para inversión resulta la principal limitación para que los productores promuevan o fomenten el uso de tecnologías en sus sistemas productivos, esas limitaciones impactan en la capacidad de modificar y actualizar su infraestructura y condiciones en el manejo de los recursos agua, suelo y cultivo.

En los municipios visitados se observó una gran capacidad productiva y al mismo tiempo un alto grado de marginación, pobreza, inseguridad y deterioro ambiental, indicando que los problemas rurales de esta región agrícola pueden tener un origen multifactorial y debe tratarse desde un análisis multidimensional, abarcando los aspectos económicos, sociales y ambientales.

4.3.3.5.2 Descripción de una unidad de empaque típica de la región

La unidad de empaque seleccionada como sitio de trabajo es una empresa dedicada al empaque y comercialización de hortalizas producidas en Puebla al Estado de Texas en los Estados Unidos y su producto de mayor demanda es el cilantro. En la unidad de empaque se reciben y acopian manojos de cilantro durante todo el año. El producto se selecciona manualmente bajo criterios de color y condiciones aceptables de calidad (frescura aparente, uniformidad en tamaño, forma, color y ausencia de defectos físicos). Durante la época de lluvias (mayo a septiembre), se lava el cilantro para la eliminación de agentes externos como tierra. El agua utilizada en la planta proviene de pozo profundo y se almacena en una cisterna de concreto sin ningún tratamiento. Enseguida los manojos de cilantro son envueltos en una hoja plástica de polipapel, se colocan dentro de una caja de madera y se cubren con hielo triturado para conservar la frescura del producto. Las cajas de madera son apiladas envueltas en plástico auto adherible sobre tarimas y se colocan dentro de termos refrigerados que transportan el producto a su mercado destino.

4.3.4 Actividades de intervención

Resulta pertinente que una vez que se han identificado las capacidades de los actores del sistema productivo cilantro, durante el Diagnóstico dirigido y se han detectado sus inquietudes y necesidades, entre ellas se requiere que se brinde capacitación técnica para el proceso de adopción de buenas prácticas agrícolas y de manufactura, mismas que mejorarían la inocuidad con base en la regulación vigente que demanda el contenido de la Ley FSMA regulado por la FDA, para productos de importación a Estados Unidos. Esto a su vez, genera seguridad entre productores, empacadores y comerciantes de hortalizas frescas, fortalecida con la realización de un seguimiento o estudio progresivo por etapas, favoreciendo la inocuidad del producto y las posibles fuentes de contaminación a las que está expuesto el sistema productivo.

4.3.4.1 Evaluación de necesidades de fortalecimiento: Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA)

Se realizó un análisis tipo FODA (Cuadro 3), donde se reúnen en un cuadro las debilidades y fortalezas internas de una organización, con las oportunidades y amenazas externas, que afectan el sistema productivo cilantro desde el punto de vista de la inocuidad del producto. Lo anterior con la finalidad de observar desde la perspectiva de los actores del sistema, la realidad que viven productores, empacadores, operadores y cosechadores de cilantro, para obtener un marco común de interpretación (FAO, 2007; IICA, 2013), dentro de un contexto complejo que afrontan diariamente en Puebla. Esto significa que las unidades de empaque que procesan y comercializan el cilantro al extranjero no están aisladas, sino inmersas en contextos dinámicos de interacciones entre los escenarios a nivel rural, económico, tecnológico y social (Ojeda-Barrios *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas relacionadas con la inocuidad del cilantro de la unidad de empaque.

	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Factores internos	Fortalezas <ul style="list-style-type: none"> • Dominio del sistema productivo cilantro • Condiciones agro productivas ideales para producción de cilantro • La Unidad de Empaque contempla profesionistas de inocuidad 	Debilidades <ul style="list-style-type: none"> • Sistema productivo no articulado en los 3 niveles: producción, cosecha y postcosecha • Decisiones no basadas en inocuidad, sino en la demanda • Capacidad insuficiente para generar medidas de control
	Oportunidades <ul style="list-style-type: none"> • Mercado amplio y garantizado • Lista verde de FDA • Mejora de la inocuidad en el sistema productivo cilantro 	Amenazas <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia al cambio • Poca confianza de los consumidores extranjeros a los productos agrícolas frescos mexicanos (alertas sanitarias)

Se detectaron las capacidades a fortalecer u oportunidades externas para mejorar las condiciones del empaque para mejorar inocuidad del producto, mismas que se facilitan si de manera interna la unidad contempla la implementación de un sistema de inocuidad y genera las medidas de control que forman parte de los requisitos de la ley FSMA para la exportación de cilantro a Estados Unidos. Por lo tanto, se propuso la capacitación de los actores del sistema productivo cilantro con el curso Produce Safety Rule (PSR) de la Produce Safety Alliance (PSA), cuyo contenido es avalado por la FDA, para iniciar con los cambios pertinentes en temas de inocuidad. En el Cuadro 3 se presenta el análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas relacionadas con el funcionamiento del empaque. Dentro de la empresa, la rotación de operaciones es muy común y no se tiene una planeación de capacitación constante para el personal. Las instalaciones no están completamente finalizadas y la instalación hidráulica no es suficiente para la demanda de uso sanitario ni lavado de manos del personal. Carece de delimitación de zonas de proceso y no se proporcionan uniformes adecuados ni equipo de protección para los operadores.

4.3.4.2 Actividades de capacitación con los actores clave en el curso FSMA

Se realizó un curso de capacitación en la Ley de Inocuidad de Productos agrícolas frescos (PSR por sus siglas en inglés) de la Alianza de Inocuidad de productos agrícolas frescos (PSA, por sus siglas en inglés), con duración de tres días para proporcionar las bases de las Buenas Prácticas Agrícolas e información de la gestión y requisitos de la Norma de inocuidad de los productos agrícolas frescos del Acta de Modernización de la Inocuidad Alimentaria (FSMA), para proporcionar herramientas y conocimiento del desarrollo de un plan de inocuidad de productos frescos para las unidades productivas y de empaque.

Se contemplaron las temáticas relacionadas con producción, cosecha, empaque y almacenamiento de producto, mismos que tienen relevancia en la inocuidad en vegetales que se consumen en fresco, los módulos a considerar fueron: Salud, higiene y capacitación de los trabajadores, Mejoradores del suelo, Fauna silvestre

y animales domésticos, Agua de uso agrícola (para producción y para uso postcosecha), Manejo y saneamiento postcosecha, Desarrollo de un plan de inocuidad alimentaria.

4.3.4.2.1 Participación de los actores clave durante la capacitación

El curso fue dirigido a productores, administradores y/o dueños de unidades productivas, personas involucradas directa o indirectamente en la producción, cosecha y manejo de frutas y hortalizas destinados a exportación a los Estados Unidos. Se incluyó además la participación de personal técnico de asesoría de inocuidad, comerciantes-exportadores y actores que tuvieran relación con la producción de cilantro.

Se solicitó a la unidad de empaque interesada que facilitara el curso para sus operadores y proveedores y el uso de las instalaciones para el desarrollo de la capacitación, misma que tuvo un alto porcentaje de participación por parte de los productores de cilantro convocados (98%), asistiendo 26 productores y representantes de unidades productivas de cilantro de la región, personal de operación de la unidad de empaque (4), así como de asesores y técnicos de inocuidad (3). La relación de participación en el curso por parte de los actores clave del sistema productivo cilantro puede observarse en la Figura 13.

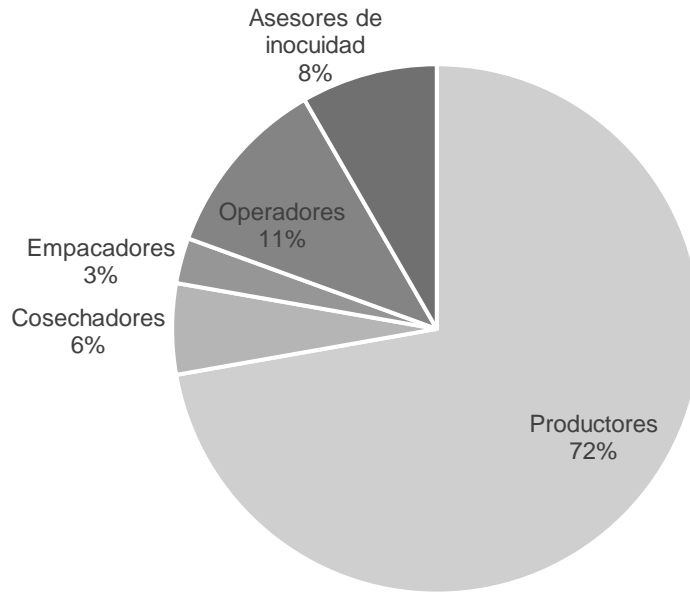


Figura 13. Porcentajes de participación de los actores del sistema productivo cilantro en el curso Inocuidad de productos frescos (PSR).

Los participantes del curso adquirieron y comprendieron algunas temáticas sobre microorganismos relevantes para la inocuidad de los productos agrícolas frescos y cómo identificar las principales fuentes de contaminación, con la relevancia que señala la PSA (2016) para que cada actor tuviera clara la importancia de su papel en el sistema productivo para el logro de la inocuidad. Al mismo tiempo, se facilitó la comprensión para identificar los riesgos y cómo implementar prácticas que reduzcan la exposición del producto a esos riesgos asociados a la inocuidad del producto. Finalmente, se mostraron las secciones que debe comprender un plan de inocuidad para las unidades productivas, incluyendo las operaciones del monitoreo de las posibles fuentes de contaminación.

4.4 CONCLUSIONES

A partir de los resultados del diagnóstico se concluye que las condiciones de manejo y procesamiento del cilantro en algunas unidades de producción de la zona agrícola productiva de cilantro de Puebla, requieren de la implementación de sistemas de inocuidad que aseguren un producto inocuo para su consumo en fresco, tanto en el mercado nacional como internacional; sin embargo, se detectaron factores sociales que limitan el fortalecimiento de las capacidades productivas del sistema y la mejora en infraestructura que los productores y empacadores de cilantro encargados de las labores agrícolas y las operaciones de procesamiento, esto se refleja en las inquietudes expresadas por los productores en el diagnóstico realizado. Asimismo, se recomienda identificar las actividades y puntos estratégicos de los procesos de manejo precosecha, cosecha y postcosecha del producto cilantro para mejorar su inocuidad, evidenciando el compromiso colectivo de los actores del sistema para atender a las demandas que causan el origen de la alerta de importación 24-23. Finalmente se requieren considerar las inquietudes y necesidades manifestadas por los actores del sistema producto y al mismo tiempo de la planeación y supervisión de los Planes de inocuidad requeridos en las de unidades productivas y de empaque.

Agradecimientos

Los autores agradecen su colaboración a los Productores de cilantro del Estado de Puebla, México. Así mismo, se agradece al programa de Becario CONACYT de Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas, **1078234**.

LITERATURA CITADA

- Barrientos-Gutiérrez, J. E.; Huerta-de la Peña, A.; Escobedo-Garrido, J. S. y López-Olguín, J. F. 2013. Manejo convencional de *Spodoptera exigua* en cultivos del municipio de Los Reyes de Juárez, Puebla. México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(4):1197-1208.
- Cantwell, M. & Reid, M. 2014. Herbs: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Vegetable produce fact. Department of Plant Sciences, University of California, Davis. United States of America. Obtenido el 24 de enero de 2022 de: https://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_Spanish/?uid=20&ds=803.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2021. Distritos y Unidades de riego nacional. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. México. Obtenido el 09 de enero de 2022 de: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=distritosriego>.
- Cruz-Álvarez, O.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M. T. B.; Rodríguez-Pérez, J. E. y Ramírez-Ramírez, S. P. 2013. Cambios de calidad en poscosecha de menta (*Mentha x piperita* L.) almacenada en refrigeración. México. Revista Chapingo. Serie horticultura. 19(3):287-299. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.11.062>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura). 2002. La comercialización de productos hortícolas – manual de consulta e instrucción para extensionistas. ISBN 92-5-302710-X. Obtenido el 22 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/3/s8270s/S8270S00.htm#Contents>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura). 2007. Fortalecimiento de los sistemas nacionales de control de los alimentos: Directrices para evaluar las necesidades de fortalecimiento de la capacidad. Módulo 2. Evaluación de las necesidades de fortalecimiento de la capacidad con respecto a la legislación alimentaria. Obtenido el 25 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/3/a0601s/a0601s.pdf>.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura). 2017. Guía para el desarrollo de mercados de productores. Proyecto “Creación de Cadenas Cortas Agroalimentarias en la Ciudad de México”. Obtenido el 25 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/3/i8096s/i8096s.pdf>.
- FAO/OMS (Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud). 2013. Garantía de la inocuidad y calidad de los alimentos: Directrices para el fortalecimiento de los sistemas nacionales de control de los alimentos. Alimentación y Nutrición. Roma, Italia Estudio FAO. Alimentación y Nutrición 76. Obtenido el 20 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/3/a0601s/a0601s.pdf>.
- FDA (Food and Drug Administration). 2021a. Import Alert 24-23, detention without physical examination of fresh cilantro from the state of Puebla, Mexico – Seasonal (April 1-August 30). Obtenido el 02 de enero de 2022 de: https://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_1148.html.
- FDA (Food and Drug Administration). 2021b. Almacenamiento seguro de alimentos. Información para consumidores. Consumer updates. Obtenido el 24 de enero de: <https://www.fda.gov/consumers/articulos-en-espanol/esta-almacenando-los-alimentos-en-forma-segura>.
- Gordillo, M. E. 2000. Efecto del Ácido Giberélico sobre el Rendimiento y la Calidad del Cilantro (*Coriandrum sativum* L.) bajo Condiciones de Fertirriego. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 53 pp.
- Gutiérrez P., G. A. 2021. Estudio de la cadena de suministro de alimentos perecederos. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima. 87 pp.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2013. Planificación del desarrollo agrario y rural con enfoque territorial: perfiles de proyectos del Departamento de Concepción. MAG. Asunción, Obtenido el 25 de Enero de 2022 de: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6142/BVE17058876e.pdf;jsessionid=CDCA65E83BD5F371E1B0BD0E15830DCB?sequence=1>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2016. Puebla, México en Cifras, Información nacional, por entidad federativa y municipios. Obtenido el 07 de Enero de 2022 de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=21>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2022. Educación. Estado de Puebla. Obtenido el 02 de enero de 2022 de: <http://cuentame.inegi.org.mx/90rticulos90n/90rticulos90n/pue/90rticulos/90rticulos.aspx?tema=me&e=21>.

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). 2021. El Cultivo de Cilantro. México. Artículos Técnicos de INTAGRI. Serie Hortalizas. 27:4. Obtenido el 25 de enero de 2022, de: <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/el-cultivo-de-cilantro>.

Jemni, M., Ramírez, J. G., Otón, M., Artés-Hernandez, F., Harbaoui, K., Namsi, A. & Ferchichi, A. 2019. Chilling and Freezing Storage for Keeping Overall Quality of “Deglet Nour” Dates. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 21(1):63-76.

López-Blancas, E.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M. T.; Martínez Solís, J. y Rodríguez-Pérez, J. E. 2014. Calidad poscosecha de albahaca ‘Nufar’ (*Ocimum basilicum* L.) en condiciones de refrigeración. México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 20(2):187-200. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.08.026>.

Mejía D., M.; Marín P., G. E. y Menjivar F., J. C. 2014. Respuesta fisiológica de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta agronómica* 63(2):246-252.

Ojeda-Barrios, D.; Arras V., A.; Hernández-Rodríguez, O.; López D., J.; Aguilar V., A. Y Denogean B., F. 2010. Análisis FODA y perspectivas del cultivo del nogal pecanero en Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 27:348-359. ISSN: 1405-9282.

PSA (Produce Safety Alliance). 2016. Preventive Controls for Human Food. Food Safety. First Edition. <http://www.apeamac.com/wp-content/uploads/2019/02/Guia-Controles-Preventivos-APEAM-1.pdf>.

Rodríguez-Quintero, J. A.; Méndez Márquez, R.; Gutiérrez Hernández, R. y Reyes Estrada, C. 2021. Evaluación del efecto antibacteriano del extracto de cilantro (*Coriandrum sativum*) sobre bacterias patógenas gastrointestinales. Sustentabilidad y nanotecnología. 3(2):10 pp.

Rubio, B.; Calderón, A.; Espinoza, A.; Govea, R.; Olivera, M.; Welsh, A. 2009. *El impacto de la crisis alimentaria en las mujeres rurales de bajos ingresos en México 2008-2009*. INDESOL, Red Nacional de Promotoras y Asesoras Rurales. Primera Edición, 2009. México, D.F.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2017. Puebla con amplias posibilidades de incrementar exportaciones de hortalizas. Delegación SADER Puebla. Obtenido el 07 de Enero de 2022, de: https://www.gob.mx/agricultura/puebla/91rticulos/puebla-con-amplias-posibilidades-de-incrementar-exportaciones-de-hortalizas?idiom=es_

SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2018. Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas, Informe de Evaluación 2015 – 2017 Puebla. Obtenido el 02 de enero de 2022 de: <https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2020/03/21/1980/21032020-informe-evaluacion-pcef-2015-2017-puebla.pdf>.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad). 2022. *Listado de proveedores confiables de cilantro*. Obtenido el 07 de enero de 2022 de: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/proveedores-confiables-de-cilantro>.

Shin, M.; Lee, H.; Ryu, K.; Cho, Y. & Son, Y. 2019. A two-phased perishable inventory model for production planning in a food industry. Computers & Industrial Engineering. Doi: 10.1016/j.cie.2019.05.010.

Tibaduiza-Roa, V.; Huerta-de la Peña, A.; Morales-Jiménez, J.; Hernández-Anguiano, A. y Muñiz-Reyes, E. 2018. *Sistema De producción Del Cilantro En Puebla Y Su Impacto En La Inocuidad*. México. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas 9(4):773-786.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1395>.

CAPÍTULO V

Factores de contaminación microbiológica en el sistema productivo de cilantro (*Coriandrum sativum L.*) y medidas preventivas

Abstract

Agricultural water can be a potential source of contamination during the production of coriander (*Coriandrum sativum L.*), is an ideal medium for the reproduction and transport of pathogenic organisms that cause foodborne illness. Coriander from Puebla, Mexico has been associated with outbreaks of cyclosporiasis, reason for the implementation of FDA import alert 24-23 that prohibits the entry of the product during the period of highest prevalence of the parasite *Cyclospora cayetanensis*. Due to its economic and gastronomic relevance, it is necessary to ensure its safety. The objective of this research was to identify the sources of contamination during the production, harvest and post-harvest of coriander, considering the season of the sampling on the presence of the microorganisms *Escherichia coli*, *Cyclospora cayetanensis* and *Salmonella* spp. The methodology involved 4 stages: 1) selection of production and packaging sites, 2) sampling, 3) microbiological analysis and 4) design of preventive controls. Were obtained 136 samples of water, coriander, surfaces and hands of workers in which the presence of total coliforms was confirmed by plate count, *E. coli* and *Salmonella* spp., the strains obtained were isolated for identification. Factors of microbiological contamination in agricultural water, hands and packaged product were confirmed, also the presence of the parasite *Cyclospora cayetanensis* in coriander. During the month of July, the highest counts of total coliforms (3×10^7 UFC/g) and *E. coli* (6×10^5 UFC/g) were found in coriander and hands, *Salmonella* spp. was identified in wells, water for produce wash and worker's hands. There is a difference between the results of the summer and winter seasons. Preventive measures were proposed to implement safety systems, monitoring pathogenic microorganisms in the production, harvest and postharvest of cilantro, training of workers and the built of sanitary facilities in the production fields.

Key words: coriander, export FSMA, *Cyclospora cayetanensis*, agricultural water

Resumen

El agua de uso agrícola puede ser una fuente potencial de contaminación durante la producción de cilantro (*Coriandrum sativum L.*), por ser un medio ideal de reproducción y transporte de patógenos causantes de enfermedades transmitidas por los alimentos. El cilantro de Puebla, México ha sido asociado a brotes anuales de ciclosporiasis razón de la alerta de importación 24-23 de la FDA que prohíbe la entrada del producto durante el periodo de mayor prevalencia del parásito *Cyclospora cayetanensis*. Debido a su relevancia económica y gastronómica, es necesario asegurar su inocuidad. La presente investigación tuvo por objetivo identificar las fuentes de contaminación durante las etapas de producción, cosecha y postcosecha de cilantro considerando la temporalidad del muestreo sobre la presencia de los microorganismos *Escherichia coli*, *C. cayetanensis* y *Salmonella spp.* La metodología implicó 4 etapas: 1) selección de los sitios de producción y empaque, 2) toma de muestras, 3) análisis microbiológicos y 4) diseño de medidas preventivas de contaminación. Se analizaron 136 muestras de agua, cilantro, superficies y manos de operadores en las que se confirmó la presencia de organismos coliformes totales por recuento en placa, *E. coli* y *Salmonella spp.*, las cepas obtenidas se aislaron para identificación. Se confirmaron factores de contaminación microbiológica en agua de uso agrícola, manos y producto empacado, además se determinó la presencia del parásito *C. cayetanensis* en cilantro. En Julio se encontraron los mayores recuentos de coliformes totales (3×10^7) y *E. coli* (4×10^5) en cilantro y manos, se identificó la presencia de *Salmonella spp.* en agua de pozo, agua de lavado de producto y manos. Existe diferencia entre los resultados obtenidos para las temporadas de sequía e invierno. Se propusieron medidas preventivas relacionadas con la implementación de sistemas de inocuidad, monitoreo de microorganismos patógenos en etapas de producción, cosecha y cosecha, capacitación de operadores, así como la creación de instalaciones sanitarias en el campo de producción.

Palabras clave: cilantro, exportación, FSMA, *Cyclospora cayetanensis*, agua de uso agrícola

5.1 INTRODUCCIÓN

El cilantro (*Coriandrum sativum L.*) es una planta aromática anual catalogada como hortaliza de hoja verde, comestible y de una alta demanda culinaria en México y Estados Unidos debido a sus propiedades de olor y sabor (Rodríguez-Quintero *et al.*, 2021). Durante el año 2019 se produjeron en México 99,754 toneladas, de una siembra anual de 1,704 ha con un valor de producción de \$362,696.35 pesos. Puebla se ubica en el primer lugar nacional de producción de cilantro, con 29,355.98 toneladas anuales, de las cuales aproximadamente 22,000 ton son destinadas para exportación al mercado de los Estados Unidos; por esa razón, el cilantro es uno de los nueve sistemas agrícolas más importantes para el Estado (SADER, 2017; Tibaduiza-Roa *et al.*, 2018).

A pesar de su importancia económica, el cilantro de Puebla está asociado desde 2012 a la presencia del parásito *Cyclospora cayetanensis*, organismo causante de la enfermedad ciclosporiasis por brotes anuales consecutivos en los Estados Unidos, dichos brotes fueron identificados por el centro de control de enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés) e informados a la agencia de alimentos y medicamentos (FDA), organismo encargado de asegurar la inocuidad de los productos que ingresan a los Estados Unidos y al observar condiciones de manejo no inocuo durante la producción y empaque de cilantro en Puebla levantó la alerta sanitaria 24-23 que prohíbe el ingreso del producto de abril a agosto de cada año desde 2014, periodo que coincide con la prevalencia del parásito; considera la FDA que la fuente más probable de contaminación es el agua de uso agrícola en el sistema productivo cilantro (FDA, 2014).

Productos frescos como el cilantro están expuestos en toda su cadena de producción a factores que influyen en sus características de inocuidad que pueden ser ambientales como: temperatura, humedad relativa, precipitación, viento, composición del suelo; por otra parte, las labores que se realizan para su obtención: abonamiento, riego, poda, cosecha. En consecuencia, su manejo puede incrementar los riesgos de contaminación si no se trabaja bajo medidas preventivas de control para la inocuidad. Los microorganismos patógenos causantes de

enfermedades para el ser son generalmente del grupo de bacterias entéricas, parásitos y virus, específicamente bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* son causantes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs) asociadas a productos frescos, además han sido motivo de alertas sanitarias en productos de exportación con origen mexicano (CDC, 2020, FDA, 2021). El escenario rural del poblano se ve limitado por factores ambientales, políticos, sociales y económicos que afectan a agricultores, productores y empaques, manejo e higiene de los sitios de cultivo y empaque de cilantro del Estado de Puebla, las cuales afectaban la inocuidad del producto.

La implementación de la Alerta 24-23 hace evidente la necesidad de que productores y exportadores de alimentos frescos de México cumplan con los requisitos de la nueva regulación de la Ley de Modernización de Inocuidad Alimentaria (FSMA, por sus siglas en inglés), y así, garantizar la inocuidad de los alimentos que son destinados a exportación y promover el comercio internacional fomentando el crecimiento económico para determinados países (FAO/OMS, 2013).

Garantizar la inocuidad de los productos agrícolas frescos representa un gran reto para la industria de los alimentos en la generación de medidas preventivas para asegurar que la contaminación por agentes microbiológicos patógenos que son causantes de enfermedades transmitidas por los alimentos se controle.

De acuerdo con los antecedentes mencionados, la presente investigación tuvo por objetivo identificar las fuentes de contaminación (peligros biológicos) durante las etapas de producción, cosecha y poscosecha del Sistema productivo cilantro considerando la temporalidad del muestreo sobre la presencia de los microorganismos *Escherichia coli*, *Cyclospora cayetanensis* y *Salmonella spp.*, debido a su importante relación como parámetros de inocuidad para los productos agrícolas frescos. Para conocer cómo implementar medidas preventivas de contaminación en el sistema y se resuelva el problema relacionado con la inocuidad del cilantro en Puebla, sirviendo como un punto de partida para mejorar las condiciones de manejo de otros productos frescos agrícolas de la región que son destinados a su exportación.

5.2 METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación se divide en cinco secciones las cuales se describen a continuación: 1) selección de los sitios de producción y empaque, 2) definición de puntos de muestreo y toma de muestras, 3) análisis microbiológicos de las muestras, 4) análisis de resultados y 5) diseño de medidas preventivas en función de los resultados obtenidos.

5.2.1 Selección de sitios de producción y empaque

En el Capítulo IV del presente proyecto de investigación se describe el Diagnóstico realizado para la ubicación de unidades de producción (UP) y unidades de empaque (UE) de la región seleccionada, como parte de la identificación de actores del sistema productivo cilantro del Estado de Puebla. Los sitios seleccionados son visitados de acuerdo al programa de acopio diario de la UE seleccionada, quienes recorren las UP de acuerdo a la demanda del producto.

5.2.2 Muestreo

En cada sitio de producción y empaque fueron tomadas muestras de agua y producto (cilantro) por duplicado. En total se obtuvieron 112 muestras del sistema productivo cilantro (SPC) de acuerdo con lo mencionado en el Cuadro 4. Las muestras se tomaron durante los meses de Julio y Noviembre de 2021 y Marzo 2022, con la finalidad de monitorear el comportamiento de los factores de contaminación en los periodos durante, antes y después de la Alerta sanitaria.

5.2.2 Monitoreo de condiciones ambientales

Durante la toma de muestra en cada sitio de producción y empaque se evaluaron las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa. También se registró la temperatura del producto al ser cargado para su transporte y al llegar al empaque después de su cosecha.

Las muestras de agua y cilantro obtenidas de las unidades de producción y empaque fueron trasladadas en recipientes estériles y en condiciones de refrigeración hasta su análisis al laboratorio para su procesamiento.

Cuadro 4. Toma de muestras de agua y producto en el SPC en diferentes estacionalidades y su procesamiento

Mes	Etapas	Tipo y no. de muestras	Descripción de muestras obtenidas
Julio	Precosecha	Cilantro: 4 Agua: 2	<i>Unidades de producción</i>
	Cosecha	Agua: 6 Cilantro: 10	Las muestras de agua corresponden a pozos profundos (98-135 m) en sistemas de riego por goteo. Las muestras de cilantro se cosecharon sin raíz, como requisito de corte de la unidad de empaque.
	Postcosecha	Agua: 16 Cilantro: 8	<i>Cosecha</i>
Noviembre	Precosecha	Agua: 6 Cilantro: 12	Se tomaron muestras de superficies, manos de operadores o utensilios con hisopos estériles haciendo un raspado en las superficies. Las muestras se procesaron de acuerdo con lo descrito para muestras de cilantro.
	Cosecha	Agua: 2 Cilantro: 2	
	Postcosecha	Agua: 18 Cilantro: 8	<i>Unidades de empaque</i>
Marzo	Cosecha	Agua: 2 Cilantro: 2	Las muestras de agua corresponden a las cisternas, tinacos, llaves de lavabos y tarjas para el lavado de manos, para lavado de cilantro y hielo que se coloca sobre el producto empacado.
	Postcosecha	Agua: 10 Cilantro: 4	

Nota: Durante el mes de Marzo no fue posible ubicar los sitios de producción previo a la cosecha, por lo tanto no se obtuvieron muestras de esa etapa.

5.2.3 Análisis microbiológicos

5.2.3.1 Análisis microbiológicos de las bacterias *E. coli* y *Salmonella*

De manera general las etapas que se consideraron para los análisis microbiológicos de las bacterias *E. coli* y *Salmonella spp.* de las muestras (agua, producto y

5.2.3.1.1 Recuento de organismos coliformes totales y *E. coli*

Se realizó un recuento de organismos coliformes totales en cajas Petri del medio Agar Rojo Bilis y en placas de Petrifilm para el recuento de coliformes totales y *E. coli* Marca 3M por triplicado, para las cuales se consideró un volumen de 10 mL o g de cada muestra para diluirlo en 90 mL de agua peptonada (1%) y se homogenizaron las muestras. Se hicieron diluciones seriadas 10^{-2} a 10^{-6} para muestras, y se confirmó la presencia de coliformes fecales en placas Petri de medio EMB (Eosina Azul de Metileno) Marca Bioxon, México, para sembrar por extensión en superficie. Se incubaron a 35-37°C por 24 h. para su recuento.

5.2.3.1.2 Aislamiento e identificación de *E. coli* y *Salmonella*

A partir de los caldos TSB que presentaron turbidez de la inoculación de agua o cilantro, se tomaron asadas y se realizó la siembra por estría cruzada en cajas petri en medios selectivos para *E. coli*: agar McConkey (MC) y agar Eosina y Azul de Metileno (EMB); mientras que para *Salmonella* se ocuparon agar Verde brillante (VB) y agar de Xilosa, Lisina, Desoxicolato (XLD) (NOM-114, 2004). Las cajas inoculadas se colocaron en la incubadora a 35-37°C por 24-48 h. para permitir el crecimiento de los microorganismos. Las morfologías coloniales correspondieron en las cajas Petri de medio EMB con coloración verde metálico características de *E. coli*, las colonias de *Salmonella* cajas de agar VB las colonias incoloras en medio rojo de y de las colonias negras sobre medio rojo de los medios XLD característico de *Salmonella spp.* Esta colonias fueron seleccionadas para la siembra en las pruebas bioquímicas para su identificación TSI, LIA, MIO, Citrato, RM, VP, catalasa.

Adicionalmente a la realización de las pruebas bioquímicas tradicionales para la identificación de *Salmonella ssp.* se utilizó el Kit de detección rápida de *Salmonella* RapidChek® SELECT™ (FDA, 2002). Se diluyeron 10 mL de muestra de agua en 90 mL de agua peptonada (2%), posteriormente se colocaron en incubación a 35-37°C durante 24 h. Transcurrida la incubación, se tomó 1 mL de cada muestra y se colocó en un tubo con medio bifásico del Kit RapidChek® SELECT™ *Salmonella* Test Kit para su incubación a 35-37°C por 24 h. Los tubos que presentaron un vire

en la coloración del medio de verde a naranja-rojo se consideraron positivos y se aislaron para su conservación.

5.2.3.1.3 Conservación de cepas bacterianas

Las colonias con resultados de las pruebas bioquímicas correspondientes a las enterobacterias en estudio, fueron aisladas y purificadas en microtubos de 1.5 mL en agar TSA y caldo TSB para ser incubados 37°C por 24 h y ser conservados a T de aprox. 22-25°C y 4°C, respectivamente.

5.2.3.1.4 Confirmación molecular de los géneros *E. coli* y

Salmonella

Previamente se utilizó para la extracción del DNA bacteriano, el kit DNA Purification de la marca Wizard Genomic. Se amplificaron por PCR punto final los fragmentos correspondientes al gen 16s en geles de agarosa al 1%, de las cepas de *E. coli* y *Salmonella* identificadas bioquímicamente, usando los oligonucleicos fD1 y rD1 (1,500 pb) propuestos por Cecilio *et al.* (2021). Los fragmentos purificados fueron enviados al Instituto de Biotecnología (IBT) de la UNAM para su secuenciación utilizando el Método de Sanger, utilizando los mismos primers usados para su amplificación. Las secuencias fueron sometidas a un análisis bioinformático para su confirmación.

5.2.3.2 Detección de *Cyclospora cayetanensis*

La prueba de detección del parásito *Cyclospora cayetanensis* se realizó a partir de un procedimiento dividido en tres etapas: recuperación de ooquistes de las diferentes tipos de muestras como se describen en la Figura 15, extracción de ADN e identificación molecular por amplificación PCR de acuerdo con el BAM (FDA, 2022) como se ve en la Figura 9 y se describe a continuación.

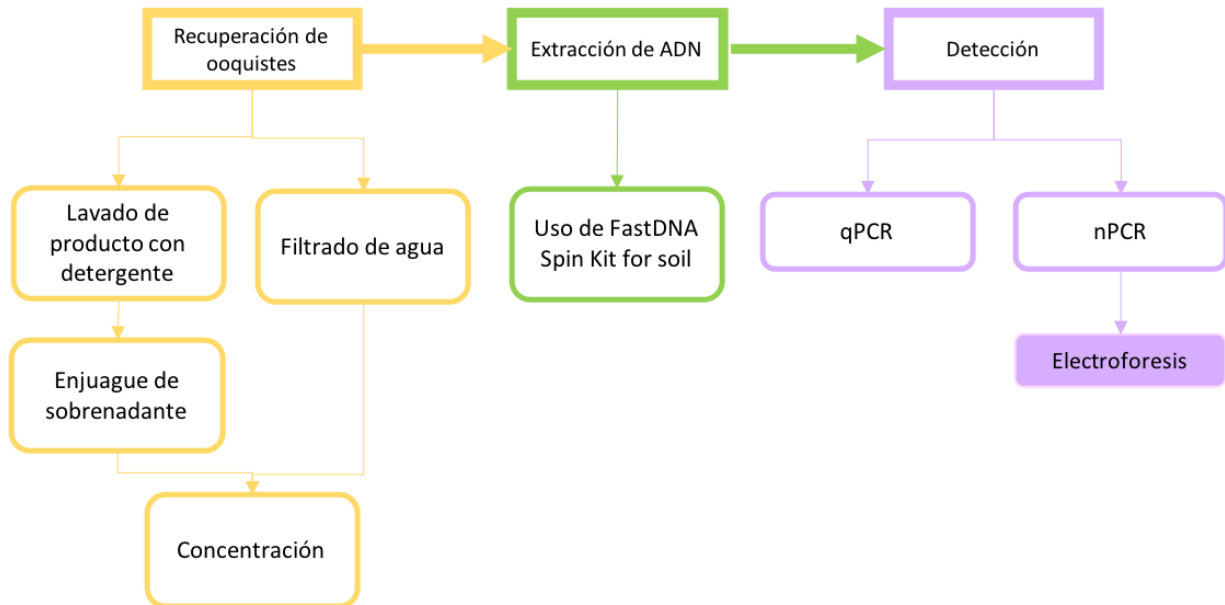


Figura 15. Método de detección molecular para *Cyclospora cayetanensis* (BAM, 2022)

5.2.3.2.1 Recuperación de ooquistes

Las muestras de agua (20 L) deben pasarse por un filtro MiniSawyer®, posteriormente el filtro debe enjuagarse en sentido opuesto con detergente Alconox® para recuperar ooquistes, el líquido debe recuperarse y concentrarse usando una centrifuga. En el caso de las muestras de producto, se debe registrar el peso de cada bolsa (25-100 g) para agregarles 100 mL de solución de detergente al 0.1% y masajear la bolsa por un min, dejar reposar 5 min y repetir el proceso, finalmente se da un masaje de 3 min y la solución se coloca en dos tubos de 50 mL para centrifuga. Los tubos se llevan a 3000 rpm/20 minutos, se retira el sobrenadante y al sedimento se le adiciona destilada hasta alcanzar un volumen de 10 mL con agua destilada y se centrifuga a 30000 rpm/20 minutos, se aspira el pellet y se completa a un volumen de 6 mL con agua destilada. Se el pellet y agua se homogenizan en el vortex y finalmente se conservar en refrigeración (4°C). Los ooquistes concentrados provenientes de muestras de agua o producto se llevan al proceso de extracción de ADN.

5.2.3.2.2 Extracción de ADN

Los ooquistes recuperados en el paso anteriormente descrito se someten a la extracción del ADN mediante el uso del FastDNA Spin Kit para suelo marca MB que implica las etapas de: preparación, homogenización, precipitación, ajuste, unión de ADN, lavado, secado y dilución de ADN, siguiendo las indicaciones de MB, 2021.

5.2.3.2.3 Preparación

Se adicionan 500 mg de muestra a los tubos de Lysis con Buffer de fosfato de sodio (978 μL) y Matriz de Lysis (122 μL).

5.2.3.2.4 Homogenización

Los tubos de lysis se centrifugan a 14,000 rpm durante 5-10 minutos para romper el pellet. El sobrenadante se transfiere a un nuevo microtubo y se añade leche entera (20 μL).

5.2.3.2.5 Precipitación

El sobrenadante se transfiere a un nuevo microtubo y se añade PPS (250 μL), se homogeniza y se invierten los tubos 10 veces para homogenizar suavemente.

5.2.3.2.6 Ajuste

El sobrenadante se transfiere a un nuevo tubo de 15 mL y se añade 1 μL de la solución de unión. Se invierten los tubos durante 2 minutos y se dejan reposar 3 minutos. Se descartan 500 μL del sobrenadante.

5.2.3.2.7 Unión de ADN

La solución que contiene el N se transfiere a un tubo tipo Spin filter y se centrifuga a 14,000 rpm por 1 minuto y se repite el proceso.

5.2.3.2.8 Lavado

Al tubo de filtro se añaden 500 μL de la solución SEWS-M y se centrifuga a 14,000 rpm durante un minuto.

5.2.3.2.9 Secado

El Spin filter debe centrifugarse nuevamente a 14,000 rpm durante 2 minutos y dejarse secando a temperatura ambiente.

5.2.3.2.10 Dilución de ADN

Se añaden 50-100 μL de solución DES y se centrifuga finalmente a 14,000 rpm durante 1 minuto. El ADN recuperado fue utilizado en las pruebas de qPCR o nPCR.

5.2.3.2.11 Detección molecular por qPCR

Se preparan las muestras por triplicado haciendo diluciones en proporción $\frac{1}{4}$: añadir 2 μL de la muestra y 8 μL de agua grado molecular. En microtubos para PCR agregar 2 μL de muestra diluida $\frac{1}{4}$, 10 μL de Quiagen Quantifast multiplex, 1 μL de 20x Ccay18S Pr/Pro, 1 μL de 20X synIAL Pr/Pro y 6 μL de agua grado molecular.

Se colocan los tubos con muestras y master mix en el equipo qPCR con controles positivos y negativos y la lectura de resultados se ajusta bajo las condiciones de synIAC (cy5):0.01 y Ccay 18s (FAM): 0.02.

Las muestras de DNA que se consideran positivas para la presencia de *Cyclospora cayetanensis* serán aquellas en las que 1 o más réplicas presentan una señal de amplificación exponencial cruzando por el límite de la reacción Ccay18S.

5.2.3.2.12 Detección molecular por nPCR

La prueba de PCR anidada (nPCR) implica dos fases de reacción: externa e interna que se describen a continuación:

5.2.3.2.12.1 Corrida externa de Primers

Se hacen alícuotas de 23 μL de Master mix con EXCYCLOF y EXYCLOR y 2 μL de ADN de muestra, colocando controles positivos y negativos. Se corre la reacción en la termocicladora con el programa Cycloei a 4°C: 1.5 minutos a 72°C, 0.5 minutos a 94°C, 0.5 minutos a 55°C, 1.5 minutos a 72°C, 7 minutos a 72°C.

5.2.3.2.12.2 Corrida interna de Primers

Se hacen alícuotas de 23.5 μ L de Master mix con NESCYCLOF y NESCYCLOR 1.5 μ L del producto de la reacción externa, colocando controles positivos y negativos.

Se corre la reacción en la termocicladora con el programa Cycloei a 4°C.

5.2.3.2.12.3 Electroforesis

El producto de la reacción interna se lleva a confirmación junto con controles positivos por electroforesis colocando cada reacción en un pozo de Gel de agarosa al 1.5% (100 mL) durante 30 minutos a 90 Volts.

5.2.4 Diseño de medidas preventivas en función de los resultados obtenidos

Las medidas de prevención de contaminación se propusieron en relación con los resultados de los análisis microbiológicos realizados. el contenido de los módulos del manual para Productores y capacitadores en la implementación de sistemas de inocuidad de acuerdo con las necesidades de la Ley FSMA (2019).

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se describirán a continuación los resultados obtenidos de acuerdo al periodo de muestreo: antes (marzo), durante (julio) y después (noviembre) de la alerta 24-23, etapa de producción de muestra, y tipo de muestra (agua, cilantro o superficie) para relacionar los factores de contaminación y los microorganismos presentes.

5.3.1 Muestreos y resultados microbiológicos

La procedencia de las muestras se describe en los Cuadros 5, 6 y 7 así como los resultados obtenidos para el recuento de organismos coliformes totales y *E. coli*; además, se incluye la confirmación de la presencia de *Salmonella* y *Cyclospora cayetanensis*.

Los microorganismos responden a las diferentes condiciones ambientales en las que se desarrollan, mismas que varían de acuerdo al sitio y la temporalidad del año en la ue se evalúen, organismos como el grupo de coliformes totales al que pertenece *Escherichia coli* puede variar en sus recuentos de acuerdo a la temporalidad del año (Oliver y Page, 2016). De acuerdo con eso, puede observarse en el Cuadro 5 que, durante el mes de Marzo, se identificaron organismos coliformes totales en producto de campo, cosechado y empacado, así como la presencia de *E. coli* en manos de operadores, superficies y producto. Durante el mes de marzo, las condiciones meteorológicas de la región de Puebla, se caracterizan por periodos largos de sequía y baja humedad relativa (16%), mismas que afecta la población de microorganismos.

Se observa durante el mes de Marzo que el cilantro empacado se envía para exportación con altos recuentos de *E. coli* (2×10^5 UFC/g) y presencia de *Salmonella spp.*, esto indica que el producto destinado a exportación no cumple con los requisitos de inocuidad para productos agrícolas frescos de la Ley FSMA, aún cuando el producto no indica presencia de *C. cayetanensis*, la presencia de las bacterias entéricas implica un manejo no inocuo del cilantro y una probable contaminación cruzada durante su manejo en la cosecha.

Cuadro 5. Procedencia de muestras y resultados microbiológicos de muestreos realizados durante el mes de Marzo

Etapa del SPC	Tipo de muestra	Fuente	Recuento Coliformes totales (UFC/g)	Recuento <i>E. coli</i> (UFC/g)	Presencia de <i>Salmonella spp.</i> * %
Precosecha	Agua	Pozo	0	0	52%
	Cilantro	Surco	7X10 ⁴	3X10 ⁴	0%
Cosecha	Agua	Pozo	0	0	44%
	Superficie	Manos de cosechador	3X10 ⁶	2X10 ⁵	95%
	Cilantro	Caja	7x10 ⁴	3X10 ⁴	0%
	Agua	Cisterna	1x10 ¹	0	0%
Poscosecha		Lavabo/Tarja	1x10 ¹	0	0%
		Lavado de producto	3x10 ²	0	0%
		Hielo	0	0	0%
	Superficie	Manos de operador	3x10 ⁶	2X10 ³	89%
	Cilantro	Acopio	3x10 ⁶	2X10 ⁵	91%
		Producto final	3x10 ⁶	3X10 ⁴	96%

SPC= sistema productivo cilantro. El porcentaje de resultados positivos se calculó a partir del número total de muestras n=112. *El resultado de la confirmación de presencia de *Salmonella spp.* se expresa en porcentaje que representa el número de réplicas de dicha muestra que resultaron positivas. **El resultado de la confirmación de presencia de *Cyclospora cayetanensis*. se expresa en porcentaje que representa el número de réplicas de dicha muestra que resultaron positivas.

A diferencia de los resultados obtenidos durante el mes de Marzo, en el Cuadro 6 se observa un incremento significativo en los recuentos de coliformes totales, *E. coli*, *Salmonella spp.* en fuentes de agua de uso agrícola, manos de operadores y producto, así como la presencia del parásito *Cyclospora cayetanensis* en producto de campo y empaque.

El recuento de *E. coli* en agua y productos es un frecuente indicador de inocuidad en todo el mundo para determinar si un producto es apto para su consumo (Oliver

y Page, 2016), los recuentos señalan que el producto no es apto para consumo humano, ya que debería estar libre de la presencia de *E. coli* y *Salmonella spp.*, además, la presencia del parásito *C. cayetanensis* indica que, el producto de Puebla se está enviando a los Estados Unidos durante el periodo de alerta sanitaria en condiciones que no permitirán su ingreso (FDA, 2014).; ya que el consumidor podría estar en riesgo de presentar síntomas de alguna ETA asociada a estos tres microorganismos. El Cuadro 6 muestra los resultados del recuento de organismos coliformes fecales y *Escherichia coli* en las fuentes de agua utilizadas; además, se aprecia que a excepción del agua de pozo en campo, todas las muestras están contaminadas. En fuentes de agua poscosecha también se detectó *E. coli* con excepción del hielo utilizado para el transporte que es el único producto libre de este grupo de bacterias. Las bacterias coliformes representan un grupo requerido para evaluar y determinar la calidad del agua y alimentos como un grupo indicador.

Un elevado porcentaje de las muestras de vegetales estudiadas (81,33%) presentaron recuentos de CT totales entre 10^3 - 10^7 UFC/g; esta elevada carga microbiana indica que las fuentes de agua pueden representar una fuente potencial de microorganismos patógenos. En otros tipos de vegetales frescos de hoja comestible y para consumo fresco se reportan recuentos que oscilan entre 10^3 - 10^9 NMP/g (Mukherjee *et al.*, 2004).

Se identificó *Salmonella* en el agua de riego, agua de cisterna, superficies como manos, posiblemente relacionado con contaminación fecal de las fuentes de agua y producto. De acuerdo con Figueroa-Agilar *et al.* (2005) el hábitat natural de *Salmonella* es el tracto intestinal de humanos y animales salvajes y domésticos, aves, reptiles e insectos; puede ser liberada al medio ambiente (en especial al suelo, al agua y a los alimentos) cuando se expulsa por vía fecal y, así, las frutas y vegetales pueden contaminarse con agentes patógenos intestinales.

Debido a que cilantro se cultiva al ras del suelo, su tallo y hojas pueden contaminarse fácilmente con desechos humanos y animales. Es difícil eliminar este tipo de contaminación en el procesamiento mínimo; por ello, es necesario utilizar métodos de lavado y enjuague efectivos. Se recomienda el lavado y desinfección

del fruto antes de consumirse debido a que el consumidor puede estar expuesto a consumir los organismos patógenos fácilmente.

La presencia de *Cyclospora cayetanensis* en el producto cilantro y en el agua del lavado de manos de los operadores, implica, según la FDA (2022) que si el parásito se encuentra en el agua o los alimentos, estos han sido contaminados con heces humanas. El parásito puede causar una infección, llamada ciclosporiasis y una persona puede infectarse después de ingerir alimentos o agua contaminados con el parásito. Las personas infectadas, incluso si no muestran síntomas de infección, pueden desechar al parásito en sus heces, y contaminar alimentos y agua por medio de las manos si no realizan buenas prácticas al ingresar a trabajar a los turnos de cosecha o manejo poscosecha, contaminando el producto (Hadjilouka y Tsaltas, 2020).

Cuadro 6. Procedencia de muestras y resultados microbiológicos de muestreos realizados durante el mes de Julio

Etapa del SPC	Tipo de muestra	Fuente	Recuento Coliformes totales UFC/mL o g	Recuento E. coli UFC/mL o g	Presencia de Salmonella spp. *	Presencia de Cyclospora cayetanensis **
Precosecha	Agua	Pozo	3X10 ⁵	0	14%	0%
	Cilantro	Surco	3X10 ⁶	6 X10 ³	94%	0%
Cosecha	Agua	Pozo	3 X10 ⁶	0	13%	0%
	Superficie	Manos de cosechador	1 X10 ⁶	5X10 ⁵	95%	0%
	Cilantro	Caja	3 X10 ⁷	7X10 ³	95%	33%
Poscosecha	Agua	Cisterna	3 X10 ³	7X10 ¹	100%	0%
		Lavabo/Tarja	4 X10 ⁴	5X10 ²	33%	0%
		Lavado de producto	9 X10 ³	5X10 ¹	83%	0%
		Hielo	3 X10 ²	0	0%	0%
	Superficie	Manos de operador	2 X10 ⁵	3X10 ³	88%	0%

Cilantro	Acopio	3 X10 ⁷	7X10 ³	94%	15%
	Producto final	1 X10 ⁶	5X10 ⁵	90%	0%

El porcentaje de resultados positivos se calculó a partir del número total de muestras n=112. *El resultado de la confirmación de presencia de *Salmonella spp.* se expresa en porcentaje que representa el número de muestras que resultaron positivas. **El resultado de la confirmación de presencia de *Cyclospora cayetanensis.* se expresa en porcentaje que representa el número de muestras que resultaron positivas.

A diferencia de los meses de Marzo y Julio, en el Cuadro 7 se observa que los recuentos de microorganismos coliformes totales, *E. coli* y la presencia de *Salmonella* se redujeron de manera significativa y para el caso específico de *C. cayetanensis* no se identificó su presencia en ninguna fuente de contaminación. Es posible que las condiciones ambientales influyan y tengan un efecto en la sobrevivencia de microorganismos a condiciones de cielo abierto (Plachá et al, 2001).

Se observa en el Cuadro 7, que el agua que se utiliza en la producción de cultivos hortofrutícolas representa una fuente potencial de microorganismos que ocasionan ETAs. Del total de muestras de agua analizadas sólo las fuentes de agua y manos de operadores de las muestras de campo resultaron positivas a la presencia de *Salmonella spp.* y tres muestras, de la unidad de empaque, resultaron positivas a coliformes fecales. *Salmonella spp.* y coliformes fecales se detectaron principalmente en muestras de agua no clorada a 29 °C y pH 7.5 , en promedio.

En la unidad de empaque, donde se realizó el primer muestreo, se encontró que el agua de la cisterna proviene de pozo profundo, pero al llegar a la unidad de empaque pasa a través de un sistema de bombeo y no se clora. En la unidad de empaque, la cisterna está cerrada. Las acciones como el filtrar y clorar el agua así como el proteger las principales fuente de abastecimiento de agua constituyen algunas de las acciones preliminares para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) y buenas prácticas de manejo (BPM). Sin embargo, durante el mes de Noviembre, en las unidades de producción y unidad de empaque se encontraron algunos sitios que pueden ser considerados puntos críticos de control. En la unidad de empaque del muestreo se carece de un sistema de cloración para desinfección de agua; y en la unidad de empaque, pilas y cisterna de agua están no cubiertas y a las que pueden llegar polvo y materia orgánica del ambiente. Es posible que la

presencia y distribución de *Salmonella* en el agua de lavado de manos y para lavado de producto se debiera a una contaminación cruzada, así mismo, se complica la detección del microorganismo porque también puede deberse a daños sufridos por las células bacterianas, por efecto de la temperatura de almacenamiento (0-4°C) después de la aplicación del hielo (Huerta-Leidenz *et al.*, 2005).

Es importante destacar que aunque no hay reportes de *Salmonella spp.* en cilantro para exportación, su consumo, debido a los hallazgos de este estudio podrían señalar al cilantro como un vehículo importante de infección por *Salmonella* en México y Estados Unidos.

Cuadro 7 Procedencia de muestras y resultados microbiológicos de muestreos realizados durante el mes de Noviembre

Etapa del SPC	Tipo de muestra	Fuente	Recuento Coliformes totales	Recuento <i>E. coli</i>	Presencia de <i>Salmonella spp.</i> *
Precosecha	Agua	Pozo	5X10 ¹	0	86%
	Cilantro	Surco	7X10 ³	0	0%
Cosecha	Agua	Pozo	5X10 ¹	0	87%
	Superficie	Manos de cosechador	6X10 ⁵	34X10 ²	97%
	Cilantro	Caja	7X10 ⁶	0	0%
Poscosecha	Agua	Cisterna	2X10 ²	0	0%
		Lavabo/Tarja	6X10 ³	0	12%
		Hielo	1X10 ²	0	0%
	Superficie	Manos de operador	6X10 ⁵	4X10 ²	63%
	Cilantro	Acopio	7X10 ³	0	0%
		Producto final	4X10 ⁴	10X10 ⁴	34%

El porcentaje de resultados positivos se calculó a partir del número total de muestras n=112. *El resultado de la confirmación de presencia de *Salmonella spp.* se expresa en porcentaje que representa el número de réplicas de dicha muestra que resultaron positivas. **El resultado de la confirmación de presencia de *Cyclospora*

cayetanensis. se expresa en porcentaje que representa el número de réplicas de dicha muestra que resultaron positivas.

A continuación se presentarán los resultados obtenidos mediante gráficas a partir del punto 5.3.1.1 al 5.3.1.3, que corresponden a los tipos de muestras: agua, cilantro y superficies, con la finalidad de analizar desde el tipo de muestra cada microorganismo.

5.3.1.1 Agua

En la Figura 16 se observa la presencia de organismos coliformes totales en agua de uso agrícola, donde el máximo resultado fue 3×10^4 , en el agua de pozo profundo durante el periodo de verano. En las muestras provenientes de las unidades de producción, se observó un 70% de ellas con niveles elevados de organismos. Las posibles fuentes de contaminación pueden ser presencia de heces fecales dentro de las áreas de cultivo, riego del campo de cultivo con agua contaminada o con aguas residuales, tratamientos de lavado o enfriado de producto con agua contaminada, carencia o malas prácticas de higiene por parte de los operadores de cultivo y proceso, falta de procesos adecuados de limpieza y desinfección de quipos y materiales que entran en contacto con el producto.

La contaminación de alimentos frescos se da cuando un organismo patógeno llega al producto y sobrevive dentro del periodo de tiempo del consumo en niveles suficientes para provocar una enfermedad (Harris *et al.*, 2003), es decir, el microorganismo necesita solo estar presente en el alimento sin necesidad de reproducirse para causar un daño, tal es el caso de algunos virus y parásitos que no pueden multiplicarse fuera de un organismo animal. Otros microorganismos, por el contrario, deben ser ingeridos en altas cantidades para causar una infección como es el caso de algunas bacterias.

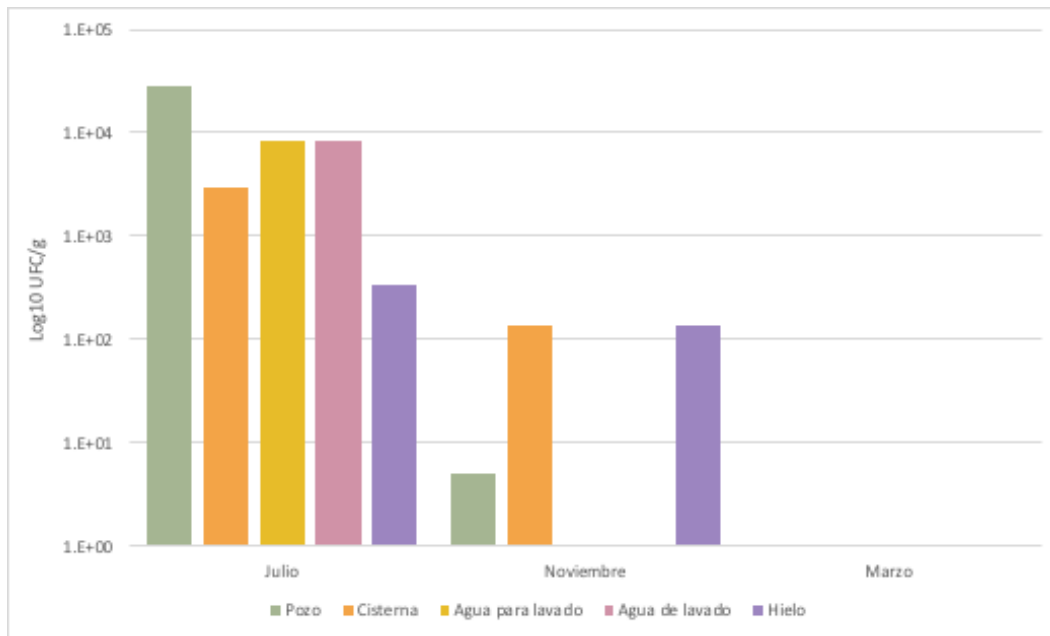


Figura 16. Recuento de organismos coliformes totales en muestras de agua durante la precosecha y postcosecha.

Dentro de los organismos coliformes totales se encuentran los del grupo fecales que corresponden a bacterias entéricas causantes de ETAs, *Escherichia coli* es una bacteria que se utiliza como indicador de materia fecal. En la Figura 16 se observa la presencia de *E. coli* en el agua de uso agrícola que posiblemente tuvo fuente en residuos de animales/humanos que pudieron haberse infiltrado en el agua de maneras diferentes. Por ejemplo, durante los meses con lluvia, *E. coli* puede lixiviarse a los sitios de producción o bien se puede transportar por ríos, arroyos, lagos o aguas subterráneas. (Griffith et al. 2003; Roslev y Bukh, 2011).

La presencia de *E. coli* puede ser indicativo de la contaminación con otras bacterias, virus o protozoos que pueden causar enfermedades y de acuerdo la Ley FSMA (2019), este microorganismos no debe estar presente en agua de uso agrícola ni en alieimientos para consumo humano.

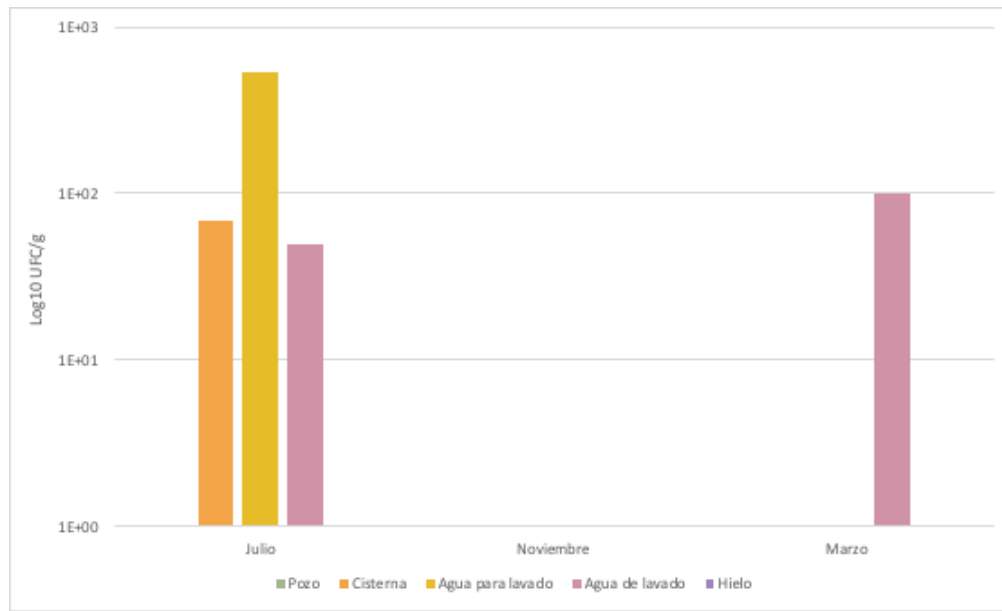


Figura 17. Recuento de *Escherichia coli* en muestras de agua

En el agua de uso agrícola también se identificó la presencia de la bacteria *Salmonella* (Figura 17), que ha sido identificada en una amplia diversidad de alimentos y agua contaminados. *Salmonella* puede causar enfermedades por el consumo de agua contaminada. Una persona que consume alimentos o agua contaminada puede experimentar náuseas, vómitos, cólicos abdominales, diarrea y fiebre. Esta bacteria crece entre los 5 y 45°C, con temperaturas óptimas entre 35 y 37°C. Adicionalmente, se ha reportado que formando biopelículas estas crecen en un pH de 4.5 a 7.4 y cuando se encuentran en estado planctónico crecen a un pH de 3 (Black *et al.*, 2015).

Si en el agua de las cintas de goteo se encuentra la presencia de especies de *Salmonella*, las condiciones ambientales adecuadas para su desarrollo y sobrevivencia en campo pueden presentarse y ser consideradas como un punto de contaminación (Rendón *et al.*, 2008).

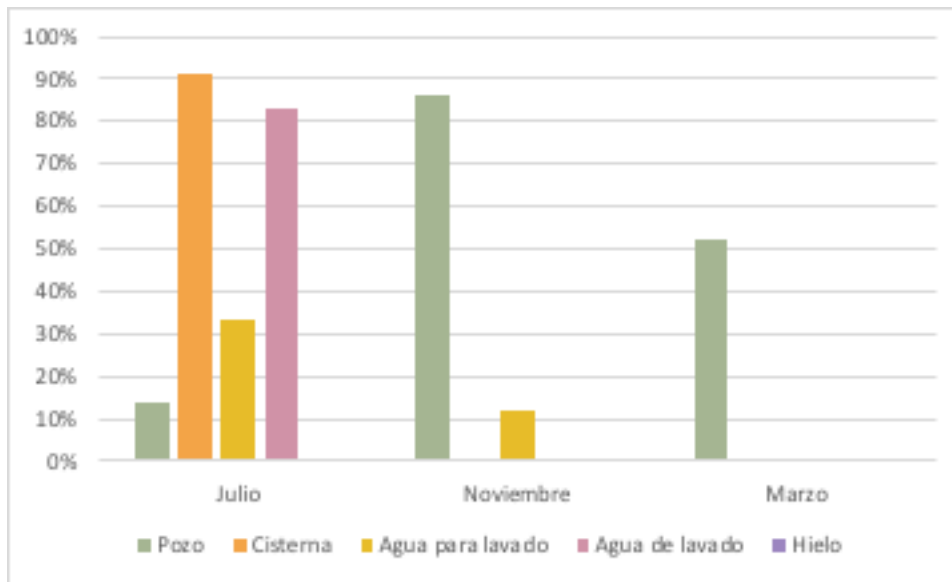


Figura 18. Porcentajes de positividad de la presencia de *Salmonella spp.* en muestras de agua

El agua de uso agrícola del sistema productivo cilantro debería estar libre de la presencia de bacterias entéricas como *E. coli* y *Salmonella spp.* Su identificación indica un problema de gravedad en el manejo inocuo de los productos que tengan contacto con las fuentes de agua contaminada, no sólo para el cilantro.

Por otra parte, no se identificó en ninguna fuente de agua analizada la presencia del parásito *C. cayetanensis*, a pesar de que la FDA indica en la Alerta 24-23 que puede ser la fuente más probable del parásito.

5.3.1.2 Cilantro

Un elevado porcentaje de las muestras de producto estudiadas (81,33%) presentaron recuentos de Coliformes totales entre 10^4 - 10^7 UFC/g (Figura 19); esta elevada carga microbiana indica que el cilantro pueden representar un peligro para el consumidor. La contaminación de hortalizas puede ser consecuencia de irrigación con agua contaminada con heces de humanos o de animales, uso de abonos orgánicos como estiércol, omisión o desconocimiento de las condiciones sanitarias básicas de manipulación, así como deficiente calidad sanitaria del agua utilizada para lavar los vegetales cosechados (Rincón V. *et al*, 2010).

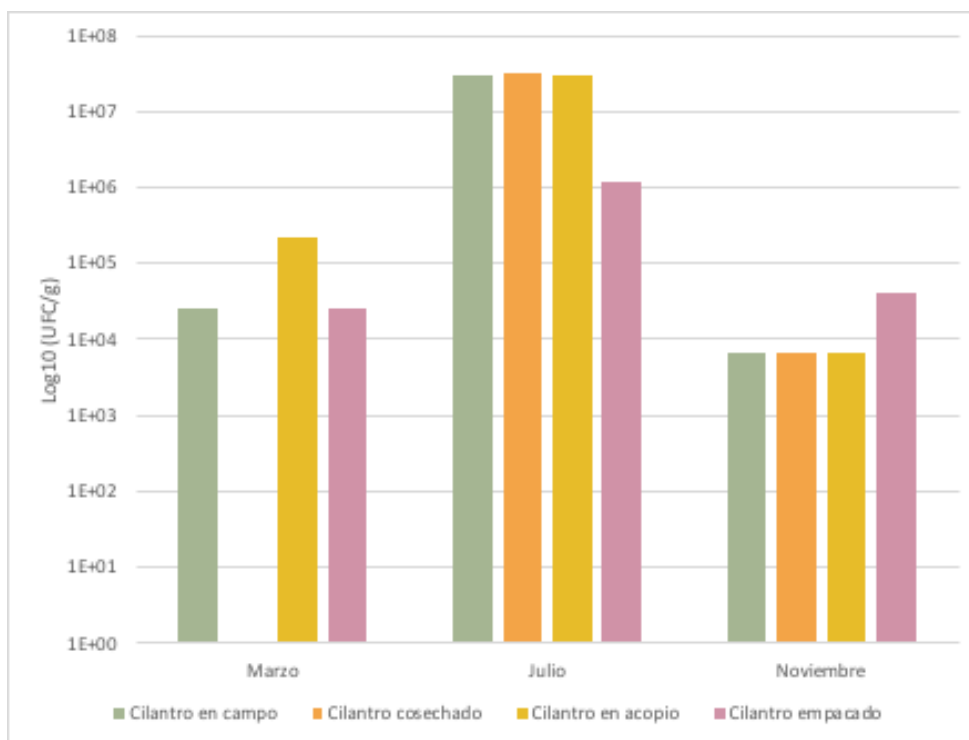


Figura 19 Recuento de organismos coliformes totales (UFC/g) en muestras de cilantro colectadas en diferentes temporadas del año

La inocuidad alimentaria comprende varios aspectos que se integran en la prevención, minimización y eliminación de riesgos por bacterias patógenas a lo largo de la cadena poscosecha de los diferentes productos agrícolas; donde el proceso de limpieza y desinfección de frutas y hortalizas son el objetivo más importante, ya que la presencia de las bacterias patógenas a la superficie de estos productos agrícolas es un proceso. La efectividad de la desinfección va a depender entre otros, del tipo de desinfectante (antimicrobiano), la temperatura de aplicación, el tiempo de exposición, la concentración, el pH, la resistencia de la bacteria y la naturaleza de la superficie en la que se fijó la bacteria (acero inoxidable, plástico etc.).

Los productos agrícolas frescos como el cilantro, pueden servir como vehículo de casi cualquier patógeno causante de intoxicaciones alimentarias y producir enfermedades bajo circunstancias específicas. Si bien las frutas y hortalizas presentan en general una mayor resistencia al crecimiento de los patógenos que los productos de origen animal, éstos pueden llegar a crecer y desarrollarse una vez que se haya alterado la integridad de las mismas por marchitado, envejecimiento,

lesión, cortado, picado, etc., debido a la disponibilidad de nutrientes y agua que favorecen el desarrollo y crecimiento de los microorganismos.

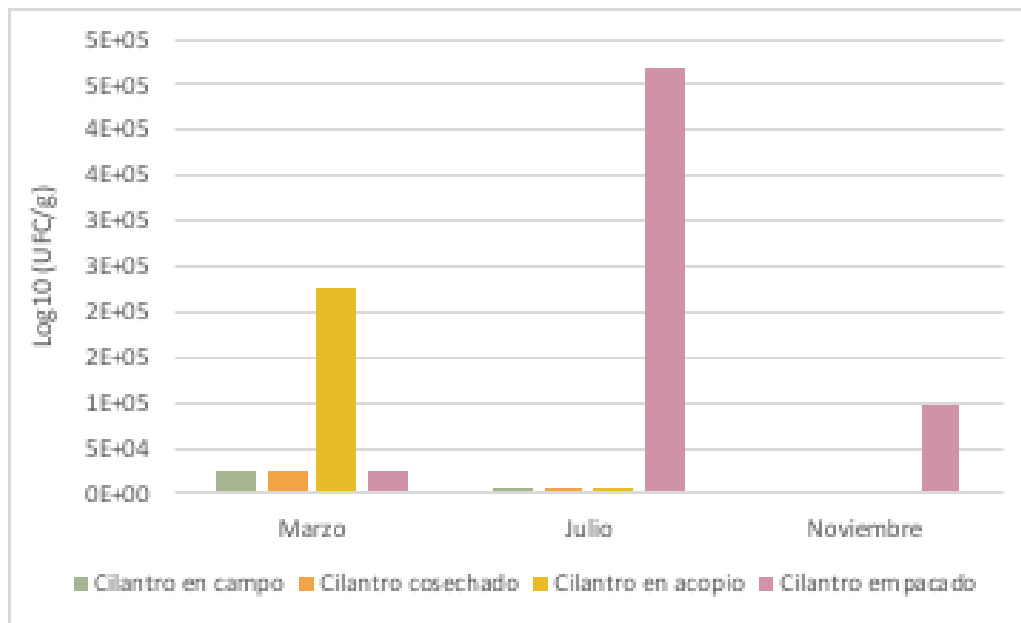


Figura 20. Recuento de *Escherichia coli* en muestras de cilantro

Sólo se obtuvieron siete aislamientos de *Salmonella spp.* presente en cilantro de tres temporadas diferentes del año (Figura 21). Se destaca que, durante las diferentes estacionalidades, fue posible identificar y aislar *Salmonella spp.* de cilantro ya empaçado y que se destinó a exportación. La asociación de este microorganismo con vegetales agrícolas frescos no ha sido ampliamente documentada. De acuerdo con estos resultados es relevante generar estudios más específicos de su origen y fuentes de contaminación.

Salmonella constituye un gran problema de salud pública, tanto por la morbimortalidad debida a gastroenteritis y fiebres entéricas, como por las repercusiones económicas que conlleva. Arias y Antillon (2000) reportaron 3,10% y 2,00% de aislamientos de *Salmonella spp.* en hortalizas y ensaladas tipo buffet. A diferencia de Muñoz (2005) quien aisló este microorganismo en un 20% de vegetales frescos. Esta notable diferencia de aislamiento de *Salmonella spp.* en vegetales parece estar relacionada con varios factores: la flora competitiva que retarda su crecimiento, pH ácido, baja disponibilidad de azúcares, baja

concentración del microorganismo, daño celular como consecuencia del procesamiento del alimento.

Además, la presencia de flagelos parece necesaria para que *Salmonella* pueda adherirse a las hojas de los vegetales (Arias y Antillon, 2000; Muñoz, 2005).

Se ha reportado la complejidad que representa la eliminación de *Salmonella* en productos frescos o recién cortados debido a la formación de biopelículas para adherirse y colonizar frutos y vegetales de hoja verde principalmente, puesto que, *Salmonella spp* se adhiere con mayor facilidad en las hojas de lechuga ‘Romana’ que quedan más expuestas al medio ambiente después del corte después de 2 h a 25°C (Cortés-Higareda *et al.*, 2021).

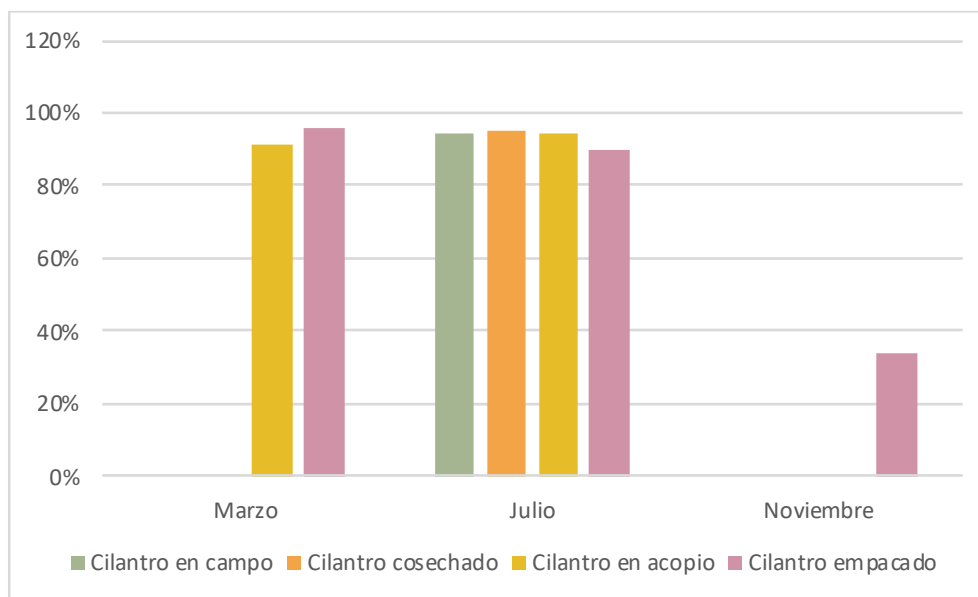


Figura 21. Presencia de *Salmonella spp.* en muestras de cilantro

Durante el mes de Julio, se detectó la presencia del parásito *C. cayetanensis* en cilantro dentro de las instalaciones de la unidad de empaque, como puede observarse en la Figura 22. Los ooquistes maduros son los infectantes y contienen dos esporoquistes ovoidales con dos esporozitos, después de un periodo de incubación de dos semanas puede provocar los síntomas de la enfermedad ciclosporiasis (Weitzel *et al.*, 2017).

El único huésped identificado para este parásito es el ser humano. La ciclosporiasis es endémica de diversos países subtropicales dentro de los que destaca México,

sin embargo *C. cayetanensis* no se limita a productos importados debido a que en Julio de 2018 la FDA determinó la presencia de *C. cayetanensis* en dos muestras locales de cilantro poblano. Por otra parte, Cama & Ortega (2018) mencionan que, el agua de uso agrícola usada para riego de cultivos de productos frescos y puede ser una fuente de contaminación altamente probable para *C. cayetanensis*. En este proyecto de investigación no se detectó el parásito en fuentes de agua de campo, si no del lavado de manos de los operadores.

Debe considerarse que la sensibilidad en los métodos de detección para el parásito *C. cayetanensis* varían en su grado de sensibilidad (Weitzel *et al.*, 2017), por otra parte, la evaluación de las muestras requirió periodos largos de almacenamiento para poder procesar las muestras, posiblemente afectando los resultados de la presencia en fuentes de agua.

La detección por PCR en tiempo real implica sensibilidad en la detección, especificidad y una reducción significativa de tiempo para la reacción en comparación con otros PCR; este método se concentra en hacer multicopias del gen 18S ARN ribosomal y utiliza una amplificación interna como control permitiendo verificar la secuenciación de falsos positivos (FDA, 2022).

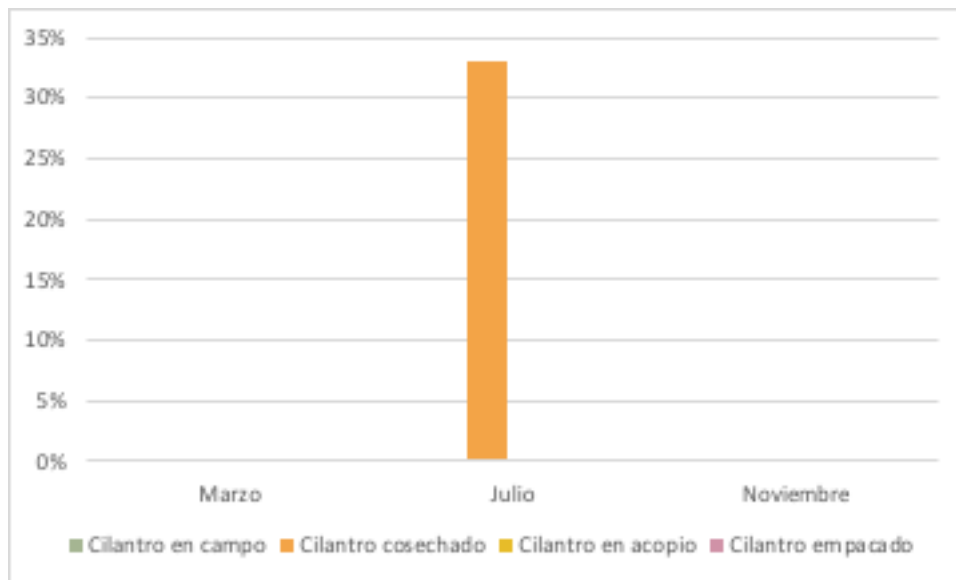


Figura 22. Presencia de *Cyclospora cayetanensis* en muestras de cilantro

5.3.1.3 Superficies

Uno de los mecanismos de transmisión de las enfermedades infecto-contagiosas es el contacto directo. La parte del cuerpo que más utilizamos para poder interactuar con el mundo y con otros son las manos (UNICEF, 2020). En la superficie de las manos, portamos un gran número de microorganismos, que incluyen virus, bacterias y hongos. Estos son transmitidos y provocan enfermedades digestivas como la hepatitis, cólera, fiebre tifoidea entre otras.

Para disminuir tanto el propio contagio, como contagiar a otros por este mecanismo, la principal medida es realizar un adecuado lavado de manos, antes y después de entrar en contacto con cualquier superficie o persona, como se puede observar en las Figuras 23-25.

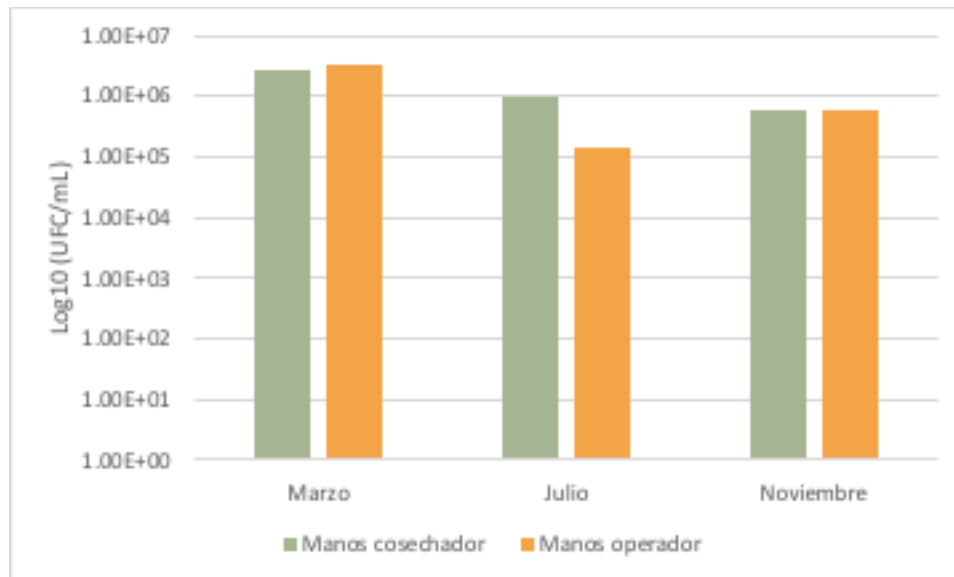


Figura 23 Recuento de organismos coliformes totales en muestras de manos

La microbiota transitoria que se encuentra en nuestra piel, se adquiere por contaminación con el medio ambiente tocando elementos o superficies y que luego las manos transportan.

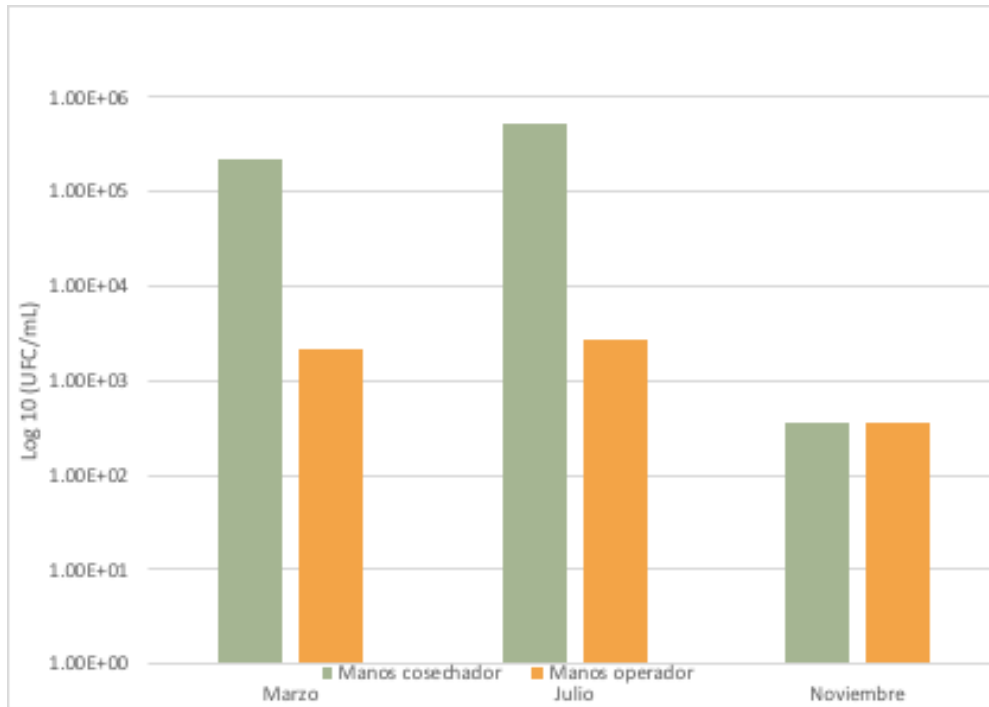


Figura 24 Recuento de *Escherichia coli* en muestras de manos

Los organismos como las bacterias o parásitos, pueden ser transmitidos de maneras diferentes, especialmente al tocar con las manos cualquier superficie no inocua. Otras vías de transmitir patógenos puede ser: a través de agua o alimentos contaminados, a través de gotitas expulsadas durante la tos o un estornudo, a través de superficies contaminadas, a través de los flujos corporales de una persona enferma (Valencia, 2008). Lavarse las manos adecuadamente es su primera línea de defensa frente a la propagación de muchas enfermedades, la mayoría de los tipos de diarrea infecciosa pueden ser evitadas con el simple acto de lavarse las manos.

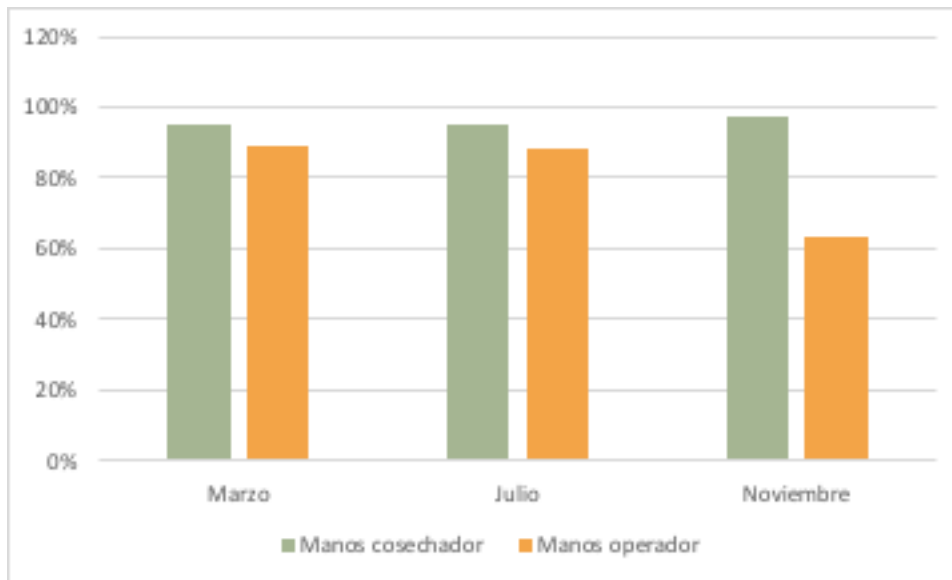


Figura 25 Recuento de *Salmonella* spp. en muestras de manos

Los microorganismos necesitan agua, Carbono, Nitrógeno, sales minerales, vitaminas, eventualmente oxígeno y son capaces de utilizar los alimentos para conseguir sus elementos esenciales, porque los alimentos contienen los nutrientes necesarios para el desarrollo de los microorganismos, sin embargo, las diferencias de composición ejercen un efecto selectivo sobre su biota microbiana. Las bacterias tienen necesidades alimenticias definidas, se diferencian según la fuente energética que puedan utilizar.

Ningún método de limpieza logra eliminar por completo todos los microorganismos que puedan contener los productos, pero se ha demostrado en estudios que enjuagarlos bien con agua limpia es una manera efectiva de reducir la cantidad de microorganismos. Enjuagar las frutas y verduras no solo sirve para quitar tierra, bacterias y plagas resistentes, sino también residuos de pesticidas.

El objetivo del lavado de manos es reducir la flora residente (entendiendo por esta la flora cutánea de las manos y antebrazos normal del individuo y puede estar conformada por microorganismos patógenos) y también remover las bacterias transitorias (entendiendo por ésta los microorganismos que se adquieren por contaminación con el medio ambiente y está generalmente constituida por organismos no patógenos). La piel no puede desinfectarse tan profundamente y por tanto las manos son un medio de difusión de microorganismos potencialmente

importantes. Tal distribución o difusión puede implicar la transferencia microbiana de las manos al alimento, o de un alimento a manos, en consecuencia debe tenerse sumo cuidado para asegurarse que la transmisión por estas rutas se reduce al mínimo, allí que el objetivo del lavado de las manos es eliminar esta microbiota (Valencia, 2008).

5.3.1.4 Temporalidad

Se obtuvieron muestras de cilantro, agua, superficies y manos de operadores durante tres épocas diferentes del año: marzo, julio y noviembre, con la finalidad de abarcar los periodos antes, durante y después de la Alerta sanitaria 24-23 para determinar la influencia de las condiciones climatológicas sobre los microorganismos *E. coli*, *Cyclospora cayetanensis* y *Salmonella spp.* De acuerdo con las consideraciones de las tres temporadas del año seleccionadas, se obtuvieron los resultados presentados a continuación.

5.3.1.4.1 Marzo

Durante el muestreo correspondiente al mes de Marzo, en campo las muestras registraron temperatura promedio de 16 °C y 24 °C, respectivamente y una humedad relativa promedio de 53% al momento de la cosecha. Dentro de las instalaciones del empaque, el producto llegó a alcanzar una temperatura de 42 °C que se adquirió durante su transporte descubierto y dentro del empaque antes de la etapa de selección. *Escherichia coli* y *Salmonella* son microorganismos de importancia en salud pública debido a las enfermedades que estos causan, Sofos *et al.* (1999) muestrearon siete plantas procesadoras en dos épocas del año (seca y húmeda) reportó en su estudio que las fuentes de agua muestreadas presentaban mayor contaminación en la etapa de cultivo, en comparación con la cosecha. En el cultivo se encontró que más del 75% presentaron conteo de coliformes $<10^1$ UFC; mientras que las etapas finales más del 90% de las fuentes de agua tenían una población $<10^1$ UFC. Sin embargo, en la etapa de manejo poscosecha algunos conteos llegaron hasta 10^5 UFC (Sofos *et al.* 1999).

5.3.1.4.2 Julio

Los resultados de Semenza *et al.* (2012), demuestran que los brotes de toxiinfección alimentaria presentan una elevada estacionalidad, produciéndose un incremento notable de casos en los meses de verano, con temperaturas más elevadas, en tanto que en los meses más fríos remiten sensiblemente. A pesar de los sistemas para mantener la cadena de frío en los vegetales de hoja fresca como el cilantro, es bastante habitual que se ocasionen roturas de la cadena de frío. Así, durante los procesos de expedición y recepción de mercancías los vehículos y salas de trabajo refrigeradas pueden permanecer abiertas, lo que dificulta que se mantenga una adecuada temperatura de refrigeración. Durante la comercialización de productos agrícolas frescos como el cilantro pueden producirse roturas de la cadena de frío en los trayectos de materias primas desde las instalaciones de empaque, que ocasiona un incremento de la temperatura del producto mínimamente procesado, que se mantienen temperaturas más elevadas que las de refrigeración durante periodos amplios de tiempo, favoreciendo el desarrollo microbiano y dándose las condiciones óptimas para la producción de toxinas.

Durante el muestreo correspondiente al mes de Julio, en campo las muestras registraron temperatura promedio de 16 °C y 24 °C, respectivamente y una humedad relativa promedio de 68% al momento de la cosecha. Durante su cosecha, el cilantro se va colocando en cajas sobre el camión de transporte para llegar al empaque, sin embargo, este proceso puede ser tardado, ya que la cosecha dura de 3 a 6 horas dependiendo del volumen requerido, eso más el tiempo de traslado a la unidad de empaque en un transporte sin cubierta, expuesto al sol provoca que el producto pueda alcanzar una temperatura de 45°C antes de la etapa de selección. Las condiciones de temperatura (45 °C) y humedad relativa promedio (66%) registradas en estas muestras de agua, al momento de la colecta, coinciden con las condiciones adecuadas para el desarrollo de *Salmonella spp.* (Fernández, 2000) las cuales son temperatura entre 25 °C y 47 °C con un óptimo de 37 °C; y pH de 3.8 a 9.5 con un óptimo de 7.7. Lo anterior indica que si el agua de los pozos o cisterna estaba contaminada con *Salmonella spp.*, ésta encontró las condiciones ambientales adecuadas para su desarrollo y sobrevivencia en el cilantro.

5.3.1.4.3 Noviembre

Durante el muestreo correspondiente al mes de Noviembre, en campo las muestras registraron temperatura promedio de 12 °C y 21 °C, respectivamente y una humedad relativa promedio de 68% al momento de la cosecha. Dentro de las instalaciones del empaque, el producto llegó a alcanzar una temperatura de 38°C que se adquirió durante su transporte descubierto y dentro del empaque antes de la etapa de selección (Hernández-Domínguez et al., 2008). La estacionalidad de los brotes de salmonelosis es conocida a nivel general y se asocia habitualmente a las contaminación cruzada desde alimentos portadores o humanos. Al tratarse de una bacteria mesófila, con un óptimo de crecimiento entre 30-37 °C, es muy relevante la influencia de la temperatura en la proliferación del patógeno hasta niveles que causan la enfermedad (Canet, 2020). En las figuras 12 y 15 se observa la estacionalidad, donde se aprecian los máximos de casos en los meses de verano, que triplican a los que ocurren en los meses más fríos. Se observa, así mismo, una estabilidad en el número de casos durante los últimos años

5.3.2 Medidas preventivas

En función de los resultados obtenidos y de acuerdo al manual del Curso de capacitación para productores sobre la Nueva Ley FSMA propuesto por la Produce Safety Alliance (PSA), se diseñó un conjunto de medidas preventivas de contaminación para el Sistema Productivo Cilantro de Puebla para exportación, de acuerdo con las etapas de manejo precosecha, cosecha y poscosecha, considerando el contenido de los módulos del manual que corresponden a las fuentes de contaminación de los microorganismos identificados previamente. Las medidas propuestas se describe y asocian a los factores de contaminación determinados en el Cuadro 8, a partir de eso se presentará ante los actores del SPC el resultado del trabajo de investigación a modo de recomendaciones para su implementación con la finalidad de incrementar el manejo inocuo del cilantro en cada etapa del proceso.

Cuadro 8 Medidas preventivas de contaminación para el sistema productivo de cilantro

Etapa	Factor de contaminación	Peligro identificado	Medida preventiva	Módulos del curso PSA
Precosecha	Agua	<i>E. coli</i> <i>Salmonella spp.</i>	Tratamiento de aguas Enrejado de unidad productiva Tratamiento de mejoradores de suelo	Módulo 5-1 y 5-1 Módulo 2 y 6 Módulo 4
	Manos	<i>E. coli</i> <i>Salmonella spp.</i> <i>Cyclospora cayetanensis</i>	Lavado de manos	Módulo 2
	Cilantro	<i>E. coli</i> <i>Salmonella spp.</i> <i>Cyclospora cayetanensis</i>	Tratamiento de aguas Enrejado de unidad productiva Tratamiento de mejoradores de suelo	Módulo 5-1 y 5-1 Módulo 2 y 6 Módulo 4
Cosecha	Agua	<i>E. coli</i> <i>Salmonella spp.</i>	Tratamiento de aguas Tratamiento de mejoradores de suelo	Módulo 5-1 y 5-2 Módulo 4
	Manos	<i>E. coli</i> <i>Salmonella spp.</i>	Lavado de manos	Módulo 2
	Cilantro	<i>E. coli</i>	Estaciones de lavado de manos	Módulo 2 Módulo 6
Poscosecha	Agua	<i>E. coli</i> <i>Salmonella spp.</i>	Tratamiento de aguas Manejo poscosecha: limpieza e higiene	Módulo 5-1 y 5-1 Módulo 2 Módulo 6
	Manos	<i>E. coli</i> <i>Salmonella spp.</i> <i>Cyclospora cayetanensis</i>	Lavado de manos	Módulo 2 Módulo 6

Cilantro	<i>E. coli</i>	Tratamiento de aguas	Módulo 5-1 y 5-1
	<i>Salmonella spp.</i>	Manejo poscosecha: limpieza e higiene	Módulo 2 Módulo 6

Donde: PSA= curso de la Produce Safety Alliance

Las medidas de prevención de contaminación implica el uso de materiales, procesos o prácticas que reducen o eliminan los contaminantes en las fuente, es decir, en las instalaciones de unidades de producción y empaque. Al evitar la contaminación, las industria de los alimentos podría reducir los problemas de su de manejo y comercialización de hortalizas como el cilantro, lo que les ahorra dinero y les permite concentrarse en sus objetivos principales de brindar bienes o servicios (FAO/OMS, 2002).

La prevención de la contaminación incluye prácticas que reducen la presencia de organismos patógenos, agua y otros recursos, así como estrategias para proteger los recursos naturales a través de su conservación o uso más eficiente (FSMA, 2019).

La inocuidad de los alimentos es sumamente importante, ya que impacta tanto en la economía como en la salud pública (Castillo, 2004). Anualmente son reportados millones de casos de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA's) en todo el mundo, ocasionando un impacto económico de grandes proporciones. En el caso específico de países latinoamericanos, los problemas de inocuidad han afectado las exportaciones hacia países como Estados Unidos y Canadá, debido a las reiteradas apariciones de brotes, principalmente asociados al consumo de frutas y hortalizas.

5.4 CONCLUSIONES

En el presente proyecto de investigación se realizó un diagnóstico del sistema productivo cilantro en el que se identificaron tres etapas principales que actúan de manera desarticulada para obtener el producto de exportación: cultivo, cosecha y manejo postcosecha.

Una vez conociendo las etapas y operaciones para obtener el producto cilantro, fue posible identificar las fuentes de agua de uso agrícola con potencial de contaminación por microorganismos patógenos.

En este estudio se determinó la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* en fuentes de agua de uso agrícola en el sistema productivo de cilantro para exportación, es decir, factores de contaminación microbiológica que afectan la inocuidad del producto. Además, determinó la presencia de *Escherichia coli*, *Cyclospora cayetanensis* y *Salmonella spp.* en cilantro de exportación durante el mes de Julio, lo que implica que ese cilantro es un vehículo de contaminación con microorganismos patógenos que pueden afectar de manera moderada a grave la salud de los consumidores.

Los indicadores de inocuidad *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* representan un peligro potencial para el consumidor de este tipo de producto. La presencia de estas bacterias indica un manejo inadecuado del producto que se destina para exportación y su fuente más probable es la contaminación cruzada.

Las etapas de cosecha, acopio y lavado de producto son críticas para el manejo inocuo del cilantro, se hace evidente que el lavado está siendo la etapa de mayor contaminación para el producto, por el contrario de lo que se espera con las etapas de eliminación y remoción de microorganismos, dentro de la unidad de empaque se está incrementando la carga inicial de microorganismos provenientes de campo.

Debido a que el cilantro en Puebla se produce todo el año, fue necesario determinar un estudio en tres partes para considerar temporadas del año antes, durante y después de los periodos que la alerta sanitaria 24-23 señala como críticos para la presencia de *Cyclospora cayetanensis*, a pesar de que el parásito solo fue identificado durante el mes de Julio, que es el periodo de mayor prevalencia del

parásito, los microorganismos *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* sí fueron identificados en fuentes de agua de uso agrícola, producto cilantro y manos de operadores, lo que hace relevante considerar que no sólo se debe controlar la presencia de un solo parásito. Los consumidores de el cilantro de exportación analizado pueden llegar a padecer algún síntoma de ETAs asociadas a estas bacterias entéricas.

La presencia de los tres microorganismos de relevancia para la inocuidad de vegetales frescos: *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* y específicamente para el cilantro de exportación: *Cyclospora cayetanensis*, demuestran que algunas de las fuentes de agua no garantizan una inocuidad en la producción y manejo de cilantro, por lo que deben establecerse Sistemas de inocuidad basados en medidas preventivas de contaminación en las unidades de producción y unidad de empaque.

El análisis microbiológico convencional, las pruebas bioquímicas y de PCR permitieron la detección e identificación de *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Cyclospora cayetanensis* en muestras de agua y cilantro del sistema productivo, provenientes de las fuentes de contaminación principales: agua, producto y manos de operadores, se requiere aplicar las buenas prácticas agrícolas y de manufactura para que el cilantro sea inocuo y continúen exportándose.

Con respecto al consumidor, es fundamental evitar prácticas de operación en la manipulación del cilantro que den lugar a riesgos de contaminación cruzada, ya que es fácil que el cilantro se contamine de la parte comestible.

Los resultados de los análisis microbiológicos permitieron el diseño de medidas preventivas y sirven para la identificación de fuentes de contaminación en las unidades de producción y empaque.

El agua de uso agrícola de las unidades de producción y de empaque, no cumplen con los criterios de inocuidad establecidos por la Ley FSMA debido a la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* por lo tanto, los sitios de producción y empaque analizados no podrían considerarse dentro de la Lista verde de exportadores de cilantro de Puebla a Estados Unidos.

Medidas preventivas como el uso de agua clorada, el monitoreo de las medidas preventivas de control, análisis frecuente de microorganismos indicadores de inocuidad, capacitación a trabajadores de las unidades de producción, cuadrillas de cosecha y unidades de empaque son recomendables para asegurar la inocuidad del cilantro en el Sistema productivo de cilantro de Puebla.

Agradecimientos

Los autores agradecen su colaboración a los Productores de cilantro del Estado de Puebla, México. Se agradece al apoyo VIEP (100050799-VIEP2021). Al Dr. Miguel Ángel Villalobos López, del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del IPN (CIBA, Tlaxcala), por su colaboración en la identificación molecular de cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. Al laboratorio del Centro de Inocuidad Alimentaria (CFS) de la Universidad de Georgia, Campus Griffin por facilitar el acceso a las instalaciones del Centro para la detección molecular del parásito *Cyclospora cayetanensis*, que se logró mediante el fondo del programa 100K Strong Americas de la Fundación Jenkins y Coca-Cola. Al Doctor Juan Silva del Departamento de Procesamiento e inocuidad alimentaria de la Universidad de Misisipipi State por su apoyo para la otorgación del Kit RapidChek® SELECT™ y su apoyo en la identificación molecular de las cepas *E. coli* mediante pruebas de PCR. Así mismo, se agradece al programa de Becario CONACYT de Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas, 1078234.

CAPÍTULO VI.

Conclusiones y sugerencias

- Los resultados microbiológicos corresponden al año en el que realizamos los muestreos en ciertos sitios de producción y en un empaque.
- Como se fue abriendo el panorama a que el agua no es la única fuente de contaminación, conocimos cuadrillas, no solo es en campo se favorece en algunos empaques , pues no reducen la carga microbiológica para que el cilantro pueda ser consumido.
- El agua de uso agrícola de producción fue principalmente de origen bacteriológico, por los patógenos presentes.
- Los resultados de este estudio demuestran que algunas de las fuentes de agua no garantizan una inocuidad en la producción y manejo de cilantro, por lo que deben establecerse Sistemas de inocuidad basados en medidas preventivas de contaminación en las unidades de producción y unidad de empaque Puebla.
- Debido a que se encontraron diversas fuentes de contaminación, se requiere aplicar las buenas prácticas agrícolas para que e cilantro sea inocuo y continúen exportándose.
- Con respecto al consumidor, es fundamental evitar prácticas de operación en la manipulación del fruto que den lugar a riesgos de contaminación cruzada, ya que es fácil que el cilantro se contamine de la parte comestible.
- El análisis microbiológico así como las pruebas bioquímicas y de PCR permitieron la detección e identificación de *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Cyclospora cayetanensis* en muestras de agua y cilantro del sistema productivo.
- Los resultados de los análisis microbiológicos permitieron el diseño de medidas preventivas y sirven para la identificación de fuentes de contaminación en las unidades de producción y empaque.
- El agua de uso agrícola de las unidades de producción y de empaque, no cumplen con los criterios de calidad por la presencia de coliformes fecales,

Escherichia coli y *Salmonella spp.* por lo que estas fuentes deben establecerse como puntos prerequisites de control para evitar la contaminación del cilantro con patógenos de humanos.

- Medidas preventivas como el uso de agua clorada, y el monitoreo de las medidas son recomendables para asegurar la inocuidad del cilantro y del agua de uso agrícola en el Sistema productiva cilantro de Puebla para exportación.

Recomendaciones generales

Es necesario que en México existan instalaciones de laboratorios de alto nivel con capacidad de realiza la detección molecular del parásito *Cyclospora cayetanensis* en productos agrícolas frescos como el cilantro para iniciar identificar fuentes de ooquistes y prevenir su distribución ambiental.

Las industrias de producción y procesamiento de alimentos de origen agrícola deben implementar sistemas de inocuidad y procurar su actualización para que se intervenga en los puntos críticos de contaminación de manera efectiva.

Los sistemas agrícolas que implican manejo en campo, durante la cosecha y en unidades de empaque como el del cilantro, requieren que se articulen y funcionen de manera conjunta, que las unidades de producción cumplan con las demandas de las unidades de empaque, a su vez, que las unidades de empaque procuren que sus proveedores de campo tengan la capacidad de adaptarse a los requerimientos de las legislaciones que regulen la inocuidad de los productos agrícolas frescos, tanto para el mercado nacional como el internacional.

Cada sistema productivo requiere un plan de inocuidad diseñado de acuerdo a su capacidad productiva.

Si bien el problema de la Alerta sanitaria 24-23 representa una complicación para la agricultura poblana, es un punto de partida para analizar más sistemas y sea una motivación para los productores, empaquadores y exportadores de cilantro para encaminarse en la adecuación de sus sistemas y asegurar la inocuidad de todos sus productos.

Se requiere evaluar sobrevivencia de patógenos en las fuentes de contaminación y diseñar medidas preventivas para asegurar su inocuidad.

Los productores y empacadores de cilantro y otras hortalizas requieren recibir capacitaciones efectivas en temas de inocuidad y ser escuchados durante la propuesta de trabajo que les funcione y convenga de acuerdo a sus necesidades.

El desconocimiento sobre el comportamiento de *Cyclospora cayetanensis* es un punto de partida para un análisis más profundo sobre su comportamiento: microbiológico, innovación para su rápida detección en condiciones de producción y proceso en México.

Literatura citada

- Allard, M.; Bell, R.; Ferreira, C.; Gonzalez-Escalona, N.; Hoffmann, M.; Muruvanda, T.; Ottesen, A.; Ramachandran, P.; Reed, E.; Shashi Sharma, Stevens, E.; Timme, R.; Zheng, J. y Brown, E. (2018). *Genomics of foodborne pathogens for microbial food safety. Current Opinion in Biotechnology*, 49: 224-229.
- Alonsoa, J. A., Amoron, I., Chongb, S. y Garelickb, H. (2001). *Quantitative determination of Escherichia coli in water using*. *Journal of Microbiological Methods*, 25:309-315.
- Arias M. y Antillón F. (2000). *Contaminación microbiológica de los alimentos en Costa Rica: una revisión de 10 años*. *Rev Biomed*; 11(2):113-122
- Arvizu B., E., Mayett M., Y., Martínez F., J., Olivares B., E. y Flores M., L. (2015). *Análisis de producción y comercialización hortícola del estado de Puebla: un enfoque de cadena de valor*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4):779-792.
- Assurian, A., Murphy, H., Shipley, A., Nese Cinar, H., Da Silva, A. y Almeria, S. (2020). *Assessment of Commercial DNA Cleanup Kits for Elimination of Real-Time PCR Inhibitors in the Detection of Cyclospora cayetanensis in Cilantro*. *Journal of Food Protection*, 83(11): 1863–1870.
- Banco Mundial. (2020). *El agua en la agricultura*. Obtenido el 25 de noviembre de 2020. Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- Barrientos-Gutiérrez, J. E.; Huerta-de la Peña, A.; Escobedo-Garrido, J. S. y López-Olguín, J. F. (2013). *Manejo convencional de Spodoptera exigua en cultivos del municipio de Los Reyes de Juárez, Puebla*. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(4):1197-1208.
- Beuchat, L. R. (1996). *Pathogenic Microorganisms Associated with Fresh Produce*. *J. Food Protect.* 59:204-216.
- Bourdoux, S.; Rajkovic, A.; De Sutter, S.; Vermeulen, A.; Spilimbergo, S.; Zambon, A.; Hofland, G.; Uyttendaele, M. y Devlieghere, F. (2018). *Inactivation of*

Salmonella, Listeria monocytogenes and Escherichia coli O157:H7 inoculated on coriander by freeze-drying and supercritical CO₂ drying. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 47: 180–186.

Cama, V. A.; Ortega, R. Y. (2018). *Capítulo tres: Cyclospora cayetanensis.* En *Foodborne Parasites: Food Microbiology and Food Safety.* Atlanta: Springer International Publishing AG.

Canet, J. (2020). *Estacionalidad de las toxiinfecciones alimentarias. Principales bacterias patógenas que afloran en Verano.* Obtenido el 03 de junio de 2022, desde: <https://www.betelgeux.es/blog/2020/07/21/estacionalidad-de-las-toxiinfecciones-alimentarias-principales-bacterias-patogenas-que-afloran-en-verano/>

Cantwell, M. y Reid, M. (2014). *Herbs: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Vegetable produce fact.* Department of Plant Sciences, University of California, Davis. United States of America. Obtenido el 24 de enero de 2022 de: https://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_Spanish/?uid=20&ds=803.

Castillo, A. (2004). *Importancia de la Calidad y la Inocuidad Agroalimentaria.* Congreso Nacional Agroindustrial de México. <http://www.chapingo.mx/agroind/congreso/ponencia/ponenfalan.html>

Chávez-Mejía, A.; Cisneros, B.; Contreras, M. y Castro, V. (2002). *Remoción de microorganismos en dos drenes de tratamiento de agua residual doméstica con fines agrícolas.*

CDC. (2019). *AMD: Strengthening Food Safety.* Obtenido en noviembre de 2020, desde: <https://www.cdc.gov/amd/what-we-do/food-safety.html>

CDC. (2019). *Cyclosporiasis. (U. S. Gov., Producer).* U.S. Department of Health & Human Services. Obtenido en noviembre de 2020, desde: <https://www.cdc.gov/dpdx/cyclosporiasis/index.html>

- CDC. (2020). *Cyclosporiasis Outbreak Investigations — United States, 2014*. Centers for Disease Control and Prevention: Obtenido en noviembre de 2020, desde:
<https://www.cdc.gov/parasites/cyclosporiasis/outbreaks/2014/index.html>
- CDC. (2022). *Parásitos en alimentos*. Obtenido el 22 de mayo de 2022 de:
<https://www.cdc.gov/parasites/es/food.html#:~:text=En%20los%20Estados%20Unidos%2C%20los,como%20especies%20de%20Diphyllobothrium%20y>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2015). *Atlas del agua en México. México*. Obtenido el 3 de junio de 2020 de:
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ATLAS2015.pdf>
- CONAGUA. (2019). *Situación de los Recursos Hídricos*. Obtenido el 3 de junio de 2020 de: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/situacion-de-los-recursos-hidricos>
- CONAGUA. (2019). *Usos del Agua*. Obtenido el 3 de junio de 2020 de:
<https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>
- CONAGUA. (2021). *Distritos y Unidades de riego nacional*. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. México. Obtenido el 09 de enero de 2022 de: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=distritosriego>.
- COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). (2017). *Establecimientos procesadores de cilantro exportadores a los EE.UU*. Obtenido el 22 de enero de 2022 de: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/establecimientos-procesadores-de-cilantro-exportadores-a-los-ee-uu>
- Cortés-Higareda, M.; Bautista-Baños, S.; Ventura-Aguilar, R.; Landa-Salgado, P. y Hernández-López, M. (2021). *Bacterias patógenas de los alimentos agrícolas frescos y mínimamente procesados*. Estado actual en el control del género salmonella. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 22(1).

- Corrales, A. (2018). *Microorganismos asociados a daños en frutas y vegetales frescos en una planta de procesamiento*. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, República de Panamá.
- Corrales R., L.; Consuelo S., L.; Melco, L. y Quimbayo S., E. (2017). *Microorganismos potencialmente fitopatógenos en aguas de riego proveniente de la cuenca media del río Bogotá*. NOVA. 16 (29): 71-89.
- Cruz-Álvarez, O.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M. T. B.; Rodríguez-Pérez, J. E. y Ramírez-Ramírez, S. P. (2013). *Cambios de calidad en poscosecha de menta (Mentha x piperita L.) almacenada en refrigeración*. México. Revista Chapingo. Serie horticultura, 19(3):287-299.
- DOF. (2020). *Programa sectorial derivado del plan nacional de desarrollo 2019-2024*. (SADER, Producer) Obtenido el 22 de enero de 2022 de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5595549&fecha=25/06/2020
- Eleven rivers growers. (2020). *Calidad de Agua para Uso Agrícola e Inocuidad en Campo*. Obtenido el 22 de enero de 2022 desde: <https://www.elevenrivers.org/espanol/calidad-de-agua-para-uso-agricola-e-inocuidad-en-campo/>
- Fan, X.; Niemira, B. A.; Doona, C. J.; Feeherry, F. E. y Gravani, R. B. (2009). *Microbial Safety of Fresh Produce*. Ames, Iowa, United States: Blackwell Publishing and Institute of Food Technologists.
- FAO. (1996). *Conceptos y marcos de Seguridad Alimentaria*. In FAO, Información de Seguridad Alimentaria para la Acción. Roma. Obtenido el 22 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/3/s8270s/S8270S00.htm#Contents>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura). 2002. *La comercialización de productos hortícolas - manual de consulta e instrucción para extensionistas*. ISBN 92-5-302710-X. Obtenido el 22 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/3/s8270s/S8270S00.htm#Contents>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura). 2007. *Fortalecimiento de los sistemas nacionales de control de los alimentos*:

Directrices para evaluar las necesidades de fortalecimiento de la capacidad. Módulo 2. Evaluación de las necesidades de fortalecimiento de la capacidad con respecto a la legislación alimentaria. Obtenido el 25 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/3/a0601s/a0601s.pdf>.

FAO. (2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Objetivos de desarrollo sostenible.* Obtenido el 25 de enero de 2022 de: <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/sustainable-agriculture/es/>

FAO. (2017). *Guía para el desarrollo de mercados de productores. Proyecto "Creación de Cadenas Cortas Agroalimentarias en la Ciudad de México".* Obtenido el 25 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/3/i8096s/i8096s.pdf>.

FAO. (2022). *Inocuidad y calidad de los alimentos.* Obtenido el 25 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/food-safety/background/preguntas-y-respuestas-sobre-inocuidad-alimentaria/es/>

FAO. (2018). *Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe.* <https://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1141955/>

FAO/OMS. (2013). *Garantía de la inocuidad y calidad de los alimentos: Directrices para el fortalecimiento de los sistemas nacionales de control de los alimentos.* Alimentación y Nutrición. Roma, Italia Estudio FAO. Alimentación y Nutrición 76. Obtenido el 20 de enero de 2022 de: <https://www.fao.org/3/a0601s/a0601s.pdf>.

FDA. (2016). *FDA Investigates 2014 Outbreak of Cyclosporiasis. Retrieved Noviembre 2020.* U.S. Food and Drug Administration. Obtenido el 20 de enero de 2022 de: <http://wayback.archive-it.org/7993/20171114154910/https://www.fda.gov/Food/RecallsOutbreaksEmergencies/Outbreaks/ucm411990.htm>

FDA. (2018). *Cyclospora.* Obtenido el 20 de enero de 2022 desde: <https://www.fda.gov/food/foodborne-pathogens/cyclospora>

- FDA. (2020). *Import Alert 24-23*. Obtenido el 20 de enero de 2022 desde: https://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_1148.html
- FDA. (2019). *BAM Chapter 19b: Molecular Detection of Cyclospora cayetanensis in Fresh Produce Using Real-Time PCR*. Obtenido el 20 de enero de 2022 desde: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-19b-molecular-detection-cyclospora-cayetanensis-fresh-produce-using-real-time-pcr>
- FDA. (2021). *Import Alert 24-23, detention without physical examination of fresh cilantro from the state of Puebla, Mexico - Seasonal (April 1 - August 30)*. Obtenido el 02 de mayo de 2021 de: https://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_1148.html
- Félix-Fuentes A.; Campas-Baypoli O. y Aguilar-Apodaca M. (2007). *Calidad microbiológica del agua de consumo humano de tres comunidades rurales del sur de Sonora (México)*. Rev Salud Publica Nutr. 8(3):1-13.
- Fernández, E. E. (2000). *Microbiología e inocuidad de los alimentos*. Primera edición. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 56 p.
- Fernández-Santisteban, M. (2017). *Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrifugas*. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 51(2),70-73.
- Figuroa-Aguilar, G.; González-Ramírez, M.; Molina García, A.; Yáñez-González, R.; Espinoza-Navarrete, J.; Serna-Escutia, M. y Carranza Madrigal, J. (2005). *Identificación de Salmonella spp en agua, melones cantaloupe y heces fecales de iguanas en una huerta melonera*. Medicina Int. Mex. 21:255-8.
- FIDA. (2016). *Gestión del agua para uso agrícola*. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola.
- FSMA. (2019). *Agricultural water. Growers training course*. Produce Safety Alliance. User handbook, Chapter 5-1 and 5-2.
- FSMA. (2019). *Ley de Modernización de la Inocuidad de Alimentos*. Produce Safety Alliance.

- Griffith, J. F.; Weisberg, S. B. y McGee C. D. (2003). *Evaluation of microbial source tracking methods using mixed fecal sources in aqueous test samples*. J. Wat. Health 1(4).
- Gómez-Aldapa, C. A.; Segovia-Cruz, J. A.; Cerna-Cortes, J. F.; Rangel-Vargas, E.; Salas-Rangel, L. P.; Gutiérrez-Alcántara, E. J. y Castro-Rosas, J. (2016). *Prevalence and behavior of multidrug-resistant shiga toxin-producing Escherichia coli, enteropathogenic E. coli and enterotoxigenic E. coli on coriander*. Food Microbiology, 59: 97–103.
- Gordillo, M. E. 2000. *Efecto del Ácido Giberélico sobre el Rendimiento y la Calidad del Cilantro (Coriandrum sativum L.) bajo Condiciones de Fertirriego*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 53 pp.
- Gutiérrez P., G. (2021). *Estudio de la cadena de suministro de alimentos perecederos*. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima. 87 pp.
- Gutiérrez-Rodríguez, E.; Gundersen, A.; Sbodio, A O. y Suslow, T. V. (2012). *Variable agronomic practices, cultivar, strain and initial contamination dose differentially affect survival of Escherichia coli on spinach*. J. Appl. Micro. 112(1):109-118.
- Habteselassie, M. Y.; Miller, B. E.; Thacker, S. G.; Stark, J. M. y Norton, J. M. (2006). *Soil nitrogen and nutrient dynamics after repeated application of treated dairy-waste*. Soil Science Society of America Journal, 70(4):1328-1337.
- Hadjilouka, A., & Tsaltas, D. (2020). *Cyclospora Cayetanensis—Major Outbreaks from Ready to Eat Fresh Fruits and Vegetables*. Foods, 9(11), 1703
- Hahn, E; Wild, P.; Hermanns, U.; Sebbel, P.; Glockshuber, R.; Häner, M.; Taschner, N.; Burkhard, P.; Aebi, U. y Müller, S. (2002). *Exploring the 3D Molecular Architecture of Escherichia coli Type 1 Pili*. J. Mol. Biol: 323(5): 845-857.
- Harris, L.H.; Farber, J. N.; Beuchat, L. R.; Parish, M. E.; Suslow, T. V.; Garrett, E. H. y Busta, F. F. (2003). *Chapter III: Outbreaks Associated with Fresh Produce:*

Incidence, Growth, and Survival of Pathogens in Fresh and FreshCut Produce. Comprehensive reviews in food science and food safety. 2: 78-141.

Hernández-Domínguez, C.; Hernández-Anguiano, A.; Cháidez-Quiroz, C.; Rendón-Sánchez, G. y Suslow, T. (2008). *Detección de Salmonella y coliformes fecales en agua de uso agrícola para la producción de melón "Cantaloupe"*. Agricultura técnica en México, 34(1), 75-84.

Huerta-Leidenz, Nelson, & Narváez, Claudia A., & Rodas-González, Argenis, & Arenas de Moreno, Lilia, & Parra, Katynna C. (2005). Aislamiento de salmonella y escherichia coli patógenas durante el procesamiento de hamburguesas en una pequeña planta de Maracaibo, Venezuela. Revista Científica, XV(6), 551-559.

IICA. (2013). *Planificación del desarrollo agrario y rural con enfoque territorial: perfiles de proyectos del Departamento de Concepción*. MAG. Asunción. Obtenido el 25 de enero de 2022 de: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6142/BVE17058876e.pdf;jsessionid=CDCA65E83BD5F371E1B0BD0E15830DCB?sequence=1>.

IMTA. (2020). *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. Repaso histórico del agua en México – Parte I (1888-1917). Obtenido el 25 de enero de 2022 de: <https://www.gob.mx/imta/articulos/repaso-historico-del-agua-en-mexico-parte-i-1888-1917?idiom=es>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2016). *Puebla, México en Cifras, Información nacional, por entidad federativa y municipios*. Obtenido el 07 de Enero de 2022 de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=21>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2022). *Educación*. Estado de Puebla. Obtenido el 02 de enero de 2022 de: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/poblacion/educacion.aspx?tema=me&e=21>.

- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). (2021). *El Cultivo de Cilantro*. México. Artículos Técnicos de INTAGRI. Serie Hortalizas. 27:4. Obtenido el 25 de enero de 2022, desde: <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/el-cultivo-de-cilantro>.
- Jemni, M., Ramírez, J. G., Otón, M., Artés-Hernandez, F., Harbaoui, K., Namsi, A. y Ferchichi, A. (2019). *Chilling and Freezing Storage for Keeping Overall Quality of "Deglet Nour" Dates*. Journal of Agricultural Science and Technology. 21(1):63-76.
- López C., O.; León, F.; Jiménez, J.; Edeza, M. y Chaidez, Q., C. (2009). *Detección y resistencia a antibióticos de Escherichia coli y Salmonella en agua y suelo agrícola*. Revista fitotecnia mexicana, 32(2):119-126.
- López-Blancas, E.; Martínez-Damián, M. T.; Colinas-León, M. T.; Martínez Solís, J. y Rodríguez-Pérez, J. E. (2014). *Calidad poscosecha de albahaca 'Nufar' (Ocimum basilicum L.) en condiciones de refrigeración*. México. Revista Chapingo. Serie horticultura. 20(2):187-200. Obtenido el 25 de enero de 2022, desde: <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.08.026>.
- Lopez-Velasco, G.; Tomas-Callejas, A.; Sbodio, A. O.; Pham, X.; Wei, P.; Diribsa, D. y Suslow, T.V. (2015). *Factors affecting cell population density during enrichment and subsequent molecular detection of Salmonella enterica and Escherichia coli O157:H7 on lettuce contaminated during field production*. Food Control, 54:165-175.
- Luna-Guevara, M. L., Luna-Guevara, J. J., Ruiz, E. H., Leyva-Abascal, L., y Díaz, G. C. (2015). *Eficiencia de la desinfección con aceites esenciales y actividad antioxidante en jitomate saladette (Lycopersum solanum) de invernadero*. Revista argentina de microbiología, 47(3): 251-255.
- Luna-Guevara, J. J., MArenas-Hernandez, M. P., Martínez de la Peña, C., Silva, J. L., & Luna-Guevara, M. (2019). *The Role of Pathogenic E. coli in Fresh Vegetables: Behavior, Contamination Factors, and Preventive Measures*. International Journal of Microbiology, 10.

- Mejía D., M.; Marín P., G. E. y Menjivar F., J. (2014). *Respuesta fisiológica de cilantro (Coriandrum sativum L.) a la disponibilidad de agua en el suelo*. Acta agronómica 63(2):246-252.
- Merino, L. (2019). *Bacterias lácticas y sus metabolitos para disminuir la formación de biofilm de Salmonella spp. En granjas avícolas*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de la Plata.
- Mukherjee A, Speh D, Dyck E y Diez-González F. Preharvest evaluation of coliforms, Escherichia coli, Salmonella and Escherichia coli O157:H7 in organic and conventional produce grown by Minnesota farmers. J Food Prot 2004; 67:894-900.
- Muñoz S. (2005). *Frecuencia de enterobacterias en verduras frescas de consumo crudo expandidas en cuatro mercados de Lima Metropolitana*. Tesis de Grado. Perú.
- Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014. (2014). *Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos*. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.
- Ojeda-Barrios, D.; Arras V., A.; Hernández-Rodríguez, O.; López D., J.; Aguilar V., A. y Denogean B., F. (2010). *Análisis FODA y perspectivas del cultivo del nogal pecanero en Chihuahua*. Revista Mexicana de Agronegocios. 27:348-359.
- Olaimat, A. N. y A., H. R. (2012). *Factors influencing the microbial safety of fresh produce: A review*. Food Microbiology, 32:1-19.
- Oliver DM, Page T. Effects of seasonal meteorological variables on E. coli persistence in livestock faeces and implications for environmental and human health. Sci Rep. 2016 Nov 15;6:37101. doi: 10.1038/srep37101. PMID: 27845409; PMCID: PMC5109475.
- Ortega, V. A. (2018). *Capítulo tres: Cyclospora cayetanensis*. In *Foodborne Parasites: Food Microbiology and Food Safety*. Atlanta: Springer International Publishing AG.

- Ortega, Y. (2010). *Update on Cyclospora cayetanensis, a food-borne and waterborne parasite*. *Clinical Microbiology Reviews*, 23(1): 218–234.
- Ortega, Y. R. y Sanchez, R. (2010). *Update on Cyclospora cayetanensis, a Food-Borne and Waterborne Parasite*. *Clinical microbiology review*, 23(1):218–234.
- Plachá I, Venglovský J, Sasáková N, Svoboda IF. The effect of summer and winter seasons on the survival of *Salmonella typhimurium* and indicator microorganisms during the storage of solid fraction of pig slurry. *J Appl Microbiol*. 2001 Dec;91(6):1036-43. doi: 10.1046/j.1365-2672.2001.01471.x. PMID: 11851811.
- Posada Izquierdo, G. (2013). *Estudio y modelización del efecto de procesos de descontaminación y desinfección sobre microorganismos patógenos en productos vegetales*. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, Servicio de Publicaciones.
- PAHO (Organización Panamericana de la Salud). (2022). *Peligros biológicos*. Obtenido el 22 de mayo de 2022 de: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10838:2015-peligros-biologicos&Itemid=41432&lang=es
- PSA (Produce Safety Alliance). (2016). *Preventive Controls for Human Food*. Food Safety. First Edition. <http://www.apeamac.com/wp-content/uploads/2019/02/Guia-Controles-Preventivos-APEAM-1.pdf>.
- Rendón S., G.; Hernández A., A.; Suslow, T.; Hernández D., C. y Cháidez Q., C. (2008). *Detección de Salmonella y coliformes fecales en agua de uso agrícola para la producción de melón "Cantaloupe"*. *Agricultura Técnica en México*, 34(1):75-84.
- Rincón V.; Gresleida, G.; Messaria, R.; Castellano. S. y Ávila R., Y. (2010). *Calidad microbiológica y bacterias enteropatógenas en vegetales tipo hoja*. *Kasmera*, 38(2): 97-105.
- Rock, C. y Rivera, B. (2014). *La calidad del Agua, E. coli y su Salud*. The University of Arizona College of Agriculture and Life Sciences. Tucson, Arizona.

- Rodríguez-Quintero, J. A.; Méndez Márquez, R.; Gutiérrez Hernández, R. y Reyes Estrada, C. (2021). *Evaluación del efecto antibacteriano del extracto de cilantro (Coriandrum sativum) sobre bacterias patógenas gastrointestinales*. *Sustentabilidad y nanotecnología*. 3(2):10.
- Roslev, P. y Bukh, A. S. (2011). *State of the Art Molecular Markers for Fecal Pollution Source Tracking in Water*. *Appl Microbiol Biotechnol* 89: 1341-1355.
- Rubio, B.; Calderón, A.; Espinoza, A.; Goveia, R.; Olivera, M. y Welsh, A. (2009). *El impacto de la crisis alimentaria en las mujeres rurales de bajos ingresos en México 2008-2009*. INDESOL, Red Nacional de Promotoras y Asesoras Rurales. Primera Edición, 2009. México, D.F.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2017). *Puebla con amplias posibilidades de incrementar exportaciones de hortalizas*. Delegación SADER Puebla. Obtenido el 07 de Enero de 2022, de: <https://www.gob.mx/agricultura/puebla/articulos/puebla-con-amplias-posibilidades-de-incrementar-exportaciones-de-hortalizas?idiom=es>.
- SAGARPA. (2016). *Lineamientos generales para la implementación de sistemas de reducción de riesgos de contaminación (SRRC)*. Obtenido el 24 de mayo de 2022 de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/147124/7SRRC-SENASICA.pdf>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2018). *Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas, Informe de Evaluación 2015 - 2017 Puebla*. Obtenido el 02 de enero de 2022 de: <https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2020/03/21/1980/21032020-informe-evaluacion-pcef-2015-2017-puebla.pdf>.
- Samadi, N.; Abadian, N.; Bakhtiari, D.; Fazeli, M. y Jamalifar, H. (2009). *Efficacy of Detergents and Fresh Produce Disinfectants against Microorganisms Associated with Mixed Raw Vegetables*. *Journal of Food Protection*, 72(7):1486–1490.

- Santos F., M.; Maldonado O., V.; Ochoa F., Y.; Cerna C.; E.; Hernández B., O. (2018). *Calidad microbiológica de cilantro (Coriandrum sativum L.) para la venta al público*. Investigación y Ciencia, 26(74):5-9.
- Secretaría de Economía. (2019). *Reporte T-MEC. Relación comercial México-Estados Unidos*. Obtenido el 02 de enero de 2022 de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/469031/Reporte-TMEC_n01-esp_20190612_b.pdf
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad). (2022). *Listado de proveedores confiables de cilantro*. Obtenido el 07 de enero de 2022 de: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/proveedores-confiables-de-cilantro>.
- SENASICA. (2014). *Plan de acción preventivo cilantro. Acciones para reducir los riesgos de contaminación por microorganismos patógenos (Cyclospora spp., Listeria spp., E. Coli y Salmonella spp.), durante la producción, empaque y distribución de cilantro, para su comercialización*. 101.
- Semenza, J. C.; Herbst, S.; Rechenburg, A.; Suk, J. E.; Höser, C.; Schreiber, C. y Kistemann, T. (2012). *Climate Change Impact Assessment of Food- and Waterborne Diseases*. Critical reviews in environmental science and technology, 42(8), 857–890.
- Shin, M.; Lee, H.; Ryu, K.; Cho, Y. y Son, Y. (2019). *A two-phased perishable inventory model for production planning in a food industry*. Computers & Industrial Engineering. doi: 10.1016/j.cie.2019.05.010.
- SIAP. (2017). *La venta del cilantro al extranjero generó divisas por 47.3 millones de dólares*. Obtenido el 10 de Noviembre de 2021 de: <https://www.gob.mx/siap/es/articulos/mexico-exporto-64-mil-647-toneladas-de-cilantro-en-2017?idiom=es>
- SIAP. (2018). *Boletín de exportaciones: Cilantro*. Obtenido el 02 de diciembre de 2021 desde:

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/306141/Marzocilantro2018.pdf>

Steele, M., y Odumeru, J. (2004). *Irrigation Water as Source of Foodborne Pathogens on Fruit and Vegetables*. Journal of Food Protection, 67(12):2839-2849.

Sofos J.N.; Kochevar S.; Bellinger G.; Buege DR, Hancock DD, Ingham SC, Morgan J.; Reagan J. y Smith A. (1999). *Sources and Extent of Microbiological Contamination of Beef Carcasses in Seven United States Slaughtering Plants*. Journal of Food Protection. 62(2):140–145.

Tartabull P., T. y Betancourt A., C. (2016). *La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan*. Revista Científica de Agroecosistemas. 4(1):47-61.

Tibaduiza R., V.; Huerta-de la Peña, A.; Morales-Jiménez, J.; Hernández-Anguiano, A. y Muñiz, E. (2018). *Sistema de producción del cilantro en Puebla y su impacto en la inocuidad*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, (9):773-786.

Toscana, A.; Rodríguez, C.; Nieves, M. (2016). *Política ambiental, despojo y movimientos socio ambientales en el ámbito rural mexicano*. U. A. M., Ciudad de México. Revista Economía 68(107):89-107.

UNICEF. (2020). *En la superficie de las manos portamos un gran número de virus, bacterias y hongos*. Obtenido el 03 de junio de 2022, desde: <https://www.unicef.org/chile/historias/en-la-superficie-de-las-manos-portamos-un-gran-n%C3%BAmero-de-virus-bacterias-y-hongos>

Valencia B. (2008). *Grado de contaminación microbiana de las manos y utensilios en el consumo de alimentos en los niños de 6 a 10 años en el pueblo joven Nuevo Pachacutec, Lima*. Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Facultad De Odontología.

Weitzel, T.; Vollrath, V. y Porte, L. (2017). *Cyclospora cayetanensis*. Revista chilena de infectología, 34(1):45-46.

Yuk, H. G.; Warren, B. R. y Schneider, K. R. (2007). *Infiltration and survival of Salmonella spp. on tomato surfaces labeled using a low-energy carbon dioxide laser device*. Hort Technology, 17(1):67-71.

Anexos

Anexo I

Cuestionario para el informante

Objetivo: Recuperar información sobre las regiones de cultivo y empaqueo de cilantro, su producción y manejo

Fecha

Información general			
Nombre			
Edad		Escolaridad	
Dirección			
Municipio			
Actividades complementarias			

Región de producción y empaque de cilantro					
1. ¿Cuáles son las principales zonas productoras de cilantro de Puebla?					
2. ¿Cuáles son las principales empacadoras de cilantro de Puebla?					
3. ¿Cuál es el principal motivo de producción?	Región climática	Importancia económica	Temporalidad	Uso	Demanda
4. ¿Cuánto cilantro exporta esta región al año?					
5. ¿Cuánto cilantro se destina a comercialización nacional?					
6. ¿Cuánto cilantro se destina a comercialización internacional?					
7. ¿Cuántos productores de cilantro hay en la región?					
8. ¿Cuántos empacadores de cilantro hay en la región?					
9. ¿En qué difiere la calidad de cilantro exportado de la de consumo nacional?					
10. ¿Cuál es la relación entre productores y empacadores de cilantro?					
11. ¿En qué temporada del año se produce y empaqua el cilantro?					
12. ¿Cuáles son las fuentes de agua de uso agrícola más recurridas para producción?					

Cuestionario para el productor

Objetivo: Recuperar información de los productores de cilantro, ubicación y procesos operacionales de producción..

Fecha	
Sitio	

Información general del aplicante			
Nombre			
Edad		Escolaridad	
Dirección de trabajo			
Ubicación de unidad productiva			
Puesto que desarrolla			
Actividades principales que realiza en la parcela			
Tipo de tenencia			

Instrucciones: Por favor seleccione la (s) respuesta (s) correcta a cada pregunta de opción múltiple y describa la respuesta en preguntas abiertas. Si gusta el señalamiento puede ser con marcador amarillo.

Sección I. Área de cultivo

Historial de producción y Terreno de cultivo	
1. ¿Cuáles son las dimensiones del terreno de cultivo?	
2. ¿Cuánto cilantro produce en esta área?	
3. ¿Ha recibido algún tipo de subsidio o apoyo para infraestructura, tecnología o de insumos?	
4. ¿Ha recibido capacitaciones o asesorías por parte de alguna agencia nacional o internacional para implementación de buenas prácticas agrícolas o de higiene?	
5. ¿A qué tipo de servicios públicos o privados tiene acceso el terreno?	
6. ¿El terreno de cultivo ha sido siempre destinado a producción de alimentos?	
7. Indique otros usos del terreno	

8. Indique los usos de los terrenos adyacentes	Norte:
	Sur:
	Este:
	Oeste:

9. ¿A qué tipo de actividades además de la producción de cilantro se dedica?	
10. ¿Desde cuándo se dedica al cultivo de cilantro?	

Sección II. Sistema productivo

Sistema de producción	
11. ¿Cuántas veces al año planta cilantro?	
12. ¿Cuánto cilantro produce al año de cultivo?	
13. ¿Qué destino tiene el cilantro que produce?	
14. ¿Cómo se comercializa su producto?	
15. ¿Ha recibido quejas o comentarios relacionados a la calidad de su producto?	
16. ¿Ha recibido quejas o comentarios relacionados a la inocuidad de su producto?	

Insumos de producción	
17. ¿Qué insumos utiliza para la producción de cilantro? (semillas, abonos, fertilizantes, agua, suelo, etc.)	
18. ¿Los insumos químicos son resguardados en un almacén especial?	
19. ¿Cómo prepara y aplica los insumos químicos?	
20. ¿Los insumos agrícolas son resguardados en un almacén especial?	

Prácticas agrícolas

21. Mencione las prácticas agrícolas que realiza para el cultivo de cilantro	Prep. Terreno	Siembra	Riego	Escarda	Aporque	Fumigación	Fertilización	Cosecha
22. ¿Cuántas veces durante el ciclo de cultivo de cilantro se realiza esa práctica?								

Sección III. Inocuidad en el cultivo

Inocuidad en la finca				
23. ¿Quién es el responsable de las prácticas de inocuidad?				
24. ¿Tiene o sigue un plan de inocuidad para la producción de cilantro?	No		Si	
25. ¿Quiénes están involucrados en la producción de cilantro?	Familia	Productores	Dueños	Operadores
26. ¿Cuántas personas trabajan aquí?				
27. ¿Tienen algún protocolo para recibir visitas?	No		Si	
28. ¿Han recibido los operadores capacitación para realizar un lavado de manos adecuado?	No		Si	
29. ¿Quién ha brindado la capacitación del lavado de manos adecuado y con qué frecuencia?				
30. ¿Han recibido los operadores capacitación sobre cómo manejar enfermedades y lesiones?	No		Si	
31. ¿Quién ha brindado la capacitación sobre manejo de enfermedades y lesiones?				

Instalaciones								
Sanitarios	Papel higiénico	Jabón	Agua limpia	Toallas de papel	Contenedor de aguas residuales	Botes de basura	Botiquín de primeros auxilios	Áreas de descanso
32. ¿Las instalaciones sanitarias son suficientes para cubrir las necesidades de los trabajadores y visitantes?				No			Si	
33. ¿Las instalaciones sanitarias reciben servicios de mantenimiento y limpieza?				No			Si	
34. ¿Cuentan con estaciones de agua potable y descanso?				No			Si	

Operadores					
35. ¿Los operadores cumplen con alguna de las siguientes prácticas?	Limpieza personal	Evitan contacto con animales ajenos a los de trabajo	Utilizan guantes y los mantienen en condiciones higiénicas	Retiran o cubren joyas que no puedan limpiarse	
	No ingieren o consumen productos en las áreas de trabajo	Notifican enfermedades	Lavado de manos		
36. Los operadores se lavan las manos	Antes de comenzar a trabajar	Antes de colocarse los guantes	Después de usar el sanitario	Al cambiar o salir de estación de trabajo	Después de tener contacto con algún animal
37. ¿Qué procedimientos incluyen en el lavado de manos?	Mojar las manos	Utilizar jabón y formar espuma	Enjuagar	Secar	Tirar la toalla de papel en la basura
38. ¿En dónde acuden al	Sanitario	Letrina	Casa	Sanitario portátil	

sanitario los trabajadores?					
-----------------------------	--	--	--	--	--

39. ¿Tienen acceso a papel de baño y bote de basura?	No	Si		
40. ¿Hay estación de lavado de manos cerca de los sanitarios?	No	Si		
41. ¿Existe un área destinada para guardar o colocar pertenencias y ropa que no se utilizará durante el trabajo? No/Si	No	Si		
42. ¿Llevan algún registro de incidencias, correcciones o cambios de modo de trabajo?				

Vías de contaminación observables	
Heces fecales	
Ropa	
Manos	
Calzado	
Herramientas y equipo	
Enfermedades y heridas	

Sección IV. Uso de mejoradores de suelo

Mejoradores de suelo					
43. ¿Utiliza algún tipo de mejorador de suelo?	Si			No	
44. ¿Qué tipo de mejorador de suelo utiliza?	Fertilizante	Composta	Estiércol		
	Subproductos de origen animal	Subproductos de origen mineral	Subproductos de origen vegetal	Biosólidos de aguas residuales	
45. ¿Con qué frecuencia los aplica?					
46. ¿Lleva algún registro del manejo y/o aplicación?					

Sección V. Manejo de fauna silvestre y animales domésticos

Fauna silvestre	
47. ¿Hay presencia de fauna silvestre dentro de la zona de cultivo?	
48. ¿Tienen algún tipo de control o proceso de barrera?	
49. ¿Lleva algún registro del control de fauna silvestre o de antecedentes?	

Animales domésticos	
50. ¿Hay presencia de animales domésticos en la zona de cultivo?	
51. ¿Tienen algún tipo de control o proceso de barrera?	
52. ¿Estos animales son utilizados en las labores de cultivo?	

Sección VI. Fuentes y manejo de agua de uso agrícola

Agua de producción				
53. ¿Cómo utiliza el agua en la producción de cilantro?	Riego	Fertiirrigación	Aspersiones foliares	Protección contra heladas
54. ¿Cuál es la fuente del agua de uso agrícola de cada actividad?				
55. ¿Qué tipo de suministro de agua es? Público, subterránea, superficial				
56. ¿Cómo distribuye el agua para su utilización?				
57. ¿Cuál es el volumen de agua utilizado en cada actividad?				
58. ¿Cuál es la frecuencia de uso?				
59. ¿Cuánto tiempo transcurre entre el				

último riego del producto y la cosecha?			
60. ¿Conoce la calidad del agua utilizada en cada actividad?			
61. ¿Qué métodos de riego utiliza?	Aéreo/aspersión Inundación	Superficial o surco Goteo	Subsuelo, micro, bajo toldo
Observaciones fuente de agua			
Inspección, pendientes			
Mapa de los sistemas de distribución de agua de la huerta			
62. ¿Alguna vez ha realizado análisis de calidad microbiológica del agua?	No		Si
63. ¿Qué microorganismos se han analizado?			
64. ¿Cuenta con algún resultado de análisis o certificado de calidad de agua subterránea?	No	Si	
65. ¿Cuenta con algún resultado de análisis o certificado de calidad de agua superficial?	No	Si	
66. ¿Algún tipo de agua recibe tratamientos?			

Agua de uso sanitario

67. ¿Cuál es la fuente del agua de uso sanitario?	
68. ¿En dónde descarga el agua residual?	
69. ¿El agua potable para sanitarios y estaciones de lavado recibe tratamientos?	
70. ¿Con qué frecuencia se realiza limpieza o mantenimiento del almacén de agua?	
71. ¿Con qué frecuencia se realiza limpieza o mantenimiento del sistema de distribución de agua?	

Cuestionario para el empacador

Objetivo: Recuperar información de los empacadores de cilantro, ubicación y procesos empleados durante el empaque.

Fecha	
Sitio	

Información general del aplicante			
Nombre			
Edad		Escolaridad	
Dirección de trabajo			
Ubicación planta			
Puesto que desarrolla			
Actividades principales que realiza dentro de planta			
Tipo empresa o sociedad			

Instrucciones: Por favor seleccione la (s) respuesta (s) correcta a cada pregunta de opción múltiple y describa la respuesta en preguntas abiertas. Si gusta el señalamiento puede ser con marcador amarillo.

Sección I. Instalaciones

Historial de producción y comercialización				
1. ¿Qué productos se procesan dentro de la planta?				
2. ¿La empresa empacadora tiene como producto de comercialización el cilantro poblano?	Produce	Procesa	Empaca	Comercializa
3. ¿Desde cuándo se dedica a empacar cilantro?				

4. ¿Cuánto tiempo ha empacado cilantro en estas instalaciones?							
5. ¿Qué tipo de mercado tiene como destino el cilantro que ofrece?	Local	Regional	Nacional	Internacional			
6. ¿Quién o quiénes son sus clientes de cilantro y en dónde se ubican?	Cliente 1:	Cliente 2:	Cliente 3:	Cliente 4:			
7. ¿Qué cantidad de cilantro le consume cada cliente?	Cliente 1:	Cliente 2:	Cliente 3:	Cliente 4:			
8. ¿Con qué frecuencia le comercializa cilantro a esos clientes?	Cliente 1:	Cliente 2:	Cliente 3:	Cliente 4:			
9. ¿Qué tipo de manejo da al cilantro?	Produce	Procesa	Empaca	Comercializa			
10. ¿La empresa exporta cilantro a los Estados Unidos (EU)?	Sí			No			
11. ¿En qué meses del año exporta	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	No aplica
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	

cilantro a EU?							
12. ¿Quién (es) es su cliente de cilantro en los EU?							
13. ¿La empacadora se encuentra actualmente en la Lista Verde de FDA para importación de cilantro a EU?	Sí			No			
14. ¿La empacadora ha pertenecido a la Lista Verde de FDA para importación de cilantro a EU?	Sí Periodo:			No			
15. ¿Conoce las razones por las que la empresa no/ ya no pertenece a la Lista Verde de la FDA?							
16. ¿Cuáles son las dimensiones de la empacadora?							
17. ¿Cuál es el nivel de producción de cilantro de la planta de empaque? Producción/frecuencia (ton/día)							

18. La planta de empaque cuenta con	Plan de inocuidad	Sistemas de inocuidad implementados	Certificaciones	Capacitaciones	Reconocimientos	Otro:	Ninguno
--	-------------------	-------------------------------------	-----------------	----------------	-----------------	-------	---------

19. Especifique en caso de haber elegido una respuesta de las anteriores qué tipo es y quién lo otorga	Tipo: Otorga:	Tipo: Otorga:	Tipo: Otorga:
---	--------------------------	--------------------------	--------------------------

20. Dentro de planta el personal ha recibido sobre inocuidad	Capacitaciones	Auditorías	Talleres	Actualizaciones de normas
---	----------------	------------	----------	---------------------------

21. ¿Qué empresa o agencia brindó los servicios anteriores?	
--	--

22. ¿Qué agencia de sanidad o inocuidad audita o supervisa la empacadora?	CESAVEP	SENASICA	COFEPRI S	FDA	Otro:
--	---------	----------	--------------	-----	-------

23. ¿Ha recibido algún tipo de subsidio o apoyo para infraestructura, tecnología o de insumos?	
---	--

24. ¿A qué tipo de servicios públicos o privados tiene acceso la planta?	Agua potable	Luz eléctrica	Drenaje	Recolección de basura	Otro:
---	--------------	---------------	---------	-----------------------	-------

25. ¿La planta ha sido siempre destinado a producción de alimentos?					
	Cultivo	Producción	Empaque	Planta de hielo	Tratamiento de aguas

26. ¿En cuántas áreas se divide la empresa?	Estacionamiento	Oficinas	Andenes de carga y descarga	Comedores	Sanitarios
27. Indique los usos de los terrenos adyacentes P. E.: terreno baldío, locales, estacionamientos, carreteras	Norte:				
	Sur:				
	Este:				
	Oeste:				

Sección II. Operaciones de empaque

Proceso de empackado				
28. ¿Cuál es la temporada de mayor demanda de cilantro?				
29. ¿Cuánto cilantro empacka por lote?				
30. ¿Cuánto cilantro procesa al año?				
31. ¿Qué operaciones se realizan en la planta?	Acopio	Selección	Lavado	Desinfección
	Empaque	Enfriamiento	Embalaje	Corte/picado/molido

32. ¿Cómo se comercializa su producto? (presentación)	Fresco (caja con hielo)	Picado	Molido	Combinado
		Cocido	Al vacío	Deshidratado
33. ¿Ha recibido quejas o comentarios relacionados a la calidad de su producto?				
34. ¿Ha recibido quejas o comentarios relacionados a la inocuidad de su producto?				

Insumos de producción					
35. ¿Qué insumos utiliza para empackar cilantro? (papeles, plásticos, cajas, taras, etiquetas, etc.)					
36. Durante el proceso de empacke el	Agua	Jabón	Sanitizante (especifique)	Otro:	Ninguno

cilantro tienen contacto con:					
37. ¿Puede describir el tipo de empaque que utiliza para comercializar el cilantro?					
Operaciones de empackado					
38. La empacadora procesa cilantro proveniente de:	Unidades de producción propias	Acopia de diferentes sitios	Proveedores certificados	Proveedores locales de distintos volúmenes de producción	Otro:
39. Mencione las operaciones de empackado que realiza					
40. ¿Cuántas veces realiza esa operación durante por lote?					
41. Antes de comenzar las operaciones de empackado se verifica y registra condiciones de:	Limpieza del área	Insumos	Operadores	Otro:	
42. Antes de embarcar el producto se verifican y registran condiciones de:	Limpieza de transporte	Correcto empackado	Etiquetado	Cantidad de producto	Otro:
43. Al finalizar las operaciones de empackado se verifica y registra condiciones de:	Limpieza del área	Operadores	Insumos	Otro:	

Sección III. Inocuidad en el proceso

Inocuidad en el proceso de empaque									
44. ¿Quiénes están involucrados en el empaque de cilantro?		Familia		Productores		Dueños		Operadores	
45. ¿Han recibido visitantes ajenos? Si/No ¿Quiénes?		No		Si					
46. ¿Tienen algún protocolo para recibir visitas?		No		Si		Especifique:			
47. ¿Han recibido los operadores capacitación para realizar un lavado de manos adecuado?		No				Si			
48. ¿Quién ha brindado la capacitación del lavado de manos adecuado y con qué frecuencia?									
49. ¿Han recibido los operadores capacitación sobre cómo manejar enfermedades y lesiones?		No				Si			
50. ¿Quién ha brindado la capacitación sobre manejo de enfermedades y lesiones?									
Instalaciones									
51. Dentro de la planta de empaque hay:	Puertas	Cortinas	Muros	Techo	Estacionamiento	Zona de embarque	Almacén	Señalética y zonificación	Aduana sanitaria
	Área de recepción de producto	Área de procesamiento	Máquinas o equipo	Utensilios	Estaciones de lavado de manos y calzado	Sanitarios	Casilleros	Vestidores	Otro:
52. ¿Las instalaciones son suficientes para cubrir las necesidades de los trabajadores y visitantes?					No			Si	
53. ¿Las instalaciones reciben servicios de mantenimiento y limpieza?					No			Si	
54. Mencione con qué frecuencia y quién brinda mantenimiento y limpieza a las instalaciones sanitarias									

Instalaciones sanitarias									
55. En las instalaciones sanitarias se cuenta con:	Sanitarios	Papel higiénico	Jabón	Agua limpia	Toallas de papel	Contenedor de aguas residuales	Botes de basura	Botiquín de primeros auxilios	Áreas de descanso

56. ¿Las instalaciones sanitarias son suficientes para cubrir las necesidades de los trabajadores y visitantes?	No				Si				
57. ¿Las instalaciones sanitarias reciben servicios de mantenimiento y limpieza?	No				Si				
58. Mencione con qué frecuencia y quién brinda mantenimiento y limpieza a las instalaciones sanitarias									
59. ¿Cuentan con estaciones de agua potable en áreas de descanso?	No				Si				
Operadores									
60. La mano de obra para las labores es:	Fija		Jornaleros		Obreros por hora		Otro:		
61. ¿Qué puestos de trabajo desempeñan los trabajadores dentro de la planta?	Empaque		General		Limpieza		Transporte		Otro:
62. ¿Los trabajadores desempeñan un solo puesto o se rotan de operaciones?	Puesto único			Rotación			Otro:		
63. ¿Cuántas personas trabajan en el área de empaque de la planta?									
64. ¿Cuál es el equipo y uniforme de trabajo de los trabajadores									
65. ¿Los operadores cumplen con alguna de las siguientes prácticas?	Limpieza personal		Evitan contacto con animales ajenos a los de trabajo		Utilizan guantes y los mantienen en condiciones higiénicas		Retiran o cubren joyas que no puedan limpiarse		

	No ingieren o consumen productos en las áreas de trabajo	Notifican enfermedades		Lavado de manos	
66. Los operadores se lavan las manos	Antes de comenzar a trabajar	Antes de colocarse los guantes	Después de usar el sanitario	Al cambiar o salir de estación de trabajo	Después de tener contacto con algún animal
67. ¿Qué procedimientos incluyen en el lavado de manos?	Mojar las manos	Utilizar jabón y formar espuma	Enjuagar	Secar	Tirar la toalla de papel en la basura
68. ¿En dónde acuden al sanitario los trabajadores?	Sanitario	Letrina	Casa	Sanitario portátil	Otro:
69. ¿Tienen acceso a papel de baño y bote de basura?	No		Si		
70. ¿Hay estación de lavado de manos cerca de los sanitarios?	No		Si		
71. ¿Hay agua potable en las instalaciones sanitarias?	No		Si		
72. ¿Existe un área destinada para guardar o colocar pertenencias y ropa que no se utilizará durante el trabajo?	No		Si		
73. ¿Qué procedimiento siguen los trabajadores en caso de lastimarse o herirse durante el trabajo?					
74. ¿Llevan algún registro de incidencias, correcciones o cambios de modo de trabajo?					

Sección IV. Materiales, equipos y superficies

Utensilios de proceso	
75. ¿Qué tipo de utensilios son usados para procesar el cilantro?	
76. ¿En qué etapa del proceso de empaque se utiliza cada utensilio?	

77. ¿Levan algún registro de los utensilios de proceso?	
78. ¿Se sigue algún procedimiento de limpieza y saneamiento de utensilios?	
79. ¿Con qué frecuencia se renuevan o cambian los utensilios?	
80. ¿En dónde almacenan sus utensilios?	
Superficies de proceso	
81. ¿Con qué tipo de superficies tiene contacto el cilantro para ser empacado? P. E.: mesas, taras, cajas, cintas transportadoras, etc.	
82. ¿En qué etapa del proceso tiene contacto cada superficie?	
83. ¿Levan algún registro de las superficies de contacto del proceso?	
84. ¿Se sigue algún procedimiento de limpieza y saneamiento para superficies?	
85. ¿Con qué frecuencia se renuevan o cambian las superficies?	

Equipos de proceso	
86. ¿Qué tipo de equipos son usados para procesar el cilantro?	
87. ¿En qué etapa del proceso de empaque se utiliza cada equipo?	
88. ¿Levan algún registro de los equipos de proceso?	
89. ¿Se sigue algún procedimiento de limpieza y saneamiento de equipos?	

90. ¿Con qué frecuencia se renuevan o cambian los equipos?	
91. ¿Qué tipo de mantenimiento reciben los equipos?	

Sección V. Control de fauna silvestre y plagas

Fauna silvestre y plagas	
92. ¿Hay presencia de fauna silvestre dentro de las instalaciones de la empacadora?	Sí ¿Cuál?:
93. ¿Tienen algún tipo de control o proceso de barrera?	No
94. ¿Lleva algún registro del control de fauna silvestre o de plagas?	

Sección VI. Fuentes y manejo de agua de uso poscosecha

Agua de producción				
95. ¿Cómo utiliza el agua en el empaquetado de cilantro?	Enjuague/Lavado	Movimiento de producto	Enfriado	Aplicación de químicos, ceras, fungicidas o desinfectantes
	Elaboración del hielo	Lavado de manos	Limpieza	Desinfección
96. ¿Cuál es la fuente del agua de cada actividad?				
97. ¿Qué tipo de suministro de agua es?	Suministro público	Pozo	Pipa	Subterránea sin tratamiento
98. ¿Cómo distribuye el agua para su utilización?	Botes (acarreo)	Tuberías	Bombeo	Gravedad
99. ¿Cuál es el volumen de agua utilizado en cada actividad?				
100. ¿Cuál es el método de aplicación de agua?	Contacto directo	Aspersión	Inmersión	Otro:
101. ¿El agua usada en cada operación es agua recirculada o no?	Sí		No	

102. ¿En qué momento u operación del proceso de empaque tiene contacto directo el agua con el producto?				
103. ¿Conoce la calidad del agua utilizada en cada actividad?				
104. ¿Qué variables de la calidad del agua se monitorean durante el proceso?	Calidad inicial	pH	Temperatura	Turbidez
105. ¿Cada cuánto cambia el agua de lavado?				
106. ¿Qué productos antimicrobianos y desinfectantes utiliza para el lavado?				
107. ¿Cómo elige los productos antimicrobianos y desinfectantes?				
108. ¿Realiza algún monitoreo del tratamiento desinfectante?	Concentración	Tiempo de contacto	Herramientas o sensores	
109. ¿Tiene algún plan de acciones correctivas para incidencias de inocuidad de producto?				
110. ¿Alguna vez ha realizado análisis de calidad microbiológica del agua?	No		Si	
111. ¿Qué tipo de análisis ha realizado?				
112. ¿Cuenta con algún resultado de análisis o certificado de calidad de agua de suministro público? Si/No	No	Si		

¿Cuál?			
113. ¿Cuenta con algún resultado de análisis o certificado de calidad de agua subterránea? Si/No	No	Si	
¿Cuál?			
114. ¿Cuenta con algún resultado de análisis o certificado de calidad del hielo usado para enfriar? Si/No	No	Si	
¿Cuál?			
115. ¿El proveedor de hielo ha proporcionado resultados microbiológicos de su producto?	No	Si	
116. ¿Algún tipo de agua recibe tratamientos?			
117. ¿Cómo es el proceso de desecho del agua usada durante el lavado?			
Agua de uso sanitario			
118. ¿Cuál es la fuente del agua de uso sanitario?			
119. ¿En dónde descarga el agua residual?			
120. ¿El agua potable para sanitarios y estaciones de lavado recibe tratamientos?			
121. ¿Con qué frecuencia se realiza limpieza o mantenimiento del almacén de agua?			
122. ¿Con qué frecuencia se realiza limpieza o mantenimiento del			

sistema de distribución de agua?	
---	--

¿Desea hacer algún comentario o escribir nota de algo que considere relevante y no se abordó en el cuestionario?

Cuestionario para el Asesor de Inocuidad

Objetivo: Recuperar información sobre el cilantro poblano y su inocuidad, sistemas de certificación y programas.

La información que se obtenga a través de este cuestionario será confidencial y utilizada únicamente para fines de diagnóstico, queda claro que no será divulgada y que le pertenece a quien la proporciona. Será utilizada con fines éticos de generación de conocimiento sobre el sistema productivo de cilantro y se usará para relacionar estadísticamente los datos que coincidan entre informantes calve, productores y/o empaques.

Indicaciones: Por favor señale, marque o escriba la respuesta a las siguientes preguntas.

Fecha		Sitio de reunión	
--------------	--	-------------------------	--

Sección I. Información General de región productiva de cilantro

Información general				
Nombre				
Nombre de la empresa				
Dirección de trabajo				
Municipio				
Ocupación				
Tipo de empresa a la que pertenece	Independiente	Organismo	Institución	Agencia
1. Puesto de trabajo				
2. Descripción de actividades a su cargo				
3. Procesos que supervisa	Producción	Empaque	Comercialización	
4. ¿A qué nivel supervisa los procesos?	Local	Regional	Nacional	Internacional
5. ¿Cuál es el papel que desempeña el asesor o técnico de inocuidad en las unidades de producción?				
6. ¿Cuál es el papel que desempeña el CESAVEP en las unidades de producción?				
7. ¿Qué limitaciones tiene el CESAVEP como organismo para atender el problema de la inocuidad del cilantro en Puebla?				
8. ¿Por qué se ha reducido el número de empresas en la lista verde de la FDA?				

Sección II. Generalidades sobre el cilantro poblano de exportación

Sistema productivo

9. Como asesor de inocuidad ¿tiene conocimiento sobre qué etapas del proceso de cilantro?	Producción	Empaque	Análisis	Comercialización								
10. ¿Sabe cuánto cilantro es cultivado en Puebla cada año?	Sí	No	¿Cuánto?									
11. ¿Sabe cuánto cilantro poblano se comercializa anualmente a los Estados Unidos?	Sí	No	¿Cuánto?									
12. ¿Sabe cuánto cilantro es cultivado en Puebla se destina al mercado nacional?	Sí	No	¿Cuánto?									
13. ¿Existen otros compradores extranjeros de cilantro poblano?	Sí	No	¿Cuáles?									
14. ¿En qué municipios de Puebla se produce el cilantro?												
15. ¿En qué temporada del año se cultiva cilantro en esos municipios?	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
16. ¿Cuántos productores de cilantro hay en Puebla?												
17. ¿Cuál sería una adecuada clasificación de productores de cilantro según su sistema productivo?	Tradicional	Semi-tecnificado	Tecnificado	Industrial								
18. ¿Qué nivel productivo tiene cada uno? En hectáreas												
19. Según la clasificación anterior ¿qué tipo de productor poblano comercializa su cilantro al extranjero?												
20. ¿Cuáles son las demandas de inocuidad para el cilantro del mercado nacional?												
21. ¿Cuáles son las demandas de inocuidad para el cilantro del mercado internacional?												
22. ¿Conoce los antecedentes que dieron inicio a la implementación de la Alerta 24-23 de la FDA para el cilantro de Puebla?	Sí		No									

Sección III. Inocuidad en las unidades de producción y empaque

23. ¿Las unidades de producción de cilantro cuenta con asesoría, capacitación o auditoría externa en inocuidad?	Si Interno o externo				No				
24. Especifique									
25. ¿Los productores reciben apoyo para infraestructura, capacitaciones, auditorías, etc.?									
26. ¿Quién (es) en la empresa reciben capacitación respecto a inocuidad?	Dueños	Personal de oficina	Voluntarios	Practicantes	Familiares	Técnicos	Equipo de inocuidad		
27. ¿Qué sistemas de inocuidad tiene implementados la empresa?									
28. ¿De qué forma ha mejorado tener un sistema de inocuidad en las unidades de producción?									
29. ¿Cuántas unidades de producción se encuentran certificadas en SRRC?									
30. ¿Con qué frecuencia se debe renovar la verificación?									
31. ¿Cuál es el impacto de los programas de certificación en las unidades de producción de Puebla?									
32. ¿Qué actividades agrícolas realizan los productores poblanos para cultivar el cilantro?	Preparación de terreno	Siembra	Riego	Fumigación	Aparque	Escarda	Fertilización	Cosecha	Otro:
33. ¿En qué etapas de producción se identifican riesgos de contaminación microbiológica para el producto?	Preparación de terreno	Siembra	Riego	Fumigación	Aparque	Escarda	Fertilización	Cosecha	Otro:
34. ¿Cuáles pueden ser potenciales fuentes de contaminación microbiológica para el producto?	Suelo	Agua	Instalaciones	Operadores	Utensilios	Equipos	Fauna doméstica o silvestre	Otro:	
35. ¿Cuáles son las fuentes de agua de producción de las unidades de producción de cilantro?	Agua de pozo (Profundidad:)		Suministro público		Agua de pipa		Aguas negras		

36. ¿El CESAVER realiza análisis microbiológicos al producto?	Sí			No	
37. ¿Qué recursos analiza microbiológicamente?	Tierra	Fertilizantes	Agua	Ambiente	Operadores
	Utensilios	Maquinaria	Instalaciones	Mejoradores de suelo	
38. ¿Qué microorganismos patógenos son los indicadores de inocuidad en cilantro?	<i>Salmonella</i>	<i>E. coli</i>	<i>Shigella</i>	<i>Listeria monocytógenas</i>	<i>Norovirus</i>
	<i>Hepatitis A</i>	<i>Giardia Lamblia</i>	<i>Cryptosporidium parvum</i>	<i>Cyclospora cayetanensis</i>	<i>Toxoplasma gondii</i>
39. ¿Qué microorganismos patógenos ha detectado el CESAVER en las unidades de producción de cilantro en Puebla?	<i>Salmonella</i>	<i>E. coli</i>	<i>Shigella</i>	<i>Listeria monocytógenas</i>	<i>Norovirus</i>
	<i>Hepatitis A</i>	<i>Giardia Lamblia</i>	<i>Cryptosporidium parvum</i>	<i>Cyclospora cayetanensis</i>	<i>Toxoplasma gondii</i>
40. Durante las inspecciones que ha realizado, ha encontrado en las fuentes de agua de producción presencia de:	Escombros	Basura	Animales domésticos	Otro peligro	
41. Fuentes potenciales de contaminación de agua superficial observables	Heces de animales domésticos y fauna silvestre	Aplicación de estiércol/ operación de compostaje	Escurremientos agrícolas	Fuga de fosa séptica	
	Descargas de aguas residuales	Escurremientos urbanos y ambientales			
42. ¿Con qué frecuencia se inspeccionan las fuentes de agua?	Ninguna	Semestral	Anual	Otro:	

Sección IV. Sistemas y certificaciones de inocuidad

43. ¿Cuáles son las certificaciones que deben tener las unidades de producción de cilantro para ser consideradas como proveedores confiables?	Reconocidos ante SENASICA		BUMA	SRRC	Basado en FSMA	Otro:		
44. ¿Cuáles son las certificaciones que solicitan las empacadoras de cilantro a los proveedores?	Reconocidos ante SENASICA		BUMA	SRRC	Basado en FSMA	Otro:		
45. ¿Cuáles son las certificaciones que solicita la FDA para las unidades de producción para ser candidatos a subir a lista verde?	Reconocidos ante SENASICA		BUMA	SRRC	Basado en FSMA	Otro:		
46. ¿Cuál agencia o instancia mexicana de encarga de verificar el proceso de certificación?								
47. ¿Cuáles módulos del SRRC son evaluados en las unidades de producción de cilantro para su certificación?	Registro	Infraestructura productiva	Higiene	Manejo de fauna doméstica y silvestre	Capacitación y desarrollo de hab.	Evaluaciones internas	Validación de procedimientos	Trazabilidad
	Historial productivo	Manejo del agua	Fertilización	U y M de Agroquímicos	Cosecha	Empacado	Transporte	Prod. Orgánica
48. ¿Qué programas o acciones ha realizado el CESAVEP para atender la contaminación por microorganismos patógenos en cilantro?								
49. ¿Actualmente hay vigente algún programa de inocuidad para cilantro?								
50. ¿De qué manera se ha dado al seguimiento del Plan de acción cilantro?								
51. ¿En la campaña de manejo fitosanitario de cilantro se contempla el control de contaminación por C. cayetanensis?								
52. ¿Qué respuesta ha tenido por parte de los productores para atender a las demandas de inocuidad para el cilantro poblano?								