

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Proyecto de Graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos

COMPARACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE ZANAHORIA CULTIVADA EN DOS FINCAS (ORGÁNICA Y CONVENCIONAL) Y DE LA REDUCCIÓN MICROBIOLÓGICA LOGRADA EN LOS PROCESOS DE LAVADO Y/O DESINFECCIÓN

Elaborado por:
Susana Méndez Morales
Carné: B34209

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica
2023

TRIBUNAL EXAMINADOR

Proyecto de graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Tecnología de Alimentos

Elaborado por:

Susana Méndez Morales

Aprobado por:

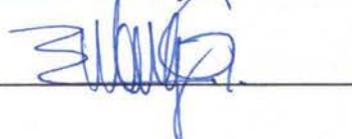
M.Sc. Ruth De la Asunción Romero
Presidenta del Tribunal

Firma: 

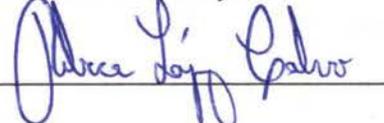
M.Sc. Gabriela Davidovich Young
Directora del Proyecto

Firma: 

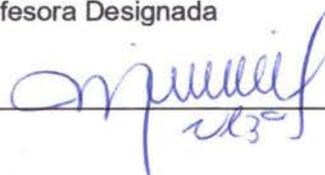
Ph.D. Eric Wong González
Asesor del Proyecto

Firma: 

M.Sc. Rebeca López Calvo
Asesora del Proyecto

Firma: 

Ph.D. Carol Jazmin Valenzuela Martínez
Profesora Designada

Firma: 

ABREVIATURAS Y NOMENCLATURA

PIMA	Programa Integral de Mercadeo Agropecuario	g	Gramo
ETA	Enfermedades de Transmisión Alimentaria	<	Menor que
OMS	Organización Mundial de la Salud	>	Mayor que
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería	ONG	Organización no gubernamental
CITA	Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos	SFA	Servicio Fitosanitario del Estado
FSMA	Food Safety Modernization Act	ARAO	Registro de Agricultura Orgánica
FAO	Food and Agriculture Organization	RML	Recuento de mohos y levaduras
UFC	Unidades formadoras de colonia	UCR	Universidad de Costa Rica
UFC/g	Unidades formadoras de colonia por gramo	cm	Centímetros
±	Más o menos	ha	Hectáreas
Log	Logaritmo base 10	ppm	Partes por millón
Log UFC/g	Logaritmo base 10 de unidades formadoras de colonia por gramo	BAM	Bacteriological Analytical Manual
%	Porcentaje	FDA	Food and Drug Administration
et al	Y otros	RTA	Recuento total aerobio
RTCA	Reglamento Técnico Centroamericano		

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE CUADROS	6
RESUMEN	7
1. JUSTIFICACIÓN	9
2. OBJETIVOS	
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. MARCO TEÓRICO	
3.1 Generalidades de la zanahoria	14
3.2 Agricultura orgánica y convencional	14
3.2.1 Certificación de la agricultura orgánica en Costa Rica	16
3.3 Producción de zanahoria	17
3.3.1 Proceso poscosecha de la zanahoria	19
3.4 Microbiología de la zanahoria	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS	
4.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO	29
4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y MUESTREO	29
4.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS	32
4.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6. CONCLUSIONES	50
7. RECOMENDACIONES	51
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
9. ANEXOS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Evolución del área orgánica certificada, 2000 – 2019 (hectáreas).....	17
Figura 2. Diagrama de proceso poscosecha y muestreo de zanahoria para análisis microbiológico, para zanahorias orgánicas destinadas a mercado local y de exportación...	31
Figura 3. Gráfico radial comparativo de las condiciones de cultivo y cosecha en una finca de producción convencional y una finca de producción orgánica.....	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro I. Comparación de los recuentos totales aerobio, recuento de mohos y levaduras, recuento de coliformes totales y <i>E. coli</i> y de los resultados de ausencia/presencia de <i>L. monocytogenes</i> , obtenidos al evaluar zanahorias cultivadas bajo sistemas orgánico y convencional.....	39
Cuadro II. Reducciones de recuento total aerobio y recuento de mohos y levaduras en los tratamientos poscosecha para zanahorias tratadas para mercado local y exportación.....	46
Cuadro III. Herramienta utilizada para la evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha en las fincas.....	62
Cuadro IV. Evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha de la finca orgánica.....	65
Cuadro V. Evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha de la finca convencional.....	67

RESUMEN

Méndez Morales, Susana

Comparación de la calidad microbiológica de zanahoria cultivada en dos fincas (orgánica y convencional) y de la reducción microbiológica lograda en los procesos de lavado y/o desinfección

Tesis de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos. San José, Costa Rica.

Méndez-Morales, S. 2022.

69 pp.: 3 il. - 87 refs.

Se evaluó, mediante una herramienta de diagnóstico, las condiciones de cultivo y cosecha de las zanahorias en cada una de las fincas, asignando puntuaciones para cada ítem incluido en la herramienta de evaluación en una escala de 1 a 5 donde 5 representa la condición ideal. Esto permitió calcular un promedio de la puntuación de cada ítem para cada aspecto evaluado en cada finca. En los aspectos de salud e higiene (4,86 orgánica, 4,43 convencional), agua de uso agrícola (3,40 ambas fincas), equipo y herramientas (4,50 ambas fincas) y edificios (4,92 orgánica, 4,67 convencional) ambas fincas puntuaron similares entre sí. La mayor diferencia se encontró en los aspectos de capacitación y calificación del personal (4,89 orgánica, 3,33 convencional) y mejoradores biológicos de suelo de origen animal y desechos humanos (5,00 orgánica, 3,33 convencional).

Se realizó un análisis microbiológico de las zanahorias cultivadas en cada una de las fincas incluyendo el recuento total aerobio mesófilo (RTA), recuento de mohos y levaduras (RML), recuento de coliformes totales y *Escherichia coli* y ausencia/presencia de *Listeria monocytogenes*. No hubo diferencias significativas en los resultados obtenidos para los distintos análisis entre fincas; además, hubo ausencia de *L. monocytogenes* para las zanahorias cultivadas en ambos sistemas.

Al resultar el RTA y RML los análisis con mayores valores en este objetivo, se utilizaron estos dos indicadores para el análisis de la eficacia de los tratamientos poscosecha en zanahorias orgánicas destinados a la comercialización local y a exportación. La zanahoria para comercio local lleva un proceso poscosecha que incluye etapa de lavado con agua y almacenamiento a temperatura ambiente, mientras que la zanahoria para exportación se lava, se desinfecta y se almacena a temperaturas de refrigeración. No se encontraron diferencias entre

las reducciones de bacterias aerobias mesófilas y mohos y levaduras entre los tratamientos realizados para mercado local y mercado de exportación.

Es importante aclarar que en el estudio de comparación de microbiología de zanahorias para mercado local y para exportación se obtuvo resultados con alta variabilidad, demostrado por los amplios intervalos de confianza y por los bajos valores de potencia. Por lo anterior se recomienda realizar mayor número de repeticiones y así comprobar lo ya obtenido.

Con base en los resultados se concluyó que la finca orgánica, en general, posee un control más estricto sobre sus condiciones de cultivo y cosecha de sus vegetales en comparación con la finca convencional. No obstante, ambas fincas poseen espacios para la mejora. Al comparar los recuentos de las zanahorias con reglamentos sobre este tipo de alimentos, las zanahorias de ambas fincas se consideran de buena calidad microbiológica e inocuas en términos del patógeno *L. monocytogenes*.

Directora: M. Sc. Gabriela Davidovich Young
Escuela de Tecnología de Alimentos

1. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, las personas son más conscientes sobre su salud y hábitos. Una dieta rica en frutas y vegetales es ampliamente recomendada por sus propiedades beneficiosas para la salud, ya que estas reducen el riesgo de sufrir enfermedades (Premi & Khan, 2020). Es por esto que el consumo de frutas y vegetales está en aumento en el mercado actual. Estos productos cumplen con las exigencias de los compradores de alimentos saludables (como fuente de vitaminas, fibra y micronutrientes) y sabrosos (Colelli & Amodio, 2017). Por lo tanto, al haber este aumento en la demanda en este tipo de alimentos, hay una necesidad crítica de entender los peligros microbiológicos asociados con estos productos (Sharma et al., 2016).

Según el Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA) (2016) en el documento “Análisis del consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos”, el cual se realizó a partir de consultas en 2400 hogares costarricenses durante el año 2015, la zanahoria representa el 8% del consumo de hortalizas en ese año, lo cual representa 4,83 kilogramos per cápita. Así mismo, existen referencias adicionales y estudios que indican que la zanahoria corresponde a una de las hortalizas de mayor consumo en el país (García-Barquero, 2015; Sánchez, 2017).

Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETAs) constituyen un problema real en países en vías de desarrollo, causando sufrimiento humano y pérdidas económicas importantes. En los últimos años estas enfermedades se han agudizado a causa de varios factores: el crecimiento de la población, la pobreza, la urbanización en los países desarrollados, el mayor y creciente comercio internacional de alimentos para seres humanos y animales y la aparición de nuevos patógenos o de cepas microbianas con mayor resistencia. La alta incidencia de enfermedades diarreicas en los países en desarrollo sugiere un problema de expansión de la falta de inocuidad de alimentos en la que inciden factores como la limitada disponibilidad de agua potable y de servicios de saneamiento, la desnutrición y el analfabetismo, entre otros (FAO, 2009).

La proporción de enfermedades de transmisión alimentaria atribuidas a vegetales frescos se ha incrementado en los últimos 20 años. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que existen 582 millones de casos y más de 350 000 muertes por enfermedad diarreica anualmente, relacionadas con el consumo de alimentos contaminados (Sharma et al., 2016).

Se han reportado, específicamente relacionados con zanahoria, al menos 35 brotes desde el año 2000 al 2020, siendo causantes de 1 322 enfermedades, 44 hospitalizaciones y una muerte. Los patógenos comúnmente implicados corresponden con Norovirus, *Bacillus*

cereus, *Salmonella* sp, *Clostridium botulinum*, *Shigella* sp, y *Staphylococcus aureus* (Pensack-Reinhart, 2019)

De acuerdo con Tal (2018), el sistema de agricultura convencional provee el 98,9% del total de alimentos en el mundo en la actualidad. Los estudios muestran que este tipo de agricultura, acompañada del uso de agentes químicos, produce muy buenos rendimientos con un menor uso de tierra. Asimismo, el uso de estos agroquímicos ayuda a obtener productos sin deficiencia de nitrógeno y fósforo que mejoran el rendimiento y calidad de los alimentos producidos bajo este sistema (Lotter, 2015). No obstante, a lo largo de la cadena de producción, se dan procesos que pueden afectar el entorno natural, y como consecuencia de esto, puede afectar directa o indirectamente a la salud y el desarrollo humano. El uso intensivo de plaguicidas y fertilizantes pueden provocar una degradación ambiental. De igual forma, las repercusiones de los sistemas de producción agrícola convencional en la salud humana, ya sea de forma directa (salud laboral de los agricultores) o indirecta (salud de los consumidores a través de los alimentos) son considerados factores importantes sobre los riesgos ambientales relacionados con la agricultura (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2004).

La agricultura orgánica no sólo beneficia en la disminución del uso de insumos agrícolas sintéticos sino también contribuye con la producción de alimentos de forma más sostenible. Se prevé que la población mundial aumente en más de un tercio, o 2 300 millones de personas entre 2009 y 2050. Las proyecciones indican que para alimentar una población mundial de 9 100 millones de personas en 2050 sería necesario aumentar la producción de alimentos en un 70% entre 2009 y 2050 (FAO, 2009). Para hacer esto se debe mejorar el rendimiento de los recursos naturales con prácticas más sostenibles que las actuales, es por esto que \ y Wachter (2016) expresan que la agricultura orgánica tiene un potencial sin explotar para la alimentación global y la seguridad ambiental y esta podría utilizarse como sistema de cultivo predominante, en combinación con otros sistemas más convencionales para la alimentación global futura sostenible.

En un estudio realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (2013) se destacan los siguientes indicadores: el 69% del mercado destino de la producción orgánica en Costa Rica corresponde a exportación. Un 61% de los puntos de venta entrevistados en el estudio asegura que vende productos orgánicos en transición (productos que anteriormente estaban siendo producidos de forma convencional y se está haciendo un cambio de sistema al orgánico) y que el 78% de ellos pide certificación a los proveedores. Esto demuestra cómo el mercado reconoce estos productos como parte del proceso de producción por lo que se presenta

una oportunidad de crear mecanismos de información sobre la existencia y el proceso para aumentar los canales de distribución o establecimientos que vendan estos productos. También se observa cómo la mayoría de los puntos de venta manejan información sobre los productos que comercializan, sin embargo, esto debería universalizarse a todos los comerciantes para asegurar que se cumple con normativa orgánica y proteger tanto al consumidor como al productor (MAG, 2013).

El uso de estiércol en la agricultura orgánica plantea la inquietud sobre su inocuidad en el aspecto microbiológico. Al haber una restricción sobre el uso de agroquímicos en una producción orgánica, existe el riesgo de contaminación microbiológica al usar este tipo de productos fertilizantes, que representa al mismo tiempo, un aumento en el riesgo a la salud pública (Vanderléia Merlini *et al.*, 2018). Una recopilación de reportes por ETAs realizada por Harvey y colaboradores (2016), muestra como en Estados Unidos, desde 1992 hasta el 2014, ha habido 18 brotes, resultando en 779 enfermos, 258 hospitalizaciones y tres muertes. El 33% de esas enfermedades fueron ocasionadas por *Escherichia coli* O157:H7 y ocho de esos brotes son atribuidos a productos agrícolas. En años más recientes, en Estados Unidos, se ha observado un incremento en los reportes de ETAs proveniente de productos orgánicos, en paralelo con el aumento en el consumo y producción de estos (Harvey *et al.*, 2016).

En estudios anteriores que comparan la calidad microbiológica de zanahorias convencionales y orgánicas, se obtienen resultados variados. Por ejemplo, Szczech y colaboradores (2018), no encontraron diferencias en los recuentos de bacterias mesófilas y de mohos y levaduras, sin embargo, sí determinaron diferencias en el recuento de *E. coli* en zanahorias producidas en Polonia. Por otro lado, en un estudio realizado con zanahorias de Malasia, se encontraron diferencias en el recuento de bacterias mesófilas y coliformes totales, mientras que en recuento de mohos y levaduras no se encontraron diferencias (Kuan *et al.*, 2017). De lo anterior, nace la necesidad de analizar la calidad microbiológica de estos vegetales que se obtienen por agricultura orgánica, con el objetivo de compararla con la de los vegetales cosechados de manera convencional en Costa Rica.

Como se mencionó anteriormente, la demanda de productos frescos ha ido aumentando cada vez más, impulsada por un deseo de consumir alimentos más saludables. No obstante, se sabe que los productos frescos pueden estar contaminados con una variedad de patógenos que resultan en ETAs, por esta razón, nace la necesidad de adoptar prácticas poscosecha y operaciones que disminuyan la carga microbiana de los vegetales o que evite la contaminación cruzada. Además, luego de la inocuidad, la calidad de estos productos es el factor más importante por mantener durante las operaciones poscosecha, ya que la decisión de compra con

frecuencia depende de la satisfacción del consumidor respecto a la calidad sensorial del producto, la cual se logra con la disminución de los microorganismos de deterioro presentes en el alimento (Gil & Allende, 2012).

El sector agrícola exportador costarricense ha encontrado nuevos mercados para la zanahoria. El producto de exportación tiene que cumplir con ciertas normas de calidad más estrictas que las de mercado local. El estudio poscosecha de estos productos adquiere gran importancia, como conocer agentes patógenos que los afectan, condiciones óptimas de lavado y desinfección y de almacenamiento (Richmond et al., 2011).

En una planta empacadora ubicada en Cartago, realizan dos tratamientos poscosecha, diferenciando las zanahorias destinadas para el mercado local y las destinadas para el mercado de exportación. Las zanahorias para el mercado local se tratan solamente con un lavado para remover tierra que trae consigo de la finca y posteriormente es empacada y almacenada a temperatura ambiente hasta el momento de su despacho a los diferentes puntos de venta. A diferencia de las zanahorias para el mercado de exportación, que, además de este mismo lavado removedor de suciedad gruesa, se trata con un paso más de desinfección por aspersión, luego estas zanahorias son preenfriadas. Esto es previo al almacenamiento en refrigeración hasta su momento de despacho. Esta diferencia en tratamientos poscosecha en las zanahorias plantea la duda sobre si existen diferencias entre ellos en cuanto a la mejora de la calidad e inocuidad y hasta la mejora de la vida útil de la zanahoria (Richmond et al., 2011). De ahí que en este proyecto se decidiera estudiar esas diferencias entre ambos tipos de tratamientos poscosecha de la zanahoria, por medio de la comparación de la reducción microbiológica de dos indicadores luego de la realización de cada uno de ellos

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Comparar la calidad microbiológica de zanahoria cultivada en dos fincas (orgánica y convencional) y la reducción microbiológica lograda en los procesos de lavado y/o desinfección.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las condiciones de cultivo y cosecha de zanahorias en dos fincas (orgánica y convencional), mediante una herramienta de diagnóstico.
- Comparar la calidad microbiológica de zanahoria cultivada en dos fincas (orgánica y convencional) mediante recuento total aerobio, recuento de mohos y levaduras, recuento de coliformes totales y *E. coli* y ausencia/presencia de *Listeria monocytogenes*.
- Comparar la reducción microbiológica en zanahorias orgánicas para consumo local y exportación lograda con los procesos de lavado y/o desinfección y almacenamiento, a escala de planta piloto.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades de la zanahoria

La zanahoria (*Daucus carota*), es un miembro de la familia Apiacea y es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, por sus raíces carnosas comestibles (Kotecha et al., 2014). Son comercializadas enteras y frescas o en su variedad “baby” y son usadas, luego de ser procesadas, en alimentos enlatados, sopas, jugos y productos congelados. Las zanahorias son ricas en beta-caroteno y contienen cantidades importantes de tiamina y riboflavina (Kotecha et al., 2014). Además de sus carotenoides, también contiene numerosos compuestos fenólicos, los cuales tienen un impacto positivo en la salud. Es un vegetal de importancia en términos económicos y nutricionales (Kowalczyk & Cupiał, 2020).

La zanahoria es nativa de Europa, Asia y Norte de África. Corresponde a un cultivo herbáceo dicotiledóneo que se cultiva por su raíz principal de tamaño considerable. El diámetro de la raíz puede variar desde los 2 cm hasta los 6 cm y su longitud entre los 6 y 30 cm (Kotecha et al., 2014).

El cultivo de zanahoria es propio de clima frío, la temperatura óptima para altos rendimientos y calidad se encuentra entre los 10 °C y los 25 °C. Las precipitaciones son esenciales para el crecimiento de las plantas, por lo que el cultivo requiere de riego durante el período de producción, el exceso o deficiencia de agua repercuten en la calidad del vegetal (Vindas, 2018).

3.2 Agricultura orgánica y convencional

FAO sugiere que la agricultura orgánica es un sistema único de manejo de producción, que promueve y mejora la salud del agro-ecosistema, incluyendo biodiversidad, ciclos biológicos y actividad biológica del suelo y esto se logra utilizando insumos propios de la finca, métodos biológicos y mecánicos excluyentes de todos los insumos sintéticos provenientes de fuera de la finca (Mahanta, Bisht & Kant, 2021).

Este método de cultivo conlleva al uso e incorporación de materia orgánica fresca y compostada de manera que se mejoren las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo ayudando a la absorción de nutrientes por parte de la planta (Marín, 2015)

Por otro lado, la agricultura convencional, utiliza y aplica procesos de fertilización con insumos sintéticos que, si bien generan altas producciones, los residuos creados por el uso de

fertilizantes y otros compuestos químicos afectan el suelo, el agua subterránea y superficial, la salud humana y animal e incluso la productividad en ciclos posteriores de los cultivos. No obstante, tanto en los sistemas de producción agrícola convencional como orgánico, las proporciones de abono o fertilizante y otros insumos agrícolas deben cuantificarse adecuadamente para prevenir o mitigar los impactos en el cultivo y el medio (Marín, 2015).

La agricultura orgánica plantea soluciones a los serios problemas que afectan a la actual producción mundial, tales como, altos costos de energía, contaminación de aguas subterráneas, erosión del suelo, agotamiento de recursos fósiles, bajos ingresos agrícolas y el riesgo a la salud humana y hábitats silvestres (Reganold & Wachter, 2020).

El rendimiento de los sistemas de agricultura orgánica, en varias métricas de sostenibilidad, indican que este sistema balancea mejor múltiples objetivos de sostenibilidad que su contraparte, la agricultura convencional. La productividad de la agricultura orgánica tiende a ser menor que la de la agricultura convencional, o sea, mayor uso de tierra para rendimientos menores, sin embargo, en factores como rentabilidad y respeto con el medio ambiente, esta tiende a ser mejor. De igual manera, este sistema produce alimentos igual o más nutritivos que el sistema convencional, con menos o nulos residuos de pesticidas (Reganold & Wachter, 2020), los cuales se han convertido en tema de discusión en la comunidad científica debido al riesgo que implica su uso y su efecto sobre la calidad microbiológica e inocuidad de los cultivos que son tratados con agroquímicos en forma de pesticidas, reguladores de crecimiento, repelentes de insectos, fertilizantes y que carecen de una evaluación minuciosa de las cantidades que pueden ser utilizadas en estos propósitos. Dada la gran cantidad de contaminantes químicos encontrados en el aire, suelos, fuentes de agua y sedimentos, se ha determinado que los agroquímicos aportan contaminación de alrededor de un quinto de la tierra disponible para uso en el planeta por lo que, debido a la gran toxicidad de los productos empleados, su impacto sobre el ambiente no puede y no debe ser ignorado (Sánchez-Bayo & Tennekes, 2015).

Desde el año 1996 se han venido alentando aquellas prácticas agrícolas que detengan la degradación y reestablezcan y aumenten la diversidad biológica. La agricultura orgánica se encuentra entre ellas puesto que los sistemas están diseñados para poder aplicarse en armonía con la naturaleza optimizando la calidad en todos los aspectos de la agricultura y del medio ambiente mediante el respeto de la capacidad natural de las plantas, de los animales y del paisaje (Scialabba & Hattam, 2003).

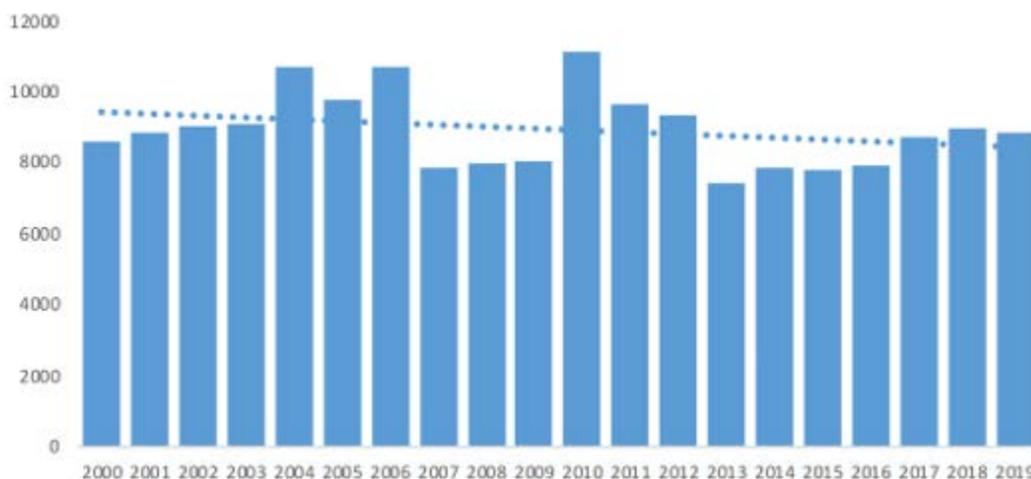
3.2.1 Certificación de la agricultura orgánica en Costa Rica

Al ser uno de los países con mayor consumo de productos agroquímicos en los procesos de producción agrícola, la práctica de agricultura orgánica en el país ha incrementado, sin embargo, ha encontrado diferentes barreras para establecerse con éxito como una práctica alternativa de cultivo, no solo para desarrollar mecanismos de convivencia amigables con el ambiente y reducir el consumo de agroquímicos y fertilizantes sintéticos, sino para promover la comercialización de productos de menor riesgo para la salud de los seres vivos (Barrientos Matamoros, 2021).

Contrario a este estandarte de sostenibilidad ambiental que exhiben las autoridades estatales, existen barreras típicas para el agricultor que quiere certificarse, que se refieren a tramitología, interpretación de normas por parte de inspectores, poco seguimiento por parte del estado en los puntos de venta, deslealtad por parte de los productores mediante agricultura convencional, poco reconocimiento al esfuerzo de producción limpia y costo de producción, entre otros. Esto provoca que los agricultores orgánicos dediquen no más del 10% del área disponible para cultivar a esta práctica agrícola. Esta situación, se ha incrementado en los últimos tiempos. La evolución de circunstancias que se dieron desde los inicios de la promoción de la agricultura orgánica en el país, en donde la falta de recursos y servicios de apoyo públicos y privados a través de organizaciones no gubernamentales (ONG) para su desarrollo y a los vaivenes de los precios de los productos orgánicos unido a, lo que se llamó en sus inicios un cambio de enfoque más comercial que socio ambiental, han dificultado un desarrollo claro de la actividad (IBS Soluciones Verdes, 2013).

Si bien la actividad de agricultura orgánica ha estado regulada mediante la ley No. 8591 estableciendo al MAG como ente rector encargado de los procesos de certificación, acreditación y registro de los productos orgánicos en el país, ha sido poca la conversión a producción orgánica lograda desde su publicación en el año 2007 al año 2021 donde, a pesar de los altibajos en área destinada a la actividad, el resultado neto al final del año 2019 es una tendencia más bien hacia la baja según la información publicada por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFA) al cierre de ese año tal como se muestra en la figura 1, no obstante, ha habido un repunte al cierre del año 2021 llegando a registrarse el área dedicada a la agricultura orgánica hasta un aproximado de 10299 ha. Sin embargo, de la información publicada, se infiere que este incremento en el área se debe al crecimiento en extensión que ha tenido el cultivo de piña, café y azúcar por la demanda en el mercado internacional, sobre todo en Europa, y la cuota establecida por Estados Unidos para el caso del azúcar, dejando las pequeñas extensiones a aquellos productores dedicados al

cultivo de productos no tradicionales de exportación y productores que aún no reciben la certificación para exportación (MAG, 2021).



Fuente: Unidad de Acreditación y Registro en Agricultura Orgánica, Servicio Fitosanitario del Estado, 2020

Figura 1. Evolución del área orgánica certificada, 2000 - 2019 (hectáreas)

3.3 Producción de zanahoria

De acuerdo con la FAO de las Naciones Unidas, se producen 1,2 millones de hectáreas globalmente de zanahoria y nabos, produciendo 35 658 toneladas para consumo humano. Su rendimiento está estrechamente relacionado con la altura de la planta y el diámetro de su raíz, así como condiciones ambientales (Nguyen & Nguyen, 2015).

Las zanahorias pertenecen al grupo de hortalizas que son moderadamente resistentes a las temporadas frías. Su temperatura ideal de crecimiento va de los 12°C a los 15°C. Pueden ser cultivadas durante todo el año, excepto en áreas extremadamente frías o en regiones muy calientes (Nguyen & Nguyen, 2015).

En cuanto a su necesidad de agua, para generar zanahorias con una apariencia uniforme y buena calidad, lo ideal es cultivarlas en campos suplidos con agua regularmente y con un buen drenaje, con un horario de irrigación apropiado que cumpla con las necesidades de la planta o semilla (Nguyen & Nguyen, 2015).

El buen desarrollo de la planta de zanahoria y en especial de su raíz, depende de una adecuada preparación del suelo. Estas condiciones consisten en una siembra profunda (75 cm)

con arado de la tierra para romper las capas más compactas del terreno, seguido de una labor más superficial de gradeo. La profundidad es importante para evitar bifurcaciones y raíces mal formadas. La zanahoria requiere un suelo con un pH entre 5,7 y 6,8 y altos en potasio, textura franco arenosa, que sea capaz de mantener la humedad y con suficiente porosidad (Richmond Zumbado, 2009).

En Centroamérica, la zanahoria se siembra en rotación con papa, repollo, brócoli, coliflor, cebolla y remolacha. Se siembra de forma directa en el campo, y a una distancia de entre 2 a 7 cm entre las plantas. La distancia de siembra óptima puede variar dependiendo del diámetro de la raíz y la exuberancia del follaje. La semilla debe quedar a una profundidad de 5 mm. Generalmente se requieren de 2 a 3 kg de semilla por hectárea y la germinación se da entre los días 14 y 20. El cultivo de zanahoria no tolera excesos de humedad ya que favorece el desarrollo de enfermedades que atacan la raíz, por lo que debe haber un control del riego y drenaje adecuado, evitando suelos inundados. Un déficit de agua provoca raíces finas, duras y no lisas (Richmond Zumbado, 2009).

El tiempo estimado de la siembra a la cosecha de zanahoria depende de factores como la variedad, el uso final del producto y la época del año, puede variar de entre tres a siete meses. Generalmente se realiza entre los cuatro y cinco meses. La decisión de cosechar se toma mediante un muestreo basado en criterios según el mercado y la variedad. Indicadores de cosecha consisten en: tamaño, grado de madurez, punta de la raíz, paredes lisas, diámetro, color, peso y quebramiento del follaje (Richmond Zumbado, 2009).

El 80% de la zanahoria que se produce en Costa Rica es en la zona de altura media del Volcán Irazú, Tierra Blanca, Cot, Pacayas y Llano Grande de Cartago, el otro 20% se produce en Alfaro Ruíz en Alajuela (Vindas, 2018).

Es un vegetal que ha adquirido importancia comercial en los últimos años por la aparición de mercados en la región de Centroamérica y el Caribe como destinos de exportación. Nicaragua, Honduras, Guatemala, Trinidad y Tobago y Cuba son mercados destinatarios de zanahoria producida en Costa Rica. Esto ha traído consigo un incremento notable del área de producción pasando de 1024 ha en el 2011 a 1140 ha en el 2014 (Vindas, 2018).

Las zanahorias son normalmente cosechadas manualmente o con sistemas mecánicos. La cosecha manual causa aproximadamente 10% del daño visible luego de levantar las raíces, mientras que la cosecha mecánica causa entre un 20% y 30% de daño de las raíces cosechadas (Nguyen & Nguyen, 2015).

3.3.1 Proceso poscosecha de la zanahoria

Manejo poscosecha es el conjunto de prácticas post-producción que incluyen limpieza, lavado, selección, clasificación, desinfección, secado, empaque y almacenamiento. Se aplican para eliminar elementos no deseados y mejorar la presentación del producto. También se realizan para cumplir con normas de calidad establecidas, tanto para productos frescos como para procesados (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-Programa de Apoyo de la Agroindustria Rural para América Latina y el Caribe [IICA/PRODAR], FAO, 2006).

El lavado y desinfección poscosecha son operaciones unitarias críticas para la preservación de la calidad de vegetales frescos mediante el control del crecimiento microbiológico normalmente relacionado con el deterioro e inocuidad de los alimentos (Zoellner, Aguayo-Acosta et al., 2018).

Para cualquiera de los métodos agrícolas empleados en su producción, las zanahorias recién cosechadas llevan un proceso de limpieza, selección y clasificación según su tamaño, defectos (quebradas, partidas, quemadas con el sol) o presencia de enfermedades. Se deben manejar cuidadosamente para minimizar golpes o quebraduras en la punta (Sharma, 2018).

Al inicio se hace un primer lavado que tiene como finalidad remover tierra y otra vegetación, mejorar la apariencia del producto y bajar la temperatura de la hortaliza (Zoellner et al., 2018). Sin embargo, durante esta operación se puede dar contaminación con patógenos transportados o dispersos en el agua. También, en el caso de que una parte de la cosecha se encuentre contaminada, se podría transferir patógenos a las aguas de lavado que al mismo tiempo pueden contaminar otras hortalizas siendo lavadas (Gurtler et al., 2020).

Una segunda etapa de desinfección previa al empaque reduce la presencia y transferencia de microorganismos patógenos y de deterioro en las superficies del producto (Zoellner et al., 2018). Por esta razón, se utilizan con frecuencia desinfectantes para inactivar microorganismos patógenos o de deterioro en el producto, que permiten eliminar bacterias, mohos, levaduras e incluso virus que estén presentes en el agua de lavado. La aplicación de agentes desinfectantes es efectiva en la disminución del número de bacterias patógenas, sin embargo, este no es su principal propósito. Al desinfectar el producto, lo que se busca es evitar la contaminación cruzada del agua al producto, pero esto no asegura un producto final libre de patógenos (Gurtler et al., 2020).

La eficacia de los desinfectantes químicos está influenciada por muchos factores incluyendo concentración, tiempo de contacto, temperatura y pH del agua, presencia de materia orgánica y atributos físicos de la superficie del vegetal/superficie de contacto. Se ha demostrado

que la aplicación de estos desinfectantes en bajas concentraciones a productos frescos logra reducciones de 2 a 3 logaritmos de la microbiota natural del producto (Zoellner et al., 2018).

El ácido peracético, también conocido como ácido peroxiacético, es una mezcla equilibrada de peróxido de hidrógeno y ácido acético. Este desinfectante es especialmente prometedor en la industria alimentaria por sus fuertes capacidades oxidantes, porque no produce subproductos nocivos ni deja residuos. Además, es aceptado en la producción tipo orgánica (Zoellner et al., 2018).

Debido a la composición del ácido peracético, se especula que su modo de acción es similar a otros peróxidos y agentes oxidantes, con su actividad desinfectante basada en la producción de especies reactivas al oxígeno. Este ácido es atraído a la pared celular de microorganismos, gracias a su porción de acetato de la molécula, la cual tiene afinidad a estructuras lipídicas. Una vez atraído, la porción oxidante del peroxiácido provoca una ruptura de la pared celular, abriendo un punto de penetración a la célula. Una vez adentro esta misma porción del ácido daña la función general de la célula mediante la oxidación de proteínas, enzimas, ADN y metabolitos en la bacteria causando la muerte de la célula (Zoellner et al., 2018).

El ácido peracético se ha empleado como un método alternativo en la desinfección de hortalizas por su buena capacidad de inactivación frente a una amplia gama de microorganismos patógenos y de deterioro y por su capacidad de no interferir en aspectos sensoriales del producto final en preparación o fresco (Aguayo et al., 2017).

Por otro lado, el tiempo de contacto con las frutas y hortalizas es corto lo que hace un producto muy atractivo en este campo de aplicación, siendo particularmente efectivo en el control de *E. coli*, *Salmonella spp* y *L. monocytogenes* en melones, lechuga, fresas, zanahorias y manzanas (Aguayo et al., 2017).

La desinfección de lechuga con ácido peracético (80 mg/L) mostró resultados tan efectivos como la desinfección utilizando hipoclorito de sodio (100 mg/L) reduciendo el recuento de enterobacterias en 2 logaritmos del producto sin sanitizar y manteniendo valores similares al tratamiento con hipoclorito de sodio luego del almacenamiento por 10 días a 10°C. En el caso de mesófilos, el comportamiento del ácido peracético fue mejor al tratamiento con hipoclorito de sodio, sin embargo, durante el almacenamiento a 10°C durante 10 días, este último tratamiento fue el que mantuvo los menores recuentos (Flores et al., 2020).

Específicamente para zanahorias Dharmarha y colaboradores (2019) analizaron el efecto de un lavado desinfectante con ácido peracético sobre la comunidad microbiana superficial de estos vegetales. *E. coli* fue reducido en promedio 2,61 log UFC/g utilizando ácido peracético. En

este estudio se concluyó que este resultado es lo generalmente obtenido en otros estudios donde se evalúan lavados con desinfección.

Por último, un estudio realizado por Vandekinderen y colaboradores (2009) con zanahoria rallada ha mostrado reducciones de la microbiota nativa entre 0,5 – 3,5 log UFC/g, al ser inmersas en agua con diferentes concentraciones de ácido peroxiacético.

En cuanto a frutas y vegetales se refiere, no existe un almacenamiento ideal ya que su respuesta a temperaturas bajas varía ampliamente. Factores como el crecimiento de mohos y daños por frío son importantes de tomar en cuenta, así como la duración del almacenamiento. Bajar la temperatura de almacenamiento a la más baja que el vegetal pueda soportar, sin comprometer la calidad o inocuidad del vegetal, es importante para mejorar la vida útil, reducir pérdidas y mantener una calidad alta durante su comercialización. Las temperaturas de almacenamiento de frutas y vegetales pueden variar desde los -1°C hasta los 13°C, dependiendo de su carácter perecedero. Las zanahorias se consideran vegetales no perecederos y pueden almacenarse a temperaturas entre los 5°C y 9°C, por períodos que varían desde las 12 hasta las 28 semanas (Bhardwaj et al., 2021)

El almacenamiento a bajas temperaturas es el método mejor conocido y más usado para el mantenimiento de la calidad, frescura, reducción de pérdidas y extensión de vida útil de productos frescos. No obstante, durante el almacenamiento existe la posibilidad del desarrollo de microorganismos. Esto puede ser prevenido o disminuido con la escogencia de una adecuada temperatura y humedad relativa, una correcta limpieza de las facilidades, evitando el reempaque, exigiendo una buena higiene del personal, evitando el transporte con otro tipo de productos y usando materiales de empaque nuevos (Bhardwaj et al., 2021).

El almacenamiento a temperatura ambiente (no refrigeración) no es ideal para vegetales y hortalizas si se desea alargar la vida útil del vegetal. Las bajas temperaturas disminuyen la tasa de respiración y reducen el crecimiento microbiológico durante el almacenamiento y la distribución. Por otro lado, el almacenamiento a temperaturas altas, o sea temperaturas ambientales, puede promover el crecimiento de patógenos. Hay información limitada sobre la influencia de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las dinámicas de la microbiota de zanahorias y otros vegetales de raíz (Dharmarha et al., 2019).

En un estudio realizado por Lampert y colaboradores (2017), se simularon condiciones de almacenamiento a largo plazo de zanahoria con poca ventilación y temperaturas ligeramente más altas de las ideales para la zanahoria y se observó crecimiento de *Lactobacillus* sp. y *Enterobacteriaceae* gracias a una acumulación de CO₂ y etanol. Estos microorganismos son los causantes de un exudado que genera un color marrón y suavizado de tejidos. Zanahorias

almacenadas a una temperatura de 14°C y una humedad relativa de 80% (la ideal es de 98% - 100%) solo alcanzan una vida comercial de hasta 15 días (Richmond Zumbado, 2009).

3.4 Microbiología de la zanahoria

Varios factores afectan la supervivencia o crecimiento de la microbiota presente en los vegetales frescos, estos incluyen el tipo y etapa en el crecimiento del vegetal, condiciones ambientales y prácticas de manejo. Los tipos de microorganismos presentes en frutas y vegetales frescos varían de acuerdo con el producto y su procesamiento (García & Heredia, 2020).

Varios análisis de vegetales indican que las bacterias son los microorganismos predominantes con casi igual proporción de organismos Gram positivos y Gram negativos, menor número de mohos y levaduras están presentes (García & Heredia, 2020).

En general, *Pseudomonas fluorescens*, *Erwinia herbicola* y *Enterobacter agglomerans* son los mayores constituyentes de la microbiota de muchos vegetales, sin embargo, *Leuconostoc* spp., *Lactobacillus* spp., mohos y levaduras están igualmente presentes (Sapers et al., 2006).

En un estudio donde se caracterizó la microbiota de deterioro de zanahorias realizado por Kahala y colaboradores (2012) se aislaron abundantemente cepas de *Pseudomonas*, la mayoría siendo *P. fluorescens*, *P. marginalis* y *P. veronii*. También se aislaron *P. syringae*, *P. mandelii* y *P. putida*. Otras especies de microorganismos encontrados en este estudio fueron *Pectobacterium* sp. y *Erwinia* sp. las cuales producen lesiones en las zanahorias. Por otro lado, *Yersinia enterocolitica* ha sido un microorganismo comúnmente aislado en zanahorias (Määttä et al., 2013). En Nigeria, en un estudio donde se analizaron zanahorias deterioradas las bacterias aisladas fueron *Serratia marcescens*, *Escherichia coli* y *Corynebacterium bovis*. Mientras que dentro de los mohos y levaduras que se encontraron están *Penicillium digitatum*, *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus niger* y *Alternaria alternata* (Samuel et al., 2016).

Una considerable proporción de las pérdidas poscosecha de productos agrícolas se produce a causa de microorganismos de deterioro, que pueden ser desde bacterias, mohos o levaduras. El deterioro de vegetales con pH neutro, como vegetales de ensalada, raíces comestibles y tubérculos es causado por bacterias capaces de producir enzimas pectolíticas requeridas para la degradación de paredes celulares (Liao, 2006). El conteo de la microbiota de granos, frutas y vegetales frescos puede variar desde 10^2 a las 10^9 unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g). En ausencia de procesamiento, el deterioro aeróbico de vegetales ocurre con microorganismos mesofílicos de las especies *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp. y *Erwinia* sp, los cuales inician el proceso de descomposición del vegetal. Entre los patógenos

presentes en vegetales frescos se enlistan *Salmonella* sp., *Shigella* sp., *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia enterocolitica*, *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes* y *E. coli* patógenas (Breidt, 2006). La Organización Mundial de la Salud determinó que, para frutas y vegetales, existe hasta un 50% de pérdidas causado por microorganismos de deterioro. Sin embargo, es importante mencionar que en la etapa poscosecha la mayoría de pérdidas de productos es a causa de insectos y roedores (Doyle & Sperber, 2009).

Gracias a la presencia o la posibilidad de la contaminación con estos microorganismos, que pueden afectar gravemente tanto la producción de alimentos como la salud de los consumidores, nace la necesidad de realizar tratamientos que los eliminen. Estos tratamientos deben ser evaluados en su eficacia en la eliminación de estos microorganismos, por lo que se realizan métodos de análisis que determinan certeramente la presencia de estos en los productos. El tipo de análisis a realizar para detección o enumeración depende del microorganismo o grupo de microorganismos objetivo.

En un estudio, realizado por Harris y colaboradores (2003), en el que extensivamente se estudiaron brotes asociados con vegetales y hortalizas frescas, se reportó que los patógenos humanos más frecuentes asociados con brotes de enfermedades de transmisión alimentaria por este tipo de productos son: *E. coli* O157:H7, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., *Listeria monocytogenes*, *Cryptosporidium* sp., *Cyclospora* sp., *Clostridium botulinum*, virus de Hepatitis A y Norovirus (Gorny, 2006)

Listeria monocytogenes es un microorganismo poco frecuente pero pernicioso vinculado a niveles desproporcionadamente altos de morbilidad y mortalidad en individuos susceptibles y sigue siendo una causa significativa de enfermedades transmitidas por alimentos en todo el mundo. Este corresponde a un bacilo pequeño, Gram positivo, anaerobio facultativo y flagelado que se encuentra ampliamente en entornos agrícolas, acuícolas y durante el procesamiento de alimentos. El género *Listeria* está comprendido por ocho especies, de ellas únicamente *L. monocytogenes* es considerado capaz de causar enfermedad en humanos (García & Heredia, 2020).

Cepas de *L. monocytogenes* tienen características únicas que permiten su continua presencia en ambientes inusuales como el crecimiento en un gran rango de temperatura (-1,5°C a 50°C), y pH (4,3 a 9,6). Puede sobrevivir congelación y es relativamente resistente al calor. Todas estas características dificultan controlar este microorganismo (García & Heredia, 2020).

El grupo de coliformes totales es un subgrupo de la familia *Enterobacteriaceae*, que incluye 42 géneros y 176 especies. Este incluye bacterias capaces de fermentar lactosa con producción de gas a 35°C. El grupo de coliformes termotolerantes es un subgrupo de los

coliformes totales que incluye solo microorganismos que sean capaces de fermentar lactosa con producción de gas a las temperaturas de 44,5°C a 45°C (da Silva et al., 2018).

E. coli se encuentra incluido tanto en el grupo de los coliformes totales como en el de los coliformes termotolerantes. Su hábitat natural es el tracto intestinal de animales de sangre caliente. *E. coli* es considerado un microorganismo indicador de contaminación fecal en productos frescos (da Silva et al., 2018).

Los coliformes totales y termotolerantes pueden resultar indicadores del proceso de los alimentos. Según da Silva y otros (2018) los coliformes pueden ser considerados indicadores de las condiciones higiénicas de los procesos de manufactura, ya que son fácilmente inactivados por agentes desinfectantes y capaces de colonizar en ciertos nichos de la planta de procesamiento, cuando los procedimientos de limpieza y sanitización son inapropiados o ejecutados de manera incorrecta. Igualmente, como fue mencionado anteriormente, *E. coli* es un indicador adecuado para microorganismos de origen entérico. Sin embargo, su ausencia no asegura que los productos se encuentran libres de este tipo de microorganismos (da Silva et al., 2018)

Específicamente para hortalizas, la contaminación con *E. coli* en etapas precosecha puede venir de fuentes como estiércol de animales con un incorrecto proceso de compostaje, suelo, aire, animales y manipulación humana (Islam et al., 2005). La contaminación de vegetales con coliformes totales y coliformes termotolerantes se puede dar por el uso de agua de irrigación contaminada con material fecal ya sea humana o animal, por manipulación de parte de personas infectadas y por transporte y sanitización inadecuados. El análisis de estos microorganismos en productos agrícolas tiene gran relevancia en el área de la salud pública, especialmente considerando las etapas de producción, almacenamiento, transporte y manipulación de estos productos. Las infecciones de origen alimentario causadas por microorganismos pertenecientes a estos grupos han sido reportadas con frecuencia (Martins Soto et al., 2018).

En un estudio realizado en Polonia donde se realizaron análisis de enterobacterias, coliformes totales y *E. coli* en diferentes vegetales se encontró que para el caso de las enterobacterias todas se encontraron debajo de los 3 log UFC/g. El recuento de coliformes totales para los vegetales analizados estuvieron entre 1 y 2 log UFC/g, mientras que para *E. coli* hubo bastante variabilidad entre los vegetales, en algunas muestras no se encontró, mientras que en otras se encontraron menos de 0,1 log UFC/g hasta 0,5 log UFC/g, habiendo diferencias significativas entre ellos (Szczech et al., 2018).

La mayoría de la microbiota de las zanahorias recién cultivadas corresponden a especies provenientes del suelo. Lavados en el campo con agua clorada para remover excesos de tierra

es una práctica común. Bajo algunas jurisdicciones se les aplica fungicidas y bactericidas para el control de enfermedades durante el almacenamiento. No cabe duda de que los tratamientos poscosecha afectan la microbiota de las zanahorias destinadas para el procesamiento. Del mismo modo, se espera que la planta de proceso también aporte microorganismos de deterioro al producto final (Delaquis, 2006).

Según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA, 2017) de Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de Alimentos 67.04.50:17 las frutas y vegetales frescos enteros empacados deben cumplir con ausencia de *Salmonella* spp. y *E. coli* O157:H7 en 25 gramos del alimento. En cuanto a las frutas y vegetales frescos pero pelados, cortados y empacados deben cumplir igualmente con ausencia de los anteriores microorganismos mencionados como también de *L. monocytogenes*.

La carga de microorganismos aerobios mesófilos y mohos y levaduras no se encuentra regulada a nivel nacional. Sin embargo, este tipo de microorganismos están directamente relacionados con la calidad microbiológica y son importantes en pérdidas de producto. La Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994 (1995), especifica que para ensaladas verdes o crudas el recuento total aerobio mesófilo (RTA) debe ser menos de 100 000 UFC/g.

En cuanto al recuento de coliformes totales y el indicador *E. coli*, tampoco se encuentran nacionalmente regulados para zanahoria (a excepción del patógeno *E. coli* O157:H7). No obstante, para el caso de los coliformes totales la Norma Oficial Mexicana establece que el conteo en ensaladas verdes y crudas debe ser menor a 100 UFC/g.

3.5. Evaluación de prácticas de cultivo en finca

La implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) durante la producción o en procesos poscosecha es de inmensa importancia para asegurar la producción de alimentos inocuos. FAO define BPA como la aplicación de conocimientos disponibles para abordar la sostenibilidad medioambiental, económica y social de los procesos de producción y poscosecha, que dan lugar a la producción de productos agrícolas alimentarios y no alimentarios, inocuos y saludables (Somasundaram et al., 2021).

Las BPA son prácticas que deben aplicarse en la finca para asegurar alimentos inocuos durante las etapas de preproducción, producción, cosecha y poscosecha. En muchos casos estas prácticas también contribuyen a proteger el medio ambiente y la seguridad de los trabajadores (Somasundaram et al., 2021).

El concepto de BPA ha sido promovido por el compromiso y las preocupaciones de partes interesadas en la seguridad alimentaria y en la producción de alimentos inocuos, como gobiernos, industria de alimentos y sus distribuidores, agricultores y consumidores (Somasundaram et al., 2021).

FDA publicó en 1998 la guía llamada “*Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards for Fresh Fruits and Vegetables*” la cual indica cómo minimizar los peligros microbiológicos en frutas y vegetales y aborda aspectos relacionados con Buenas Prácticas Agrícolas, entre otros relacionados con cultivo, cosecha y poscosecha de frutas y vegetales. Aunque este documento no tiene peso regulatorio y jurídico, su aplicación debida requiere que los agricultores tomen pasos prudentes hacia la prevención de la contaminación de los alimentos (Sapers et al. 2006). Posteriormente, en el año 2011, la FDA también decretó la ley llamada “*Food Safety Modernization Act*” (FSMA por sus siglas en inglés), una ley que apunta a la prevención de las enfermedades transmitidas por alimentos causadas por la contaminación durante su producción (FDA, 2011).

Dentro de las guías relacionadas con la implementación de esta ley se encuentra el documento *Estándares para el cultivo, cosecha, empaque y almacenamiento de los productos agrícolas frescos para el consumo humano*, el cual se refiere a lo relacionado con aspectos mínimos que deben cumplirse para garantizar la inocuidad de frutas y vegetales. Estos estándares incluyen aspectos relacionados con: agua de uso agrícola, capacitación y cualificación del personal, uso de mejoradores biológicos, edificios, equipo y herramientas, salud e higiene de los colaboradores, entre otros. Las características indicadas en estos estándares deben cumplirse para disminuir el riesgo de contaminación de los productos frescos y asegurar su inocuidad (FDA, 2015).

Por otro lado, Codex Alimentarius publica periódicamente códigos, reglamentos y guías que contribuyen a la producción de alimentos inocuos, como por ejemplo la guía llamada “*Guidelines for the Production, Processing, Labelling and Marketing of Organically Produced Food*” la cual se refiere a prácticas que deben seguirse en la producción de alimentos orgánicos donde también se abordan aspectos relacionados con cultivo, cosecha y poscosecha (FAO/WHO, 1999)

A nivel nacional, el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, ha publicado el Reglamento de Agricultura Orgánica N°29782-MAG, que establece directrices para regular, elaborar y comercializar productos agrícolas orgánicos (MAG, 1997).

Todos los documentos anteriores definen estándares mínimos en cuanto a diferentes áreas, los cuales se describirán brevemente a continuación.

Una buena capacitación y cualificación de los colaboradores en la finca referente a prácticas de manipulación sanitaria de los alimentos es esencial en la reducción del riesgo de contaminación por parte de estos. Es importante realizar este tipo de capacitaciones en lenguaje que los colaboradores sean capaces de entender e interiorizar, así como que la periodicidad sea idónea, puesto que muchos de estos empleados pueden ser trabajadores temporales y la inserción de nuevos empleados es frecuente (Sapers et al., 2006).

La capacitación de los trabajadores está directamente relacionada con la salud e higiene de los colaboradores de la finca, otro aspecto importante descrito en las guías anteriormente mencionadas, ya que los trabajadores deben ser conscientes del impacto sobre la inocuidad de los alimentos que tienen las buenas prácticas de higiene tales como el lavado de manos, limpieza de zapatos o botas a la hora de entrar a zonas de empaque, plantas de producción, bodegas, entre otros. De igual manera, los colaboradores deben también abstenerse de presentarse al trabajo si su salud se encuentra afectada. Por su parte, el empleador debe proveer estaciones de lavado de manos y servicios sanitarios apropiados, higiénicos y bien mantenidos (Sapers et al., 2006; Somasundaram et al., 2021).

Como uno de los insumos más importantes en la producción de frutas y vegetales se encuentra el agua de uso agrícola., Esta debe estar libre de patógenos y residuos de agroquímicos. El agua superficial, por otro lado, debe ser analizada en un laboratorio, frecuentemente o cuando sea necesario. El agua que sea recolectada en un tanque para uso posterior, puede ser tratada o filtrada para disminuir la carga microbiana y aumentar la calidad de la misma (Somasundaram et al., 2021). Igualmente, debe ser mantenida aislada o separada de posibles contaminantes externos, como animales salvajes y plagas (FDA, 2015).

En Costa Rica el agua para uso de riego agrícola se encuentra regulada por el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud, 2007). Tanto la inocuidad biológica y química del agua de riego se ve regulada por el estado. Biológicamente se establece un límite para Número más probable (NMP) de coliformes totales en el agua de riesgo. En cuanto a la inocuidad química, parámetros como metales pesados, demanda química de oxígeno, sumatoria de compuestos organoclorados y organofosforados son los que se encuentran limitados y regulados por el reglamento. La inocuidad química en el agua utilizada para el riego es gran relevancia para la salud pública y en el mantenimiento de ecosistemas.

El manejo adecuado de mejoradores biológicos es otro aspecto primordial en la disminución del riesgo de contaminación causado, por el mismo mejorador, a los productos agrícolas. Es obligatorio un buen compostaje de mejoradores del suelo, especialmente cuando

se utiliza estiércol animal. Esto se realiza con el objetivo de disminuir la carga de patógenos microbiológicos que puedan encontrarse presentes en los residuos. Para esto se requiere aumentar la temperatura e insertar aire al montículo de residuos hasta un mínimo de temperatura por una cantidad de tiempo específica. Una temperatura de al menos 56°C es suficiente para eliminar un 99% o más de *E. coli*, estreptococos fecales y *Salmonella* spp. (Birkett et al., 2018). Es importante también, almacenar, transportar y manipular cualquier mejorador de manera que no se convierta en una fuente de contaminación (FDA, 2015).

Por último, el equipo y herramientas así como los edificios relacionados con la producción de los alimentos deben cumplir con ciertos requisitos que disminuyan el riesgo de contaminación. Los equipos y herramientas deben tener un diseño y ser de un material que permitan su limpieza y mantenimiento apropiado, se deben almacenar en lugares lejos de posibles fuentes de contaminación como animales salvajes, animales domésticos, otros insumos agrícolas y plagas. De ser posible, el diseño de los edificios y su construcción en general deben reducir el potencial de contaminación, por ejemplo, que cuente con un drenaje adecuado que evite el estancamiento de líquidos, evitar aristas pronunciadas y zonas de difícil acceso para la limpieza y desinfección y que prevengan de posibles fuentes de contaminación externos fuera de los productos agrícolas así como ser de diseño y materiales que permitan su mantenimiento y limpieza (FDA, 2015).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo con zanahorias cultivadas en una finca de cultivo orgánico ubicada en Zarcero, Alajuela y una finca de cultivo convencional ubicada en Alvarado de Cartago. La recopilación de información para la comparación entre fincas y la toma de muestras se realizó en giras a las respectivas fincas. Las pruebas microbiológicas se realizaron en el Laboratorio de Microbiología del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) de la Universidad de Costa Rica. Los procesos poscosecha de lavado, desinfección y almacenamiento se realizaron en la Planta Piloto del CITA.

4.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y MUESTREO

4.2.1. Evaluación sobre condiciones de cultivo y cosecha de las zanahorias

Se realizó una herramienta de diagnóstico con la que se evaluaron las condiciones de cultivo y cosecha de las dos fincas visitadas. Esta herramienta se construyó a partir de lo encontrado en búsquedas bibliográficas que incluyen el Reglamento de Agricultura Orgánica N°29782-MAG, *Guidelines for the Production, Processing, Labelling and Marketing of Organically Produced Food* por Codex Alimentarius (1999), *Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards of Fresh Fruits and Vegetables* (1998) y la Norma de Inocuidad de los Productos Agrícolas Frescos de Food Safety Modernization Act (FSMA) (2015) de la FDA. El diagnóstico incluyó ítems de evaluación, relacionados con la inocuidad microbiológica que se refieran a características que deben cumplirse en seis diferentes áreas: capacitación y calificación del personal, salud e higiene del personal, agua de uso agrícola, uso de mejoradores del suelo de origen animal y desechos humanos, equipo y herramientas y edificios. Es importante recalcar que estas normas previenen o establecen directrices para evitar contaminación microbiológica y no de otras posibles fuentes, como la contaminación con productos químicos. Para evaluar cada ítem se utilizó una escala numérica de 1 a 5, donde 1 corresponde a la peor condición y 5 a la mejor condición, acorde con el estándar establecido por la herramienta para el correspondiente ítem que se analiza. Además, cuando fue requerido, se asignaron puntajes intermedios si se cumplían los aspectos evaluados de forma parcial. Para los resultados, se obtuvo una calificación promedio para cada una de las áreas en las dos fincas, que luego fueron representadas por un gráfico radial.

Adicionalmente, cabe destacar que los datos generados en este diagnóstico se utilizaron para explicar los resultados obtenidos en el segundo objetivo de este proyecto que se refiere a indicadores microbiológicos de inocuidad y calidad. Esto permitió analizar los resultados con base en diferencias detectadas entre las fincas y establecer posibles hipótesis cuando las diferencias se debieron a prácticas convencionales vs orgánicas, en dichas fincas.

4.2.2. Muestreo de zanahorias cultivadas bajo agricultura orgánica y convencional.

El muestreo de zanahorias se llevó a cabo en las respectivas fincas de cultivo orgánico y convencional. Para la finca orgánica, se tomaron zanahorias de diferentes puntos al azar de las hileras donde se tenían estas hortalizas sembradas y que estuvieran listas para su cosecha. La finca convencional tenía una configuración distinta, con varios “lotes” en la misma zona de cultivo. Este término se usaba en esta finca con el objetivo de distinguir las áreas sembradas según su etapa en el cultivo. Se tomaron las zanahorias de entre los lotes que se encontraban listos para cosecha, asegurando tomar al menos una zanahoria de cada lote. Las zanahorias se tomaron con guantes por las hojas que se encontraban fuera de la tierra y la raíz carnosa nunca fue tocada, para así evitar agregar microorganismos externos. Se colocaron en bolsas para alimentos y fueron llevadas al laboratorio donde inmediatamente se iniciaron los análisis microbiológicos.

4.2.3. Muestreo de zanahorias de agricultura orgánica tratadas en poscosecha para mercado local y zanahorias tratadas para mercado de exportación

En la planta empacadora se realizan dos procesos distintos a las zanahorias según dónde sea el mercado destino (local o de exportación). Para el mercado local las zanahorias son lavadas solamente, mientras que las zanahorias para mercado de exportación son lavadas y desinfectadas. Adicionalmente, el almacenamiento del producto también varía según el mercado destino; las zanahorias para mercado local, al ser comercializadas rápidamente, se almacenan a temperatura ambiente, mientras que las zanahorias para mercado de exportación se almacenan en temperaturas de refrigeración para asegurar una mayor calidad y menor deterioro durante su transporte al destino correspondiente.

Para evaluar la calidad microbiológica de la zanahoria proveniente de las fincas y sometida a cada proceso en la planta empacadora, se simularon las condiciones de esta planta

en la Planta Piloto del CITA. Para esto, tres zanahorias recién cosechadas sirvieron como muestra inicial, de estas zanahorias se tomó una muestra de 25 g para análisis microbiológico lo que representó la condición en que ingresaron a la planta empacadora desde la finca. El producto sobrante fue sometido a lavado y, posterior a esto, se tomó una muestra de 25 g para análisis microbiológicos, esto para asegurar que el resultado de los recuentos no cambie de una zanahoria a otra. El resto de estas zanahorias fue dividido en dos partes para procesarlas según el mercado destino de manera que la parte destinada al mercado de exportación fue desinfectada y almacenada en refrigeración y se muestrearon 25 g luego de la desinfección y posterior al almacenamiento para realizar el análisis microbiológico correspondiente después de cada etapa. La otra parte de la muestra, destinada al mercado local, fue almacenada a temperatura ambiente y se tomó una muestra de 25 g luego del almacenamiento para su análisis. El proceso se muestra gráficamente en la figura 2.

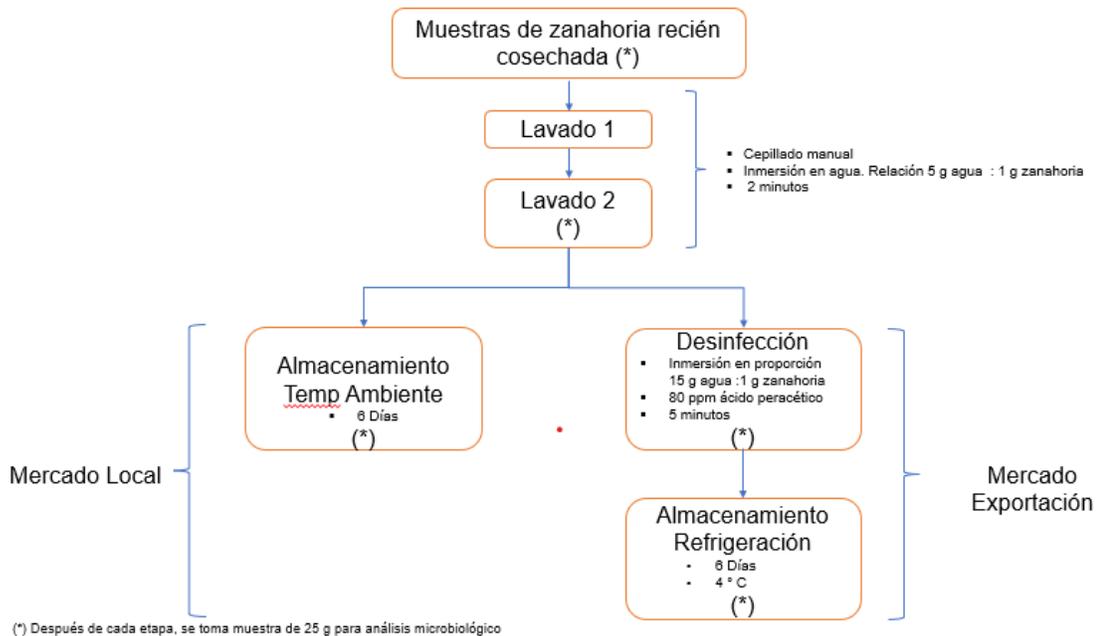


Figura 2. Diagrama de proceso poscosecha y muestreo de zanahoria para análisis microbiológico, para zanahorias orgánicas destinadas a mercado local y de exportación.

4.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Para la comparación de zanahorias de cultivo orgánico y convencional se realizaron análisis de recuento total aerobio mesófilo, recuento de mohos y levaduras, recuento de coliformes totales, recuento de *E. coli* y ausencia/presencia de *L. monocytogenes*. Para las zanahorias orgánicas tratadas para mercado local y de exportación se realizaron análisis de recuento total aerobio mesófilo y recuento de mohos y levaduras. Para los distintos análisis se utilizaron 25 g de muestra, que se tomaron de forma aleatoria y representativa de tres zanahorias (unidad experimental).

4.3.1. Recuento total aerobio mesófilo

Se determinó el recuento total aerobio mesófilo siguiendo el método oficial descrito por el procedimiento P-SA-MM-001 del CITA el cual se basa en la Norma Oficial Mexicana para la Cuenta de Bacterias Aerobias en Placa.

4.3.2. Recuento de mohos y levaduras

Se determinó el recuento de mohos y levaduras siguiendo el método oficial descrito por el procedimiento P-SA-MM-007 del CITA el cual se basa en la Norma Oficial Mexicana para la Cuenta de Mohos y Levaduras en Alimentos.

4.3.3. Recuento de coliformes totales y *E. coli*

Se determinó el recuento de coliformes totales y *E. coli* siguiendo el método descrito por el método oficial de la AOAC 991.14 (2005) "Conteo de coliformes y *E. coli* en alimentos" por medio de la técnica de Petrifilm.

4.3.4. Análisis de *Listeria monocytogenes*

Se determinó la presencia de *L. monocytogenes* en zanahoria siguiendo el método oficial descrito en "Methods for Specific Pathogens" por el manual de la FDA (1998), "Bacteriological Analytical Manual" (BAM) en el capítulo 10. Como confirmación bioquímica se realizó el test *Listeria* API®, el cual permite confirmar la presencia de *Listeria monocytogenes* así como identificar otras especies de *Listeria* sp. presentes

4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.4.1 Comparación de la calidad microbiológica de zanahoria cultivada en agricultura orgánica y en agricultura convencional.

Para evaluar la calidad microbiológica de las zanahorias producidas en agricultura orgánica y agricultura convencional, se utilizó un diseño de bloques al azar. Las variables respuesta fueron: recuento total aerobio, recuento de mohos y levaduras, recuento de coliformes totales, recuento de *E. coli* y la presencia o ausencia de *L. monocytogenes*. Se realizaron tres repeticiones independientes del experimento (factor bloque), cada una de ellas representadas por los muestreos efectuados durante las visitas a las fincas.

Para el análisis estadístico, en el caso de los recuentos, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar si existen diferencias en los recuentos entre la zanahoria producida orgánicamente y la zanahoria producida convencionalmente. En el caso de la ausencia/presencia de *L. monocytogenes* se realizó una regresión logística para determinar significancia y el resultado se analizó con razones de ventaja.

En este y posteriores objetivos se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y con el paquete estadístico JMP. Para efectos no significativos se reportó la potencia de la prueba.

4.4.2. Comparación de la calidad microbiológica de zanahoria orgánica tratada en poscosecha para mercado local y mercado de exportación

Para evaluar la calidad microbiológica de las zanahorias tratadas en poscosecha para mercado local y mercado de exportación se realizó un diseño de bloques al azar. La variable respuesta fue la reducción logarítmica lograda con los tratamientos poscosecha, del recuento aerobio y del recuento de mohos y levaduras. Se escogieron estos dos indicadores ya que, en el segundo objetivo del proyecto, estos fueron los indicadores que mostraron un crecimiento suficiente para observar reducciones logarítmicas gracias a los tratamientos.

Se realizaron tres repeticiones independientes del experimento, representadas cada una de ellas por la recolección de los zanahorias en la finca de producción orgánica y su posterior proceso de lavado/desinfección y almacenamiento que se realizó en la Planta Piloto del CITA.

Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar si existían diferencias en los recuentos entre las zanahorias tratadas en poscosecha como mercado local (lavado y almacenamiento a temperatura ambiente) y las zanahorias tratadas en

poscosecha como mercado de exportación (lavado con desinfección y almacenamiento en refrigeración).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha de zanahorias en dos fincas (orgánica y convencional), mediante una herramienta de diagnóstico.

Se hizo uso de la herramienta creada para hacer un diagnóstico y evaluar las condiciones de trabajo en cada finca visitada. Esta herramienta contempla las principales operaciones que son fuentes de riesgo microbiológico y se consideraron aquellas que han sido investigadas como responsables de los problemas relacionados con la inocuidad y al deterioro de las frutas y los vegetales desde las primeras etapas del cultivo hasta su procesamiento en la planta empacadora (Gorny, 2006).

De la aplicación de la herramienta diagnóstico en las dos fincas, se obtuvo el gráfico representado en la figura 3. Se observa que las calificaciones para los parámetros evaluados, para ambas fincas, son similares. Esto es consistente con los resultados microbiológicos obtenidos que se presentan y discuten en la siguiente sección (5.2).

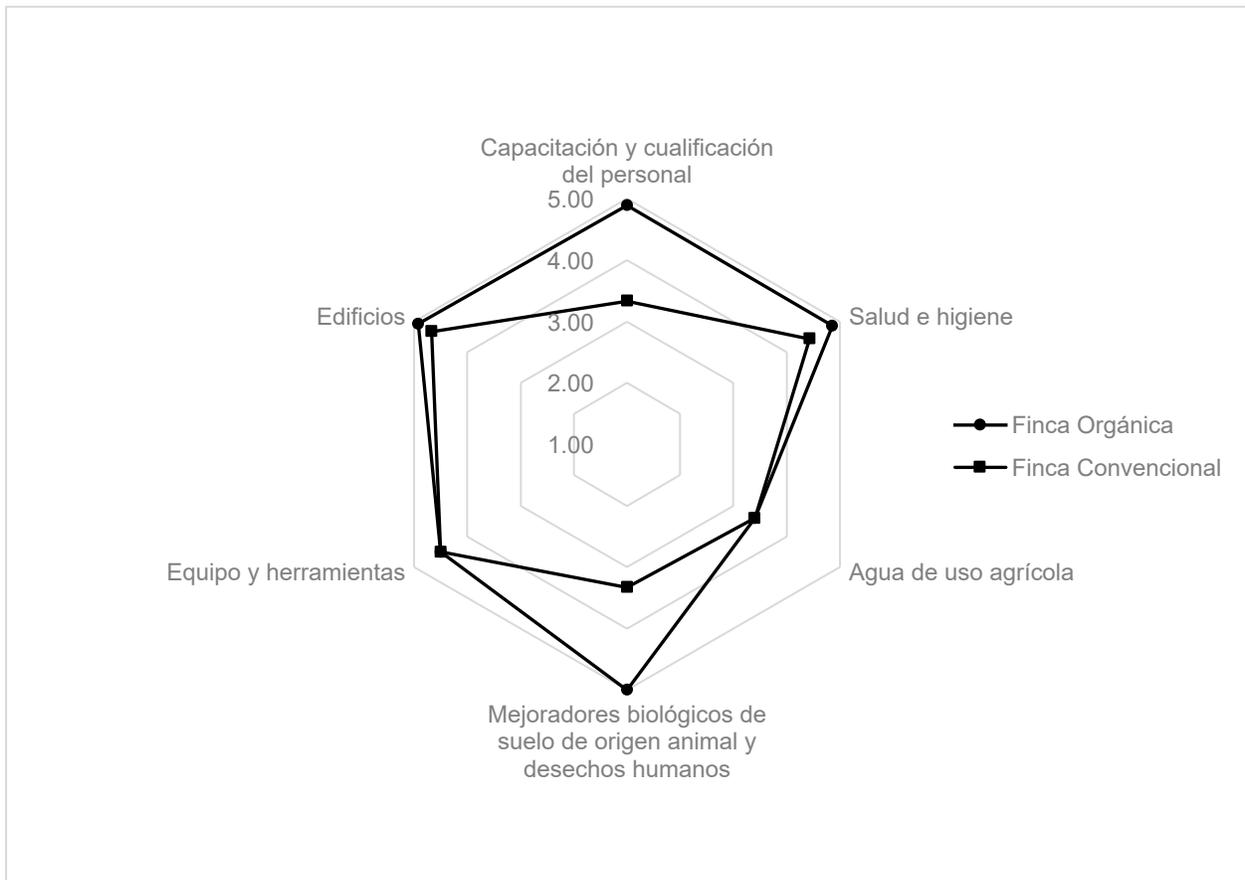


Figura 3. Gráfico radial comparativo de las condiciones de cultivo y cosecha de zanahoria en una finca de producción convencional y una finca de producción orgánica.

Esta evaluación no pretendía convertirse en una auditoría, es la percepción obtenida durante las visitas realizadas al campo en cada una de las fincas y las observaciones realizadas en cada etapa del proceso de cosecha. Tampoco se pretende extrapolar estas observaciones a las condiciones generales con que se trabaja en las fincas de producción convencional y orgánicas del país, se trata de observaciones puntuales en el momento de las visitas y que recogen la percepción personal del autor en ese momento.

Por tratarse de un proceso en el que tienen que observarse el uso y aplicación de productos específicos durante el cultivo y cuidado de la zanahoria, la inducción del personal en las fincas de producción orgánica requiere un mayor seguimiento que en la finca de producción convencional. El personal debe entender y mantener el propósito de las fincas de producción orgánica para que de esta se produzcan zanahorias que sean, no solo percibidas como de origen orgánico, sino que el proceso pueda confirmarse en una eventual búsqueda de la certificación

para la exportación o para la venta a establecimientos que requieran un sello de esta índole. Aspectos en la herramienta tales como la capacitación al ingreso y la repetición cada cierto tiempo al mismo personal, la interiorización del concepto de producción orgánica por parte del personal contratado y el concepto de contaminación en finca, marcan la diferencia entre los procesos de una finca y otra. En el caso de la finca convencional, con una calificación de 3,33 en este aspecto en contraste con el 4,89 obtenido por la finca orgánica, los procesos son más genéricos y conocidos por la mayoría del personal contratado, sea este personal nuevo o que provenga de otra finca en que se realicen las mismas prácticas de cultivo.

Si bien las prácticas de atención a la salud y la higiene del personal son bastante similares en las labores de campo tanto en la finca orgánica como en la convencional, la diferencia más marcada se manifiesta con el personal que labora en las instalaciones poscosecha de la finca orgánica. En esta, existe un mayor énfasis en la prevención y exposición de las zanahorias a posibles fuentes de contaminación por enfermedades o por falta de cuidado personal por parte de los trabajadores de planta. No obstante, el personal es instruido a no presentarse en condiciones de salud que pudieran significar un riesgo tanto para el resto del personal como para el producto. El excluir una persona con síntomas de enfermedad o con sospecha de tenerla es el indicador que marca la mayor diferencia entre la finca orgánica y la finca convencional las cuales obtuvieron una puntuación de 4,86 y 4,43 respectivamente.

En el aspecto de agua de uso agrícola, ambas fincas utilizan agua de riego, tanto de alcantarillado público, como proveniente de ríos. El agua de río utilizada no lleva ningún tratamiento en ninguna de las dos fincas. Además, al recolectar el agua y contenerla en canales o tanques, esta suele estar descubierta, expuesta a contaminantes externos como animales, insectos y aire. Ambas fincas obtuvieron una calificación de 3,40.

Los pesticidas, sales y metales son de los contaminantes más frecuentes encontrados en el agua. La presencia de este tipo de contaminantes en el suelo puede afectar la salud humana, así como también la biodiversidad al provocar la muerte de plantas e insectos. En el mundo, las intoxicaciones agudas con pesticidas causan una significativa morbilidad y mortalidad humana (Mateo-Sagasta et al., 2017). Es por esto que la inocuidad química del agua resulta tan importante de monitorear, tanto como su inocuidad microbiológica. En Costa Rica la cantidad de estos contaminantes que pueden estar presentes en agua de riego es regulada por el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud, 2007). Al seguir y respetar los límites de los parámetros establecidos en este reglamento se vela porque el agua utilizada en el riego de

hortalizas no incida negativamente sobre la salud humana o el recurso hídrico nacional. Al hablar de inocuidad del agua, es importante considerar tanto los riesgos microbiológicos que pueden estar presentes como los riesgos químicos.

Dentro de las maneras en las que ambas fincas pueden mejorar en el aspecto de agua de riego, se encuentra la estrategia para el control de la calidad microbiológica del agua, la cual consiste en el tratamiento del agua durante su almacenamiento. Igualmente, se recomienda, con el objetivo de disminuir el riesgo de entrada de patógenos a fuentes de agua de riego, el aislamiento de tanques de almacenamiento de la vida salvaje en el ambiente, que pueden significar hasta una mayor fuente de contaminación que la presencia de animales domésticos presentes en las fincas (Pachepsky et al., 2011). Existen, también, métodos para la eliminación de pesticidas. Entre estos se encuentran los tratamientos con ozono, extracción de fluidos, extracción de fase sólida, degradación fotocatalítica, adsorción, filtración y sedimentación. No obstante, estos métodos de descontaminación del agua usualmente tienen un alto costo de operación y también crean oportunidades de formación de contaminantes secundarios, como lodos. Esto prioriza, entonces, la responsabilidad colectiva de los productores agrícolas de disminuir el riesgo de contaminación del agua de este tipo de productos. Esto se puede realizar con la disminución o eliminación del uso pesticidas químicos y no aplicar este tipo de productos anterior a una lluvia, ya que pueden ser arrastrados a fuentes de agua superficiales fácilmente (Subhadarsini Pradhan et al., 2022).

Por otro lado, el parámetro de mejoradores biológicos de suelo, muestra la segunda diferencia más grande entre los parámetros evaluados, en virtud de que las fincas de producción orgánica deben tener especial cuidado en el manejo de estos insumos, a diferencia de la finca de producción convencional que utiliza o no estos productos dependiendo de la disponibilidad, ya que a veces utilizan abono que el encargado de la finca realiza en casa en una compostera, o que vecinos decidan regalar. Esto hace que se pierda control del proceso estricto de compostaje necesario para asegurar la inocuidad de este. Esto no sucede en la finca orgánica. En este caso, el mejorador biológico recibe el tratamiento propio para la elaboración de compost aeróbico, se realizan los volteos requeridos y se manifiesta la existencia de un control de temperatura y maduración adecuado del material. Por esta razón, la finca orgánica obtuvo una calificación de 5,00, mientras que la de la finca convencional fue de 3,33. Si bien los desechos biológicos son utilizados en ambas fincas, la principal diferencia entre una y otra se manifiesta en la forma de tratarlos previo a su aplicación en el campo y a los controles asociados con este proceso.

Aunque el uso de abono orgánico tenga beneficios para el suelo, el cultivo y el medio ambiente, en el caso de la finca convencional, su uso debería verse restringido ya que el uso de estos aumenta el riesgo de contaminación microbiana de las plantas (Szczzech et al., 2018). Este riesgo se puede ver incrementado ante la falta de control y estandarización del proceso de compostaje. La finca convencional podría implementar, un sistema de compostaje debidamente controlado, que permita el uso de estos abonos como mejoradores en su cultivo sin comprometer la inocuidad de su producto sembrado.

No existe mayor diferencia entre el aspecto de equipo y herramientas y edificios utilizados entre la finca orgánica (calificación: 4,92) y la de producción convencional (calificación: 4,67). Para el caso del equipo y herramientas ambas fincas puntuaron 4,50. Las fincas deben estar sometidas a la consideración de las autoridades sanitarias del estado, deben encontrarse acorde con los lineamientos establecidos por la ley, por lo que es un aspecto relativamente estandarizado para cualquier tipo de finca. La mayor diferencia observada es que en la finca orgánica mantienen gatos viviendo ahí para el control de plagas como ratones, lo cual se debe evitar. Sin embargo, la finca convencional es un terreno abierto donde cualquier persona o animal puede tener acceso.

5.2 Comparación de la calidad microbiológica de zanahoria cultivada en una finca orgánica y una finca convencional

En el cuadro I se muestran los resultados obtenidos al analizar las muestras de zanahoria de la finca orgánica y la finca convencional estudiadas.

Cuadro I. Comparación de los recuentos totales aerobio, recuento de mohos y levaduras, recuento de coliformes totales y *E. coli* y de los resultados de ausencia/presencia de *L. monocytogenes*, obtenidos al evaluar zanahorias cultivadas bajo sistemas orgánico y convencional.

Finca	RTA (log UFC/g)	RML (log UFC/g)	Coliformes totales (log UFC/g)	<i>E. coli</i> (log UFC/g)	<i>L. monocytogenes</i> (ausencia/presencia en 25 g)
Convencional	3,4 ± 0,5 ^a	3,0 ± 0,7 ^a	2,5 ± 0,4 ^a	<10	Ausencia
Orgánica	3,9 ± 0,5 ^a	2,6 ± 0,6 ^a	2,7 ± 0,1 ^a	<10	Ausencia

Recuentos con letras diferentes en cada columna son diferentes entre sí (p<0,05).

Según lo observado en los resultados del cuadro I, no existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los recuentos de las zanahorias cultivadas orgánicamente y convencionalmente. Los resultados del análisis estadístico y las potencias de prueba son para RTA ($p = 0,2448$, $1-\beta = 0,9786$), para RML ($p = 0,4384$, $1-\beta = 0,8478$) y para coliformes totales ($p = 0,3148$, $1-\beta = 1,000$).

En un estudio realizado en Malasia por Kuan y colaboradores (2017) donde se compararon los recuentos de bacterias aerobias mesófilas de zanahorias orgánicas y convencionales se obtuvo diferencias significativas, encontrando un mayor recuento de estas bacterias en las zanahorias orgánicas. Estos resultados discrepan de los obtenidos en este análisis (cuadro I) donde el RTA de las zanahorias provenientes de cada finca no tuvieron diferencias significativas.

Se sabe igualmente, que los cultivos de raíces como la papa, remolacha, camote y zanahoria, están cubiertos por microorganismos del suelo a la hora de cosecharlos (Gupta, 2008). Tiwari y colaboradores (2021) explican cómo el tipo de sistema de agricultura afecta la diversidad microbiológica del suelo. La agricultura orgánica tiene como objetivo reponer y mantener el balance ecológico. Por otro lado, con la agricultura convencional como consecuencia del uso de pesticidas y productos químicos sintéticos para la protección del cultivo, podría cambiar las comunidades microbiológicas del suelo. Este tipo de comportamiento se observa también en estudios anteriores donde frutas y vegetales crecidos bajo un sistema con nulo o bajo nivel de pesticidas, pueden estar contaminados con una población microbiológica mayor, ya que se ha encontrado un efecto inhibitor del crecimiento de algunos microorganismos debido a estos productos químicos (Kuan *et al.*, 2017). Los microorganismos a los que las superficies de las plantas están expuestas pueden provenir desde la semilla, hasta el primer contacto de la planta con el suelo, agua de riego y aire (Mandrell *et al.*, 2006). Al ser la microbiota del suelo tan dependiente de sus condiciones ambientales y prácticas de cultivo (Tiwari *et al.*, 2021), los recuentos encontrados en la presente investigación no confirman si las diferencias o similitudes en el recuento total aerobio mesófilo de las zanahorias de estas fincas dependen exclusivamente del tipo de sistema en el que están siendo producidas.

De manera similar a este estudio de dos fincas en Costa Rica, Kuan y colaboradores (2017) no encontraron diferencias significativas en los RTA de 9 de 12 tipos de vegetales crecidos tanto orgánicamente como convencionalmente.

Los resultados de RTA obtenidos demuestran que las zanahorias provenientes de ambas fincas se encuentran dentro de los límites de calidad sanitaria para ensaladas verdes o crudas establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994 (1995), el cual debe

encontrarse menor a los 5 log UFC/g. En general, no hay normativa costarricense o centroamericana que incluya el recuento total aerobio mesófilo para vegetales frescos, por lo que no se encontró otro parámetro regulatorio con el cual puedan compararse estos resultados.

En cuanto al recuento de mohos y levaduras, no se observan diferencias entre los recuentos de las zanahorias de ambas fincas (cuadro I). Estos resultados coinciden con estudios realizados en Polonia y Malasia, donde, los recuentos de mohos y levaduras en zanahoria cultivada bajo ambos sistemas no tuvieron diferencias significativas entre ellos (Kuan *et al.*, 2017; Szczech *et al.*, 2018).

Se puede observar también (cuadro I) que los recuentos de mohos y levaduras son de magnitud similar al compararlos con los recuentos totales aerobios, para ambas fincas, aunque un poco menores al ver el límite inferior del intervalo de confianza de cada uno. Esto coincide con lo encontrado en estudios anteriores, donde la cantidad de mohos y levaduras tiende a ser menor que las bacterias mesófilas para frutas y vegetales (Kuan *et al.*, 2017; Szczech *et al.*, 2018) y con lo explicado por García y Heredia (2020) que indican que las bacterias son los microorganismos predominantes en frutas y vegetales, con una menor proporción de mohos y levaduras presentes.

El proceso de compostaje en la finca orgánica es un proceso riguroso y estricto, se tiene especial cuidado de alcanzar las temperaturas y hacer los volteos correspondientes. Al no haber un aumento en el RML de las zanahorias orgánicas en comparación con los de la zanahoria convencional, se puede inferir que el mejorador biológico (siempre y cuando este se composte apropiadamente) no introduce mohos y levaduras a la microbiota del suelo o del vegetal. Esto es un factor importante ya que se sabe que los mohos y levaduras son el tipo de microorganismos más importante en el deterioro y pérdidas de productos agrícolas frescos (Bhardwaj *et al.*, 2022).

En el estudio realizado en Polonia (Szczech *et al.*, 2018), para mohos y levaduras se obtuvo para ambos tipos de cultivo de zanahorias una carga de 4 a 5 log UFC/g. En el estudio realizado en Malasia se obtuvo recuentos de 5,59 y 6,03 log UFC/g para zanahorias convencionales y orgánicas respectivamente (Kuan *et al.*, 2017). Las zanahorias analizadas en este estudio no alcanzan recuentos de mohos y levaduras tan altos como los encontrados en Polonia y Malasia. Esto es una ventaja de las zanahorias analizadas en estas fincas de Costa Rica, ya que como se mencionó anteriormente, recuentos altos de mohos y levaduras correlacionan con deterioro microbiológico de vegetales.

En cuanto a los recuentos de coliformes totales, se observa que no existen diferencias significativas entre las zanahorias cultivadas bajo ambos sistemas (cuadro I). Al no haber diferencias en estos recuentos se demuestra que la calidad higiénica de los vegetales en ambas

fincas es similar (Szczzech et al., 2018). Estos vegetales, sin embargo, se encuentran fuera de los límites de calidad establecidos por la Norma Oficial Mexicana, ya que esta establece que los recuentos se deben encontrar por debajo de 100 UFC/g. No obstante, esta norma especifica estos límites para ensaladas verdes o crudas, las cuales pudieron haber llevado procesos donde la carga de microorganismos se disminuyó, a diferencia de las zanahorias sin lavar y desinfectar analizadas en este estudio.

En el estudio en Polonia el recuento de coliformes totales no tuvo diferencias significativas entre las zanahorias orgánicas y convencionales. Igualmente, comparando con lo obtenido en este estudio, las zanahorias en Polonia obtuvieron menores recuentos de coliformes totales, con promedios cercanos a los 1,5 log UFC/g y 1,7 log UFC/g para zanahoria orgánica y convencional (Szczzech et al., 2018).

Por el contrario, los estudios realizados en Malasia obtuvieron recuentos significativamente distintos entre ambos tipos de zanahoria y mayores a ambos estudios anteriormente mencionados, con 4,22 log UFC/g para zanahoria convencional y 5,62 log UFC/g para zanahorias de tipo orgánico.

Khadka y colaboradores (2017) especifican que el recuento de coliformes totales para hortalizas frescas, debe encontrarse en menos de 4 log UFC/g para su consumo. No obstante, también indican que la mayoría de estos microorganismos son introducidos en etapas de cadena de suministro y en la manipulación poscosecha, no necesariamente en la etapa de cultivo, como las muestras que se tomaron en esta investigación (Khadka et al., 2017). Por esta razón, las zanahorias analizadas cumplen con este estándar de calidad, aunque se debe tener especial cuidado durante sus respectivos procesos poscosecha, ya que, durante estas etapas, es cuando su calidad microbiológica puede verse comprometida.

Como se mencionó anteriormente *E. coli* se encuentra incluido dentro del grupo de coliformes totales y coliformes termotolerantes y se usa como indicador de contaminación fecal. Su presencia en alimentos alerta sobre la potencial existencia de patógenos entéricos como *E. coli* O157:H7 o *Salmonella* sp. (da Silva et al., 2018). En ninguna de las muestras analizadas se detectó *E. coli*, por consiguiente, es probable que estas muestras tampoco tengan presencia de *E. coli* O157:H7 o *Salmonella* sp., cumpliendo con el estándar establecido en el RTCA 67.04.50:17, "Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos" (2017), el cual exige ausencia de estos microorganismos. Sin embargo, para poder afirmar lo anterior, deben realizarse los análisis de cada uno de los patógenos mencionados.

Al no encontrarse *E. coli* en las muestras de zanahoria orgánica, de acuerdo con el límite de detección de la técnica de recuento utilizada, se reafirma lo evaluado en el primer objetivo de

este estudio, donde se observó que el proceso de compostaje para los mejoradores biológicos conlleva volteos y controles de temperatura muy estrictos, los cuales ayudan a la eliminación de microorganismos que pueden ser introducidos vía estiércol de animales, en este caso, gallinaza. Este resultado permite relacionar el proceso de compostaje realizado en la finca con una buena calidad sanitaria y por ende la producción de zanahorias de buena calidad microbiológica en cuanto a los indicadores estudiados.

En el primer objetivo de este estudio, al evaluar aspectos relacionados con la producción de zanahoria en cada una de las fincas, se encontró que en la mayoría de aspectos no existe diferencia entre las fincas evaluadas, a excepción de capacitación del personal y sobre el uso de mejoradores biológicos. Esto se ve demostrado en los resultados obtenidos en este objetivo, donde los recuentos no fueron significativamente diferentes entre sí para cada finca. No obstante, gran parte de esta similitud entre fincas se puede deber a la naturaleza de la hortaliza analizada y la manera en la que esta es producida.

Por ejemplo, al ser una hortaliza que crece bajo tierra, aspectos como la salud e higiene del personal y equipo y herramientas pueden no tener un impacto grande sobre la calidad microbiológica de la zanahoria durante su crecimiento, sino, durante su cosecha y poscosecha, que es donde existe el mayor contacto con el personal de la finca. Las zanahorias en este estudio fueron cosechadas por el analista, con precauciones especiales de no introducir microbiota externa a estas.

Por el contrario, la calidad microbiológica de la zanahoria se puede ver gravemente afectada por el agua de riego, ya que esta puede entrar en contacto directo con el suelo o con la misma hortaliza (Gorny, 2006). Este aspecto dentro de la evaluación del primer objetivo demostró que el manejo del agua de riego en ambas fincas es muy similar, por lo que la semejanza entre los recuentos de los indicadores analizados puede deberse a esto.

Este riesgo de contaminación también existe con el uso de mejoradores biológicos, los cuales, como se mencionó anteriormente, tienen una alta carga de microorganismos. La diferencia entre las fincas en este parámetro es grande. Sin embargo, esta diferencia no se vio reflejada en los indicadores analizados, especialmente en los recuentos de *E. coli*, principal organismo de preocupación en mejoradores biológicos orgánicos en este estudio. Aunque la finca convencional hace uso de mejoradores biológicos sujeto a disponibilidad, el encargado especificó que estos abonos no contienen materia fecal, sino que en su mayoría contienen desechos de cocina o de jardín, por lo que esto explica que *E. coli* no haya sido encontrado en estas zanahorias, a pesar del poco control sobre los mejoradores biológicos que se tiene en esta finca.

Cómo último análisis microbiológico, se estudió la ausencia/presencia de *L. monocytogenes*, la cual resultó ausente para ambas fincas. El compost utilizado en agricultura orgánica podría suprimir la sobrevivencia de patógenos de origen alimentario, mediante el incremento de diversidad microbiana endémica y biomasa. Los microorganismos del suelo compiten por espacio y recursos con otros patógenos y por lo tanto, puede prevenirse la persistencia de estos últimos. Como resultado, una alta diversidad de microorganismos en el suelo está relacionada con una sobrevivencia de patógenos menor (Devarajan et al., 2021).

En el estudio realizado en Malasia, el 17% de las zanahorias convencionales analizadas presentaron *Listeria* spp., además todos estos aislamientos correspondieron con *L. monocytogenes*. En su contraparte, en ninguna de las muestras de zanahorias orgánicas se encontró *Listeria* spp. (Kuan et al., 2017).

Aunque no se encontró presencia del patógeno *L. monocytogenes* en las muestras analizadas, es importante mencionar que se detectó el género *Listeria* sp. en las muestras de zanahoria de cultivo convencional y este género no se encontró presente en la zanahoria de cultivo orgánico, encontrándose diferencia significativa en los resultados de ambas fincas en cuanto a presencia de *Listeria* sp. ($p=0,0039$). Este es un resultado importante de forma práctica, ya que la presencia del género bacteriano en las zanahorias nos indica que se dan las condiciones adecuadas para su crecimiento y que, ante la presencia del microorganismo patógeno, este también podría desarrollarse.

Según Townsend et al. (2022), *Listeria* spp. ha sido aislado de varios ambientes relacionados con frutas y vegetales, desde áreas de cosecha y producción, hasta las casas del consumidor. Tanto *L. monocytogenes* como otras especies de *Listeria* spp, están comúnmente presentes en el suelo y vegetación del ambiente natural. Sin embargo, se ha reportado que *L. seeligeri* es más frecuentemente aislada de suelos en comparación con *L. innocua* y *L. monocytogenes*. Además, muestras de suelo tomadas a una profundidad de 10 centímetros mostraron significativamente menor prevalencia de *Listeria* sp. que las muestras tomadas de la superficie (Sauder et al., 2007). Al ser las zanahorias una raíz y siendo particularmente cultivada a cierta profundidad del suelo es posible que las especies de *Listeria* spp. aisladas de las muestras de la finca convencional fuera alguna de las especies de *Listeria* spp. más comunes encontradas en suelos. Esto puede explicar la presencia de bacterias del género *Listeria* spp, aunque no esté presente la especie *L. monocytogenes*.

La presencia de *Listeria* spp. en el suelo es bastante común. Liu (2008), concluyó que este género tiene una ocurrencia promedio de 20% en suelo, luego de recopilar resultados de estudios extensivos donde se analizó la presencia de este género en el suelo. Además, la

incidencia de *Listeria* spp. generalmente se incrementa con la actividad de animales y humanos (Liu, 2008).

A modo de conclusión, se puede afirmar que las zanahorias analizadas en este estudio tienen una calidad microbiológica encontrada dentro de los estándares de calidad para hortalizas frescas. Además, gracias a la ausencia de *E. coli*, puede afirmarse que no tienen contaminación fecal y que es poco probable que tengan presencia de otros patógenos entéricos tales como *E. coli* O157:H7 y *Salmonella* sp. La ausencia de *L. monocytogenes* en estas hortalizas indica que pueden considerarse inocuas en términos de este patógeno, sin embargo, la presencia de *Listeria* spp. es un aspecto que debe monitorearse e incluso mejorar, ya que, esto implica que se puede dar el crecimiento de *L. monocytogenes* bajo estas condiciones y ambiente específicos.

Por la diferencia de resultados entre estudios donde se compara la calidad microbiológica de hortalizas orgánicas y convencionales realizados previamente, se podría inferir que el tipo de prácticas asociadas a ciertos sistemas agrícolas (orgánico o convencional) no son capaces de controlar la contaminación ambiental (Chausali et al., 2021). A la misma conclusión llegaron Kuan y colaboradores (2017) que explican como independientemente de los métodos de cultivo, los productos frescos pueden ser contaminados empezando desde la etapa precosecha, por ejemplo, mediante el uso de estiércol fresco o no compostado, agua de riego, animales salvajes y plagas e insectos.

Al ser el RTA y RML los recuentos de mayor magnitud encontrados en este objetivo del estudio, se decidieron usar estos indicadores para evaluar la reducción microbiológica de prácticas poscosecha de la zanahoria, las cuales se utilizan en una planta empacadora en Costa Rica.

5.3 Comparación de la reducción microbiológica en zanahorias orgánicas para consumo local y exportación de los procesos de lavado y/o desinfección y almacenamiento, a escala de Planta Piloto

El manejo poscosecha afecta considerablemente la calidad de frutas y vegetales. La limpieza y el lavado de vegetales de raíz para quitar tierra en exceso y residuos de agroquímicos provee una buena apariencia y frescura al producto, así como también minimiza el crecimiento de microorganismos durante el almacenamiento (Bhardwaj et al., 2021).

Como se explicó en la metodología de esta investigación, las zanahorias de la planta empacadora visitada llevan un proceso poscosecha distinto dependiendo del destino de su venta. Es por esto que se decidió comparar los recuentos totales aerobios y de mohos y levaduras

después de cada una de los tratamientos poscosecha que se le realiza a la zanahoria para venta local y a la de exportación y los resultados se muestran en el cuadro II a continuación.

Cuadro II. Reducciones de recuento total aerobio y recuento de mohos y levaduras en los tratamientos poscosecha para zanahorias tratadas para mercado local y exportación.

Tratamiento	RTA (log UFC/g)		RML (log UFC/g)	
	Local	Exportación	Local	Exportación
Lavado o lavado y desinfección	-0,5 ± 0,6 _a	1,0 ± 2,0 _a	0,1 ± 0,3 _a	0,9 ± 2,3 _a
Almacenamiento (temperatura ambiente o refrigeración)	-1,0 ± 1,0 _a	-0,3 ± 2,6 _a	0,9 ± 2,3 _a	-0,4 ± 2,0 _a

Recuentos con letras diferentes en cada fila (local vrs. exportación) son diferentes entre sí ($p < 0,05$).

No se encontró diferencia significativa en la reducción logarítmica del recuento total aerobio y el recuento de mohos y levaduras de la zanahoria cuando esta se lava y cuando esta se lava y desinfecta (RTA: $p = 0,1830$, $1-\beta = 0,3408$) (RML: $p = 0,4286$, $1-\beta = 0,2688$), así como cuando se almacena a temperatura ambiente o en refrigeración (RTA: $p = 0,6644$, $1-\beta = 0,1379$) (RML: $p = 0,8069$, $1-\beta = 0,0898$). Sin embargo, cabe destacar que hay alta variabilidad asociada con los resultados, lo cual puede observarse en los intervalos de confianza obtenidos. También puede observarse que las potencias de prueba obtenidas para estos resultados son bajas (todas menores a 0,3408) lo que refleja esa misma variabilidad. En algunos casos, donde se esperaba reducción microbiológica, se observaron aumentos y viceversa.

Existen circunstancias en el experimento que pudieron haber afectado los resultados que se esperaban del experimento, una reducción logarítmica de bacterias aerobias mesófilas y mohos y levaduras. La variabilidad del experimento pudo verse afectada por las condiciones de simulación en la planta piloto, este tipo de procedimiento puede introducir variabilidad que normalmente no se presenta en una planta automatizada, por ejemplo, el lavado con cepillo, el cual en este experimento se hizo manualmente y en la planta empacadora visitada se realizaba de forma automática en el equipo de lavado. Entra otras posibles causas de la variabilidad observada está el ambiente en el que se hizo (planta piloto), el analista y el uso de ciertas partes de la zanahoria donde se acumula más tierra o microorganismos.

La zanahoria tratada para mercado local no logra una reducción de bacterias aerobias mesófilas en el lavado con solo agua. En el caso de mohos y levaduras se obtuvo una reducción

pequeña, no obstante, al tomar en cuenta su intervalo de confianza, se observa como esta reducción se vuelve negativa igualmente. Al ser las reducciones negativas, quiere decir que el promedio de los recuentos después de realizar el lavado fue mayor que el promedio de los recuentos de las zanahorias antes de realizar los lavados. En un estudio realizado en México al evaluar el efecto de varios desinfectantes en la reducción microbiana de zanahorias se encontró que la reducción en el recuento total aerobio al lavar los vegetales solo con agua fue de 0,43 log UFC/g (Ruiz Cruz et al., 2006). Esto difiere a lo observado en el cuadro II.

Existen factores que pueden afectar la eficacia del lavado. En general, las poblaciones de microorganismos en la superficie no son tan fáciles de desprender o inactivar. Los contaminantes microbianos pueden adherirse fuertemente a la superficie del producto, por medio de fuerzas físicas dentro de un corto período de tiempo después de la contaminación o incorporarse en un biofilm durante un periodo de tiempo más largo (Sapers et al., 2006). No se descarta que las zanahorias analizadas tuvieran microorganismos organizados en biofilms. Además, estos fenómenos de adhesión pueden suceder brevemente luego de que la contaminación suceda, la cual pudo haber sucedido luego del muestreo de las zanahorias.

Para el caso del producto destinado al mercado de exportación, su tratamiento poscosecha incluye la desinfección por inmersión en una solución de 80 ppm de ácido peracético. Se ha demostrado que el ácido peracético a 80 ppm tiene un efecto bactericida equivalente a soluciones con compuestos clorados (a 100 ppm). En el año 1950 este compuesto fue patentado para el tratamiento de las superficies de frutas y vegetales, ya sea por inmersión o por aspersión, tanto en el campo, como en poscosecha, ya que logra reducir el deterioro por bacterias, mohos y levaduras (Zoellner et al., 2018). El tratamiento de desinfección con este compuesto químico logró una reducción de alrededor de 1 log UFC/g tanto en mohos y levaduras como en bacterias aerobias mesófilas. Zoellner y colaboradores (2018) especifican como una solución de ácido peracético a 80 ppm logra reducciones de 0,4 – 3,5 log UFC/g de bacterias aerobias en zanahorias. En este mismo estudio, se evaluaron mohos y levaduras, pero en zanahorias troceadas, donde se lograron reducciones de 1,1 log UFC/g. En otro estudio, se han logrado reducciones de 1,9 log UFC/g de bacterias aerobias mesófilas en zanahorias ralladas (Vandekinderen et al., 2009). El estudio de Zoellner y colaboradores (2018) obtuvo reducciones varias con diferentes matrices vegetales y bajo las mismas condiciones de desinfección, lo cual destaca la importancia de la diferencia de la matriz alimentaria y la variación del efecto antimicrobiano del ácido peracético en la desinfección de diferentes hortalizas (Zoellner et al., 2018).

Vandekinderen y colaboradores (2009) analizaron el efecto de un paso desinfectante sobre la calidad microbiológica de zanahorias ralladas, antes de ser almacenadas a 7 °C. Para el caso de las zanahorias que fueron lavadas con agua y tratadas con 80 ppm de ácido peracético, las bacterias aerobias se redujeron significativamente con la desinfección y alcanzaron niveles inaceptables (8 log UFC/g) al quinto día de almacenamiento, con aumentos de hasta 6 log UFC/g, en contraste con las zanahorias no tratadas que alcanzaron este nivel al tercer y cuarto día. Para el caso de levaduras, se obtuvieron aumentos de aproximadamente 3 log UFC/g al quinto día de almacenamiento, tanto para las tratadas con solamente agua como para las tratadas con ácido peracético.

Aunque las condiciones del experimento no son equiparables, el estudio antes mencionado, tuvo los resultados esperados, que se diera el crecimiento de microorganismos durante el almacenamiento. En el cuadro II, se observa que durante el almacenamiento hay un aumento de los todos los recuentos (excepto para el de mohos y levaduras para la zanahoria del mercado local), independientemente de si su almacenamiento fue a temperatura ambiente o en refrigeración. En general, se esperaba un crecimiento microbiológico mayor en las zanahorias para mercado local, ya que su respectivo tratamiento no supone un efecto bactericida, gracias al lavado con agua únicamente y a su almacenamiento a temperatura ambiente que permite el crecimiento tanto de mohos y levaduras, como de bacterias aerobias mesófilas. Banerjee et al. (2021) explica que en varias investigaciones se ha destacado que la tasa de crecimiento microbiano se reduce significativamente a temperaturas bajas en comparación con su crecimiento a temperaturas más altas, es por esto que se esperaba mayor crecimiento microbiológico en la zanahoria almacenada a temperatura ambiente que en la almacenada en refrigeración. La reducción de mohos y levaduras para el caso de las zanahorias para mercado local no es un resultado esperado y como ya se mencionó, no es significativa. Este resultado se puede atribuir a la variabilidad introducida por las condiciones de simulación del experimento en la planta piloto.

Es importante recalcar que la calidad microbiológica de frutas y vegetales en poscosecha está determinada en gran medida por factores precosecha, como la localización de la producción, clima, nutrición y reguladores de crecimiento de las plantas. También es afectada por factores secundarios como la calidad y gestión del suelo, el sombreado, el riego, la poda y la manipulación del cultivo (Bhardwaj et al., 2021). La evaluación de la eficacia de los tratamientos poscosecha para cada matriz alimentaria y planta de producción, es relevante para asegurar un producto inocuo a los consumidores. No obstante, subestimar la importancia de aspectos como el agua de riego, calidad del suelo, higiene de los colaboradores y buenas prácticas agrícolas, puede

resultar en un aumento en el riesgo de contaminación del producto con microorganismos patógenos, o en una disminución de la calidad del vegetal listo para consumir. Por eso, los aspectos evaluados en el objetivo 1 de la presente investigación, junto con los tratamientos poscosecha adecuados, permiten tener un mejor control sobre las posibles fuentes de contaminación, hasta el producto listo para su comercialización.

La simulación del experimento en Planta Piloto introdujo mucha variabilidad a los resultados de este estudio, por lo que extraer datos concluyentes sobre la eficacia de los tratamientos poscosecha de las zanahorias en esta planta empacadora no es viable. Sin embargo, constituye un primer paso para que estudios posteriores profundicen en los aspectos que intervienen en la calidad microbiológica de las hortalizas tratadas para mercado local o de exportación en Costa Rica.

6. CONCLUSIONES

Al evaluar las condiciones de cultivo y cosecha de zanahorias en las fincas orgánica y convencional, mediante una herramienta de diagnóstico, se concluye que la finca orgánica tiene un mejor sistema de capacitación para sus empleados que la finca convencional. En los aspectos de salud e higiene, agua de uso agrícola, equipo y herramientas y edificios, la finca convencional y orgánica muestran un manejo muy similar. En cuanto al uso de mejoradores biológicos orgánicos, en la finca orgánica este es regulado estrictamente, mientras que en la finca convencional se le da un uso más casual y de acuerdo con la disponibilidad del mismo.

Al comparar la calidad microbiológica de la zanahoria cultivada en las fincas orgánica y convencional se puede concluir que no hay diferencias significativas en el recuento aerobio mesófilo, el recuento de mohos y levaduras, el recuento de coliformes totales y de *E. coli* de estas zanahorias. Así también, las zanahorias cultivadas en ambas fincas no presentan un peligro microbiológico por *L. monocytogenes*. Ambos tipos de zanahoria tienen ausencia de contaminación fecal, sin embargo, hay diferencia en cuanto a la presencia de *Listeria* sp. en las zanahorias de ambas fincas, habiendo presencia de este género bacteriano en la finca convencional y ausencia en la finca orgánica. Las zanahorias cultivadas en la finca orgánica y convencional cumplen con los límites de RTA establecidos en la NOM-093-SSA1-1994 para ensaladas verdes o crudas, ya que sus RTA fueron menores a 5 log UFC/g.

Al comparar la reducción microbiológica en zanahorias orgánicas para consumo local y exportación los resultados indicaron que no existen diferencias significativas entre la reducción de bacterias aerobias mesófilas y mohos y levaduras de las zanahorias tratadas en la etapa poscosecha para los diferentes mercados evaluados. Así también, no existen diferencias significativas entre el aumento logarítmico de bacterias aerobias mesófilas y mohos y levaduras entre las zanahorias almacenadas a temperatura ambiente y a temperatura de refrigeración. Sin embargo, este experimento demostró una alta variabilidad en sus resultados por lo que se concluye que deben realizarse mayor número de repeticiones para poder llegar a conclusiones certeras sobre estos.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio de calidad microbiológica de zanahoria en un mayor número de fincas de cada tipo de cultivo, con el fin de asociar los resultados al tipo de agricultura y no a fincas específicas.
- Analizar la evaluación de los tratamientos poscosecha directamente en la planta procesadora, para así eliminar variabilidad que puede ser introducida por la simulación en Planta Piloto.
- Realizar un estudio microbiológico de las zanahorias cosechadas, para evaluar el efecto del proceso de cosecha sobre la microbiología de estas.
- Ejecutar análisis de superficies, cajas, instalaciones y agua de riego con el fin de evaluar microbiológicamente todos los aspectos involucrados en una posible contaminación.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8.1. REFERENCIAS CITADAS

Aguayo, E., Gómez, P., Artés-Hernández, F., & Artés, F. (2017). Tratamientos químicos desinfectantes de hortalizas de IV gama: ozono, agua electrolizada y ácido peracético. *Agrociencia Uruguay*, 21(1). Recuperado el 24 de Octubre, 2022, de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482017000100007.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). AOAC Official Method 991.14 Coliform and Escherichia coli Count in Foods. (2005). Recuperado el 6 de abril, 2020, de <http://www.eoma.aoac.org>

Banerjee, S., Haldar, S., Skanda Kumar, B. N., & Mitra, J. (2021). Storage of Fruits and Vegetables: An Overview. En *Packaging and Storage of Fruits and Vegetables* (1era ed., pp. 157–182). Apple Academic Press.

Barrientos Matamoros, G. (2021). Avances en agricultura son lentos e incipientes, pese a amplio marco normativa. Recuperado el 25 Setiembre, 2022, de <https://estadonacion.or.cr/avances-en-agricultura-organica-son-lentos-e-incipientes-pese-a-amplio-marco-normativo/>

Beuchat, L. R. (2006). Sampling, Detection, and Enumeration of Pathogenic and Spoilage Microorganisms. En *Microbiology of Fruits and Vegetables* (1era ed., pp. 543–564). CRC Press. Recuperado el 20 de octubre, 2022.

Bhardwaj, R. L., Vyas, L., & Sharma, Y. K. (2021). Importance of Postharvest Technology in Horticultural Crops. En *Postharvest Handling of Horticultural Crops* (1era ed., pp. 38–91). CRC Press.

Bhardwaj, R., Sharma, Y., & Vyas, L. (2021). Storage of Fruits and Vegetables. En *Postharvest Handling of Horticultural Crops* (1era ed., pp. 376 - 425). CRC Press.

Birkett, J., & Lester, J. (2018). Composting. En J. Birkett & J. Lester (Eds.), *Microbiology and Chemistry for Environmental Scientists and Engineers* (1era ed., pp. 301–308). CRC Press.

Breidt, F. (2006). Safety of Minimally Processed, Acidified and Fermented Vegetable Products. En *Microbiology of Fruits and Vegetables* (1era ed., pp. 314–335). CRC Press.

Camacho, M., Arauz, K., Barboza, N., Martínez, H., & Arias, J. (2015). Caracterización de Productores de Hortalizas Orgánicas Distribuidas en el Gran Área Metropolitana (GAM), Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(2), 131-142.

Chausali, N., & Saxena, J. (2021). Conventional versus organic farming: Nutrient status. En V. S. Mean, A. Rakshit, C. Srinivasarao, S. K. Meena, & J. Stanley (Eds.), *Advances in Organic Farming* (pp. 241–254). Woodhead Publishing.

Consejo de Ministros de Integración Económica Centroamericana. (2017). *Alimentos. Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de los Alimentos* (RTCA 67.04.50:17). https://members.wto.org/crnattachments/2017/SPS/SLV/17_2504_00_s.pdf

Colelli, G., & Amodio, M. (2017). Factor Affecting Quality and Safety of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. En S. Pareek, *Fresh-Cut Fruits and Vegetables* (1era ed., pp. 226 - 240). Boca Raton: Taylor & Francis Group.

da Silva, N., Hiromi Taniwaki, M., Amstalden Junqueira, V., Ferraz de Arruda Silveira, N., Midori Okazaki, M., & Romeiro Gomes, R. (2018). Total and thermotolerant coliforms and Escherichia coli. En N. da Silva, M. Hiromi Taniwaki, V. Amstalden Junqueira, N. Ferraz da Arruda Silveira, M. Midori Okazaki & R. Romeiro Gomes, *Microbiological Examination Methods of Food and Water* (2da ed., pp. 115 - 134). CRC Press.

Dharmarha, V., Pulido, N., Boyer, R. R., Pruden, A., Strawn, L. K., & Ponder, M. A. (2019). Effect of post-harvest interventions on surficial carrot bacterial community dynamics, pathogen survival, and antibiotic resistance. *International Journal of Food Microbiology*, 291, 25–34.

Delaquis, P. (2006). Fresh-Cut Vegetables. En G. Sapers, J. Gorny & A. Yousef, *Microbiology of Fruits and Vegetables* (1era ed., pp. 253 - 265). CRC Press.

Devarajan, N., McGarvey, J. A., Scow, K., Jones, M. S., Lee, S., Samaddar, S., Schmidt, R., Tran, T. D., & Karp, D. S. (2021). Cascading effects of composts and cover crops on soil chemistry,

bacterial communities and the survival of foodborne pathogens. *Journal of Applied Microbiology*, 131, 1564–1577. <https://doi.org/10.1111/jam.15054>

Dirección General de Control Sanitario de Bienes y Servicios, NORMA Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimiento fijos (1995).

Doyle, M., & Sperber, W. (2009). *Compendium of the Microbiological Spoilage of Foods and Beverages* (1era ed., pp. 4 - 5). Springer Science and Business Media.

Flores, M., González, E., & Escalona, V. (2020). *Tratamientos químicos para la sanitización de hortalizas IV gama. Transferencia: producción micronhortalizas IV gama*. Centro de Estudios Poscosecha, Universidad de Chile. Recuperado el 24 de octubre, 2022, de <http://www.microhortalizas.uchile.cl/doc/fichas/10.%20Tratamientos%20qu%C3%ADmicos%20para%20la%20sanitización%20de%20hortalizas%20IV%20gama.pdf>.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2007). *Alimentos Producidos Orgánicamente* (3era ed.). Roma: FAO.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2009). *Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico* (pp. 13-63). Roma: FAO.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. Roma: FAO.

Food and Drug Administration/World Health Organization (FAO/WHO). Codex Alimentarius Commission. (1999). Guidelines for the Production, Processing, Labelling and Marketing of Organically Produced Food. Roma: FAO/WHO

Food and Drug Administration (FDA). (1998). *Bacteriological Analytical Manual* (8va ed.). FDA.

Food and Drug Administration (FDA). (2015). Food Safety Modernization Act (2015). Standards for the Growing, Harvesting, Packing, and Holding of Produce for Human Consumption. Washington: FDA.

Food and Drug Administration (FDA). (1998). *Guidance for Industry: Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards for Fresh Fruits and Vegetables*. Washington: FDA.

García-Barquero, M. (2015). Análisis del comportamiento de mercado en las ferias del agricultor de la Gran Área Metropolitana. *Tecnología En Marcha*, 29(1), 83-95.

García, S., & Heredia, N. (2020). Production of Microbiology Safe Fruits and Vegetables. En G. Nevárez-Moorillón, A. Prado-Barragán, J. Martínez-Hernández & C. Aguilar, *Food Microbiology and Biotechnology* (1era ed., pp. 45 - 60). Nueva York: Apple Academic Press.

Gil, M., & Allende, A. (2012). Minimal Processing. En V. Gómez-López, *Decontamination of Fresh and Minimally Processed Produce* (1era ed., pp. 105 - 120). Ames: Wiley-Blackwell.

Gorny, J. (2006). Microbial Contamination of Fresh Fruits and Vegetables. En G. Sapers, J. Gorny & A. Yousef, *Microbiology of Fruits and Vegetables* (1era ed., pp. 3 - 32). Boca Raton: CRC Press.

Gupta, P. K. (2008). *Microbiology Cell Physiology and Biotechnology* (2da ed.). Rastogi Publication.

Gurtler, J., Fan, X., Jin, T., & Niemira, B. (2020). Advances in postharvest sanitizing regimes for horticultural produce. En C. Watkins, *Advances in postharvest management of horticultural produce* (1era ed., pp. 181-200). Philadelphia: Burleigh Dodds Science Publishing.

Harvey, R., Zakhour, C., & Gould, H. (2016). Foodborne Disease Outbreaks Associated with Organic Foods in the United States. *Journal of Food Protection*, 79(11), 1953 - 1958.

Programa Nacional de Agricultura Orgánica, & IBS Soluciones Verdes, Estudio sobre el entorno nacional de la agricultura orgánica en Costa Rica (2013). MAG. Recuperado el 24 de Octubre, 2022 de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9267.pdf>.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales*. San José: INEC.

Islam, M., Doyle, M. P., Phatak, S. C., Millner, P., & Jiang, X. (2005). Survival of Escherichia coli O157:H7 in soil and on carrots and onions grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Food Microbiology*, 22, 63–70.

Kahala, M., Blasco, L., & Joutsjoki, V. (2012). Molecular Characterization of Spoilage Bacteria as a Means to Observe the Microbiological Quality of Carrot. *Journal of Food Protection*, 75(3), 523-532.

Khadka, R. B., Marasini, M., Rawal, R., Gautam, D. M., & Acedo Jr., A. L. (2017). Effects of Variety and Postharvest Handling Practices on Microbial Population at Different Stages of the Value Chain of Fresh Tomato (*Solanum lycopersicum*) in Western Terai of Nepal. *Biomed Res Int.*, 2017. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2017/7148076>

Kotecha, P., Desai, B., & Madhavi, D. (2014). Carrot. In D. Salunkhe & S. Kadam, *Handbook of Vegetable Science and Technology* (1era ed., pp. 119 - 140). Boca Raton: CRC Press.

Kowalczyk, Z., & Cupiał, M. (2020). Environmental analysis of the conventional and organic production of carrot in Poland. *Journal Of Cleaner Production*, 269(122169), 1 - 10.

Kuan, C., Rukayadi, Y., Ahmad, S., Wan Mohamed Radzi, C., Thung, T., & Premarathne, J. et al. (2017). Comparison of the Microbiological Quality and Safety between Conventional and Organic Vegetables Sold in Malaysia. *Frontiers In Microbiology*, 8(1433), 1-10.

Liao, C.-H. (2006). Bacterial Soft Rot. In *Microbiology of Fruits and Vegetables* (1st ed., pp. 117–134). CRC Press.

Liu, D. (2008). Epidemiology. In D. Liu (Ed.), *Handbook of Listeria Monocytogenes* (pp. 27–61). CRC Press.

Lampert, Y., Dror, B., Sela, N., Temper-Bamnolker, P., Daus, A., Sela, S., & Eshel, D. (2017). Emergence of *Leuconostoc mesenteroides* as a causative agent of oozing in carrots stored under non-ventilated conditions. *Microbial Technology*, 10, 1677-1689.

Lotter, D. (2015). Facing food insecurity in Africa: Why, after 30 years of work in organic agriculture, I am promoting the use of synthetic fertilizers and herbicides in small-scale staple crop production. *Agriculture and Human Values*, 32(1), pp.111 - 118.

Mahanta, D., Bisht, J., & Kant, L. (2021). Concept and Global Scenario of Organic Farming. En M. Vijay Singh, M. Sunita Kumari, R. Amitava, S. Cherukumalli & S. Johnson, *Advances in Organic Farming* (pp. 1 - 16). Sawston: Woodhead Publishing.

Mandrell, R. E., Gorski, L., & Brandl, M. T. (2006). Attachment of Microorganisms to Fresh Produce. En A. E. Yousef, J. R. Gorny, & G. M. Sapers (Eds.), *Microbiology of Fruits and Vegetables* (pp. 33–73). CRC Press.

Marín, S. (2015). *Comparación de de un Andisol manejado convencional y orgánicamente mediante la respuesta de la papa en invernadero a prácticas de fertilización convencional, orgánica y de aplicación de solubilizadores de fósforo*. (Licenciatura en Agronomía). Universidad de Costa Rica.

Martins Soto, F. R., Vilela da Cruz, J., Rodrigues Lima, L., Silveira Duarte, I. C., Pereira Gazzinelli, S. E., & Santos de Azevedo, S. (2018). Risk factors with the occurrence of parasites and coliform in vegetables from an agroindustry. *Revista Ceres*, 65(1), 93–98. Recuperado octubre 20, 2022, de <https://www.scielo.br/j/rceres/a/VRnC5rySR9VSwXzbJBFQQ8R/?lang=en>.

Mateo-Sagasta, J., Marjani, S., & Turrall, H. (2017). *Water pollution from agriculture: a global review*. FAO.

Määttä, J., Lehto, M., Kuisma, R., Kymäläinen, H.-R., & Mäki, M. (2013). Microbiological Quality of Fresh-Cut Carrots and Process Waters. *Journal of Food Protection*, 76(7), 1240–1244.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2013). *Estudio sobre el entorno nacional de la agricultura orgánica en Costa Rica*. San José: MAG.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Reglamento sobre la Agricultura Orgánica (1997). Poder Ejecutivo.

Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua superficiales (2007). Poder Ejecutivo.

Nguyen, H., & Nguyen, L. (2015). Carrot Processing. En Y. Hui & E. Özgül Evranuz, *Handbook of Vegetable Preservation and Processing* (2da ed., pp. 449 - 478). Boca Raton: CRC Press.

Nkufi Tango, C., Choi, N., Chung, M. and Hwan Oh, D. (2014). Bacteriological Quality of Vegetables from Organic and Conventional Production in Different Areas of Korea. *Journal of Food Protection*, 77(8), pp.1411 - 1417.

NORMA Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994. Método para la Cuenta de Bacterias Aerobias en Placa.

NORMA Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994. Método para la Cuenta de Mohos y Levaduras en Alimentos.

Pachepsky, Y., Shelton, D. R., McLain, J. E. T., Patel, J., & Mandrell, R. E. (2011). Irrigation Waters as a Source of Pathogenic Microorganisms in Produce: A Review. *Advances in Agronomy*, 113, 75–141.

Pensack-Reinhart, H. (2019). *Carrots*. Food Source Information. Recuperado el 12 de marzo, 2023, de <https://fsi.colostate.edu/carrot/#foodborne-outbreaks-and-recalls>

Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA). (2016). *Análisis del consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en los hogares costarricenses*. Heredia.

Premi, M., & Khan, K. (2020). Antioxidants in Fruits and Vegetables: Role in the Prevention of Degenerative Diseases. En K. Khan, M. Goyal & A. Kalne, *Processing of Fruits and Vegetables* (1era ed., pp. 46 - 65). Ontario: Apple Academic Press.

Reganold, J., & Wachter, J. (2020). Agriculture: Organic. En Y. Wang, *Terrestrial Ecosystem and Biodiversity* (2da ed., pp. 251 - 259). Boca Raton: CRC Press.

Reganold, J., & Wachter, J. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(15221), 1-8.

Richmond Zumbado, F. (2009). *Evaluación agronómica de 12 cultivares comerciales de zanahoria (Daucus carota L.) en Cot, Cartago* (Licenciatura en Ingeniería Agronómica). Universidad de Costa Rica.

Richmond, F., Méndez, C., & Umaña, G. (2011). Cambio en las características de calidad de 12 híbridos comerciales de zanahoria durante su almacenamiento. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 163 - 174.

Ruiz Cruz, S., Acedo Félix, E., Díaz Cinco, M., Islas Osuna, M. A., & González-Aguilar, G. A. (2006). Efectividad de Desinfectantes en la Reducción Microbiana y Calidad de Zanahoria Fresca Cortada. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 29(004), 299–306.

Samuel, O., Ogonna, N., & Ifeany, O. (2016). Isolation, Characterization and Identification of Microorganisms from Spoilt Carrots Obtained from Ose Market Onitsha, Nigeria. *Universal Journal of Biomedical Engineering*, 4(1), 6–9. Recuperado de https://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=3513.

Sánchez, R. (2017). *Diseño de un plan estratégico para el fortalecimiento de la feria del agricultor administrada por el Centro Agrícola Cantonal de San Ramón, Alajuela* (Licenciatura en Ingeniería Agronómica). Universidad Nacional de Costa Rica.

Sánchez-Bayo, F., & Tennekes, H. A. (2015). Environmental Risk Assessment of Agrochemicals — A Critical Appraisal of Current Approaches. En *Toxicity and Hazard of Agrochemicals*. Recuperado 24 de Octubre, 2022, de <https://www.intechopen.com/chapters/48545>.

Sapers, G. M. (2006). Washing and Sanitizing Treatments for Fruits and Vegetables. En G. M. Sapers, J. Gorny, & A. E. Yousef (Eds.), *Microbiology of Fruits and Vegetables* (pp. 375–400). CRC Press.

Sauders, B. D., & Martin Wiedmann. (2007). Ecology of *Listeria* Species and *L. monocytogenes* in the Natural Environment. En E. T. Ryser & E. H. Marth (Eds.), *Listeria, Listeriosis, and Food Safety* (3era ed., pp. 21–53). CRC Press.

Scialabba, N. E.-H., & Hattam, C. (2003). La Agricultura Orgánica y el Medio Ambiente. En *Agricultura Orgánica, Ambiente y Seguridad Alimentaria*. FAO. Recuperado el 24 de octubre, 2022, de <https://www.fao.org/3/y4137s/y4137s06.htm>.

Servicio Fitosanitario del Estado, & MAG, Unidad de Acreditación y Registro de Agricultura Orgánica (ARAO) (2021). Servicio Fitosanitario del Estado. Recuperado el 24 de octubre, 2022, de <http://www.mag.go.cr/legislacion/2001/de-29782.pdf>.

Sharma, M., Ingram, D., & Graham, L. (2016). Foodborne Outbreaks and Potential Routes of Contamination in Fresh and Fresh-Cut Fruits and Vegetables. En J. Soon, L. Manning & C.

Sharma, H. (2018). Carrots Production, Processing, and Nutritional Quality. En M. Uebersax & M. Siddiq, *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing* (2da ed., pp. 589 - 608). New Jersey: John Wiley & Sons.

Somasundaram, E., Udhaya Nandhini, D., & Meyyappan, M. (2021). Good Agricultural Practices (GAP). En E. Somasundaram, D. Udhaya Nandhini, & M. Meyyappan (Eds.), *Principles of Organic Farming*. CRC Press.

Subhadarsini Pradhan, S., Basana Gowda, G., Adak, T., Guru-Pirasanna-Pandi, G., Patil, N. B., Annamalai, M., & Chandra Rath, P. (2022). Pesticides Occurrence in Water Sources and Decontamination Techniques. En M. L. Larramendy & S. Soloneski (Eds.), *Pesticides - Updates on Toxicity, Efficacy and Risk Assessment*. IntechOpen.

Szczech, M., Kowalska, B., Smolińska, U., Maciorowski, R., Oskiera, M. and Michalska, A. (2018). Microbial quality of organic and conventional vegetables from Polish farms. *International Journal of Food Microbiology*, 286(2018), pp.155 - 161.

Tal, A. (2018). Making Conventional Agriculture Environmentally Friendly: Moving beyond the Glorification of Organic Agriculture and Demonization of Conventional Agriculture. *Sustainability*, 10(4), pp.1 - 17.

Tiwari, P., Bose, S. K., Yadav, A. N., & Bae, H. (2021). En *Soil Microbiomes for Sustainable Agriculture* (1era ed., Vol. 27, Ser. Sustainable Development and Biodiversity, pp. 1–30). Springer Cham. Recuperado el 8 de Noviembre, 2022, de https://link-springer-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/chapter/10.1007/978-3-030-73507-4_1#citeas.

Townsend, A., Strawn, L. K., Chapman, B. J., Yavelak, M., Mishra, A., & Dunn, L. L. (2022). Factors that predict *Listeria* prevalence in distribution centers handling fresh produce. *Food Microbiology*, 107(104065), 1–11.

Vandekinderen, I., Devlieghere, F., De Maulanaer, B., Ragaert, P., & Van Camp, J. (2009). Optimization and evaluation of a decontamination step with peroxyacetic acid for fresh-cut produce. *Food Microbiology*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.06.004>

Vanderléia Merlini, V., de Lima Pena, F., da Cunha, D., Machado de Oliveira, J., Rostagno, M., & Costa Antunes, A. (2018). *Microbiological Quality of Organic and Conventional Leafy Vegetables*. *Hindawi*, 2018.

Vindas, E. (2018). *Determinación de Calidad Fisiológica de Semillas de Zanahoria (Daucus carota L.) Mediante Pruebas de Vigor* (Licenciatura en Agronomía). Universidad de Costa Rica.

Wallace, *Foodborne Diseases Case of Studies of Outbreaks in the Agri-Food Industries* (1era ed., pp. 19-36). Boca Raton: CRC Press.

Zoellner, C., Aguayo-Acosta, A., Siddiqui, M., & Dávila-Aviña, J. (2018). Peracetic Acid Disinfection of Fruits and Vegetables. En M. Siddiqui, *Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables* (1era ed., pp. 53 - 66). Cambridge: Academic Press.

8.2. REFERENCIAS CONSULTADAS

Durán-Quirós, A., González-Lutz, M., Vargas-Hernández, G., & Mora-Acedo, D. (2017). Situaciones de riesgo potencial relacionadas con la aplicación de agroquímicos en los sistemas hortícolas. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 67-77.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2011). Costa Rica: Número uno del mundo en uso de agroquímicos | Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Obtenido el 29 de octubre, 2019, de <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/508248/>

9. ANEXOS

9.1 Herramienta para la recopilación de información

Cuadro III. Herramienta utilizada para la evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha en las fincas.

Área	Ítem	Calificación				
		1	2	3	4	5
Capacitación y cualificación del personal	Persona en contacto con alimentos debe ser capacitado al inicio de su trabajo y luego por lo menos 1/año					
	Educación, capacitación y experiencia necesaria					
	Capacitación fácil de entender					
	Capacitar sobre: principios de higiene e inocuidad de alimentos					
	Importancia de la salud e higiene					
	Reconocer PAF que no deben cosecharse por riesgo de haberse contaminado					
	Inspeccionar equipo de cosecha o contenedores					
	Corregir o reportar problemas encontrados					
Salud e higiene	Al menos un responsable encargado haber terminado una capacitación de inocuidad de alimentos					
	Excluir a cualquier persona de trabajar cuando la persona tiene o aparenta tener una condición aplicable					
	Instruir al personal para notificar si hay posibilidad de tener condiciones de salud aplicable					
	Personal con aseo personal adecuado					
	Lavado de manos con jabón y agua corriente y secarse completamente las manos (antes de comenzar a trabajar, antes de ponerse los guantes, después de usar el sanitario, luego de un descanso, después de tocar animales o cualquier desecho animal)					
	Si hay uso de guantes mantenerlo en condiciones intactas y sanitarias y cambiarlos cuando sea necesario					
	Retirar o cubrir joyas de mano					
	No comer o masticar chicle					
Agua de uso agrícola	Si hay visitantes informarlos sobre políticas y procedimientos, dar acceso a visitantes a instalaciones sanitarias y lavado de manos					
	Inocua y de calidad sanitaria					
	Al inicio de la temporada inspeccionar todos los sistemas de agua					
	Mantener adecuadamente sistemas de distribución					

Continuación cuadro III. Herramienta utilizada para la evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha en las fincas.

Agua de uso agrícola	Mantener adecuadamente todas las fuentes de agua, corregir deficiencias, libre de escombros, basura, animales y otras fuentes de contaminación					
	Medidas que para reducir potencial de contaminación (barreras o estacas)					
	Método tratar el agua debe ser eficiente en hacer el agua inocua					
	Monitorear cualquier tratamiento del agua con frecuencia adecuada					
	Criterios: <i>E. coli</i> en 100 mL de agua y no usar agua superficial sin tratamiento					
	Medida geométrica: 126 o menos UFC de <i>E. coli</i> en 100 mL de agua Umbral estadístico de 410 o menos de UFC de <i>E. coli</i> en 100 mL de agua					
	Cuando viene de sistema de agua público y se cuenta con los resultados o certificados de cumplimiento de este sistema					
Mejoradores biológicos de suelo de origen animal y desechos humanos	Manipular, transportar y almacenar cualquier mejorador biológico de suelo de origen animal de tal forma y ubicación que no se convierta en fuente de contaminación					
	Sin desechos humanos					
	Proceso válido y controlado físico, químico, biológico para satisfacer el estándar biológico para <i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i> y <i>E. coli</i> O157:H7					
	Compostaje estático aeróbico a un mínimo de 55°C durante 3 días seguidos y seguido por un curado adecuado					
	Compostaje de volteo que mantiene condiciones aeróbicas a mínimo 55°C durante 3 días seguidos con mínimo de 5 volteos y seguido de un curado adecuado					
Equipo y Herramientas	Tengan un diseño y construcción y fabricación que permitan la limpieza y mantenimiento adecuados					
	Uniones en las superficies de contacto con alimentos de los equipos y herramientas lisas o que minimicen la acumulación de tierra y suciedad					
	Inspecciones, mantener y limpiar y desinfectar todas las superficies de contacto con la frecuencia necesaria					
	Tarimas, montavargas, tractores y vehículos se deben usar de forma que controla o prevenga el crecimiento de microorganismos					

Continuación cuadro III. Herramienta utilizada para la evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha en las fincas.

	Instrumentos o controles para medir, regular o registrar temperaturas o pH deben ser exactos y precisos, mantenerse y debe haber un número adecuado de ellos según sus usos designados					
	Equipo sujeto a transporte de PAF debe limpiarse adecuadamente antes de usar el transporte					
Edificios	Adecuados en tamaño, construcción y diseño para facilitar el mantenimiento y operaciones sanitarias					
	Espacio suficiente para equipo y almacenamiento, diseño efectivo que disminuye el riesgo de contaminación por ubicación, tiempo, división, sistemas cerrados u otros medios efectivos					
	Drenaje adecuado en todas las áreas					
	Prevenir contaminación proveniente de pisos, paredes, techos, accesorios fijos, conductos o tuberías y goteo y condensado					
	Precauciones para prevenir contaminación con animales domésticos. Se pueden permitir perros guardianes o guías si es improbable que contaminen					
	Plagas. En edificio cerrados excluir plagas, en edificios abiertos establece mallas o monitorear su presencia y eliminándolas cuando hayan					
	Instalaciones sanitarias: proporcionar al personal con instalaciones adecuadas y fácil acceso, accesibles para mantenimiento y limpiarse con frecuencia, mantener con papel higiénico y permitir desecharlo correctamente, estación de lavado de manos cerca					
	Estación de lavado de manos adecuado y fácil acceso, provistas de jabón dispositivo de secado, medidas para eliminación adecuada de desechos					
	Eliminar aguas residuales en un sistema séptico o desagua adecuado y manejar o eliminar fugas o derrames de desechos humanos					
	Controlar y eliminar basura, residuos y desechos: transportar, almacenar y eliminar basura, residuos y desechos, operar adecuadamente los sistemas de tratamiento y eliminación de desechos para que no sea fuente de contaminación					
	Plomería debe tener tamaño y diseño adecuado y estar instalada y mantenerse adecuadamente para distribuir a la presión necesaria a todas las áreas. No permitir reflujos o conexiones cruzadas					
	Controlar excretas de animales y desechos de animales domésticos bajo el control del lugar.					

Cuadro IV. Evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha de la finca orgánica realizada durante visitas a la finca.

Área	Ítem	Calificación				
		1	2	3	4	5
Capacitación y cualificación del personal	Persona en contacto con alimentos debe ser capacitado al inicio de su trabajo y luego por lo menos 1 año				X	
	Educación, capacitación y experiencia necesaria					X
	Capacitación fácil de entender					X
	Capacitar sobre: principios de higiene e inocuidad de alimentos					X
	Importancia de la salud e higiene					X
	Reconocer PAF que no deben cosecharse por riesgo de haberse contaminado					X
	Inspeccionar equipo de cosecha o contenedores					X
Corregir o reportar problemas encontrados					X	
Mejoradores biológicos de suelo de origen animal y desechos humanos	Manipular, transportar y almacenar cualquier mejorador biológico de suelo de origen animal de tal forma y ubicación que no se convierta en fuente de contaminación					X
	Sin desechos humanos					X
	Proceso válido y controlado físico, químico, biológico para satisfacer el estándar biológico para <i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i> y <i>E. coli O157:H7</i>					X
	Compostaje estático aeróbico a un mínimo de 55°C durante 3 días seguidos y seguido por un curado adecuado					X
Compostaje de volteo que mantiene condiciones aeróbicas a mínimo 55°C durante 3 días seguidos con mínimo de 5 volteos y seguido de un curado adecuado					X	
Equipo y Herramientas	Tengan un diseño y construcción y fabricación que permitan la limpieza y mantenimiento adecuados					X
	Uniones en las superficies de contacto con alimentos de los equipos y herramientas lisas o que minimicen la acumulación de tierra y suciedad					X
	Inspecciones, mantener y limpiar y desinfectar todas las superficies de contacto con la frecuencia necesaria					X
	Tarimas, montavargas, tractores y vehículos se deben usar de forma que controla o prevenga el crecimiento de microorganismos					X
	Instrumentos o controles para medir, regular o registrar temperaturas o pH deben ser exactos y precisos, mantenerse y debe haber un número adecuado de ellos según sus usos designados		X	No hay instrumentos		
	Equipo sujeto a transporte de PAF debe limpiarse adecuadamente antes de usar el transporte					X

Continuación cuadro IV. Evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha de la finca orgánica realizada durante visitas a la finca.

Edificios	Adecuados en tamaño, construcción y diseño para facilitar el mantenimiento y operaciones sanitarias					X	
	Espacio suficiente para equipo y almacenamiento, diseño efectivo que disminuye el riesgo de contaminación por ubicación, tiempo, división, sistemas cerrados u otros medios efectivos					X	
	Drenaje adecuado en todas las áreas					X	
	Prevenir contaminación proveniente de pisos, paredes, techos, accesorios fijos, conductos o tuberías y goteo y condensado					X	
	Precauciones para prevenir contaminación con animales domésticos. Se pueden permitir perros guardianes o guías si es improbable que contaminen					X	
	Plagas. En edificio cerrados excluir plagas, en edificios abiertos establece mallas o monitorear su presencia y eliminándolas cuando hayan			Trampas y gatos		X	
	Instalaciones sanitarias: proporcionar al personal con instalaciones adecuadas y fácil acceso, accesibles para mantenimiento y limpiarse con frecuencia, mantener con papel higiénico y permitir desecharlo correctamente, estación de lavado de manos cerca						x
	Estación de lavado de manos adecuado y fácil acceso, provistas de jabón dispositivo de secado, medidas para eliminación adecuada de desechos						X
	Eliminar aguas residuales en un sistema séptico o desagua adecuado y manejar o eliminar fugas o derrames de desechos humanos						X
	Controlar y eliminar basura, residuos y desechos: transportar, almacenar y eliminar basura, residuos y desechos, operar adecuadamente los sistemas de tratamiento y eliminación de desechos para que no sea fuente de contaminación						X
	Plomería debe tener tamaño y diseño adecuado y estar instalada y mantenerse adecuadamente para distribuir a la presión necesaria a todas las áreas. No permitir reflujos o conexiones cruzadas (son sistemas apartes)						X
	Controlar excretas de animales y desechos de animales domésticos bajo el control del lugar.						X

Cuadro V. Evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha de la finca convencional realizada durante las visitas a la finca.

Área	Ítem	Calificación				
		1	2	3	4	5
Capacitación y cualificación del personal	Persona en contacto con alimentos debe ser capacitado al inicio de su trabajo y luego por lo menos 1 año			X		
	Educación, capacitación y experiencia necesaria			X		
	Capacitación fácil de entender				X	
	Capacitar sobre: principios de higiene e inocuidad de alimentos			X		
	Importancia de la salud e higiene			X		
	Reconocer PAF que no deben cosecharse por riesgo de haberse contaminado		X			
	Inspeccionar equipo de cosecha o contenedores				X	
	Corregir o reportar problemas encontrados					X
	Al menos un responsable encargado haber terminado una capacitación de inocuidad de alimentos			X		
Salud e higiene	Excluir a cualquier persona de trabajar cuando la persona tiene o aparenta tener una condición aplicable			X		
	Instruir al personal para notificar si hay posibilidad de tener condiciones de salud aplicable				X	
	Personal con aseo personal adecuado				X	
	Lavado de manos con jabón y agua corriente y secarse completamente las manos (antes de comenzar a trabajar, antes de ponerse los guantes, después de usar el sanitario, luego de un descanso, después de tocar animales o cualquier desecho animal)					X
	Si hay uso de guantes mantenerlos en condiciones intactas y sanitarias y cambiarlos cuando sea necesario					-
	Retirar o cubrir joyas de mano					X
	No comer o masticar chicle					X
	Si hay visitantes informarlos sobre políticas y procedimientos, dar acceso a visitantes a instalaciones sanitarias y lavado de manos					X
Agua de uso agrícola	Inocua y de calidad sanitaria					X
	Al inicio de la temporada inspeccionar todos los sistemas de agua	X				
	Mantener adecuadamente sistemas de distribución					-

Continuación cuadro V. Evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha de la finca convencional realizada durante las visitas a la finca.

	Mantener adecuadamente todas las fuentes de agua, corregir deficiencias, libre de escombros, basura, animales y otras fuentes de contaminación					X
	Medidas que para reducir potencial de contaminación (barreras o estacas)	X				
	Método tratar el agua debe ser eficiente en hacer el agua inocua	No se trata				
	Monitorear cualquier tratamiento del agua con frecuencia adecuada					
	Criterios: <i>E. coli</i> en 100 mL de agua y no usar agua superficial sin tratamiento					
	Medida geométrica: 126 o menos UFC de <i>E. coli</i> en 100 mL de agua					-
	Umbral estadístico de 410 o menos de UFC de <i>E. coli</i> en 100 mL de agua					
	Cuando viene de sistema de agua público y se cuenta con los resultados o certificados de cumplimiento de este sistema	X				
Mejoradores biológicos de suelo de origen animal y desechos humanos	Manipular, transportar y almacenar cualquier mejorador biológico de suelo de origen animal de tal forma y ubicación que no se convierta en fuente de contaminación			X		
	Sin desechos humanos					X
	Proceso válido y controlado físico, químico, biológico para satisfacer el estándar biológico para <i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i> y <i>E. coli</i> O157:H7	X				
	Compostaje estático aeróbico a un mínimo de 55°C durante 3 días seguidos y seguido por un curado adecuado					-
	Compostaje de volteo que mantiene condiciones aeróbicas a mínimo 55°C durante 3 días seguidos con mínimo de 5 volteos y seguido de un curado adecuado					-
Equipo y Herramientas	Tengan un diseño y construcción y fabricación que permitan la limpieza y mantenimiento adecuados					X
	Uniones en las superficies de contacto con alimentos de los equipos y herramientas lisas o que minimicen la acumulación de tierra y suciedad					X
	Inspecciones, mantener y limpiar y desinfectar todas las superficies de contacto con la frecuencia necesaria					X
	Tarimas, montacargas, tractores y vehículos se deben usar de forma que controla o prevenga el crecimiento de microorganismos					X

Continuación cuadro V. Evaluación de las condiciones de cultivo y cosecha de la finca convencional realizada durante las visitas a la finca.

	Instrumentos o controles para medir, regular o registrar temperaturas o pH deben ser exactos y precisos, mantenerse y debe haber un número adecuado de ellos según sus usos designados		X	No hay instrumentos	
	Equipo sujeto a transporte de PAF debe limpiarse adecuadamente antes de usar el transporte				X
Edificios	Adecuados en tamaño, construcción y diseño para facilitar el mantenimiento y operaciones sanitarias				X
	Espacio suficiente para equipo y almacenamiento, diseño efectivo que disminuye el riesgo de contaminación por ubicación, tiempo, división, sistemas cerrados u otros medios efectivos				X
	Drenaje adecuado en todas las áreas				X
	Prevenir contaminación proveniente de pisos, paredes, techos, accesorios fijos, conductos o tuberías y goteo y condensado				X
	Precauciones para prevenir contaminación con animales domésticos. Se pueden permitir perros guardianes o guías si es improbable que contaminen				X
	Plagas. En edificio cerrados excluir plagas, en edificios abiertos establece mallas o monitorear su presencia y eliminándolas cuando hayan				X
	Instalaciones sanitarias: proporcionar al personal con instalaciones adecuadas y fácil acceso, accesibles para mantenimiento y limpiarse con frecuencia, mantener con papel higiénico y permitir desecharlo correctamente, estación de lavado de manos cerca				X
	Estación de lavado de manos adecuado y fácil acceso, provistas de jabón dispositivo de secado, medidas para eliminación adecuada de desechos				X
	Eliminar aguas residuales en un sistema séptico o desagüe adecuado y manejar o eliminar fugas o derrames de desechos humanos				X
	Controlar y eliminar basura, residuos y desechos: transportar, almacenar y eliminar basura, residuos y desechos, operar adecuadamente los sistemas de tratamiento y eliminación de desechos para que no sea fuente de contaminación				X
	Plomería debe tener tamaño y diseño adecuado y estar instalada y mantenerse adecuadamente para distribuir a la presión necesaria a todas las áreas. No permitir reflujo o conexiones cruzadas (son sistemas apartes)				X
	Controlar excretas de animales y desechos de animales domésticos bajo el control del lugar.				X