

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 Licenciada en Ingeniería de Alimentos

**Comparación de la calidad microbiológica de la fruta, del agua de riego y de los  
contenedores de cosecha, así como la eficacia del lavado y desinfección post cosecha, en  
tres fincas productoras de tomate (tradicional, orgánica e hidropónica)**

Elaborado por:  
Viviana Wittmann Vega  
Carnet: B57963

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
San José, Costa Rica

2021

## **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:**

Viviana Wittmann Vega

### **Aprobado por:**

Dr. Marvin Soto Retana

### **Presidente del Tribunal**



Lcda. Gabriela Davidovich Young

### **Directora del Proyecto**



Dr. Eric Wong González

### **Asesor del Proyecto**



Lic. Manuel Montero Barrantes

### **Asesor del Proyecto**



M.Sc. Laura Murillo González

### **Profesora Designada**



## **DEDICATORIA**

Este gran esfuerzo se lo dedico a mi abuelita, quien siempre me apoyó y creyó en mí. Lo que daría por escuchar “¡Esa es mi nieta!”, pero sé que se lo estás contando con orgullo a los angelitos en el cielo. Un beso hasta donde te encuentrés.

## **AGRADECIMIENTOS**

Como todo proyecto que he emprendido en mi corta vida, nunca he tenido que enfrentarlo sola. He tenido a mi Papá Dios siempre conmigo: fortaleciéndome cuando llegaba cansada y mojada a la casa, luego de doce horas de clases a estudiar más; animándome cada vez que quería llorar; abrazándome cuando me sentía sola o triste; iluminándome cuando tomaba un examen; llenándome de gozo en medio del ajetreo.

Pero en carne hueso, he tenido también la bendición de tener a mis papás, el equipo más comprometido con el que podría contar. Porque jugaron todos los roles (chofer, enfermera, chef, mandadero, secretaria...) con tal de hacerme la vida más fácil. Siempre llenándome de amor, siendo más que mis papás, mis amigos, consejeros y chineadores.

También le agradezco a mis hermanas, hermanos y a mis sobrinos, cuyas risas, tecitos, series, juegos de mesa, pijamadas, mensajes, abrazos y ternura, sirvieron de terapia para mi mente y de ilusión para mi corazón.

Agradezco también a mis amigos, los cuales hicieron de mi tiempo universitario, mi etapa favorita hasta la fecha. Hemos compartido tantas experiencias, risas, paseos, bailes, abrazos, desahogos, inseguridades y ánimos. Lograban que un día frustrante se transformara en una anécdota graciosa. Me siento honrada de ser parte de la vida de personas tan auténticas y especiales.

Finalmente, le agradezco a la U, por esforzarse en formar a un ser humano integral, más allá de un profesional. Por crear espacios donde pudiera conocer a otras personas, romper mi burbuja, descubrir otras realidades, explotar mis talentos y sentirme a gusto conmigo misma, en un espacio libre. Gracias a tantos profesores, que se esmeraron con trabajo y dedicación a dar sus clases con amor, con pasión, con detalles, con confianza; eso es lo que hace grande a un(a) profesor(a).

Gracias a la vida por esta etapa maravillosa. La atesoraré siempre en mi corazón.

## ABREVIATURAS Y NOMENCLATURA

<b>UFC</b>	Unidades formadoras de colonia
<b>UFC/g</b>	Unidades formadoras de colonia por gramo
<b>NMP</b>	Número más probable de colonias
<b>NMP/mL</b>	Número más probable de colonias por mililitro
<b>n</b>	Número de repeticiones
<b>ha</b>	Hectáreas
<b>g</b>	Gramo
<b>Hg</b>	Hectogramo
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>cm</b>	Centímetro
<b>mL</b>	Mililitro
<b>±</b>	Más o menos
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetros cuadrados
<b>Log</b>	Logaritmo base 10
<b>Log UFC/50 cm<sup>2</sup></b>	Logaritmo base 10 de unidades formadoras de colonia en una superficie de 50 cm <sup>2</sup>
<b>Log UFC/g</b>	Logaritmo base 10 de unidades formadoras de colonia por gramo
<b>%</b>	Porcentaje
<b>&lt;</b>	Menor que
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>β</b>	Beta
<b>1-β</b>	Potencia de la prueba
<b>ANDEVA</b>	Análisis de varianza
<b>et al</b>	Y otros
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>FDA</b>	Food and Drug Administration
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>RTCA</b>	Reglamento Técnico Centroamericano
<b>CDC</b>	Centers for Disease Control and Prevention
<b>CITA</b>	Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos
<b>UCR</b>	Universidad de Costa Rica

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE CUADROS	8
RESUMEN	10
1. JUSTIFICACIÓN	13
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1 Generalidades del tomate	18
3.2 Producción de tomate	19
3.2.1 Agricultura tradicional	20
3.2.2 Agricultura orgánica	23
3.2.3 Agricultura hidropónica	25
3.3. Tratamientos post cosecha del tomate	28
3.4 Microbiología del tomate	30
3.5 Estándares regulatorios microbiológicos	33
3.5.1 Reglamentación de calidad microbiológica de tomate	33
3.5.2 Reglamentación de calidad microbiológica de agua de riego	34
4. MATERIALES Y MÉTODOS	35
4.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO	35
4.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y MUESTREO	35
4.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS	38
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
5.1 Evaluación de la calidad microbiológica de tomate cultivado	47
5.2 Evaluación de la calidad microbiológica de los contenedores de cosecha	51
5.3 Evaluación de la calidad microbiológica del agua de riego	55
5.4 Evaluación del efecto de las prácticas de cosecha sobre la microbiota del tomate	57
5.5 Evaluación de la reducción logarítmica alcanzada por los métodos de higienización post cosecha	59
6. CONCLUSIONES	64
7. RECOMENDACIONES	66
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
9. ANEXOS	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Agricultura tradicional de tomate a campo abierto.....	21
<b>Figura 2.</b> Agricultura hidropónica de tomate mediante cultivo en agregado.....	26
<b>Figura 3.</b> Esquema metodológico de los análisis microbiológicos y comparaciones estadísticas realizadas durante la presente investigación.....	40
<b>Figura 4.</b> Cultivo de tomate a campo abierto durante la época lluviosa en la finca tradicional.....	44
<b>Figura 5.</b> Métodos de control de plagas. Feromonas sexuales (A), Cintas adhesivas (B), Plaguicidas(C).....	45
<b>Figura 6.</b> Agricultura dentro de invernaderos.....	45
<b>Figura 7.</b> Método de riego por goteo.....	46
<b>Figura 8.</b> Bolsas de lona, utilizadas para la cosecha en la finca tradicional de tomate.....	52
<b>Figura 9.</b> Cajas de plástico, utilizadas para la cosecha en la finca orgánica (A) y en la finca hidropónica (B) de tomate.....	52
<b>Figura 10.</b> Lavado/desinfección/secado (A) y clasificación (B) del tomate en la planta empacadora de la finca tradicional.....	60
<b>Figura 11.</b> Lavado/desinfección (A), secado (B) y sistema de fotografía (C) del tomate en la planta empacadora de la finca hidropónica.....	61

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
<b>Cuadro I.</b> Comparación de los recuentos microbiológicos y de los resultados del análisis de presencia/ausencia de <i>L. monocytogenes</i> , obtenidos al evaluar el tomate cultivado de las fincas hidropónica, tradicional y orgánica. ....	47
<b>Cuadro II.</b> Comparación de los recuentos microbiológicos obtenidos al analizar los contenedores de cosecha empleados en las fincas hidropónica, tradicional y orgánica. ....	51
<b>Cuadro III.</b> Comparación de los recuentos microbiológicos obtenidos al analizar el agua de riego utilizada en la finca hidropónica y la finca tradicional. ....	55
<b>Cuadro IV.</b> Comparación de los recuentos microbiológicos obtenidos al analizar los tomates cultivados y los tomates cosechados pertenecientes a las fincas hidropónica y tradicional. ....	58
<b>Cuadro V.</b> Comparación de la reducción logarítmica alcanzada por los métodos de lavado y desinfección empleados en la finca hidropónica y la finca tradicional. ....	60
<b>Cuadro VI.</b> Resumen de los resultados obtenidos a partir de los análisis microbiológicos y comparaciones estadísticas realizadas. ....	63
<b>Cuadro VII.</b> Descripción de las prácticas de cultivo, cosecha y post cosecha aplicadas en las fincas de tomate y plantas empacadoras visitadas, basadas en las Buenas Prácticas Agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2008). ....	84
<b>Cuadro VIII.</b> Recuentos totales aerobios y recuentos de mohos y levaduras del tomate cultivado y tomate cosechado de las fincas hidropónica y tradicional. ....	86



**Cuadro IX.** Reducción microbiológica alcanzada por el método de lavado y desinfección ejecutado por las plantas empacadoras de las fincas tradicional e hidropónica en tres repeticiones. ....86

## RESUMEN

Wittmann Vega, Viviana

### **Comparación de la calidad microbiológica de la fruta, del agua de riego y de los contenedores de cosecha, así como la eficacia del lavado y desinfección post cosecha, en tres fincas productoras de tomate (tradicional, orgánica e hidropónica)**

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

Wittmann-Vega, V. 2021.

86 pp.: 11 il. - 164 refs.

Se realizó un estudio para comparar la calidad microbiológica de la fruta, del agua de riego y de los contenedores de cosecha, así como la eficacia del lavado y desinfección post cosecha, en tres fincas productoras de tomate en Costa Rica. Para esto, se escogió una finca orgánica, otra tradicional y otra hidropónica. De cada una de ellas, se tomaron muestras de tomate cultivado, agua de riego, fruta antes y después de lavar y desinfectar y muestras de las superficies de los contenedores de cosecha.

Al tomate cultivado, se le determinó recuento total aerobio mesófilo (RTA), recuento de mohos y levaduras (RML), recuento de coliformes totales y *Escherichia coli* y análisis de presencia/ausencia de *Listeria monocytogenes*. Una vez analizadas las muestras, se observó que RTA y RML obtuvieron los valores más altos, respecto a los otros parámetros microbiológicos. En virtud de esto, se escogieron estos dos indicadores para evaluar la calidad microbiológica de los contenedores de cosecha y la eficacia de los métodos de lavado y desinfección de tomate. Esta última fue evidenciada por la reducción logarítmica alcanzada sobre cada indicador. Finalmente, el agua de riego se sometió a un análisis de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. coli* por la técnica de NMP con 5 tubos por dilución.

Los resultados se sometieron a un ANDEVA unifactorial con un nivel de significancia de 0,05, empleando el programa Excel Xlstat, para determinar si existían diferencias significativas. En los casos donde hubo significancia, también se ejecutó la prueba de Tukey para identificar entre cuáles fincas existían esas diferencias. Cuando no se obtuvieron diferencias significativas, se reportó la potencia de la prueba.

Se concluyó que los tomates cultivados por las tres fincas poseen una calidad microbiológica que cumple los lineamientos establecidos en la NOM-093-SSA1-1994 (1994),

ya que todos obtuvieron recuentos de RTA menores a 5 log (UFC/g). Además, todos los tomates evidenciaron ausencia de *L. monocytogenes* y recuentos menores a 10 UFC/g de *E. coli* genérica. Esto último implica una baja probabilidad de la presencia de patógenos entéricos, tales como *Salmonella* sp. y *E. coli* O157:H7, los cuales deben estar ausentes de acuerdo con el RTCA 67.04.50:17 (2018).

Con base en el análisis estadístico realizado, se detectaron diferencias significativas entre fincas respecto al RTA de los tomates cultivados ( $p < 0,05$ ). Específicamente, la fruta de la finca orgánica obtuvo un RTA significativamente mayor al tomate cultivado de la finca hidropónica. Por su parte, no se presentaron diferencias significativas entre el RTA de la fruta cultivada por la finca tradicional respecto a la finca orgánica. Tampoco se detectaron diferencias significativas en el RTA entre el tomate cultivado de la finca hidropónica en comparación con el de la finca tradicional.

En cuanto a los resultados de mohos y levaduras de los tomates cultivados, también se detectaron diferencias significativas entre las fincas ( $p < 0,05$ ). El tomate de la finca hidropónica obtuvo un RML menor al tomate de las otras fincas. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas entre el RML del tomate de la finca tradicional respecto a la finca orgánica. Finalmente, respecto a la carga de coliformes totales, no se detectaron diferencias significativas entre los tomates de las fincas ( $p > 0,05$ ) ( $1-\beta > 0,8370$ ).

En referencia a los contenedores de cosecha, se concluyó que sí existen diferencias significativas entre fincas respecto al RTA y al RML ( $p < 0,05$ ). Las bolsas de la finca tradicional obtuvieron un RTA mayor a los contenedores de la finca hidropónica. Además, las cajas de la finca orgánica presentaron un RML mayor a los recipientes de la finca hidropónica. No se reportaron diferencias significativas entre el RTA ni entre el RML de los contenedores de la finca tradicional respecto a la finca orgánica.

En cuanto a la efectividad del lavado y desinfección de los tomates, no se obtuvieron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre la finca hidropónica y la finca tradicional, respecto a la reducción logarítmica alcanzada de RTA ( $1-\beta > 0,4604$ ) y RML ( $1-\beta > 0,0548$ ). El producto desinfectado es de buena calidad microbiológica, evidenciado por un RTA menor a los 5 log UFC/g como exige la normativa. Se evaluó de forma ilustrativa la limpieza en la finca orgánica, cuyo tomate limpio también obtuvo recuentos adecuados de RTA y RML.

Resulta importante aclarar que, en dicho experimento, se obtuvo gran variabilidad en los resultados de los diferentes recuentos, evidenciada por los bajos valores de potencia. Por lo tanto, existe la posibilidad de que ciertos datos posean diferencias significativas que no hayan

sido estadísticamente detectadas. Consecuentemente, resultaría recomendable ampliar el número de repeticiones para comprobar la información obtenida.

Finalmente, las aguas de riego utilizadas en las tres fincas mostraron ausencia de coliformes termotolerantes y de *E. coli*, lo cual indica su buena calidad microbiológica. Además, no se detectaron diferencias significativas entre la finca hidropónica y la tradicional respecto a la carga de coliformes totales en sus aguas de riego ( $p > 0,05$ ) ( $1-\beta > 1,0000$ ).

Con base en los resultados se concluyó que las tres fincas cultivan sus tomates dentro de un ambiente controlado, en condiciones adecuadas e higiénicas. No obstante, la finca hidropónica sobresalió de forma positiva en comparación con las otras dos fincas, principalmente por la baja carga microbiana de sus tomates y de sus contenedores de cosecha. Por el contrario, la finca orgánica presentó de forma general los mayores recuentos microbianos, tanto en la fruta como en las cajas de recolección, lo cual sugiere que existe espacio para acciones de mejora. La evidencia obtenida sugiere que factores, tales como el medio de cultivo, el diseño del espacio de siembra, el control de la entrada de animales, el tipo de abono y las prácticas de higienización de las superficies de contacto, pueden estar determinando dichas diferencias en la carga microbiológica de los tomates y contenedores de cosecha.

Directora: Lcda. Gabriela Davidovich Young

Escuela de Tecnología de Alimentos

## 1. JUSTIFICACIÓN

El tomate es un producto de gran relevancia dentro de la dieta costarricense, caracterizado por ser un cultivo intensivo, con un rendimiento de 530 305,8 Hg/ha (Passport, 2020). Este es cultivado en Costa Rica durante todo el año por pequeños y medianos productores, cuya producción se concentra en el Valle Central. Las siembras se dan principalmente en Cartago, Alajuela y Heredia, donde se destinan 319,3 ha, 382 ha y 213,1 ha, respectivamente (Consejo Nacional de Producción, 2016).

Este producto es uno de los alimentos hortícolas con mayor producción y consumo a nivel mundial. Inclusive, su cultivo mundial ha aumentado aproximadamente un 300% en las últimas cuatro décadas (Heuvelink, 2018). En Centroamérica, la producción de tomate está enfocada en el consumo fresco de la fruta. En Costa Rica específicamente, este alimento posee amplia aceptación y forma parte de la dieta de los habitantes del país, siendo este incluso parte de la canasta básica (López, 2012).

A nivel global, el mayor productor de tomate es China, donde se generaron 60 164 300 toneladas métricas, durante el 2019. En Latinoamérica, el mayor productor de tomate corresponde a México, con una cosecha anual de 432 900 toneladas métricas. En Centroamérica, Guatemala es el líder de la industria de tomate, con un rendimiento anual de 306 300 toneladas métricas (Passport, 2019).

De acuerdo con el Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA) (2016), en Costa Rica el consumo per cápita de tomate anual es de aproximadamente 18,78 kg. La producción nacional anual de esta fruta ronda las 60 300 toneladas métricas/año (60 300 000 kilos de fruta fresca), lo cual genera 29 300 millones de colones al año (Passport, 2020).

El cultivo del tomate se puede realizar en campo abierto, correspondiente al 90% de la producción de esta fruta en Costa Rica. También se puede efectuar bajo ambiente protegido, el cual considera todo tipo de techos plásticos, a excepción de las bandas plásticas que se utilizan durante la siembra de tomate a campo abierto en época lluviosa (López, 2017).

De la gran diversidad de follaje y fruta que se producen a nivel centroamericano, el tomate es el más importante, tanto por la superficie dedicada a la siembra, como por el valor de la producción. En cuanto a la demanda, el tomate es, junto con la papa, el producto agrícola más solicitado por los consumidores costarricenses (PIMA, 2016).

En términos socioeconómicos, existen alrededor de 1000 productores en diversas zonas de Costa Rica, con un área destinada a su cultivo de 945 hectáreas (Murillo, 2011). Este

producto genera 5000 empleos directos y alrededor de 20 000 empleos indirectos en el territorio costarricense (López, 2012).

Debido a que la mayoría del consumo de tomate es fresco o mínimamente procesado, las prácticas de cultivo, cosecha y post cosecha definirán la calidad microbiológica del producto final. Es decir, estas serán las principales responsables de la inocuidad y durabilidad del alimento (Ramírez *et al.*, 2009). La calidad microbiológica de la fruta y su vida útil puede verse afectada por diferentes fuentes de contaminación: el agua de riego, los suelos de cultivo contaminados, las malas prácticas de cultivo y las recolecciones inadecuadas (Durán *et al.*, 2016).

Por otro lado, *Salmonella* sp. es el patógeno más asociado con brotes en tomate (Zarkani *et al.*, 2019) y, al tratarse de un microorganismo de origen entérico, su presencia se correlaciona con los recuentos obtenidos de *E. coli* como indicador de presencia de materia fecal (González, 2018). Es decir, si *E. coli* no se encuentra en el alimento, es muy probable que *Salmonella* sp. tampoco.

A manera de contraste, *Listeria monocytogenes* también es un patógeno asociado a brotes en hortalizas mínimamente procesadas, sin embargo, este no es de origen entérico. Esta bacteria es ubicua, es decir, se encuentra ampliamente distribuida en el ambiente (Adams *et al.*, 2016). En virtud de esto, se decidió analizar en el presente estudio la presencia/ausencia de *L. monocytogenes* como patógeno en esta fruta, en lugar de *Salmonella* sp.

De acuerdo con Buchanan *et al.* (2017), desde el año 2010, Estados Unidos ha experimentado una serie de brotes de listeriosis atribuidos a los alimentos considerados de "riesgo moderado" o de bajo riesgo por las evaluaciones de riesgo existentes. El listado de este tipo de alimentos incluye frutas y hortalizas, tales como apio, lechuga, melón, coles, fruta de hueso (duraznos enteros, nectarinas y ciruelas) y manzanas acarameladas. Inclusive, se han retirado del mercado, por contaminación con *L. monocytogenes*, ensaladas empacadas (CDC, 2016a), vegetales congelados (CDC, 2016b), tomate rostizado (FDA, 2018) y comidas preparadas listas para el consumo de pollo o carne con hortalizas (Food Safety Strategies, 2018).

Dentro de las normas generales para prevenir la contaminación con *L. monocytogenes*, se incluye el lavado de las frutas y hortalizas crudas, la separación de las carnes crudas de hortalizas, alimentos no cocidos y alimentos listos para consumir y el lavado de las manos, instrumentos y superficies en contacto con alimentos que no se cocinan previo a su consumo (Rodríguez, 2018).

Por otro lado, de acuerdo con Hernández *et al.* (2011), el agua de riego es uno de los factores más influyentes en la calidad microbiológica de la fruta. Desde el punto de vista microbiológico, la presencia de ciertos grupos de bacterias puede revelar una contaminación reciente por materia fecal o materia orgánica. La carga bacteriológica de cierto tipo de patógenos en el agua puede contaminar los cultivos, aumentando con ello el riesgo de brotes alimentarios por la ingesta de las hortalizas, las cuales principalmente se consumen crudas.

La calidad sanitaria del agua está basada en la cantidad de organismos indicadores presentes. Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, así como su concentración y reacción frente a factores ambientales. Lo que los diferencia es que son más fáciles, rápidos y económicos de identificar (Hernández *et al.*, 2011).

Los microorganismos más usados como indicadores de calidad sanitaria son los coliformes totales y coliformes termotolerantes (Hernández *et al.*, 2011). Inclusive, para determinar la potabilidad del agua en Costa Rica, se analizan coliformes termotolerantes y *E. coli* (Ministerio de Salud, 2019), ya que como se mencionó anteriormente, *E. coli* es indicador de contaminación fecal.

Según Callejas (2011), en los últimos años ha aumentado la aparición de brotes alimentarios de origen microbiano asociados con hortalizas enteras y mínimamente procesadas. Para este tipo de alimentos, la desinfección es el único paso de la cadena de producción para la inactivación y/o eliminación de bacterias patógenas, así como la reducción de la microbiota normal asociada. Como parte de los desinfectantes comúnmente empleados en tomate, se incluyen soluciones acuosas de peróxido de hidrógeno, ácido acético y ácido peracético (Baviera *et al.*, 2016).

Además, usualmente se utilizan cajas de madera o plástico para la cosecha, almacenamiento, distribución y transporte de tomate. Al higienizarlos correctamente, se evita que el contacto producido entre la fruta y el contenedor desemboque en la contaminación con microorganismos patógenos. Estos tienen la capacidad de adherirse a la superficie y, de existir las condiciones favorables, se multiplican desarrollando *biofilms* (exopolisacáridos hidratados). En consecuencia, los contenedores utilizados durante el transporte de frutas y hortalizas juegan un papel importante en la contaminación del producto (Pérez, 2014).

De acuerdo con los resultados encontrados por Pérez (2014), la potencial contaminación cruzada de los contenedores de cosecha hacia el tomate no depende sólo del material del que estén elaborados, sino también de la aplicación de los correctos procedimientos de lavado y desinfección, así como de las buenas prácticas de higiene del personal.

Para la recolección de la fruta, no solo se suelen utilizar cajas de madera o plástico, sino también bolsas fabricadas de polietileno o lona. Además, de acuerdo con la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés) (2015), los contenedores destinados al contacto con el producto fresco se consideran “superficies en contacto con alimentos” y deben limpiarse y desinfectarse con la frecuencia suficiente para evitar que se conviertan en focos de contaminación.

Por otro lado, existen tres técnicas o tipos de manejo principales de cultivo de tomate: tradicional, orgánica e hidropónica. Según Madrid (2009), la agricultura tradicional es un modelo que plantea un sistema de producción de alta eficiencia, que tiene como mecanismo básico el monocultivo y que es dependiente del uso de insumos químicos. No obstante, se ha demostrado que el uso frecuente e indiscriminado de plaguicidas ha generado una serie de problemas, tales como mecanismos de resistencia en las plagas, contaminación de los suelos y residuos tóxicos en los alimentos (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2018).

Es así como han nacido otras alternativas de cultivo, tales como la agricultura orgánica y la hidroponía. La agricultura orgánica se diferencia de la tradicional al prescindir de aportes sintéticos y de organismos genéticamente modificados (OGM). Al mismo tiempo, minimiza el uso de los recursos no renovables y no utiliza fertilizantes ni plaguicidas químicos, con el objetivo de proteger al medio ambiente y la salud humana (Andersen, 2003).

Por otro lado, la hidroponía corresponde a una modalidad de manejo de plantas que permite su cultivo sin suelo o tierra. Además, se utilizan sitios o áreas no convencionales, sin perder de vista las necesidades de las plantas, tales como luz, temperatura, agua y nutrientes. En este sistema, los elementos minerales esenciales son aportados por una solución nutritiva, la cual se inyecta al sustrato donde se encuentran las raíces de las plantas (Beltrano & Giménez, 2015).

Con base en lo anterior, en la presente investigación se propuso como objetivo comparar la calidad microbiológica de la fruta, del agua de riego empleada y de los contenedores de cosecha utilizados, así como la eficacia del lavado y desinfección post cosecha aplicado, en tres fincas de producción de tomate (tradicional, orgánica e hidropónica).

Los resultados obtenidos de los diferentes análisis microbiológicos permitieron aportar propuestas de mejora a las fincas y plantas empacadoras de tomate estudiadas. De igual manera, la información producida hizo posible la generación de recomendaciones para futuros estudios relacionados. Finalmente, la importancia del proyecto recayó en que la evaluación, corrección y mejora continua de las prácticas agrícolas y productivas, permite velar por el aseguramiento de la inocuidad y calidad de un alimento tan consumido, tanto a nivel mundial como nacional.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Comparar la calidad microbiológica de la fruta, del agua de riego y de los contenedores de cosecha, así como la eficacia del lavado y desinfección post cosecha, en tres fincas de producción de tomate (tradicional, orgánica e hidropónica).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar la presencia/ausencia de *Listeria monocytogenes*, el recuento total aerobio, el recuento de mohos y levaduras y el recuento de *E. coli* y coliformes totales, obtenidos en tomates producidos por las tres fincas.
- Comparar los recuentos de *E. coli*, coliformes totales y coliformes termotolerantes del agua de riego empleada en las fincas tradicional e hidropónica.
- Comparar los recuentos obtenidos en los contenedores utilizados para la cosecha de tomate, empleados en las tres fincas, de los dos indicadores con mayores recuentos en tomate cosechado.
- Comparar la reducción logarítmica, lograda al emplear los métodos de lavado y desinfección de tomate, aplicados en las fincas tradicional e hidropónica, de los dos indicadores con mayores recuentos en tomate cosechado.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Generalidades del tomate

El tomate moderno (*Solanum lycopersicum*) pertenece a la familia *Solanaceae* con aproximadamente 3000 miembros (Sánchez, 2017). La especie es nativa de América del Sur, específicamente de Perú y de las Islas de los Galápagos. Sin embargo, esta fue domesticada por primera vez en México (Jones, 2007).

Es una planta herbácea, perenne y dicotiledónea. Su tallo es grueso y verde y sus hojas son compuestas y pinnadas. Su flor consta de cinco o más sépalos y de cinco pétalos de color amarillo, que se encuentran dispuestos de forma helicoidal (López, 2017).

Su fruta es una baya carnosa y existen variedades redondas, ovaladas, acanaladas, semi acanaladas, lisas, con forma de pera y alargadas. A nivel comercial, se agrega además la categoría “Cocktail/Cherry” (OECD, 2019). En su sección transversal se encuentran las cavidades ováricas, las cuales contienen las semillas dentro de un medio gelatinoso. Dependiendo del tipo de tomate, puede tener de dos a siete cavidades en total. Además, al alcanzar la madurez, la fruta desarrolla una serie de pigmentos, tales como los antocianos y los carotenos, los cuales generan sus colores característicos (Gorini, 2018). Dentro del grupo de carotenoides, el licopeno es el principal responsable de la coloración roja en este alimento (Romero, 2021).

El tomate además se clasifica y destina dependiendo de sus características físicas y defectos visuales; existen tomates de “Extra Clase”, “Clase I” y “Clase II”. Se toma en cuenta su tamaño, peso, la presencia de manchas o coloraciones, protuberancias, agrietamiento, moretones y daños en la piel (OECD, 2019).

Esta fruta no tolera climas helados, por lo que crece de forma anual en climas templados. No obstante, es una planta perenne en regiones tropicales y subtropicales del mundo. Además, su flor tiene la capacidad de auto polinizarse. En la actualidad, se utilizan híbridos de tomate con mayor resistencia al estrés y al ataque de plagas, mejor color, tamaño, firmeza y mayor vida útil (Jones, 2007).

El tomate se destina al consumo fresco, así como en la producción de salsas, pastas concentradas y jugos. Adicionalmente, es un alimento reconocido por sus altos niveles de vitamina A y calcio, con 900 UI y 13 mg/100g respectivamente (Álvarez, 2018).

### 3.2 Producción de tomate

Independientemente del método de agricultura que se aplique, para el cultivo de tomate se debe iniciar preparando la fertilidad de los suelos o sustratos que tendrán contacto con las raíces de la planta. Se deben considerar los requerimientos nutricionales específicos del tomate, la calidad del suelo o sustrato, la variedad de la semilla y las propiedades del agua de riego. Las semillas de tomate se siembran en almácigo hasta que cumplan alrededor de ocho semanas. Posteriormente, las plantas se siembran en la tierra, como es el caso de la agricultura orgánica y tradicional, o en sustratos, como se realiza en hidroponía. La fruta final, lista para su cosecha, se obtiene después de aproximadamente tres meses (Giraldo, 2017).

La planta debe recibir sol y requiere rafias para promover su crecimiento erecto. El momento en que se recolectan los tomates depende del nivel de madurez que se desee en la fruta, así como del tratamiento post cosecha que va a recibir y su forma de comercialización. Sin embargo, este proceso es de aproximadamente tres meses en total (Giraldo, 2017).

Por otra parte, la temperatura óptima de desarrollo del tomate oscila entre 20 °C y 30 °C durante el día y entre 10 °C y 17 °C durante la noche. Esto debido a que temperaturas superiores a los 30-35 °C podrían afectar el desarrollo de los óvulos, desembocando en la malformación de la fruta (López, 2017).

Además, la humedad relativa óptima debe oscilar entre un 60% y un 80%. Si, por el contrario, hay humedades relativas muy elevadas, se favorece el desarrollo de enfermedades aéreas, el agrietamiento de la fruta y la dificultad de la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. Por otro lado, una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2007).

En cuanto a la luminosidad, valores reducidos pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de floración y fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos del período vegetativo, resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2007).

Aunque se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2007) y prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica, la planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje (Holwerda, 2006; Jones, 2007). En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta levemente alcalinos cuando están enarenados (pH entre 6,0-6,5) (Holwerda, 2006). Inclusive, el tomate es la especie cultivada en invernadero que mejor

tolera las condiciones de salinidad, tanto del suelo como del agua de riego (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2007).

Además, Infoagro (2017) indica que los elementos más importantes para el crecimiento de las plantas son los macronutrientes, tales como el nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales deben ser suministrados a través de fertilizantes. En el caso de los mesonutrientes, como lo son el calcio, magnesio y azufre, y los micronutrientes u oligoelementos, como el hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno, están generalmente presentes en el suelo en cantidades suficientes y son necesarios en dosis menores. Estos elementos, en combinación con el oxígeno, carbono e hidrógeno, conforman los nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos.

En el caso del tomate, la necesidad de los diferentes nutrientes va cambiando de acuerdo con la etapa de crecimiento de la planta. Además, para definir los fertilizantes óptimos a aplicar, es necesario primero analizar la composición del suelo, de manera que se puedan identificar los elementos de los que carece la tierra a trabajar (López, 2017).

No obstante, Holwerda (2006) resalta la importancia particular del potasio y del calcio para el cultivo de tomate. Adicionalmente, es común emplear estiércol animal para nutrir el suelo. Sin embargo, se recomienda limitar su dosis a un 25% del total del requerimiento de nitrógeno. Además, resalta la necesidad de aplicar una menor cantidad de nitrógeno en hidroponía respecto del cultivo orgánico y/o tradicional, de manera que se evite la pudrición del extremo de la flor (BER por sus siglas en inglés), defecto conocido durante la floración de la planta de tomate.

### **3.2.1 Agricultura tradicional**

De acuerdo con lo explicado por Giraldo (2017), en el modelo de agricultura tradicional, primero se procede a escoger la variedad de tomate que se desea cultivar. Las semillas deben pasar por un proceso de selección, certificadas como libres de enfermedades y plagas. Dentro de una bandeja con 200 orificios (conocida como almácigo) previamente desinfectados, se agrega un conjunto de tierra con abonos, llamado turba y se coloca una semilla por orificio. En cuatro días, la semilla comienza a germinar y a los 21 días, se traslada a la tierra (Álvarez, 2018).

El terreno debe estar previamente humedecido y abonado durante ocho días antes de la siembra. Para que tengan suficiente campo para crecer, cada planta de tomate se cultiva de 30 cm a 60 cm de distancia entre sí dentro de una misma fila y de 76 cm a 121 cm entre filas

(Jones, 2007). Además, con el fin de conocer cuáles tipos de abono son mejores para aplicar, es importante identificar las deficiencias nutricionales del terreno (Ozores-Hampton, 2011).

La tierra debe abonarse periódicamente, directamente sobre las raíces, para ayudarle a la planta a crecer de forma apropiada. Primero se agrega abono orgánico al momento inicial de la siembra y se aplica un mejorador de suelo a los 20 días, el cual contiene minerales como calcio, potasio y fósforo. Al mes, inicia la aplicación de abonos químicos, en el caso del método de cultivo tradicional (Giraldo, 2017).

Adicionalmente, durante el cultivo del tomate, se utilizan abonos granulados, aplicados directamente en el suelo, polvos cristalinos finos, los cuales se disuelven previamente en agua antes de aplicar en el suelo y abonos líquidos. Los nutrientes más importantes que se incorporan en los fertilizantes y abonos incluyen al nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, zinc y manganeso (López, 2017).

En cuanto a la fumigación, en campo abierto (figura 1), usualmente se fumiga cada 1,5 días, mientras que, en modalidad de invernadero, cada 15 a 20 días. Así, sembrar dentro de un terreno protegido o invernadero disminuye la cantidad de fungicidas necesaria para combatir las plagas, principalmente en época lluviosa. También, es necesario realizar podas periódicas para fomentar el crecimiento de la planta de tomate (Giraldo, 2017).



**Figura 1.** Agricultura tradicional de tomate a campo abierto. Elaboración propia.

Después de 25 días de sembrado, la planta se cuelga utilizando tiras de mecate, de manera que se ayude a estirar el tallo de la planta. Al cumplir la planta los 75 días de sembrada, llega a medir aproximadamente dos metros de alto y comienza la generación de las frutas. Se considera entonces una planta de tomate adulta (López, 2017).

Los tomates que primero se cosechan provienen de la parte inferior de la planta y tienden a presentar coloraciones verdosas y rojizas. La recolección se realiza de forma manual y se colocan en canastas o cajas de plástico. En centros de acopio, se dan procesos de clasificación en primera, segunda y tercera categoría, para ser después trasladados a los diferentes puestos de venta, incluidos supermercados y restaurantes (Álvarez, 2018).

En este tipo de agricultura, se suelen emplear pesticidas y plaguicidas para combatir el ataque de insectos y plagas, respectivamente. Estos pueden ser cloronicotinilos, organofosforados, piretroides, carbamatos o de origen orgánico (Ruiz *et al*, 2011).

Recharte (2015) explica que los fertilizantes y plaguicidas químicos han sido beneficiosos para el sector agrícola. Esto debido a que han ayudado a proveer de nutrientes los suelos, aumentando los rendimientos y la calidad del producto que se cosecha, así como el combate contra insectos y plagas. No obstante, el abuso en su utilización genera residuos que producen salinización, problemas en el drenaje, compactación del suelo, disminución de microorganismos benéficos, producción de gases tóxicos que dañan la capa de ozono y resistencia por parte de los organismos plaga (Madrid, 2009).

Al mismo tiempo, se ha evidenciado la remanencia de residuos tóxicos en los alimentos, así como el riesgo directo para la salud de quienes los manejan sin la protección adecuada (Ruiz *et al*, 2011) (OMS, 2018). Inclusive, de acuerdo con Aguilar y Heredia (2020), se ha demostrado que las hortalizas tienen una alta concentración de agroquímicos, tales como aldrín, dieldrín, organofosforados, organoclorados, fentió, etió, clorfenvinfos, malation, diazinon, carbomatos, clorpirifos y butaclor.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) (2017b) regula la cantidad máxima de plaguicidas que deben utilizarse, de manera que se minimicen los efectos adversos generados por sus residuos. Adicionalmente, han establecido los valores de ingesta máxima diaria recomendada para cada una de estas sustancias, con el objetivo de garantizar la inocuidad de los productos consumidos. En todo caso, la OMS (2018) ha declarado que ninguno de los plaguicidas autorizados ha demostrado producir genotoxicidad. Sin embargo, si estas cantidades no se respetan, se pueden producir efectos agudos y crónicos para la salud del ser humano, incluyendo el cáncer. La OMS (2018) ha reportado que las personas con mayor riesgo de sufrir estas consecuencias son aquellas que trabajan directamente expuestas a estas sustancias y sin el equipo de protección adecuado. Además, resalta que los insecticidas son más tóxicos para el ser humano que los herbicidas.

Vacas (2011) explica que se pueden emplear semioquímicos como una alternativa para luchar contra el ataque de insectos. Estas sustancias tienen la ventaja de que son altamente

selectivas, así como su elevada efectividad al usar bajas dosis. Dentro de esta categoría se incluyen las feromonas sexuales y los aleoquímicos.

Según González *et al.* (2012), estas herramientas se emplean principalmente para controlar el ataque de lepidópteros. Dichas sustancias median el encuentro temporal y espacial entre los sexos. En el caso de lepidópteros, pueden atraer a machos desde decenas a cientos de metros. Esta modalidad de comunicación especie-específica opera como mecanismo de aislamiento reproductivo entre especies. Esta técnica puede eliminar o reducir en forma muy importante la necesidad de control químico.

### **3.2.2 Agricultura orgánica**

La metodología de trabajo de la agricultura orgánica es semejante a la del cultivo tradicional, con la excepción de que la primera prescinde de cualquier sustancia sintética para nutrir la tierra y controlar las plagas. De igual manera, no utilizan semillas que hayan sido genéticamente modificadas. Dentro de este sistema, se promueve la utilización de métodos biológicos y mecánicos para cualquier función específica, en oposición a las técnicas tradicionales de control químico (Soto, 2003).

Esto tiene como fin la disminución del impacto ambiental y social que generan comúnmente las actividades agropecuarias (Bosona & Gebresenbet, 2018). El principal objetivo es disminuir su huella de carbono y producir alimentos de una manera más sostenible (Ronga *et al.*, 2019).

A manera de ejemplo, Bosona & Gebresenbet, (2018) proponen utilizar estiércol animal como abono orgánico, en vez de fertilizantes químicos. Esto debido a que los abonos orgánicos representan una opción sostenible de nutrición para las plantas, siendo muchos de ellos extraídos a partir de fuentes vegetales por medio de técnicas como el compostaje.

La Comisión Europea (2007) expone en el Reglamento (CE) 834/2007 los lineamientos definidos para la agricultura orgánica. El sistema pretende combinar las mejores prácticas ambientales, obteniendo un elevado nivel de biodiversidad, preservando los recursos naturales, velando por el bienestar animal y satisfaciendo la demanda del consumidor actual por productos más naturales.

La reglamentación especifica el período de transición de la finca, la selección de semillas, genotipos y materiales vegetales, el método de mejoramiento de las plantas, el mantenimiento de la fertilidad del suelo empleado, la reutilización de materia orgánica, la rotación de cultivos,

el método de labranza, la conservación del agua y el control de plagas, enfermedades y maleza (Andersen, 2003; Soto, 2020).

Por otro lado, se ha demostrado que los cultivos orgánicos, en comparación con los no orgánicos, tienen en promedio mayores concentraciones de compuestos antioxidantes y menor incidencia de residuos de plaguicidas en sus órganos comestibles (Barański *et al.*, 2014). Además, se ha evidenciado la mejora de la biodiversidad de los suelos, la disminución de la pérdida de nutrientes en la tierra y el incremento de la conservación del agua. No obstante, entre sus mayores limitaciones está el alto riesgo relacionado con el control de plagas y malezas. Por lo tanto, se recomienda incorporar biopesticidas, agentes biológicos de control y otras herramientas que permitan aumentar la competitividad de este tipo de agricultura (Heuvelink, 2018).

Dentro de la agricultura orgánica se puede incluir también el concepto de agroecología. Esta se define como ciencia que estudia cómo interactúan los diferentes componentes de un agroecosistema. Se busca optimizar las prácticas de trabajo, aumentando su sostenibilidad. Además, tiene un fuerte componente social, promoviendo la justicia social y la viabilidad económica en las zonas rurales (FAO, 2021).

Esta disciplina científica es relativamente nueva y se posiciona frente a la agronomía convencional como una alternativa verde para producir alimentos. La idea de esta práctica es diseñar sistemas de producción de cultivos, implementando una mirada integral acerca del ecosistema, e incluyendo el entorno social como factor determinante de todo el proceso (Céspedes, 2019).

Por otro lado, a nivel nacional, en 1994 se creó el Programa Nacional de Agricultura Orgánica y en el 2006, se estableció la “Ley para el desarrollo, promoción y fomento de la agricultura orgánica nacional para personas definidas como micro, pequeñas y medianas agricultoras orgánicas”. Además, se desarrolló un departamento específico dentro del MAG para regir la producción orgánica (Araya, 2019).

Adicionalmente, en Costa Rica existe el Movimiento de Agricultura Orgánica Costarricense (MAOCO), el cual se encarga de guiar y dar apoyo a todos los productores que deseen realizar la transición a la modalidad orgánica. También, les brinda la opción de afiliarse con el fin de que ASOMAOCO garantice que sus asociados efectivamente cumplen con las buenas prácticas orgánicas (MAOCO, s.f).

No obstante, Barrientos (2021) afirma que, en Costa Rica, a pesar del marco normativo existente, los avances en la agricultura orgánica son muy lentos. Según el Registro en Agricultura Orgánica (ARAO) (2020), a junio del 2020, se contabilizan únicamente 98



operadores orgánicos certificados, los cuales se dedican a producción en fincas, procesos de exportación, procesamiento o comercialización. De estos, 58 corresponden a productores a nivel de finca, reuniendo en total 10064,41 ha de cultivos orgánicos en el país: 30 son pequeños productores (242,35 ha), 16 son medianos (76128 ha) y 12 son grandes productores (9060,78 ha).

Si bien las fincas nacionales de producción orgánica tienden a preferir cultivar hortalizas como lechuga, culantro y brócoli, de acuerdo con la encuesta realizada por Camacho *et al.* (2015) a un total de 30 finqueros productores de hortalizas orgánicas dentro del Gran Área Metropolitana, un 37% también produce tomate orgánico. Inclusive, hasta el 2020, en Costa Rica existían aproximadamente 12 productores certificados de tomate orgánico (González, 2020).

Por otro lado, a nivel internacional, el 75% de la siembra de tomate orgánico se concentra en solamente diez países, destacándose China, Estados Unidos, Turquía, México, Brasil y Chile (Murillo *et al.*, 2015).

### **3.2.3 Agricultura hidropónica**

Tradicionalmente, la tierra ha provisto de nutrientes y agua a los cultivos que en ella crecen. Sin embargo, esta trae consigo una serie de complicaciones, tales como la presencia de microorganismos y nemátodos que causan enfermedades a las plantas, la degradación de los suelos y el drenaje insuficiente. Es así como surge la hidroponía, una técnica agrícola moderna que utiliza una solución de minerales como sustituto de la tierra para la nutrición de cultivos (Khan *et al.*, 2018).

La hidroponía se define como la ciencia que estudia la forma de cultivar plantas sin suelo, empleando medios inertes como sustratos de crecimiento. Dentro de los materiales más utilizados destaca la grava, la arena, la turba, la vermiculita, la perlita, la fibra de coco, la cáscara de arroz, el aserrín y la piedra pómez. Adicionalmente, al sustrato se le agregan soluciones nutritivas con los elementos esenciales disueltos en agua para el crecimiento adecuado de las plantas (Resh, 2012).

La composición de dichas sustancias depende del cultivo y de sus necesidades nutricionales específicas. En el caso del tomate, se recomienda aplicar calcio y potasio periódicamente, adicional a la solución principal de nutrientes (Soto, 2015). Esto permite aumentar los rendimientos obtenidos e incrementar el aprovechamiento del espacio y recursos

invertidos (Beltrano & Giménez, 2015). Es por esto que la hidroponía se considera como una opción ideal para la agricultura en zonas urbanas (Soto, 2015).

Además, permite controlar mejor el pH del suelo, la concentración de oxígeno en el ambiente y la nutrición de la planta, así como la hidratación del cultivo, monitoreando con precisión el agua de riego (Soto, 2018). Usualmente se cuenta con un sistema de riego automatizado que trabaja con detectores de humedad (Estornell, 2018), disminuyendo así la cantidad de mano de obra requerida (Resh, 2012).

Dentro de la agricultura hidropónica, existen sistemas de cultivos sin sustrato y cultivos en agregado. El cultivo sin sustrato es una técnica de solución nutritiva recirculante (NFT por sus siglas en inglés), en la cual los nutrientes están disueltos en agua y son llevados en contacto con las raíces directamente. En esta técnica se provee soporte a la planta mediante enganches o cables metálicos y se utiliza un sistema de agua aireada. Por su parte, el cultivo en agregado (Aggregate Culture en inglés) (figura 2) es una técnica donde las raíces están creciendo en un medio sólido, inerte, capaz de retener suficiente humedad (Beltrano & Giménez, 2015).



**Figura 2.** Agricultura hidropónica de tomate mediante cultivo en agregado (Grill, 2018)

Una ventaja de este método de cultivo es que, al no trabajar con suelo, se evitan las malezas y enfermedades transmitidas usualmente por la tierra. También, se omite la preparación de los suelos por medio del arado, la aplicación de abono orgánico y la desinfección. Además, no es necesaria la rotación de cultivos y se preserva mejor el agua (Gilsanz, 2007).

No obstante, es importante velar también por la limpieza del sustrato, ya que este podría llegar a contaminarse con huevos, larvas, bacterias, mohos y levaduras, lo cual podría desembocar en la generación de plagas y enfermedades. Consecuentemente, se recomienda

desinfectar el sustrato utilizando cloro, agua hirviendo o un bactericida-fungicida a base de cítricos (Chaves y Campos, 2011).

Cultivar bajo un modelo de hidroponía, específicamente dentro de un invernadero, ofrece una mayor protección contra plagas y enfermedades, lo cual permite disminuir la aplicación de pesticidas al mínimo (Ramírez & Nienhuis, 2012). Además, permite controlar mejor la humedad, la temperatura, la luz, el dióxido de carbono, el agua y la fertilización (Castilla, 2007).

No obstante, una de las mayores desventajas de la hidroponía es la alta inversión económica inicial, principalmente destinada a la construcción del invernadero. Además, representa elevados costos de mantenimiento, asociados a los recursos invertidos en el control de temperatura, el bombeo de agua enriquecida con nutrientes, el uso de abanicos y sensores y la mano de obra especializada en este tipo de producción (Gilsanz, 2007).

A nivel mundial, los países que más se destacan con la práctica de agricultura hidropónica en invernaderos son Estados Unidos, Canadá, México, Bélgica, Holanda, Alemania, China, Nueva Zelanda y Australia (Resh, 2012a). Según lo indicado por Hickman (2011), la producción de hortalizas hidropónicas en invernaderos rondaba las 35 000 ha en ese año.

En Costa Rica, han surgido iniciativas para promover el uso de la hidroponía como alternativa a la agricultura tradicional. A manera de ejemplo, estudiantes de la Universidad de Costa Rica han propuesto un proyecto de “Hidroponía Inteligente”, enfocando su aplicación en la zona urbana. El diseño tiene por objetivo ofrecer a las personas la capacidad de sembrar sus hortalizas en menos de un metro cuadrado, así como ahorrar agua, prescindir de luz natural y disminuir o eliminar la aplicación de agroquímicos. Además, funciona a través de un sistema automatizado, controlado por medio de “Bluetooth”, sensores de temperatura y humedad, luces y bombas de agua (Salas, 2019).

Por otro lado, el MAG ha promovido este tipo de agricultura por medio de instituciones como la “Fundación para el fomento y promoción de la investigación y transferencia de tecnología agropecuaria en Costa Rica” (Chaves y Campos, 2011). También, se han desarrollado materiales didácticos para facilitar la capacitación de personas que deseen incursionar en la producción hidropónica de hortalizas. Tal es el caso del “Manual Instructivo de Alternativas Productivas en Cultivos Hidropónicos”, diseñado por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, dirigido a emprendedores de la región Huetar Atlántica (Jiménez, 2010).

Para el cultivo de tomate, la hidroponía representa una buena opción para producir, ya que soluciona problemas agrícolas, tales como suelos salinos, escasez de agua y desertificación de la tierra por monocultivos (Estornell, 2018). Además, la producción de esta fruta en invernadero hidropónico resulta beneficiosa, debido a las altas temperaturas que se logran alcanzar. Si el tomate se cultiva a temperaturas menores a los 20-30 °C, se puede generar carencia de jugosidad, sabor arenoso y cambios en la textura (Khan *et al.*, 2018). Finalmente, se ha demostrado que la hidroponía bajo invernadero mejora la productividad económica del cultivo de tomate, respecto a la agricultura tradicional (Malik *et al.*, 2018).

En el caso de Costa Rica, en los últimos años han sobresalido las zonas de Zarcero, Cartago, Guanacaste y San Carlos como sitios reconocidos por el cultivo de tomate bajo hidroponía en invernadero (Ramírez, 2011).

### **3.3. Tratamientos post cosecha del tomate**

La mayoría de los métodos para la desinfección de frutas y hortalizas se basan en procesos químicos y/o físicos. Dentro de los métodos físicos se encuentran la irradiación, los tratamientos térmicos y la remoción mecánica. En el caso de los tratamientos térmicos, sobresale la inmersión en agua caliente (70 °C por 2 minutos) y el curado. En este último, se somete el producto a temperaturas mayores a los 30 °C y humedades relativas superiores al 90% durante varios días, inhibiendo el crecimiento de ciertos mohos y patógenos (Garmendia & Vero, 2006).

Por otro lado, los métodos químicos involucran el uso de agentes desinfectantes superficiales. La FDA (2008a) recomienda realizar lavados sucesivos para eliminar la suciedad superficial, desinfectar y enjuagar el producto con agua limpia. Para desinfectar, propone aplicar soluciones de cloro a concentraciones de 50-200 ppm, a un pH de 6,0-7,5, por un tiempo de 1 a 2 minutos.

Garmendia & Vero (2006) también mencionan el uso de soluciones de hipoclorito (50-200 ppm), dióxido de cloro (3-5 ppm), clorito acidificado (500-1200 ppm), fosfato trisódico (100-200 ppm), peróxido de hidrógeno (1-3%), ácido peracético (40-80 ppm), ácido láctico, ácido acético, bicarbonato de sodio y ozono. Sin embargo, algunos de ellos están asociados a ciertas desventajas.

En el caso del ozono, su actividad depende de varios factores, tales como el tipo de producto, la especie de microorganismo, el nivel de contaminación inicial, el estado fisiológico de los microbios y el estado físico del ozono. Consecuentemente, su eficacia desinfectante se

ve limitada. Adicionalmente, su presencia puede generar la disminución del contenido de vitaminas y polifenoles, así como la pérdida de firmeza y color de las frutas y hortalizas desinfectadas (Brodowska *et al.*, 2017).

Por su parte, el peróxido de hidrógeno puede producir blanqueamiento en ciertas frutas y hortalizas, tales como fresas y frambuesas y puede oxidar compuestos fenólicos en hongos comestibles. Adicionalmente, puede ser descompuesto por enzimas catalasas y oxidasas presentes en algunas bacterias. En el caso del ácido peracético, este tiene un olor picante, lo cual dificulta su manipulación (Robles *et al.*, 2018).

Además, la descarga al ambiente del fosfato trisódico y el bicarbonato de sodio puede ser perjudicial, debido a su alto pH (Garmendia & Vero, 2006). Finalmente, los desinfectantes a partir de cloro pueden reaccionar con la materia orgánica, generando compuestos posiblemente cancerígenos, tales como hidrocarburos clorados y trihalometanos. También, estos pueden producir vapores tóxicos, irritando el tracto respiratorio y la piel de los aplicadores (Dandie *et al.*, 2020).

Por otro lado, López (2003) menciona la importancia de aplicar agitación o cepillar para obtener mejores resultados durante la limpieza de las frutas y hortalizas. Además, como alternativa al lavado, se puede ejecutar un cepillado complementando con la acción de soplado de una máquina de aire frío.

Paltrinieri (2014) también sugiere que ciertas frutas y hortalizas, sobre todo aquellas que son sensibles al agua, pueden limpiarse superficialmente con un paño de tela limpio o realizarles un proceso de tamizado para eliminar la tierra y suciedad más gruesa. Además, se recomienda aplicar un fungicida después de haber lavado y secado el producto.

La ley FSMA indica que las frutas y hortalizas deben ser desinfectadas con productos aprobados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) o de lo contrario, el productor debe demostrar que el alimento está en un estado óptimo para su consumo. Además, algunos desinfectantes están prohibidos por la EPA dependiendo del estado específico de los Estados Unidos de América. De manera general, dentro de los desinfectantes autorizados se encuentran el dióxido de cloro, hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno, hipoclorito de calcio y ácido peracético (Clements *et al.*, 2018).

En el caso específico del tomate, la limpieza de la fruta se recomienda hacer por medio de duchas de agua con cloro, con un cepillado y secado con flujos de aire cálido al final. La remoción de suciedad puede hacerse con surfactantes, tales como jabón detergente, Agrotin SL o Inex-A y para la desinfección, puede aplicarse hipoclorito de sodio a 100-200 ppm. Además, se sugiere no sumergir los tomates en agua sino hacerlo por aspersión, ya que la fruta puede

absorber el agua a través del pedúnculo (Jaramillo *et al.*, 2007).

Parish *et al.* (2003) también mencionan la efectividad de utilizar ácido peracético a 60 ppm durante 2 minutos, en combinación con otros surfactantes, para lograr reducciones del 96-99% en patógenos como *Salmonella* sp., *E. coli* O157:H7 y *L. monocytogenes* en tomate. Adicionalmente, el agua debe estar a una temperatura superior a la que se encuentran los tomates, con el fin de evitar un diferencial de presión que potencie la internalización del agua en la fruta (FDA, 2008b).

Además de los procedimientos tradicionales, existen otras metodologías para la desinfección de tomate. Santa *et al.* (2010) usaron agua ozonizada en la desinfección de tomate, con una concentración de 1 mg/L y 15 minutos de aplicación, alcanzando una disminución de 6 log UFC/g de *E. coli* ATCC 25922 inoculada, a partir de una población de 8 log UFC/g de dicha bacteria.

Kyanko *et al.* (2010) disminuyeron la carga de mohos gracias a la aplicación de ácido peracético al 0,3%. Mencionan que lograron reducir, a partir de tomates con poblaciones micóticas de 6 log UFC/g, 3,89 log UFC/g de *A. alternata*, 3,78 log UFC/g de *F. graminearum* y 4,56 log UFC/g de *A. ochraceus*.

Por su parte, Luna *et al.* (2015) realizaron un estudio donde demostraron la efectividad desinfectante de la inmersión de tomate en una solución de 10 ppm de aceite de orégano por 10 minutos. Estos investigadores lograron disminuir en 3,05 log UFC/g la población de *E. coli* ETEC, a partir de un inóculo de 7 log UFC/g.

Otra alternativa desinfectante es sumergir el tomate en agua electrolizada neutra a 200 ppm por 1 minuto (Cadena, 2014). Esta metodología logra reducir en tomate cherry, a partir de una población inicial de 9 log UFC/g, más de 3 log UFC/g de la microbiota normal identificada (mesófilos aerobios, mohos y levaduras y coliformes), obteniendo resultados muy similares al desinfectar con hipoclorito de sodio a 200 ppm. De igual forma, ambos procedimientos desinfectantes disminuyen más de 2,5 log UFC/g de *Salmonella* sp. y *L. monocytogenes*, bacterias inoculadas en el tomate en una concentración de 9 log UFC/g.

### **3.4 Microbiología del tomate**

Productos como vegetales de hoja, ensaladas preparadas y vegetales frescos, se han asociado con brotes alimentarios con patógenos, tales como *E. coli* O157:H7 (CDC, 2017, 2018, 2019, 2020b), *Cyclospora* sp. (CDC, 2020c), *L. monocytogenes* (CDC, 2016c) y *Salmonella* Newport (CDC, 2014). En el caso del tomate fresco, su inocuidad se ha visto

afectada por la presencia de microorganismos patógenos tales como *E. coli* O157:H7, *E. coli* O157:H16, *E. coli* O105ab, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Typhimurium y *Salmonella* Newport (De Jesús *et al.*, 2018). Inclusive, se menciona que *Salmonella* sp. y *L. monocytogenes* son los patógenos más frecuentemente encontrados en tomate (Zarkani *et al.*, 2019).

*L. monocytogenes* es un bacilo Gram positivo no esporulado, ubicuo, el cual logra sobrevivir por mucho tiempo en los alimentos y constituye una preocupación para la industria agroalimentaria. Se le considera un patógeno psicrótrofo, capaz de desarrollarse a temperaturas de refrigeración (0-8 °C) (Adams *et al.*, 2016). Esta bacteria logra crecer a 4 °C en pocos días, a diferencia de otras bacterias patógenas, como *Salmonella* sp. o *Staphylococcus aureus*. Además, *L. monocytogenes* es capaz de desarrollarse dentro de un rango de pH de 4,3-9,4. Asimismo, esta bacteria puede crecer en concentraciones altas de NaCl (10%) y dentro de un rango de temperatura entre -0,15 °C y 45 °C (Liu, 2008).

Este patógeno afecta generalmente a personas mayores, mujeres embarazadas e inmunocomprometidos (incluyendo neonatos). A diferencia de otras infecciones asociadas con el consumo de alimentos, la listeriosis presenta una elevada tasa de mortalidad (20-30%). La principal vía de transmisión de *L. monocytogenes* es por el consumo de alimentos contaminados, aunque también se han visto casos de transmisión directa de animales a humanos y entre humanos (Rodríguez, 2018).

En vista de que no es factible realizar pruebas de detección para todos los microorganismos patógenos, la inocuidad de las frutas y hortalizas sólo puede asegurarse por medio del monitoreo de indicadores microbiológicos. Los indicadores poseen una tasa de crecimiento similar o mayor a los patógenos de interés, así como una tasa de inactivación ligeramente más lenta. Además, tienen la virtud que la metodología de detección y cuantificación de dichos microorganismos es usualmente más rápida, menos costosa y complicada que la de los patógenos (Hirotsu *et al.*, 2001; León *et al.*, 2009; Smoot & Pierson, 1997).

Dentro de dicho grupo se incluyen los mesófilos aerobios, los coliformes totales, los mohos y levaduras y los coliformes termotolerantes. Dentro de los mesófilos aerobios, se encuentran todas las bacterias capaces de desarrollarse a  $35 \pm 2$  °C en atmósfera aerobia. Al ejecutar este tipo de recuento, se estima la microbiota total presente en el alimento, sin especificar tipos de microorganismos (ICMSF, 2000). Este total refleja la calidad sanitaria de un alimento, las condiciones de manipulación y las condiciones higiénicas de la materia prima (Campuzano *et al.*, 2015).

En cuanto a los mohos y levaduras, la mayoría son microorganismos aerobios. Su nutrición es heterótrofa, pues adquieren su energía de compuestos orgánicos del suelo y del agua. Estos microorganismos se pueden encontrar ampliamente distribuidos en la naturaleza y forman parte de la microbiota normal de un alimento (Adams *et al.*, 2016). Sin embargo, también pueden ser agentes contaminantes de los alimentos, produciendo deterioro en frutas y hortalizas. Un 25% de las levaduras pueden causar la degradación de los alimentos debido al uso de carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y lípidos, originando mal olor. Esto altera el sabor y el color en la superficie de los productos contaminados y favorece el crecimiento de bacterias patógenas (Erkmen, 2016).

Las especies de mohos más asociadas con el deterioro post cosecha de frutas y hortalizas pertenecen a los géneros *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. (Kyanko *et al.*, 2010). En el caso del tomate, se ha resaltado el daño causado por *Aspergillus flavus*, *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium expansum* y *Penicillium notatum* (Bello *et al.*, 2016).

Las formas de deterioro más comúnmente producidas por mohos y levaduras en tomate incluyen la formación de lesiones espesas y gelatinosas, áreas cubiertas por estructuras fúngicas parecidas al algodón, coloraciones oscuras, agrietamiento de la fruta, malos olores y suavizamiento de los tejidos (Mahovic *et al.*, 2007). Algunos de estos microorganismos emiten enzimas que causan el deterioro del tomate. Tal es el caso de *Aspergillus niger* y su producción de amilasa, la cual degrada la pared celular de la fruta (Obafemi *et al.*, 2018).

Por otro lado, los coliformes totales son bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos, catalasa positivos, móviles, fermentadores de lactosa a  $35 \pm 2$  °C, capaces de producir ácido y gas (Batt, 2014). Se consideran importantes indicadores de contaminación del agua y los alimentos (Madigan *et al.*, 2004). Dentro de este grupo se encuentran los géneros *Escherichia* sp., *Citrobacter* sp., *Serratia* sp., *Klebsiella* sp. y *Enterobacter* sp (Kornacki *et al.*, 2015).

Las bacterias de este género se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos. Sin embargo, también se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y hortalizas. Estos microorganismos son empleados usualmente como indicadores microbiológicos de la higiene de los alimentos (Erkmen, 2016).

Los coliformes termotolerantes son aquellos que fermentan la lactosa a  $44,5 \pm 0,2$  °C y producen indol. Dentro de este grupo se encuentra *E. coli*, microorganismo que se emplea como un indicador de contaminación fecal en alimentos y que determina si el producto alimenticio



ha sido manipulado durante todo el proceso en condiciones que aseguren su higiene. Esto debido a que dicha bacteria es un componente natural de la microbiota intestinal de los animales de sangre caliente (González, 2018). Además, en virtud de que comparten un mismo origen, su presencia puede relacionarse indirectamente con la existencia de patógenos entéricos, tales como *Salmonella* sp., *E. coli* O157:H7 y *Shigella* sp. (Adams *et al.*, 2016).

Resulta común encontrar en la literatura el empleo de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. coli* como indicadores de la calidad microbiológica del tomate (Desiree *et al.*, 2020; Ocaña *et al.*, 2015; Ocaña, 2018). Inclusive, Van Dyk *et al.* (2016) determinaron que los coliformes que fueron más comúnmente identificados durante su estudio en esta fruta, fueron *Klebsiella* sp., *Citrobacter* sp. y *Enterobacter* sp. Adicionalmente, a pesar de que los tomates evaluados obtuvieron altos recuentos de coliformes (4,2-6,2 log UFC/log), no se detectó la presencia de *E. coli* ni de patógenos.

### **3.5 Estándares regulatorios microbiológicos**

#### **3.5.1 Reglamentación de calidad microbiológica de tomate**

De acuerdo con el Reglamento Técnico Centroamericano de Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de los Alimentos (RTCA) 67.04.50:17 (COMEX-S-MAG-MEIC, 2018), las frutas y hortalizas enteras, frescas y empacadas, deben presentar ausencia de *Salmonella* sp. y de *E. coli* O157:H7 en 25 g de alimento. Además, según la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994 (1994), las ensaladas verdes y vegetales frescos no pueden tener recuentos totales aerobios mesófilos (RTA) mayores a 5 log UFC/g.

Un alto RTA se relaciona principalmente con una disminución de la vida útil del producto, sin embargo, no es sinónimo de falta de inocuidad (Bolaños, 2002). De manera similar, un elevado recuento de mohos y levaduras usualmente implica una rápida degradación del alimento (Adams *et al.*, 2016). Sin embargo, actualmente su carga microbiana no se encuentra regulada, al menos para frutas y hortalizas frescas.

En cuanto al análisis de coliformes totales, este provee un panorama general de la condición sanitaria de los alimentos y del agua. Por su parte, las cargas de los coliformes termotolerantes son empleadas comúnmente como indicadores de la calidad microbiológica de mariscos y agua (FDA, 2020). No obstante, no existe una normativa que regule la cantidad máxima de coliformes en frutas y hortalizas frescas, ya que estos son parte de su microbiota normal y es prácticamente imposible eliminarlos por completo (Jay, 2009). En el caso de *E. coli* no patógena, su detección indica la existencia de contaminación fecal, prácticas agrícolas

y de manufactura inadecuadas, además de la posible presencia de patógenos de origen entérico (Bolaños, 2002).

### **3.5.2 Reglamentación de calidad microbiológica de agua de riego**

De acuerdo con la Reforma y Adición al Reglamento para la Calidad del Agua Potable DAJ-CB-1730-2018 (Ministerio de Salud, 2019), el agua potable debe carecer de coliformes termotolerantes y de *E. coli*. En el caso específico del agua de riego, esta no puede tener un recuento de coliformes termotolerantes mayor a 1000 NMP/100 mL, según lo indicado en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903 (Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud, 2007). En cuanto a la Ley FSMA, esta solicita que los agricultores controlen la carga microbiana de *E. coli* genérica presente en las aguas de riego utilizadas, cuya media geométrica debe ser menor a los 126 UFC/100 mL (Clements *et al.*, 2019; Woods *et al.*, 2020).

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO**

Los tomates analizados provinieron de tres fincas ubicadas en diferentes partes del país. La finca y planta empacadora de tomate hidropónico se encuentra en el cantón de Cartago en la provincia de Cartago. Por su parte, la finca de tomate tradicional se ubica en Barva de Heredia y la planta empacadora está en Santa Bárbara de Heredia. Finalmente, la finca de tomate orgánico se localiza en Zarcero de Alajuela.

Los análisis microbiológicos se realizaron en el laboratorio de microbiología del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Universidad de Costa Rica (UCR), sede Rodrigo Facio, San Pedro, Montes de Oca.

### **4.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y MUESTREO**

#### **4.2.1 VISITAS A LAS FINCAS Y PLANTAS EMPACADORAS**

Se visitaron inicialmente tres fincas productoras de tomate: una de agricultura orgánica, otra de hidroponía y la tercera, de cultivo tradicional. Como las fincas de cultivo hidropónico y tradicional también poseen su planta empacadora de tomates, estas fueron visitadas de la misma forma.

En la primera visita se conocieron y evaluaron las metodologías de cultivo, cosecha y post cosecha que aplica cada finca y planta empacadora. A partir de la información obtenida, se establecieron las prácticas de cultivo, cosecha y post cosecha a evaluar y se fijaron los objetivos de este trabajo.

Con el fin de verificar la consistencia y sistematización de las prácticas aplicadas en la etapa de cultivo, cosecha y post cosecha, las fincas y las plantas empacadoras se visitaron un total de tres veces, cada una, durante el desarrollo del estudio. Durante las visitas, se empleó como guía de recolección de datos el cuadro de descripción presente en la sección de Anexos (cuadro VI). Esto permitió interpretar los resultados microbiológicos obtenidos con base en lo observado en cuanto a las prácticas evaluadas.

#### **4.2.2 MUESTREO DE TOMATES CULTIVADOS BAJO AGRICULTURA ORGÁNICA, HIDROPÓNICA Y TRADICIONAL**

Los muestreos de tomates orgánicos, hidropónicos y tradicionales se llevaron a cabo en las respectivas fincas. Las variedades de tomate analizadas fueron las siguientes: Touche (finca hidropónica), Turrialba (finca orgánica) y Audaz (finca tradicional). En cada visita, se tomaron manualmente tres tomates al azar de distintas plantas, manipulados con guantes de látex limpios y desinfectados para evitar agregar microorganismos externos y alterar, consecuentemente, la microbiota normal presente en la fruta. Luego, se colocaron en bolsas plásticas tipo Ziploc y se transportaron al laboratorio en hielera. Los tres tomates de cada finca formaron una muestra compuesta. Los análisis se realizaron durante las primeras 48 horas a partir del muestreo.

#### **4.2.3 MUESTREO DE TOMATES DE AGRICULTURA ORGÁNICA, HIDROPÓNICA Y TRADICIONAL QUE HAN SIDO LAVADOS Y/O DESINFECTADOS POST COSECHA**

El muestreo de tomates manipulados post cosecha se llevó a cabo en las plantas empacadoras asociadas con las fincas de cultivo tradicional e hidropónico. En el caso de la finca de agricultura orgánica, la cual carece de una planta empacadora asociada, se tomaron los tomates que tenían listos para la venta al consumidor. Las frutas se recolectaron de un mismo contenedor en cada visita, las cuales habían sido cosechadas por un mismo colaborador en cada ocasión.

El muestreo incluyó tres tomates antes y tres tomates después de que estos hubieran sido sometidos a procesos de lavado y desinfección o limpieza superficial. Estos se tomaron al azar, formando muestras compuestas. Las frutas escogidas fueron manipuladas con guantes de látex limpios y previamente desinfectados para evitar agregar microorganismos externos y alterar consecuentemente la microbiota natural presente. Luego, se colocaron en bolsas plásticas tipo Ziploc y se transportaron al laboratorio en hielera. Los análisis se realizaron durante las primeras 48 horas a partir del muestreo.

#### **4.2.4 MUESTREO DEL AGUA DE RIEGO EMPLEADA EN AGRICULTURA ORGÁNICA, HIDROPÓNICA Y TRADICIONAL**

El muestreo de agua de riego se realizó en las tres fincas. El procedimiento se ejecutó sosteniendo (con guantes desinfectados) una botella previamente esterilizada cerca de su base, colocando la boca de la botella cerca de la boca de la manguera de riego, de forma que el agua de la manguera cayera dentro de la botella. Previo al muestreo de agua, se desinfectó el exterior de la manguera con alcohol al 70%, de manera que la microbiota que se analizara fuera exclusivamente del agua de riego y no, una contaminación ambiental. Además, el agua proveniente de la manguera se dejó correr por aproximadamente dos minutos, previo a la introducción de la muestra en la botella. En el caso específico de la finca hidropónica, el riego está programado, por medio de un programa informático, para realizarse durante un minuto. Por lo tanto, en esta finca el agua se dejó correr durante únicamente 20 segundos previo a la toma de la muestra. Las muestras de agua se conservaron frías en una hielera durante el transporte, con un tiempo máximo de seis horas entre la recolección y su análisis microbiológico. El hielo utilizado para enfriar se colocó en bolsas de plástico tipo Ziploc para que el mismo no tuviera contacto con las botellas. Una vez en el laboratorio, las muestras se refrigeraron y se analizaron durante las siguientes dos horas (American Public Health Association, 2017).

#### **4.2.5 MUESTREO DE LOS CONTENEDORES DE RECOLECCIÓN DE FRUTAS, EMPLEADOS EN LA COSECHA DE AGRICULTURA ORGÁNICA, HIDROPÓNICA Y TRADICIONAL**

En cada visita, para realizar el muestreo de tres contenedores de cosecha por finca, se tomó un área por contenedor de 50 cm cuadrados, medida con una plantilla estéril. Además, para ejecutar el muestreo, se usó una gasa estéril de algodón (10 cm x 10 cm), sin preservantes antimicrobianos, autoclavadas previamente dentro de bolsas de papel Kraft. Cada gasa se humedeció con 10 mL de una solución de peptona bacteriológica al 0,1%, polisorbato al 0,5% y lecitina al 0,07%. Esta gasa se manipuló asépticamente con guantes desinfectados. La superficie muestreada se frotó vigorosamente en tres direcciones distintas y después, la gasa se colocó asépticamente en una bolsa plástica estéril y se transportó en una hielera con hielo al laboratorio. Las superficies de los tres contenedores formaron una sola muestra compuesta. La gasa fue sumergida y masajeadada durante un minuto dentro de una botella estéril con 50 mL de

APE. Los análisis se realizaron durante las primeras 48 horas a partir del muestreo (Moberg & Kornacki, 2015).

### **4.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS**

Para evaluar la calidad microbiológica de los tomates cultivados, se realizó recuento total aerobio (RTA), recuento de mohos y levaduras (RML) y recuento de *E. coli* y coliformes totales por el método de Petrifilm. Además, se ejecutó el análisis de presencia/ausencia de *L. monocytogenes*.

A partir de estos resultados, se escogió RTA y RML como indicadores para evaluar la calidad microbiológica de las cajas de cosecha y la reducción logarítmica alcanzada por los procedimientos de lavado y desinfección o limpieza superficial de los tomates. Esto debido a que RTA y RML fueron los indicadores con los mayores recuentos obtenidos en tomate cultivado.

En el caso del agua de riego, se evaluó *E. coli*, coliformes termotolerantes y coliformes totales por el método de Número Más Probable (NMP).

Las técnicas de análisis con el respaldo bibliográfico correspondiente se describen a continuación:

#### **4.3.1 Recuento de coliformes totales y *E. coli***

Se realizó el recuento de coliformes totales y *E. coli* por el método de Petrifilm, como indicadores del cumplimiento de las Buenas Prácticas de Agricultura y Manufactura, la presencia de materia fecal y la existencia indirecta de patógenos entéricos, de acuerdo con el procedimiento P-SA-MM-008 del CITA (Association of Official Agricultural Chemists (AOAC), 2005; PETRIFILM 3M, 2000).

#### **4.3.2 Recuento de mohos y levaduras**

Se realizó el recuento de mohos y levaduras, microorganismos que pueden causar deterioro en el tomate y generación de micotoxinas, de acuerdo con el procedimiento P-SA-MM-007 del CITA (Da Silva *et al.*, 2013; FDA, 2020; Norma Oficial Mexicana, 1994; Ryser & Schuman, 2015).

#### **4.3.3 Recuento total aerobio mesófilo**

Se realizó el recuento total de aerobios mesófilos como indicador de la calidad microbiológica general del tomate, de acuerdo con el procedimiento P-SA-MM-001 del CITA (Da Silva *et al.*, 2013; FDA, 2020; Ryser & Schuman, 2015).

#### **4.3.4 Detección de *Listeria monocytogenes***

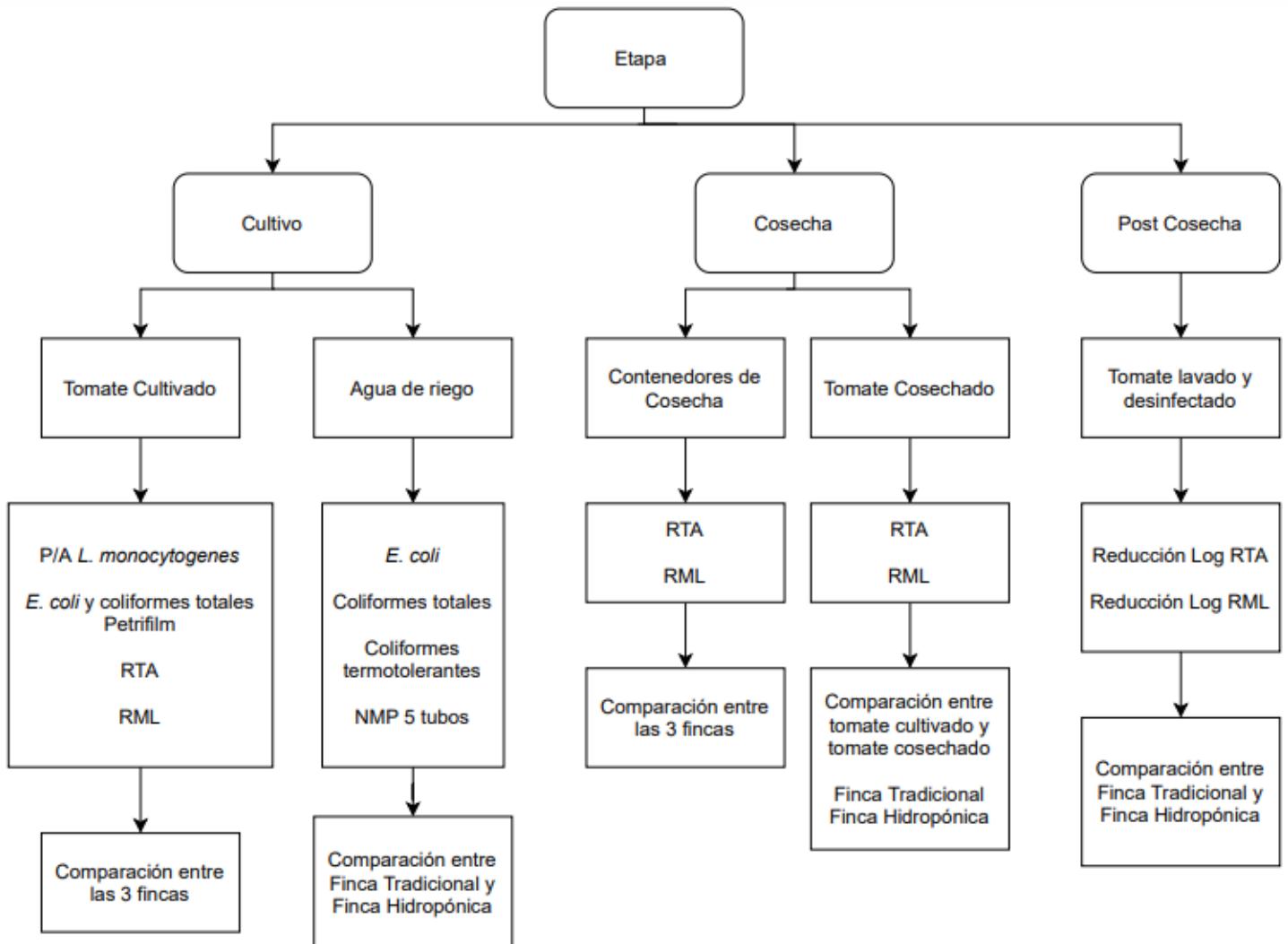
Se realizó la prueba de detección de la bacteria patógena *L. monocytogenes* en el tomate, de acuerdo con el procedimiento P-SA-MM-021 del CITA (Biomerieux, 2010; FDA, 2020; Rayser & Donnelly, 2015). La confirmación bioquímica se realizó por medio de API Listeria, el cual además permite identificar especies de este género (Biomerieux, 2010; FDA, 2020; Rayser & Donnelly, 2015).

#### **4.3.5 NMP de *E. coli*, coliformes termotolerantes y coliformes totales**

Se realizó el análisis de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. coli* por el método de NMP con 5 tubos por dilución, como indicadores de higiene, presencia de materia fecal y de la existencia indirecta de patógenos entéricos (American Public Health Association, 2017). Se empleó este método ya que las tres fincas emplean agua no potable para regar sus cultivos por el método de goteo.

#### 4.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A continuación se presenta la figura 3, correspondiente al esquema metodológico de los análisis microbiológicos y comparaciones estadísticas realizadas durante la presente investigación.



**Figura 3.** Esquema metodológico de los análisis microbiológicos y comparaciones estadísticas realizadas durante la presente investigación. Elaboración propia



#### **4.4.1 Comparación de la calidad microbiológica de tomate cultivado en las tres fincas (orgánica, hidropónica y tradicional)**

Para evaluar la calidad microbiológica de los tomates cultivados en las tres fincas, se utilizó un diseño de bloques al azar de un factor (finca) y tres niveles (orgánica, hidropónica, tradicional). La unidad experimental fue la muestra compuesta de tres tomates escogidos al azar. Las variables respuesta fueron el recuento total aerobio (RTA), el recuento de mohos y levaduras (RML), el recuento de coliformes totales, el recuento de *E. coli* y la presencia/ausencia de *L. monocytogenes*. Se realizaron tres repeticiones independientes, representadas por cada uno de los tres muestreos realizados durante las visitas a las fincas correspondientes.

Con el objetivo de determinar si existían diferencias significativas entre los resultados obtenidos en el tomate producido por las tres fincas (hidropónica, orgánica y tradicional), se hizo un análisis de varianza (ANDEVA) unifactorial para cada uno de los recuentos. Además, se aplicó la prueba de Tukey para definir entre cuáles fincas había diferencias significativas. Se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y con el programa Excel Xlstat. Cuando no se encontraron diferencias significativas entre los resultados, se reportó la potencia de la prueba, calculada con el programa JMP 9.0.

#### **4.4.2 Comparación de la calidad microbiológica del tomate producido en dos fincas (hidropónica y tradicional) tratado en post cosecha para la comercialización**

Para evaluar la calidad microbiológica de los tomates lavados y/o desinfectados en post cosecha, se realizó un diseño de bloques al azar de un factor (finca) y dos niveles (hidropónica y tradicional). La variable respuesta fue la reducción logarítmica lograda con el tratamiento post cosecha de RTA y RML, al ser estos los dos indicadores microbiológicos que obtuvieron los mayores recuentos en tomate cultivado.

Se realizaron tres repeticiones independientes del experimento, representadas cada una de ellas por los tres muestreos ejecutados durante las visitas a las plantas empacadoras. En el análisis estadístico se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) unifactorial, con el fin de determinar si existían diferencias significativas en la reducción logarítmica de los tomates tratados en post cosecha, producidos en las dos fincas (hidropónica y tradicional). Se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y con el programa Excel Xlstat. Cuando no se encontraron diferencias significativas entre los resultados, se reportó la potencia de la prueba, calculada con el programa JMP 9.0.

Para este experimento, únicamente se compararon los resultados obtenidos por la finca tradicional y la finca hidropónica, debido a que una plaga de *Tuta absoluta* dañó el tomate de la finca orgánica de forma irremediable. Posterior al incidente, el dueño de la finca decidió no volver a cultivar tomate en sus estancias y no pudo seguir colaborando con la presente investigación. Consecuentemente, no se pudieron tomar todas las muestras necesarias para poder comparar los resultados estadísticamente con los de las otras dos fincas. Este fue el caso también para el análisis de agua de riego (4.4.4) y de los tomates cosechados (4.4.3).

#### **4.4.3 Comparación de la carga microbiana del tomate cultivado respecto al tomate cosechado, producidos en la finca tradicional y en la finca hidropónica.**

Después de haber obtenido los resultados de los análisis microbiológicos del tomate cultivado y del tomate cosechado, se decidió compararlos estadísticamente entre sí, con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre las dos etapas de producción de esta fruta. Para dicho análisis, se sometieron a evaluación los productos de la finca tradicional y de la finca hidropónica.

Se ejecutó un diseño de bloques al azar de un factor (etapa de producción del tomate) y dos niveles (cultivado y cosechado). Las variables respuestas fueron los resultados del RTA y el RML. Se optó por estos por ser los indicadores presentes en mayor cantidad en tomate cultivado. Se evaluaron tres repeticiones de los dos tratamientos, correspondientes a las dos etapas escogidas de la producción de tomate.

Para el análisis estadístico, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) unifactorial para los resultados de cada finca, con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre los recuentos obtenidos al analizar el tomate cultivado respecto a los generados en el tomate cosechado. Se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y con el programa Excel Xlstat. Cuando no se encontraron diferencias significativas entre los resultados, se reportó la potencia de la prueba, calculada con el programa JMP 9.0.

#### **4.4.4 Comparación de la calidad microbiológica del agua de riego empleada en dos fincas (hidropónica y tradicional)**

Para evaluar la calidad microbiológica del agua de riego empleada durante el cultivo de tomates, se ejecutó un diseño de bloques al azar de un factor (finca) y dos niveles (hidropónica y tradicional). Se tuvo como variable respuesta los resultados de *E. coli*, coliformes termotolerantes y coliformes totales por el método de NMP con 5 tubos por

dilución. Se evaluaron dos tratamientos, correspondientes a las dos fuentes de agua de riego empleadas, ejecutando tres repeticiones independientes de cada experimento. Para el análisis estadístico, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar si existían diferencias significativas entre los recuentos obtenidos por las fuentes de agua de riego utilizadas en la finca hidropónica y la finca tradicional. Se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y con el programa Excel Xlstat. En los recuentos donde no se encontraron diferencias significativas, se reportó la potencia de la prueba, calculada con el programa JMP 9.0.

Cuando todos los resultados fueron negativos en todos los tratamientos, se reportó con el límite de detección de la técnica y se indicó la no diferencia entre ellos.

#### **4.4.5 Comparación de la calidad microbiológica de los contenedores de recolección empleados durante la cosecha en las tres fincas (orgánica, hidropónica y tradicional)**

Para evaluar la calidad microbiológica de los contenedores empleados durante la cosecha, se ejecutó un diseño de bloques al azar de un factor (finca) y tres niveles (orgánica, hidropónica, tradicional). Las variables respuestas fueron los resultados del RTA y el RML, en cada superficie evaluada. Se optó por estos por ser los indicadores presentes en mayor cantidad en tomate cultivado. Se evaluaron tres tratamientos, correspondientes a los tres tipos de contenedores y se ejecutaron tres repeticiones independientes del experimento.

Para el análisis estadístico, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) unifactorial, con el fin de determinar si existían diferencias entre los recuentos obtenidos por los contenedores de recolección de tomate utilizados en las tres fincas (hidropónica, orgánica y tradicional). Además, se aplicó la prueba de Tukey para definir entre cuáles fincas había diferencias significativas. Se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y con el programa Excel Xlstat. Cuando no se encontraron diferencias significativas entre los resultados, se reportó la potencia de la prueba, calculada con el programa JMP 9.0.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de visitar tres fincas de tomate (hidropónica, tradicional y orgánica), se observaron diferencias en las prácticas de cultivo, cosecha y post cosecha ejecutadas en cada una de ellas. En la finca tradicional, el tomate se cultiva a campo abierto y únicamente se cubre con plástico durante la época lluviosa (figura 4). Se compran plántulas provenientes de semillas certificadas, libres de enfermedades, las cuales crecen en almácigo y posteriormente son sembradas en la tierra.



**Figura 4.** Cultivo de tomate a campo abierto durante la época lluviosa en la finca tradicional.

Elaboración propia

El suelo se nutre con abonos foliares que se agregan disueltos en el agua de riego. Otros fertilizantes se inyectan también directamente con mangueras a la tierra. También, los suelos son examinados periódicamente por un ingeniero agrónomo para garantizar que carecen de enfermedades.

Además, se emplea caña brava y mecates para ayudar a la planta a crecer derecha. La zona cercana a las raíces se cubre con plástico para evitar que el agua de lluvia con tierra salpique los tomates y los contamine. Adicionalmente, el agua de riego proviene de una naciente de río cercana y a esta se le analiza periódicamente la presencia/ausencia de *E. coli*. El proceso de irrigación se ejecuta por el método de goteo.

Por otro lado, esta finca emplea diferentes feromonas sexuales, tanto para atraer a polinizadores, como para controlar la reproducción de insectos plaga. Aplican pesticidas químicos por atomización, empleando equipos y vestimenta de protección y se verifica periódicamente que no queden residuos en el tomate. Los pesticidas se rotan y se usan de

acuerdo con las indicaciones de las fichas técnicas. Además, utilizan cintas adhesivas blancas y amarillas para evitar que ciertos insectos ataquen las plantas (figura 5).



A

B

C

**Figura 5.** Métodos de control de plagas. Feromonas sexuales (A), Cintas adhesivas (B), Plaguicidas (C). Elaboración propia

En el caso de la finca hidropónica, las plantas de tomate se encuentran cultivadas dentro de invernaderos (figura 6). Las semillas empleadas también son certificadas y cuando estas se desarrollan en plántulas, se siembran en un sustrato de lana de roca. Este material se escoge debido a que es inerte y a su alta capacidad de retención de agua. El sustrato se coloca sobre una superficie de estereofón, cubierta con plástico para minimizar las posibilidades de que se contamine. Todo está diseñado de manera que las plantas nunca toquen el suelo.



**Figura 6.** Agricultura dentro de invernaderos. Elaboración propia

Las plantas se mantienen erectas gracias al uso de rafias de plástico y prensas redondas con protector solar. Además, el agua de riego utilizada proviene de una naciente de río cercana y a esta se le agregan fertilizantes inorgánicos en polvo, ácido fosfórico y ácido nítrico líquido para regular el pH (5,8). Esta se inyecta con mangueras directamente en el sustrato, cerca de las raíces de las plantas. Los excesos se drenan por debajo, los cuales son recogidos por una tubería que los lleva a un tanque. Esta agua se reutiliza después de reajustar el nivel de nutrientes.

Por otro lado, esta finca emplea unos abejorros específicos para mejorar la polinización del tomate. Adicionalmente, para el control de plagas, también se usan cintas adhesivas amarillas y negras, feromonas sexuales, plaguicidas y métodos de control biológico, tales como mohos, levaduras y virus que atacan directamente las plagas.

En cuanto a la finca orgánica, esta no utiliza semillas certificadas, a diferencia de las otras dos fincas estudiadas. Esta compra los almácigos y los siembran en la tierra, dentro de un invernadero. Al suelo le agregan abono orgánico que ellos mismos fabrican, empleando estiércol de gallina, carbón y miel, lo cual está alineado con las prácticas recomendadas por Bosona & Gebresenbet (2018) para agricultura orgánica. El riego lo hacen por la técnica de goteo (figura 7) y el agua, proveniente de un río cercano, se almacena en un tanque al aire libre sin tapa, previo a su uso.



**Figura 7.** Método de riego por goteo. Elaboración propia

Para controlar las plagas, no aplican ninguna sustancia química ni tampoco cintas adhesivas. Ellos tienen preferencia por productos más naturales, tales como feromonas sexuales, diatomea y bacterias de control biológico. Esta práctica responde positivamente a lo indicado por la FAO para agricultura orgánica (Soto, 2003).

Con el fin de certificarse como finca orgánica, pasaron por un proceso de transición de tres años. Se sometieron a varias auditorías, en las cuales se confirmaba la ausencia de productos químicos y la ejecución de una buena trazabilidad. Además, actualmente pagan de forma anual una cuota por la certificación y atienden dos veces por año a auditores del Ministerio de Agricultura (MAG).

Después de observar las diversas prácticas de cultivo, cosecha y post cosecha que ejecuta cada tipo de finca visitada, se planteó como objetivo verificar si estas diferencias podrían afectar la calidad microbiológica del tomate producido por cada una, comparando los resultados entre sí. Para esto, primero se determinó que el agua de riego y los contenedores de cosecha, eran dos de los factores más influyentes en la carga microbiana de la fruta. Además, se consideró que una de las mayores variaciones entre las fincas, eran los procedimientos de higienización que se le aplican al tomate antes de su venta.

Como punto de partida, se analizó la calidad microbiológica del tomate cultivado por cada una de las tres fincas.

### 5.1 Evaluación de la calidad microbiológica de tomate cultivado

A continuación, se presenta el cuadro I, el cual muestra la comparación de los recuentos microbiológicos y de los resultados del análisis de presencia/ausencia de *L. monocytogenes*, obtenidos al evaluar el tomate cultivado de las fincas hidropónica, tradicional y orgánica.

**Cuadro I.** Comparación de los recuentos microbiológicos promedio y de los resultados del análisis de presencia/ausencia de *L. monocytogenes*, obtenidos al evaluar el tomate cultivado de las fincas hidropónica, tradicional y orgánica.

Finca	RTA <sub>1</sub> (Log UFC/g)	RML <sub>2</sub> (Log UFC/g)	Coliformes totales (Log UFC/g)	<i>E. coli</i> (Log UFC/g)	<i>L. monocytogenes</i> (presencia/ausencia en 25 g)
Hidropónica	2 ± 1 <sub>a</sub>	1,4 ± 0,5 <sub>a</sub>	1,3 ± 0,7	< 1	Ausencia
Tradicional	3,7 ± 0,8 <sub>ab</sub>	3,4 ± 0,7 <sub>b</sub>	1,5 ± 0,8	< 1	Ausencia
Orgánica	4,4 ± 0,4 <sub>b</sub>	3,5 ± 0,4 <sub>b</sub>	< 1	< 1	Ausencia

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

Los promedios se muestran con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

<sub>1</sub> RTA: recuento total aerobio mesófilo

<sub>2</sub> RML: recuento de mohos y levaduras

n = 3

De acuerdo con los resultados presentes en el cuadro I, existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre el recuento total aerobio mesófilo (RTA) del tomate cultivado hidropónico y del tomate cultivado orgánico. Este último presenta más del doble de la población microbiológica que la del primero. Consecuentemente, se espera que el tomate hidropónico llegue a tener una mayor vida útil que el tomate orgánico (Ryser & Schuman, 2015). Por el contrario, no se determinaron diferencias significativas entre el RTA del tomate hidropónico respecto al tomate tradicional. Tampoco se encontraron diferencias entre el RTA del tomate orgánico y del tradicional.

Con base en lo observado durante las visitas, se tenía la expectativa que los tomates de la finca hidropónica obtuvieran una carga de mesófilos aerobios significativamente menor a las otras dos fincas, debido a que esta aplica protocolos más estrictos en cuanto a la higiene, cuidado y manipulación de la fruta. Adicionalmente, se esperaba que el tomate de la finca tradicional presentara recuentos más elevados que la finca orgánica, debido a que la primera es a campo abierto mientras que la segunda es dentro de un invernadero.

Ramírez (2011) explica que, en agricultura a campo abierto, existe una mayor exposición de los cultivos al ambiente, respecto a la producción dentro de un invernadero. Consecuentemente, esto podría implicar mayores recuentos microbiológicos, ya que muchos de los microorganismos evaluados se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente.

Además, los resultados obtenidos son interesantes ya que, a pesar de que la finca hidropónica y la finca orgánica cultivan su tomate dentro de invernaderos, la calidad microbiológica de la fruta varía entre sí. Esto evidencia el impacto que podrían tener otras prácticas de cultivo sobre la carga microbiana de los alimentos, tales como el medio de siembra (sustrato, tierra), el diseño del invernadero, la entrada de polvo y contaminantes externos, el abono que se utiliza, el ingreso de animales, entre otros.

Por otro lado, estudios similares han obtenido recuentos de RTA para tomate tradicional de 4 log UFC/g (Ocaña *et al.*, 2015), 2,9 log UFC/g (Hernández, 2013), 2 log UFC/g (Zenki *et al.*, 2008) y 3,89 log UFC/g (Khadka *et al.*, 2017). Comparando dichos valores con los proporcionados por la presente investigación (cuadro I), se puede afirmar que los tomates analizados presentaron recuentos similares a los reportados en la literatura. Además, los tomates de las tres fincas obtuvieron valores promedios de RTA menores a los 5 log UFC/g establecidos en la NOM-093-SSA1-1994 (1994) para frutas y hortalizas frescas, cumpliendo así con dicho parámetro de calidad microbiológica.

En cuanto al recuento de mohos y levaduras, también se detectaron diferencias



significativas entre las frutas cultivadas de las fincas ( $p < 0,05$ ). Específicamente, el tomate de la finca hidropónica obtuvo una carga significativamente menor, respecto al tomate de la finca tradicional y de la finca orgánica. El bajo recuento de dichos microorganismos de deterioro puede mejorar la vida útil del producto hidropónico en comparación con el de las otras dos fincas (Campuzano *et al.*, 2015). Por otro lado, no se detectaron diferencias significativas entre el RML del tomate cultivado de la finca tradicional y de la finca orgánica.

La baja carga de mohos y levaduras presente en el tomate hidropónico respecto a las otras dos fincas puede deberse en parte al diseño del área de cultivo. En la finca hidropónica, la entrada al invernadero es en forma de ele y las plantas están lejos de la puerta. Adicionalmente, alrededor del invernadero no se cultivan otros alimentos. Por el contrario, en el invernadero de la finca orgánica, las plantas de tomate se encuentran muy cerca de la puerta. Además, rodeando la estructura está un amplio terreno con otros cultivos, así como animales de ganadería. Inclusive ocasionalmente se da el ingreso de perros al invernadero. Finalmente, la finca tradicional cultiva sus tomates a campo abierto, únicamente protegidos durante la época lluviosa con una cubierta plástica. Por lo tanto, el diseño del espacio de siembra podría afectar la carga microbiana del tomate, principalmente el movimiento aéreo de las esporas de mohos y levaduras.

Así mismo, existen otros factores que podrían afectar la carga de dichos microorganismos presentes en los cultivos, tales como el tipo de abono empleado. Si se usan abonos orgánicos que no hayan sido correctamente compostados previo a su aplicación, estos podrían introducir microorganismos indeseados a la zona de cultivo, incluyendo patógenos y esporas de mohos y levaduras (Garro, 2016). En el caso de la finca orgánica, esta utiliza estiércol como abono orgánico, mientras que la finca hidropónica usa abono inorgánico. Por lo tanto, considerando los recuentos de mohos y levaduras (cuadro I), es posible que el uso de abono inorgánico resulte en una menor carga de dichos microorganismos, en comparación con el abono orgánico.

También, respecto a mohos y levaduras, las mismas fuentes han indicado valores de 2,9 log UFC/g (Hernández, 2013), 2 log UFC/g (Zenki *et al.*, 2008) y 5,65 log UFC/g (Khadka *et al.*, 2017) en tomate tradicional. La carga de mohos y levaduras en los tomates estudiados (cuadro I) se asemeja a lo reportado por Hernández (2013) y Zenki *et al.* (2008). Sin embargo, esta difiere respecto a los valores de Khadka *et al.* (2017), cuyos altos recuentos podrían comprometer la calidad de este tomate.

En cuanto a coliformes totales, no se encontraron diferencias significativas entre el tomate cultivado de ninguna de las tres fincas analizadas ( $p > 0,05$ ) ( $1-\beta > 0,8370$ ) (cuadro I).

En otras investigaciones se han reportado valores de 3,5 log UFC/g (Ocaña *et al.*, 2015) y 3,89 log UFC/g (Khadka *et al.*, 2017) de coliformes totales en tomate tradicional. No obstante, en dichos estudios los autores han analizado el tomate cosechado, es decir, una vez que la fruta ha tenido contacto con las cajas de recolección y las manos de los colaboradores. Esta podría ser la razón por la cual los tomates de dichos estudios obtuvieron recuentos mayores que los observados en la presente investigación.

Adicionalmente, Khadka *et al.* (2017) aclaran que, para frutas y hortalizas mínimamente procesadas, es usual encontrar recuentos de coliformes totales de 0,7-6 log UFC/g y que si es menor a los 4 log UFC/g, se considera de una calidad microbiológica óptima. Por lo tanto, se podría inferir que la carga de coliformes totales es aportada al tomate principalmente durante el proceso de cosecha y no previo a su recolección. Inclusive, la literatura ha reportado altas cargas de coliformes termotolerantes y *E. coli* en las manos de personas recolectoras de tomate (Clayton, 2006).

Por otro lado, ninguna muestra presentó *E. coli*, asociada con contaminación fecal o la presencia indirecta de patógenos de origen entérico, tales como *Salmonella* sp. (Bolaños, 2002). Por lo que, al carecer de *E. coli* genérica, es probable que los tomates tampoco posean *Salmonella* sp. ni *E. coli* O157:H7, las cuales, de acuerdo con el RTCA 67.04.50:17 (COMEX-S-MAG-MEIC, 2018), deben estar ausentes.

Finalmente, ninguno de los tomates de las tres fincas evaluadas presentó *L. monocytogenes*. Dicha bacteria es un microorganismo ubicuo y altamente ligado a brotes de origen alimentario por contaminación de hortalizas mínimamente procesadas, incluyendo el tomate (Zarkani *et al.*, 2019). Consecuentemente, la ausencia de dicho patógeno en las muestras analizadas, evidencia una adecuada manipulación del tomate y un control eficaz de las condiciones agrícolas por parte de las tres fincas estudiadas.

A manera de contraste, en un estudio realizado por Pérez y Chávez (2012), al analizar la presencia/ausencia de *L. monocytogenes* en 48 tomates, se encontró dicho patógeno en el 10,42% de las muestras. Su presencia en el producto se atribuyó a la utilización de agua de riego contaminada. Ramírez *et al.* (2009) también determinaron la presencia del patógeno en el 10,41% de las muestras de tomate analizadas y asociaron los resultados con sistemas deficientes de riego, recolección y distribución.

Además, los resultados evidencian que las tres fincas están cultivando su fruta en condiciones adecuadas e higiénicas. Si no existiera el control apropiado, estas últimas podrían potenciar el crecimiento de mohos y levaduras, el agrietamiento de la fruta y la consecuente introducción de diferentes microorganismos, incluyendo patógenos (López, 2017). Por lo

tanto, con base en los resultados obtenidos (cuadro I), se puede concluir que el tomate cultivado por las tres fincas es inocuo en términos de *L. monocytogenes* y poseen cargas microbianas que cumplen los lineamientos de la normativa y coinciden con los demás estudios reportados a nivel mundial para esta fruta.

Debido a que los mayores recuentos en tomate cultivado fueron de RTA y RML, se escogieron estos dos indicadores para evaluar la calidad microbiológica de los contenedores de cosecha. De igual manera, con estos índices microbiológicos se evaluó la reducción logarítmica lograda por los métodos de lavado y desinfección aplicados por las fincas.

## 5.2 Evaluación de la calidad microbiológica de los contenedores de cosecha

A continuación, se presenta el cuadro II, en el cual se muestra la comparación de los recuentos microbiológicos obtenidos al analizar los contenedores de cosecha empleados en las fincas hidropónica, tradicional y orgánica.

**Cuadro II.** Comparación de los recuentos microbiológicos promedio obtenidos al analizar los contenedores de cosecha empleados en las fincas hidropónica, tradicional y orgánica.

Finca	RTA <sub>1</sub> (Log UFC/50 cm <sup>2</sup> )	RML <sub>2</sub> (Log UFC/50 cm <sup>2</sup> )
Hidropónica	1,30 ± 0,00 <sub>a</sub>	1,8 ± 0,6 <sub>a</sub>
Tradicional	3 ± 1 <sub>b</sub>	2,8 ± 0,7 <sub>ab</sub>
Orgánica	2,8 ± 0,3 <sub>ab</sub>	3,5 ± 0,6 <sub>b</sub>

Recuentos con letras diferentes en cada columna presentan diferencias significativas entre sí (p<0,05). Los promedios se muestran con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

<sub>1</sub> RTA: recuento total aerobio mesófilo

<sub>2</sub> RML: recuento de mohos y levaduras

n = 3

En la finca tradicional se utilizan bolsas de lona para realizar la cosecha (figura 8), mientras que, en las otras dos fincas, se emplean cajas de plástico (figura 9). De acuerdo con Barbosa *et al.* (2003), para cosechar las frutas y hortalizas se pueden utilizar recipientes como cestas, bolsas, sacos, cubos, carros y cajas de plástico. Estos pueden estar fabricados a partir de papel, película de polietileno, sisal, arpillera o polietileno tejido. Así mismo, se recomienda usar contenedores de plástico y no de madera, de forma que sean más fáciles de limpiar, posean menor porosidad y se inhiba la formación de biofilms (Pérez, 2014).



**Figura 8.** Bolsas de lona, utilizadas para la cosecha en la finca tradicional de tomate.  
Elaboración propia.



A

B

**Figura 9.** Cajas de plástico, utilizadas para la cosecha en la finca orgánica (A) y en la finca hidropónica (B) de tomate. Elaboración propia.

Adicionalmente, si bien la FDA (2015) no aclara diferencias en los procesos de desinfección aplicados a los diversos tipos de recipientes de recolección, sí resalta la importancia de que estos estén fabricados a partir de materiales que sean fáciles de limpiar y desinfectar ya que estos entran en contacto directo con los alimentos. Barbosa *et al.* (2003) también explica que los recipientes tejidos podrían implicar mayores probabilidades de contaminación.

Además, Baiza (2003) indica que se pueden utilizar bolsas de lona para llevar a cabo la

recolección. No obstante, Paltrinieri (2014) explica que dichas bolsas son recomendadas para frutas y hortalizas con cáscara firme, tales como cítricos o aguacates. Por el contrario, alimentos con cáscara frágil, tales como el tomate, deberían cosecharse utilizando cajas de plástico de superficie lisa.

De acuerdo con Suslow (2015), se considera como “muy limpio” si el contenedor posee un RTA menor a los 3,5 log UFC/50 cm<sup>2</sup>. Su higiene es aceptable si el RTA se encuentra entre los 3,6 log UFC/50 cm<sup>2</sup> y los 4,4 log UFC/50 cm<sup>2</sup>. Se necesitan acciones correctivas si el contenedor presenta un RTA entre 4,9 log UFC/50 cm<sup>2</sup> y 5,2 log UFC/50 cm<sup>2</sup> y resulta completamente inaceptable si posee un RTA mayor a los 5,4 log UFC/50 cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, con base en los resultados de RTA obtenidos en los contenedores evaluados (cuadro II), se puede concluir que todos están muy limpios.

Por otra parte, se logra apreciar en el cuadro II, que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el RTA de los contenedores utilizados en la finca hidropónica, respecto a los empleados en la finca tradicional. Específicamente, se observa que la segunda tiene una mayor carga microbiológica que la primera. Es posible que las bolsas de lona sean más porosas que las cajas de plástico, reteniendo mayor suciedad, lo cual puede desembocar en una transferencia más grande de microorganismos hacia el tomate cosechado (Pérez, 2014).

De manera similar, el RML presente en las cajas de la finca orgánica fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) que el RML de los contenedores de la finca hidropónica. Esta carga de mohos y levaduras podría eventualmente afectar de forma negativa la vida útil del tomate en contacto con dichos contenedores (Pérez, 2014), ya que estos son microorganismos que pueden causar deterioro en el producto (Erkmen, 2016).

Con base en lo apreciado durante las visitas realizadas a las fincas, las cajas de cosecha de la finca hidropónica se sometían a procedimientos más controlados de limpieza, desinfección y almacenamiento que la finca orgánica. Por lo tanto, se hubieran esperado diferencias significativas entre el RTA de los contenedores de cosecha de ambas fincas.

No obstante, no se detectaron diferencias significativas entre el RTA de la finca orgánica respecto a la finca hidropónica, ni entre el RML de la finca tradicional comparada a la hidropónica. Tampoco hay diferencias significativas entre la finca tradicional y la orgánica, ni en el RTA ni en el RML de los contenedores.

Por lo tanto, se puede concluir de forma general que los contenedores utilizados en la finca hidropónica presentan mejor calidad microbiológica en su superficie que los de las fincas restantes. Esto puede deberse a que, en la finca hidropónica analizada, los contenedores se desinfectan con amonio cuaternario, el cual actúa principalmente sobre mohos, levaduras y

bacterias Gram positivas (Pérez *et al.*, 2017). Además, estos se guardan en una bodega dentro del invernadero, protegidos de todo el ambiente externo. Esto va en línea con lo recomendado por la FAO (2007), la cual aconseja guardar los contenedores de cosecha dentro de un área limpia durante los períodos en los que no se están usando. Por lo cual, estas dos medidas que toma la finca podrían justificar los bajos recuentos microbianos obtenidos en sus cajas de cosecha, en comparación con las de las otras fincas.

En las fincas restantes, los contenedores únicamente se lavan y se almacenan en cuartos fuera de invernaderos, con mayor exposición a la contaminación proveniente del aire, del polvo y de las personas que transitan. Al visitar la finca orgánica, se observó que la bodega donde guardan las cajas tenía suciedad en el piso e incluso tierra en algunos de los contenedores. Adicionalmente, en esta finca las cajas solo las enjuagan con agua, mientras que las bolsas de cosecha de la finca tradicional se lavan con agua y detergente.

En la investigación realizada por Durán *et al.* (2016), se determinó que en Costa Rica un 80% de los agricultores de tomate utilizan recipientes de plástico para cosechar las hortalizas lo cual, como se explicó anteriormente, resulta positivo por la facilidad de limpieza de este material. No obstante, menciona que un 40% de los agricultores entrevistados, no aplican un procedimiento de lavado y desinfección a los contenedores, sino que sólo los enjuagan con agua limpia o no los lavan del todo.

Inclusive, en la misma investigación expresan que los productores de tomate y chile dulce son los que más tienen esta costumbre. Esto resulta crítico, ya que las cajas de recolección pueden fácilmente contaminar las hortalizas cosechadas y este tipo de prácticas no aseguran una adecuada limpieza (Vargas *et al.*, 2015).

Gracias a las visitas realizadas durante la presente investigación, se logró confirmar que dichas prácticas siguen sucediendo en las fincas del país. Por ejemplo, la finca orgánica estudiada únicamente enjuaga las cajas de cosecha con agua potable. Además, de las fincas analizadas, solo la finca hidropónica aplica un procedimiento de desinfección a sus contenedores de cosecha.

Pérez (2014) aconseja aplicar a las cajas de cosecha de hortalizas procedimientos de lavado y desinfección, con el objetivo de disminuir el riesgo de contaminación de los alimentos recolectados. Por su parte, la FDA (2015) aclara en la Ley FSMA, que los contenedores de cosecha deben pasar por un proceso de higienización previo a su uso, incluyendo las etapas de pre enjuague, lavado con agua y jabón, enjuague final y desinfección. Se pueden emplear limpiadores de uso general, detergentes alcalinos, ácidos o enzimáticos. Adicionalmente la CDC (2020a) recomienda utilizar detergente para combatir eficazmente el crecimiento de los

mohos. Consecuentemente, la falta de detergente y la contaminación de la bodega donde se almacenan las cajas podría explicar la carga mayor de mohos y levaduras presente en los contenedores de la finca orgánica, en comparación con los empleados en las otras dos fincas.

A pesar de que se detectaron aspectos que pueden mejorarse en cuanto al manejo de los contenedores que se utilizan para la recolección del tomate, es importante retomar el hecho de que el producto en todas las fincas cumple con el RTA exigido por la normativa, por lo que la posible transferencia de contaminación desde los contenedores, no afecta el cumplimiento de la misma.

### 5.3 Evaluación de la calidad microbiológica del agua de riego

A continuación, se presenta el cuadro III, en el cual se muestra la comparación de los recuentos microbiológicos obtenidos al analizar el agua de riego utilizada en la finca hidropónica y la finca tradicional. Es importante aclarar que el resultado de la finca orgánica para los análisis de agua y de reducción logarítmica después de la desinfección del tomate (cuadro V), se utiliza únicamente de forma ilustrativa. Esto se debe a que solo se logró realizar una repetición de ambos experimentos, por lo que, se carece de la cantidad necesaria de repeticiones para que el resultado pueda compararse estadísticamente con las otras dos fincas. La interrupción del estudio fue producto de una plaga de *Tuta absoluta* que dañó irreparablemente los cultivos de dicha finca. Posterior al incidente, el dueño de la finca decidió no volver a cultivar tomate en sus estancias.

**Cuadro III.** Comparación de los recuentos microbiológicos promedio obtenidos al analizar el agua de riego utilizada en la finca hidropónica y la finca tradicional.

Finca	Coliformes totales (Log NMP/mL)	Coliformes termotolerantes (Log NMP/mL)	<i>E. coli</i> (Log NMP/mL)
Hidropónica	< 0,26	< 0,26	< 0,26
Tradicional	0,4 ± 0,8	< 0,26	< 0,26
Orgánica*	< 0,26	< 0,26	< 0,26

\*Resultado con fines ilustrativos

Los promedios se muestran con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

n = 3

Si el agua empleada para el riego de los cultivos no posee una higiene adecuada, puede

transmitir a los alimentos materia fecal, bacterias patógenas y virus, arriesgando la salud del consumidor. Barrantes *et al.* (2013) indican que el agua de riego es uno de los vehículos más efectivos de transmisión de microorganismos productores de enfermedades de transmisión alimentaria. Principalmente, se ha reportado la incidencia de dichos microorganismos al emplear agua de pozo como fuente de irrigación (Fan *et al.*, 2009). Además, la FAO (2017a) ha explicado que existe una mayor probabilidad de contaminación al aplicar el agua por aspersión que por goteo, ya que, por la primera forma, el agua puede tocar directamente la fruta y no sólo las raíces.

A manera de ejemplo, se han aislado bacterias como *Salmonella* sp. y *E. coli* genérica en muestras de melón y *Cyclospora cayetanensis* en frambuesas, ambos casos producto de aguas de riego contaminadas (Fan *et al.*, 2009). También, en Nigeria se realizó un estudio en donde el 85,7% de las muestras de lechuga y repollo analizadas presentaron *E. coli* y coliformes termotolerantes (Odu y Okomuda 2013).

Hintz *et al.* mencionan que, aunque es poco probable, *Salmonella* Newport podría tener la capacidad de introducirse por las raíces y afectar los tejidos y la fruta del tomate, siempre que se alcancen altas concentraciones del patógeno. De forma semejante, Ocaña (2018) demostró que *E. coli* también puede introducirse y sobrevivir en los tallos de la planta de tomate, con la capacidad de transportarse hasta la fruta.

En el caso de Costa Rica, Pampillo *et al.* (2012) detectaron en la zona de Tierra Blanca de Cartago, una alta contaminación del agua de riego con coliformes termotolerantes, *E. coli* y plaguicidas. Esta proviene de la quebrada que utilizan los agricultores de la zona como única fuente de agua. Inclusive, Barrantes y Achí (2011) encontraron en San José y Cartago que el 65% de las lechugas analizadas tenían *E. coli*, producto de agua de riego contaminada.

En el caso del agua de riego de la finca hidropónica estudiada, esta viene de una naciente de río y se le agrega ácido hipocloroso e hipoclorito de calcio. De acuerdo con lo indicado por el encargado de la finca, la adición de estas sustancias no tiene por objetivo el aseguramiento de la inocuidad, sino el combate de bacterias fitopatógenas presentes en el agua, las cuales podrían afectar el desarrollo del cultivo. Además, se le revisa diariamente la concentración de cloro y antes de llegar al sustrato, esta es mezclada con una solución de nutrientes, incluidos fertilizantes inorgánicos en polvo, ácido fosfórico y ácido nítrico líquido.

Por el contrario, la finca tradicional y la finca orgánica no aplican tratamientos a sus aguas de riego, las cuales, en ambos casos, provienen también de nacientes de río cercanas. Esto concuerda con lo expresado en el estudio de Durán *et al.* (2016) realizado en Costa Rica, el cual indica que casi el 60% de los productores de tomate entrevistados utilizan agua de río



como fuente de irrigación para sus cultivos.

Con base en los resultados presentes en el cuadro III, se concluyó que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) ( $1-\beta > 1,0000$ ) entre la carga de coliformes totales presente en el agua de riego utilizada en la finca hidropónica, respecto a la empleada en la finca tradicional. En cuanto a coliformes termotolerantes y *E. coli*, no se reportaron diferencias entre las muestras de agua de las dos fincas, ya que todos los recuentos fueron menores a 0,26 log NMP/mL.

Por otra parte, al analizar el agua de riego empleada en las tres fincas, se observó la ausencia de coliformes termotolerantes y *E. coli* (cuadro III). De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Energía y el Ministerio de Salud (2007), el agua de riego debe poseer igual o menos de 1000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes. Además, la Ley FSMA solicita la ausencia de *E. coli* genérica detectable en 100 mL (FDA, 2015).

En principio, los valores de las normas no se pueden comparar con los resultados experimentales, ya que, en la presente investigación, se usó el procedimiento de análisis de agua no tratada descrito en el *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (American Public Health Association, 2017), en el cual no se analizan 100 mL de agua, como sí se realiza para aguas tratadas y/o potables. No obstante, dichos valores permiten concluir de manera general, que todas las fuentes de agua de riego analizadas son de buena calidad microbiológica.

Con base en lo explicado por Hernández *et al.* (2011), se puede afirmar que las aguas de riego analizadas, gracias a su buena calidad microbiológica, influyen de forma positiva el perfil microbiano del tomate cultivado en las tres fincas, fomentando su inocuidad y aumentando su vida útil.

#### **5.4 Evaluación del efecto de las prácticas de cosecha sobre la microbiota del tomate**

A continuación, se presenta el cuadro IV, el cual muestra la comparación de los recuentos microbiológicos obtenidos al analizar los tomates cultivados y los tomates cosechados pertenecientes a la finca hidropónica y tradicional. Cabe resaltar que los tomates cosechados fueron muestreados durante las primeras 12 horas desde su recolección.

**Cuadro IV.** Comparación de los recuentos microbiológicos obtenidos al analizar los tomates cultivados y los tomates cosechados pertenecientes a las fincas hidropónica y tradicional.

Finca	RTA <sub>1</sub> (Log UFC/g)		RML <sub>2</sub> (Log UFC/g)	
	Cultivado	Cosechado	Cultivado	Cosechado
Hidropónica	2 ± 1	2,2 ± 0,9	1,4 ± 0,6	3,0 ± 0,6
Tradicional	3,7 ± 0,8	3 ± 2	3,4 ± 0,7	2 ± 1
Orgánica	4,4 ± 0,4	4,08 *	3,5 ± 0,4	5,40*

\*Resultado con fines ilustrativos

<sub>1</sub> RTA: recuento total aerobio mesófilo

<sub>2</sub> RML: recuento de mohos y levaduras

Los promedios se muestran con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

n = 3

Con base en los resultados obtenidos (cuadro IV), se pudo concluir que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre el RTA del tomate hidropónico cultivado respecto al tomate cosechado de la misma finca ( $1-\beta > 0,4758$ ). Tampoco hubo diferencias ( $p > 0,05$ ) entre el RML del tomate cultivado en comparación con el cosechado ( $1-\beta > 0,7504$ ).

De forma semejante, no se detectaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre el RTA obtenido al analizar el tomate tradicional cultivado, respecto al tomate cosechado de la misma finca ( $1-\beta > 0,3629$ ). Tampoco se determinaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre el RML del tomate cultivado y del tomate cosechado de la finca tradicional ( $1-\beta > 0,3605$ ). Esto implicaría que el proceso de cosecha, incluyendo el contacto con las manos de los recolectores y las superficies de los contenedores, no afectaron significativamente la carga microbiana de los tomates cultivados.

Las bajas potencias obtenidas en estos análisis indican variabilidad en los resultados, propio de la falta de estandarización de las condiciones del trabajo diario en las fincas. Si se desean conocer los valores individuales de las repeticiones de dichos experimentos, referirse al cuadro VII, ubicado en el apartado de Anexos.

En el caso particular de la finca tradicional, durante las visitas realizadas a la planta empacadora y a la finca, se observó la presencia de suciedad en las manos de colaboradores que ejecutan la cosecha de la fruta, por lo que se hubiese esperado una carga microbiana mayor en el tomate cosechado en comparación con el cultivado (Fernández & Peña, 2012).

En cuanto a la finca hidropónica, durante las visitas se observó una alta limpieza de las

manos de los colaboradores y de los contenedores de cosecha. Además, al estar dentro de un invernadero, la exposición de la fruta al ambiente es menor que en campo abierto. Consecuentemente, sí se esperaban resultados microbiológicos similares para el tomate hidropónico cultivado respecto al cosechado.

Por otro lado, a pesar de ser ilustrativo, sí se puede observar un leve aumento de la carga de mohos y levaduras en el tomate cosechado, respecto al tomate cultivado, de la finca orgánica. Dicha población microbiológica puede ser producto de la carga microbiana presente en los contenedores de cosecha (cuadro II), los cuales poseen una cantidad de mohos y levaduras significativamente mayor a las cajas utilizadas en la finca hidropónica. Esto puede deberse a una desinfección insuficiente de los recipientes de recolección, ya que estos son una de las principales vías de contaminación de frutas y hortalizas (Durán *et al.*, 2016; Vargas *et al.*, 2015).

En la investigación de Cárdenas (2012) se demostró que el suelo y las manos de los colaboradores son las principales fuentes de contaminación en la producción de tomate. Adicionalmente, Clayton (2006) ha encontrado elevados niveles de coliformes termotolerantes y *E. coli* en las manos de los trabajadores que cosechan y manipulan esta fruta. Por su parte, un correcto lavado de manos, previo a la cosecha, puede reducir hasta 1,6 log UFC/g de *Enterococcus* sp. en tomate (Prince *et al.*, 2020).

El estudio costarricense de Durán *et al.* (2016), indica que un 80% de los productores de tomate entrevistados desconoce el nivel de aseo de sus colaboradores, un 16% deja optativo la limpieza de manos según el criterio de cada trabajador, un 0% impone el lavado de manos con agua y jabón, previo a la recolección de las hortalizas y sólo un 4% obliga a sus empleados a lavar y desinfectar sus manos antes de cosechar el tomate. Por ende, de acuerdo con lo observado durante las visitas realizadas durante la presente investigación, se confirma que la falta de implementación de protocolos de lavado y desinfección de manos de los colaboradores sigue sucediendo en la actualidad en fincas del país; sin embargo, esta práctica no se ve reflejada en los recuentos microbiológicos de los tomates analizados, ya que no hay diferencias significativas en este estudio entre la calidad microbiológica del tomate cultivado y cosechado.

### **5.5 Evaluación de la reducción logarítmica alcanzada por los métodos de higienización post cosecha**

A continuación, se presenta el cuadro V, en el cual se muestra la comparación de la reducción logarítmica alcanzada por los métodos de lavado y desinfección del tomate

empleados en la finca hidropónica y la finca tradicional.

**Cuadro V.** Comparación de la reducción logarítmica promedio obtenida por los métodos de lavado y desinfección del tomate empleados en la finca hidropónica y la finca tradicional.

Finca	Reducción RTA (Log UFC/g)	Reducción RML (Log UFC/g)
Hidropónica	0,0 ± 0,8	0,30 ± 0,09
Tradicional	0 ± 1	0 ± 1
Orgánica*	0,94	1,89

\*Resultado con fines ilustrativos

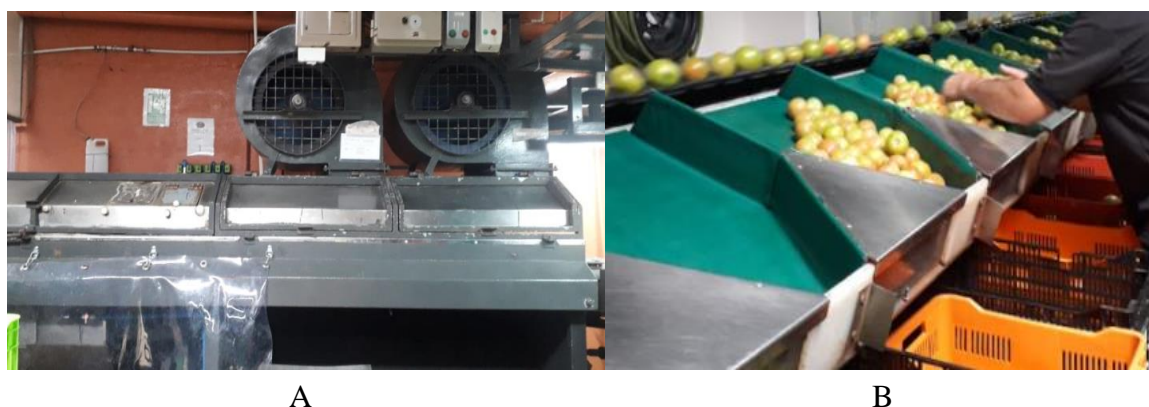
<sub>1</sub> RTA: recuento total aerobio mesófilo

<sub>2</sub> RML: recuento de mohos y levaduras

Los promedios se muestran con sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

n = 3

La planta empacadora de la finca tradicional aplica un proceso de lavado y desinfección en el cual, los tomates se colocan bajo chorros de agua a presión, a temperatura ambiente, con ácido peracético a 60-80 ppm durante 15 segundos. Luego estos pasan por rodillos y se secan por medio de turbinas de aire. Posterior a esto, una colaboradora elimina los tomates que presenten defectos y después, pasan por una máquina que clasifica las frutas de acuerdo con el peso, para luego ser empacados manualmente por los operadores, en cajas de plástico desinfectadas (figura 10). En la planta de proceso, el departamento de control de calidad también vela por el correcto lavado y desinfección de manos de los trabajadores.



**Figura 10.** Lavado/desinfección/secado (A) y clasificación (B) del tomate en la planta empacadora de la finca tradicional. Elaboración propia

En el caso de la planta empacadora de la finca hidropónica, los tomates se lavan y desinfectan por flotación en un baño de agua con hipoclorito de sodio a 50-100 ppm, con agua a temperatura ambiente, a un pH entre 6,5-7,0, durante 3-5 minutos. Luego se secan con rodillos rotatorios y posteriormente, pasan por una máquina que los clasifica por color y peso, mediante un sistema computarizado de fotografía (figura 11). Finalmente, los tomates son empacados manualmente por los trabajadores, dentro de cajas de plástico desinfectadas. En la planta, el departamento de control de calidad también vigila el apropiado lavado y desinfección de manos de los colaboradores.



**Figura 11.** Lavado/desinfección (A), secado (B) y sistema de fotografía (C) del tomate en la planta empacadora de la finca hidropónica. Elaboración propia

En la finca tradicional, el tomate cosechado evidenciaba cierta contaminación superficial con tierra, la cual es un importante reservorio de microorganismos (Fernández & Peña, 2012). Por el contrario, el tomate hidropónico se apreciaba limpio, incluso previo a su higienización. Consecuentemente, la expectativa era que la planta empacadora tradicional obtuviera reducciones microbiológicas mayores a las alcanzadas por la planta hidropónica. No obstante, al comparar estadísticamente la eficacia de los métodos de lavado y desinfección de ambas fincas (cuadro V), se pudo concluir que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las plantas empacadoras para los valores promedio de reducción logarítmica alcanzada en el RTA ( $1-\beta > 0,4605$ ) ni en el RML ( $1-\beta > 0,0480$ ).

Como se puede apreciar, estos análisis obtuvieron potencias bajas, las cuales evidencian variabilidad en los resultados, propio de la falta de estandarización de las condiciones del trabajo diario en las fincas. Si se desean conocer los valores individuales de las repeticiones de dichos experimentos, referirse al cuadro VIII, ubicado en el apartado de Anexos.

Por otra parte, se observa que, con los métodos de higienización aplicados por ambas

plantas empacadoras, no se logra disminuir ni en un logaritmo las poblaciones microbiológicas escogidas. Si el producto terminado llegara a tener una elevada carga microbiana, su vida útil e inocuidad podrían verse comprometidas. Inclusive, se esperaría que, al aplicar procedimientos de desinfección, estos logren reducir las poblaciones microbiológicas en una décima o centésima parte (FDA, 2008a). Esto implicaría que las metodologías de limpieza y desinfección utilizadas actualmente por ambas plantas empacadoras podrían estar siendo ineficaces.

Al analizar la fruta limpia de las dos fincas, ambas presentaron RTA menores a 5 log UFC/g. En virtud de eso, se afirma que estos productos se encuentran en cumplimiento de con los requisitos de la NOM-093-SSA1-1994 (1994) para frutas y hortalizas frescas. Adicionalmente, los tomates cosechados de ambas fincas también obtuvieron valores de RTA menores a 5 log UFC/g. Por lo tanto, los bajos recuentos iniciales podrían justificar la mínima o nula reducción microbiana alcanzada por los métodos de higienización utilizados por ambas fincas.

De acuerdo con Jaramillo *et al.* (2007) y la FDA (2008b), en la finca hidropónica se podría elevar la concentración de hipoclorito de sodio y en ambas fincas, controlar la temperatura del agua utilizada (López, 2003). Además, según lo indicado por Parish *et al.* (2003), sería posible aumentar el tiempo de contacto del ácido peracético con el tomate en la finca tradicional. No obstante, las frutas limpias de ambas fincas obtuvieron bajos recuentos microbianos. En virtud de esto, se podría concluir que actualmente no es necesario modificar, ni la temperatura del agua, ni la concentración del desinfectante, ni el tiempo de desinfección. Por otro lado, sería recomendable realizar un estudio de validación, en condiciones controladas, de los métodos de higienización empleados en cada planta empacadora.

En cuanto a la finca orgánica, esta únicamente limpia los tomates utilizando un paño de tela limpio, empapado con una solución de agua con yodo o cloro. Seguidamente, las frutas limpias se colocan en cajas plásticas lavadas con agua y jabón. Para esta operación, los colaboradores se lavan las manos previamente. Esto concuerda con lo descrito por Durán *et al.* (2016), estudio costarricense que demuestra que el 36% de los productores entrevistados de tomate, no lavan ni desinfectan la fruta, otro 36% sólo lo limpian superficialmente, similar a la finca orgánica estudiada, un 12% lo lavan con agua potable y únicamente un 16% lo lavan y desinfectan.

Paltrinieri (2014) detalla en el *Training Manual for Granada* de la FAO, que la limpieza de las frutas y hortalizas resulta muy importante para evitar el crecimiento de microorganismos patógenos y de deterioro. Si el alimento es sensible al agua, es admisible limpiarlo

superficialmente con un paño húmedo, en seco con cepillos, o aplicar lavados con agua potable y un desinfectante, utilizando más comúnmente el hipoclorito de sodio. Sin embargo, como se ha explicado anteriormente, sí se recomienda lavar y desinfectar el tomate, aplicando además operaciones de cepillado y secado (FDA, 2008b; Jaramillo *et al.*, 2007). Por lo tanto, la metodología de limpieza ejecutada por la finca orgánica podría no ser apropiada para higienizar esta fruta.

A continuación se presenta el cuadro VI, el cual muestra el resumen de los resultados obtenidos a partir de los análisis microbiológicos y comparaciones estadísticas realizadas.

**Cuadro VI.** Resumen de los resultados obtenidos a partir de los análisis microbiológicos y comparaciones estadísticas realizadas.

<b>Objetivo</b>	<b>Fincas comparadas</b>	<b>Parámetros microbiológicos</b>	<b>Resultados</b>
Comparar calidad microbiológica del tomate cosechado	Tradicional Orgánica Hidropónica	<ul style="list-style-type: none"> <li>● RTA</li> <li>● RML</li> <li>● <i>E. coli</i> (Petrifilm)</li> <li>● Coliformes totales (Petrifilm)</li> <li>● P/A <i>L. monocytogenes</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● RTA &lt; 5 log</li> <li>● Ausencia <i>E. coli</i></li> <li>● Ausencia <i>L. monocytogenes</i></li> <li>● Coliformes: T = H = O</li> <li>● RTA: H &lt; O, T = H, T = O</li> <li>● RML: H &lt; T, H &lt; O, T = O</li> </ul>
Comparar la calidad microbiológica de los contenedores de cosecha	Tradicional Orgánica Hidropónica	<ul style="list-style-type: none"> <li>● RTA</li> <li>● RML</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● RTA: H &lt; T, H = O, T = O</li> <li>● RML: H &lt; O, T = H, T = O</li> </ul>
Comparar la calidad microbiológica del agua de riego	Tradicional Hidropónica	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coliformes totales (NMP 5 tubos)</li> <li>● Coliformes termotolerantes (NMP 5 tubos)</li> <li>● <i>E. coli</i> (NMP 5 tubos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ausencia de coliformes termotolerantes y de <i>E. coli</i></li> <li>● Coliformes totales: T = H</li> </ul>
Comparar la reducción logarítmica después de lavar y desinfectar el tomate	Tradicional Hidropónica	Reducción de: <ul style="list-style-type: none"> <li>● RTA</li> <li>● RML</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● RTA tomate desinfectado &lt; 5 log</li> <li>● Reducciones &lt; 1 log</li> <li>● Reducción RTA: T = H</li> <li>● Reducción RML: T = H</li> </ul>

## 6. CONCLUSIONES

- Los tomates cultivados por las tres fincas estudiadas cumplen con la NOM-111-SSA1-1994, ya que poseen valores de RTA menores a los 5 log UFC/g indicados para frutas y hortalizas frescas.
- Los tomates cultivados por las tres fincas son inocuos respecto a *L. monocytogenes*, debido a que todos carecen de dicho patógeno.
- Los tomates cultivados por las tres fincas carecen de contaminación con materia fecal, evidenciado por la ausencia de *E. coli*.
- Los tomates cultivados de la finca orgánica poseen una población de mesófilos aerobios totales significativamente mayor a los tomates de la finca hidropónica. No existen diferencias significativas entre el RTA de los tomates cultivados de la finca hidropónica respecto a la tradicional, ni entre el RTA de los tomates cultivados de la finca orgánica respecto a la finca tradicional.
- Los tomates cultivados de la finca hidropónica poseen una carga de mohos y levaduras significativamente menor que los tomates cultivados de las otras fincas. Por el contrario, no existen diferencias significativas entre el RML de los tomates cultivados de la finca tradicional respecto a la finca orgánica.
- Los tomates cultivados de las tres fincas presentan una carga estadísticamente igual de coliformes totales, según los recuentos realizados.
- Las bolsas de cosecha de la finca tradicional poseen un RTA significativamente mayor a las cajas de la finca hidropónica. Por el contrario, no hay diferencias significativas entre el RTA de los contenedores de cosecha de la finca orgánica respecto a los de la finca tradicional, ni tampoco entre la finca hidropónica respecto a la finca orgánica.
- Las cajas de recolección de la finca orgánica poseen una población de mohos y levaduras significativamente mayor a las de las cajas de la finca hidropónica. Por el contrario, no hay diferencias significativas entre el RML de los contenedores de cosecha de la finca orgánica respecto a los de la finca tradicional. Tampoco existen diferencias significativas entre el RML de las cajas de la finca hidropónica respecto a las bolsas de cosecha de la finca tradicional.
- Las aguas de riego utilizadas en las tres fincas carecen de coliformes termotolerantes y de *E. coli* y se consideran aptas para la irrigación de los cultivos.
- No existen diferencias significativas entre la carga de coliformes totales de las aguas de riego utilizadas en la finca hidropónica y en la finca tradicional.



- No existen diferencias significativas entre la reducción logarítmica alcanzada sobre el RTA y RML, producto de los procedimientos de lavado y desinfección aplicados a los tomates, de la finca tradicional y la finca hidropónica.
- Los procedimientos de cosecha no alteran el RTA ni el RML de los tomates de la finca tradicional y de la finca hidropónica.

## 7. RECOMENDACIONES

- Examinar las superficies de contacto presentes durante la cadena de distribución y comercio de tomate, con el objetivo de conocer si la calidad microbiológica de la fruta podría verse comprometida antes de llegar al consumidor final.
- Analizar la calidad microbiológica de las manos de los recolectores, de forma que se pueda relacionar con la carga microbiana del tomate cosechado.
- Aumentar las repeticiones en la finca orgánica del análisis de agua, así como las del RTA y RML antes y después de la limpieza del tomate, para así poder compararla estadísticamente con las otras dos fincas.
- Incrementar la cantidad de fincas analizadas de cada tipo de cultivo, con la finalidad de generalizar los resultados y concluir respecto a tipos de agricultura y no sólo limitarse a fincas individuales.
- Complementar la investigación comparando costos de producción, perfil nutricional del tomate e impacto ambiental generado por parte de los diferentes tipos de cultivo, de manera que se pueda concluir cuál es el tipo de manejo agronómico más recomendable.
- Ejecutar un análisis de *E. coli* en tomate cosechado, de manera que se pueda conocer si, durante el proceso de recolección, se da contaminación fecal por falta de higiene en las manos de los colaboradores y en los contenedores de cosecha.
- Evaluar la inversión económica que implican los diferentes métodos existentes de higienización del tomate, con el fin de adoptar la forma de limpieza más costo-efectiva.
- Monitorear la temperatura del tomate y del agua empleada en los procesos de lavado y desinfección, aplicados en la finca tradicional y en la finca hidropónica, de manera que se evite la introducción de agua en la fruta, producto del diferencial de presión generado. La temperatura del agua debe ser 5-6 °C mayor a la del tomate (García & Vásquez, 2015).
- Adoptar, en la finca orgánica, una metodología de lavado y desinfección de tomate que incluya la aspersion de una solución con desinfectante, una operación de cepillado y una etapa de secado. Como opciones de desinfectantes, se puede utilizar cloro (no más de 4 ppm), peróxido de hidrógeno u ozono (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2012).
- Implementar, en la finca orgánica, un procedimiento estandarizado de lavado y desinfección de manos para los recolectores del tomate, con el fin de disminuir los

recuentos microbianos en la fruta cosechada. De esta manera, se puede prolongar la vida útil del producto y velar por su inocuidad.

- Aplicar jabón o detergente durante el lavado de las cajas de cosecha en la finca orgánica, con el objetivo de disminuir los recuentos microbianos, principalmente de mohos y levaduras, ya que estos podrían comprometer la vida útil del tomate que se encuentra en contacto con el contenedor. También se pueden aplicar desinfectantes como ácido peracético, cloro y ácido fosfórico (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2021).
- Realizar un estudio de validación, en condiciones controladas, de los métodos de higienización empleados en cada planta empacadora.
- Ejecutar un estudio de vida útil del tomate listo para comercializar de las tres fincas, de forma tal que se pueda relacionar con la microbiota presente en el producto final y así comparar la eficiencia de los tres tipos de manejo.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, M. R., Moss, M. O., & McClure, P. (2016). *Food Microbiology*. The Royal Society of Chemistry. [https://app-knovel-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/web/toc.v/cid:kpFME00042/viewerType:toc/root\\_slug:food-microbiology-4th?kpromoter=federation](https://app-knovel-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/web/toc.v/cid:kpFME00042/viewerType:toc/root_slug:food-microbiology-4th?kpromoter=federation)

Aguiar Calizaya, V. S., & Heredia Araujo, J. (2020). *Determinación de la concentración de agroquímicos en productos hortícolas en la Localidad de Carapongo-Lima-Perú-2020*. [Trabajo final de graduación de bachillerato]. Universidad Peruana Unión.

Álvarez, E. (2018). Guía Técnica del Cultivo del Tomate. *Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal*. [http://centa.gov.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa\\_Tomate%202019.pdf](http://centa.gov.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf)

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association.

Andersen, M. (2003). *¿Es la certificación algo para mí? - Una guía práctica sobre por qué, cómo y con quién certificar productos agrícolas para la exportación/RUTA-FAO*. Unidad Regional de Asistencia Técnica. Food and Agriculture Organization (FAO). <http://www.fao.org/3/ad818s/ad818s00.htm#Contents>

Araya, J. (2019). *A paso lento, Gobierno busca dinamizar la agricultura orgánica*. Semanario Universidad. <https://semanariouniversidad.com/pais/a-paso-lento-gobierno-busca-dinamizar-la-agricultura-organica/>

Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). (2005). *Official Method 991.14 Coliform and Escherichia coli Counts in Foods*. [http://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Food\\_AOAC-991.14.pdf](http://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Food_AOAC-991.14.pdf)

Baiza, V. (2003). *Guía Técnica de Cultivo de Aguacate*. IICA. <http://repiica.iica.int/docs/B0218e/B0218e.pdf>

Barański, M., Średnicka-Tober, D., Volakakis, N., Seal, C., Sanderson, R., Stewart, G. B., ... & Leifert, C. (2014). Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *British Journal of Nutrition*, 112(5), 794-811.

Barrantes, K., & Achí, R. (2011). Calidad microbiológica y análisis de patógenos (*Shigella* y *Salmonella*) en lechuga. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 31(1), 31-36.

Barrantes, K., Chacón, L. M., Solano, M., & Achí, R. (2013). Contaminación fecal del agua superficial de la microcuenca del río Purires, Costa Rica, 2010-2011. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 33(1), 40-45.

Barbosa, G., Alzamora, S., Tapia, M. López, A., Fernández, J. & Welti, J. (2003). *Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas: technical manual*. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/y4358e/y4358e05.htm#bm05>

Barrientos, G. (2021). *Avances en agricultura orgánica son lentos e incipientes pese a amplio marco normativo*. Estado de la Nación. <https://estadonacion.or.cr/avances-en-agricultura-organica-son-lentos-e-incipientes-pese-a-amplio-marco-normativo/>

Batt, C. (2014). *Encyclopedia of Food Microbiology*. Academic Press. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/lib/sibdilibro-ebooks/reader.action?docID=1744503>

Baviera, J. M. B., Pérez, G. F., Martínez, G. P., & Rodríguez, R. L. (2016). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) en relación al uso de una solución acuosa de peróxido de hidrógeno, ácido acético y ácido peracético (23/17/15) como coadyuvante tecnológico para la desinfección bacteriana de cítricos y tomates y el agua de lavado de los mismos. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, (23), 21-43.

Bello, O. B., Olawuyi, O. J., Azeez, A. H., Adebisi, O. S., & Owoade, T. A. (2016). *Microorganisms causing post-harvest tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit decay in Nigeria*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(1), 374-377.

Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)

Biomerieux. (2010). *Instrucciones de trabajo del kit API Listeria*, Biomerieux.

Bolaños, S. (2002). *Recuento microbiológico y presencia de enteropatógenos en vegetales cultivados y comercializados en el Área Metropolitana* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.

Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2018). Life cycle analysis of organic tomato production and supply in Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 196, 635-643.

Brodowska, A. J., Nowak, A., & Śmigielski, K. (2017). Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–26.

Buchanan, R. L., Gorris, L. G., Hayman, M. M., Jackson, T. C., & Whiting, R. C. (2017). A review of *Listeria monocytogenes*: an update on outbreaks, virulence, dose-response, ecology, and risk assessments. *Food control*, 75, 1-13.

Cadena, E. (2014). *Estudio de la aplicación del agua electrolizada neutra en la desinfección de frutas y hortalizas frescas* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Querétaro.

Callejas, A. T. (2011). *Tratamientos postcosecha innovadores de desinfección y mantenimiento de la calidad en brotes de hortalizas foliáceas mínimamente procesadas y tomate* [Tesis de doctorado]. Universidad Politécnica de Cartagena.

Camacho, M., Arauz, K., Barboza, N., Martínez, H. A., & Arias, J. (2015). Caracterización de productores de hortalizas orgánicas distribuidas en la gran área metropolitana (GAM), Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(2), 131-142.

Campuzano, S., Flórez, D. M., Ibarra, C. M., & Sánchez, P. P. (2015). Determinación de la calidad microbiológica y sanitaria de alimentos preparados vendidos en la vía pública de la ciudad de Bogotá DC. *Nova*, 13(23), 81-92.

Cárdenas, M. D. C. (2012). *Identificación de fuentes de contaminación durante la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en el Estado de Nuevo León, México* [Tesis de doctorado]. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Castilla, N. (2007). *Invernaderos de plástico, Tecnología y manejo: tecnología y manejo*. Mundi-Prensa Libros.  
<https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484763215/invernaderos-de-plastico--tecnologia-y-manejo>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2020a). *Los mohos (hongos) en el medio ambiente: ¿Cómo se hace para eliminar el moho de las edificaciones, incluidos los hogares, las escuelas y los lugares de empleo?*  
<https://www.cdc.gov/mold/es/faqs.htm#rid>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2020b). *Outbreak of E. coli Infections Linked to Leafy Greens*. <https://www.cdc.gov/ecoli/2020/o157h7-10-20b/index.html>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2020c). *Outbreak of Cyclospora Infections Linked to Bagged Salad Mix*. <https://www.cdc.gov/parasites/cyclosporiasis/outbreaks/2020/index.html>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2019). *Outbreak of E. coli Infections Linked to Romaine Lettuce*. <https://www.cdc.gov/ecoli/2018/o157h7-11-18/index.html>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2018). *Multistate Outbreak of E. coli O157:H7 Infections Linked to Romaine Lettuce (Final Update)*. <https://www.cdc.gov/ecoli/2018/o157h7-04-18/index.html>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2017). *Multistate Outbreak of Shiga toxin-producing Escherichia coli O157:H7 Infections Linked to Leafy Greens (Final Update)*. <https://www.cdc.gov/ecoli/2017/o157h7-12-17/index.html>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2016a). *Multistate Outbreak of Listeriosis Linked to Frozen Vegetables (Final Update)*. National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases (NCEZID), Division of Foodborne, Waterborne, and Environmental Diseases (DFWED). <https://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/frozen-vegetables-05-16/index.html>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2016b). *Multistate Outbreak of Listeriosis Linked to Packaged Salads Produced at Springfield, Ohio Dole Processing Facility (Final Update)*. National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases (NCEZID), Division of Foodborne, Waterborne, and Environmental Diseases (DFWED). <https://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/bagged-salads-01-16/index.html>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2016c). *Multistate Outbreak of Listeriosis Linked to Packaged Salads Produced at Springfield, Ohio Dole Processing Facility (Final Update)*. <https://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/bagged-salads-01-16/index.html>

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2014). *Outbreak of Salmonella Newport Infections Linked to Cucumbers*. [https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6406a3.htm?s\\_cid=mm6406a3\\_e](https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6406a3.htm?s_cid=mm6406a3_e)

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). (2018). *Coliformes Totales y Escherichia coli Método Petrifilm*. P-SA-MM-008. Laboratorio de Microbiología. Emisión N°3.

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). (2017). *Detección de Listeria spp*. P-SA-MM-021. Laboratorio de Microbiología. Emisión N°3.

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). (2014). *NMP de Escherichia coli*. P-SA-MM-004. Laboratorio de Microbiología. Emisión N°2.

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). (2017). *Recuento de Mohos y Levaduras*. P-SA-MM-007. Laboratorio de Microbiología. Emisión N°4.

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). (2017). *Recuento de Mesófilos Aerobios*. P-SA-MM-001. Laboratorio de Microbiología. Emisión N°3.

Céspedes, J. (2019). *Agroecología: modernizar la agricultura para lograr cultivos rentables y sostenibles*. Ciencia y Tecnología. Universidad de Costa Rica. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/05/23/agroecologia-modernizar-la-agricultura-para-lograr-cultivos-rentables-y-sostenibles.html>

Chaves, A. & Campos, G. (2011). *Algunas consideraciones en Hidroponía*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0953.pdf>

Clayton, H. (2006). *An epidemiologic study to describe the relationship between farming practices and microbial indicator concentrations on produce from farms in the southern United States*. [Tesis de maestría]. Emory University.

Clements, D. P., Wall, G., Stoeckel, D., Fisk, C., Woods, K., & Bihn, E. (2018). *Introduction to Selecting an EPA-Labeled Sanitizer*. Produce Safety Alliance. <https://producesafetyalliance.cornell.edu/sites/producesafetyalliance.cornell.edu/files/shared/documents/Sanitizer-Factsheet.pdf>

Clements, D. P., Wall, G., Stoeckel, D., Fisk, C., Woods, K., & Bihn, E. (2019). *FSMA Produce Safety Rule Water Requirements: Insights to Get You Organized*. Produce Safety Alliance. <https://producesafetyalliance.cornell.edu/resources/fsma-produce-safety-rule-water-requirements%20insights-get-you-organized/>

Comisión Europea. (2007). *Producción y etiquetado de los productos ecológicos Reglamento (CE) 834/2007*. [https://www.ciaorganico.net/legislacion/421\\_eu122es.pdf](https://www.ciaorganico.net/legislacion/421_eu122es.pdf)

Consejo Nacional de Producción (CNP). (2016). *Análisis y monitoreo de mercados*. Boletín N° 1. Sistema de Información Agroalimentaria. [https://www.cnp.go.cr/sim/sector\\_agricola/Hortalizas/tomate/Analisis\\_de\\_Mercado/2016/M\\_tomate\\_01\\_08-11-16.pdf](https://www.cnp.go.cr/sim/sector_agricola/Hortalizas/tomate/Analisis_de_Mercado/2016/M_tomate_01_08-11-16.pdf)

Dandie, C. E., Ogunniyi, A. D., Ferro, S., Hall, B., Drigo, B., Chow, C. W., ... & Lombi, E. (2020). Disinfection options for irrigation water: reducing the risk of fresh produce contamination with human pathogens. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(20), 2144-2174.



Da Silva, N., Hiromi, M., Amstalden, V., Ferraz De Arruda, N., Da Silva, M. & Romeiro, R. (2013). *Microbiological examination methods of food and water*. Taylor & Francis Group, London, UK. [shorturl.at/ckIM6](http://shorturl.at/ckIM6)

De Jesús, R. L. O., Ibáñez, A. T. G., Pale, J. R. S., Berasain, M. D. M., Campos, C. A. E., & Cerda, A. L. (2018). Persistencia, internalización y translocación de *Escherichia coli* O157: H7, O157: H16 y O105ab en plantas y frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista argentina de microbiología*, 50(4), 408-416.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2012), *Guide for Organic Crop Producers*.

<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/GuideForOrganicCropProducers.pdf>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2021). *The National List of Allowed and Prohibited Substances*. <https://www.ecfr.gov/current/title-7/part-205/subpart-g>

Desiree, K., Schwan, C. L., Ly, V., Hok, L., Bello, N. M., Nwadike, L., ... & Vipham, J. L. (2020). Investigating *Salmonella enterica*, generic *Escherichia coli* (*E. coli*) and Coliforms on Fresh Vegetables Sold in Informal Markets in Cambodia. *Journal of Food Protection*. 184(5):843-849.

Durán-Quirós, A., González-Lutz, M. I., Mora-Acedo, D., & Vargas-Hernández, G. (2016). Evaluación de los riesgos de contaminación microbiológica en los sistemas hortícolas, Valle Central de Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 40(2), 129-146.

Erkmen, O. (2016). *Food Microbiology, Principles Into Practice*. John Wiley & Sons Incorporated. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/lib/sibdilibro-ebooks/reader.action?docID=4505284>

Estornell, Y. (2018). *Tomate hidropónico: una alternativa de producción y de valor agregado*. [Trabajo final de graduación]. Universidad Nacional de Córdoba.

Fan, X., Niemira, B. A., Doona, C. J., Feeherry, F. E., & Gravani, R. B. (2009). *Microbial Safety of Fresh Produce*. Institute of Food Technologists. [shorturl.at/cjpH9](http://shorturl.at/cjpH9)

Fernández, E., & Peña, J. J. (2012). *Riesgos microbianos en la producción de alimentos frescos en áreas urbanas y periurbanas de América Latina*. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=bac.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf=062111>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2007). *Producción de Tomate Bajos Condiciones Protegidas*. <http://www.fao.org/3/a1374s/a1374s00.htm>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2017a). *Código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas frescas*. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh->

proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXC%2B53-2003%252FCXC\_053s.pdf

Food and Agriculture Organization (FAO). (2017b). *Presentación y evaluación de los datos sobre residuos de plaguicidas para la estimación de los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos*. <http://www.fao.org/3/i5452s/i5452s.pdf>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *Agroecología y Agricultura Familiar*. <http://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/>

Food and Drug Administration (FDA). (2008a). *Guidance for Industry: Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards of Fresh-cut Fruits and Vegetables*. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-guide-minimize-microbial-food-safety-hazards-fresh-cut-fruits-and-vegetables#ch7>

Food and Drug Administration (FDA). (2008b). *Lineamientos de Inocuidad de los Alimentos Específicos para Tomate Fresco en la Cadena de Suministro*. <https://www.fda.gov/files/food/published/Lineamientos-de-Inocuidad-de-los-Alimentos-Espec%C3%ADficos-para-Tomate-Fresco-en-la-Cadena-de-Suministro--2a-edici%C3%B3n-%28PDF%29.pdf>

Food and Drug Administration (FDA). (2015). *Standards for the growing, harvesting, packing, and holding of produce for human consumption*. FSMA Final Rule on Produce Safety. <https://www.fda.gov/media/137715/download>

Food and Drug Administration (FDA). (2018). *Recalls, Market Withdrawals, & Safety Alerts*. <https://www.fda.gov/safety/recalls-market-withdrawals-safety-alerts>

Food and Drug Administration (FDA). (2020). *Bacteriological Analytical Manual Online*. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>

Food Safety Strategies. (2018). *Envolve Foods recalls chicken and beef products due to possible Salmonella and Listeria Monocytogenes contamination in vegetables*. <https://www.foodsafetystrategies.com/articles/500-envolve-foods-recalls-chicken-and-beef-products-due-to-possible-salmonella-and-listeria-monocytogenes-contamination-in-vegetables>

García, G. & Vásquez, L. (2015). *Guía de prácticas correctas de higiene para vegetales y derivados, frescos, mondados, troceados o envasados*. Generalitat de Catalunya. [http://coli.usal.es/web/Guias/pdf/GPCH\\_vegetales\\_iv\\_gama\\_Cat.pdf](http://coli.usal.es/web/Guias/pdf/GPCH_vegetales_iv_gama_Cat.pdf)

Garmendia, G., & Vero, S. (2006). Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Horticultura*, 197, 18-27.

Garro, J. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>

Gilsanz, J. (2007). *Hidroponía*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>

Giraldo, O. (21 de febrero de 2017). [TvAgro]. *Cómo desarrollar un cultivo de tomate*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=FgZCx2Lrgxk>

González, A., Altesor, P., Sellanes, C., & Rossini, C. (2012). *Aplicación de feromonas sexuales en el manejo de lepidópteros plaga de cultivos agrícolas. temas selectos en ecología química de insectos*. [shorturl.at/bgDN9](http://shorturl.at/bgDN9)

González, C. (2018). *Análisis de la calidad microbiológica de los alimentos procedentes de cadenas de comida rápida*. [Tesis de grado]. Universidad de la Coruña.

González, H. (2020). *Lista de los operadores sujetos al sistema de control orgánico de acuerdo con el Decreto Ejecutivo N° 29782-MAG*. Kiwa BCS Costa Rica Ltda. [https://www.kiwa.com/globalassets/latam/rspo-certificacion/lista-de-operadores-organicos-de-cr\\_20200206.pdf](https://www.kiwa.com/globalassets/latam/rspo-certificacion/lista-de-operadores-organicos-de-cr_20200206.pdf)

Gorini, F. (2018). *Guía completa del cultivo del tomate*. Parkstone International. [shorturl.at/jAEPX](http://shorturl.at/jAEPX)

Grill, F. (2018). *Holanda revoluciona la producción de alimentos y ya es el 2do exportador mundial*. Algoritmo MAG. <https://www.algoritmomag.com/holanda-alimentos/>

Hernández Yépez, J. N. (2013). *Caracterización físico-química y microbiológica del tomate margariteño (Lycopersicon esculentum var. España) y evaluación de la efectividad de tratamientos de pre-ensado para el incremento de su vida comercial a temperatura ambiente*. [Tesis de doctorado]. Universidad de Córdoba.

Hernández, J., Espinoza, Y., Malpica, L., & De Jesús, M. (2011). Calidad del agua de riego y parámetros microbiológicos y químicos del suelo de la zona agrícola de Barbacoas, estado Aragua. *Revista Facultad Agronomía*, 37(1), 1-10.

Heuvelink, E. (2018). *Tomatoes. Crop Production Science in Horticulture*. Boston MA: CABI. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/lib/sibdilibro-ebooks/reader.action?docID=289455&query=>

Hickman, G. W. (2011). *Greenhouse vegetable production statistics: a review of current data on the international production of vegetables in greenhouses*. Cuesta Roble greenhouse consultants, Mariposa, p 72.

Hintz, L. D., Boyer, R. R., Ponder, M. A., Williams, R. C., & Rideout, S. L. (2010). Recovery of *Salmonella enterica* Newport introduced through irrigation water from tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit, roots, stems, and leaves. *HortScience*, 45(4), 675-678.

Hirovani, H., Naranjo, J., Moroyoqui, P. G., & Gerba, C. P. (2001). Demonstration of indicator microorganisms on the surface of vegetables on the market in the United States and Mexico. *Journal of food science*, 67(5), 1847-1850.

Holwerda, H. (2006). *Guía de Manejo Nutricional Vegetal Especialidad Tomate*. [http://www.sqm-vitas.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop\\_Kit\\_Tomato\\_L-ES.pdf](http://www.sqm-vitas.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tomato_L-ES.pdf)

ICMSF. (2000). *Microorganismos de los alimentos. Técnicas de análisis microbiológico*. Editorial Acribia Zaragoza.

Infoagro. (2017). *Nutrientes presentes en el suelo*. <https://mexico.infoagro.com/nutrientes-presentes-en-el-suelo/>

Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M. Zapata, M. & Rengifo, T. (2007). *Producción de Tomate Bajo Condiciones Protegidas*. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/a1374s/a1374s00.pdf>

Jay, J. (2009). Indicadores de la calidad y seguridad microbianas de los alimentos. En *Microbiología moderna de los alimentos* (pp. 473-491). Acribia.

Jiménez, M. (2010). *Manual Instructivo: Alternativas Productivas en Cultivos Hidropónicos*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <https://docplayer.es/21063968-Manual-instructivo-alternativas-productivas-en-cultivos-hidroponicos.html>

Jones, J. (2007). *Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse, and Home Garden*. <https://www-taylorfrancis-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/books/mono/10.1201/9781420007398/tomato-plant-culture-benton-jones-jr>

Khadka, R. B., Marasini, M., Rawal, R., Gautam, D. M., & Acedo, 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 research international.

Khan, F. A. A. (2018). A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2(2), 59-66.

Kornacki, J., Gurtler, J. & Stawick, B. (2015). Coliforms, and *Escherichia coli* as Quality and Safety Indicators. En Salfinger, Y. & Tortorello, L. (E.d), *Compendium of Methods*

for the *Microbiological Examination of Foods. Enterobacteriaceae*, American Public Health Association. (5 ed.), Washington, DC. U.S.A.

Kyanko, M. V., Russo, M. L., Fernández, M., & Pose, G. (2010). Efectividad del Ácido Peracético sobre la reducción de la carga de Esporas de Mohos causantes de Pudrición Poscosecha de Frutas y Hortalizas. *Información tecnológica*, 21(4), 125-130.

León, J. S., Jaykus, L. A., & Moe, C. L. (2009). Food safety issues and the microbiology of fruits and vegetables. *Microbiologically safe foods*, 255-281.

Liu, D. (Ed.). (2008). *Handbook of Listeria monocytogenes*. CRC press. <https://www-taylorfrancis-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/books/mono/10.1201/9781420051414/handbook-listeria-monocytogenes-dongyou-liu>

López, A. (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas: Del campo al mercado*. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/Y4893S/y4893s00.htm#Contents>

López, L. (2012). *Actualidad de la agrocadena del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum)*. Segundo Congreso Nacional de la Agrocadena de Tomate. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/A50-5910.pdf>

López, L. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Tomate Solanum lycopersicum*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). IICA. PRIICA. Unión Europea. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>

Luna, M. L., Luna, J. J. L., Espinosa, H. R., Abascal, L. L., González, C. B. D. (2015). Eficiencia de la desinfección con aceites esenciales y ultrasonido sobre *Escherichia coli* inoculada en frutos de tomate y el impacto sobre la actividad antioxidante. *Revista argentina de microbiología*, 47(3), 251-255.

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunalp, P. V., & Clark, D. P. (2004). *Brock. Biología de los microorganismos*. Editorial Pearson Prentice Hall Iberia.

Madrid, A. (2009). La agricultura orgánica y la agricultura tradicional: una alternativa intercultural. *Revista Letras Verdes*, 4.

Mahovic, M. J., Sargent, S. A., Bartz, J. A., & Kan, E. E. L. (2007). *Identificación y Control Postcosecha de las Enfermedades del Tomate en la Florida*. EDIS. <https://journals.flvc.org/edis/article/view/116581>

Malik, A. M., Mughal, K. M., Mian, S. A., & Khan, M. A. U. (2018). Hydroponic tomato production and productivity improvement in Pakistan. *Pakistan Journal of Agriculture Research*, 31(2), 133-144.

Ministerio de Agricultura Orgánica Costarricense (MAOCO). (s.f). *Quienes Somos*.  
<https://maoco.cr/quienessomos/>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2007). *Agrocadena de tomate*.  
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9892.pdf>

Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud. (2007). *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*. Decreto N° 33903.  
La Gaceta N. 178.  
<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Reglamento%20evaluaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.pdf>

Ministerio de Comercio Exterior, Ministerio de Salud, Ministerio de Agricultura y Ganadería y Ministerio de Economía, Industria y Comercio (COMEX-S-MAG-MEIC). (2018). *Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50:17 Alimentos. Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de los Alimentos*.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=87920&nValor3=114653&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=87920&nValor3=114653&strTipM=TC)

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2008). *Buenas Prácticas Agropecuarias*. ISBN 978-9968-877-27-5. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P01-4955.PDF>

Ministerio de Salud (MS). (2019). *Reforma y adición al reglamento para la calidad del agua potable DAJ-CB-1730-2018*. Decreto Ejecutivo N° 41499-S. Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.  
[https://aresep.go.cr/images/documentos/AGUA/4.Normativas/Reforma\\_y\\_adicion\\_al\\_reglamento\\_para\\_la\\_calidad\\_del\\_agua\\_potable.pdf](https://aresep.go.cr/images/documentos/AGUA/4.Normativas/Reforma_y_adicion_al_reglamento_para_la_calidad_del_agua_potable.pdf)

Moberg L., & Kornacki, J. (2015). Microbiological Monitoring of the Food Processing Environment. En Salfinger, Y. & Tortorello, L. (Ed.). *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. American Public Health Association. (5 ed.), Washington, DC. U.S.A.

Murillo, M. (2011). Elaboración de un modelo econométrico de series de tiempo para la proyección de precios del tomate (*Lycopersicum esculentum*) en Costa Rica, en base al período 2000-2010. [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.

Murillo, R. A. L., Reyes, J. J., López, R. J., Reyes, M., Murillo, G., & Samaniego, C. (2015). Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). *Centro Agrícola*, 42(4), 67-74.

Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994. (1994). *Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/mex13521.pdf>

Obafemi, Y. D., Ajayi, A. A., Olasehinde, G. I., Atolagbe, O. M., & Onibokun, E. A. (2018). Screening and partial purification of amylase from *Aspergillus niger* isolated from deteriorated tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits. *African Journal of Clinical and Experimental Microbiology*, 19(1), 47-57.

Ocaña, R. (2018). *Penetración y permanencia de Escherichia coli y Salmonella en plantas y frutos de tomate (Lycopersicum esculentum Mill)*. [Tesis de doctorado]. Universidad Autónoma del Estado de México.

Ocaña-de Jesús, R. L., Gutiérrez-Ibáñez, A. T., Sánchez-Pale, J. R., Mariezcurrena-Berasain, M. D., Velázquez-Garduño, G., Laguna Cerda, A., & Rojas Puebla, I. (2015). Calidad microbiológica del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido bajo condiciones de invernáculo en 5 Municipios del Estado de México. *Phyton*, 84(1), 45-50.

Odu, N; Okomuda, MO. (2013). Prevalence of *Salmonella* species and *Escherichia coli* in fresh Cabbage and Lettuce sold in Port Harcourt Metropolis, Nigeria. *Report and Opinion* 5(3):1-8

OECD. (2019). *International Standards for Fruits and Vegetables: Tomatoes*. [https://www-oecd-ilibrary-org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/agriculture-and-food/tomatoes\\_941fdd50-en-fr](https://www-oecd-ilibrary-org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/agriculture-and-food/tomatoes_941fdd50-en-fr)

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Residuos de plaguicidas en alimentos*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>

Ozores-Hampton, M. (2011). *Fertilizer and nutrient management for tomato*. TomaTo Proceedings, 32.

Paltrinieri, G. (2014). *Handling of fresh fruits, vegetables and root crops: A training manual for Grenada*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/au186e/au186e.pdf>

Pampillo, J. S. C., Hidalgo, K. R., Mora, P. A., Mora, V. A., & Mora, M. M. (2012). Caracterización de la calidad del agua de la Quebrada Sanatorio en Tierra Blanca ubicada en una zona agrícola de la provincia de Cartago y sus implicaciones para la salud pública. *Mundo saúde* (1995), 548-555.

Parish, M. E., Beuchat, L. R., Suslow, T. V., Harris, L. J., Garrett, E. H., Farber, J. N., & Busta, F. F. (2003). Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2, 161-173.

Passport. (2020). *Economies and Consumers Annual Data. Yield of Tomatoes, Production of Tomatoes, Costa Rica. Euromonitor International from UN Food and Agriculture Organization (FAOSTAT)*. <https://www-portal-euromonitor-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/portal/statisticsevolution/index>

Passport. (2019). *Economies and Consumers Annual Data. Production of Tomatoes: Euromonitor International from UN Food and Agriculture Organization (FAOSTAT)*. <https://www-portal-euromonitor-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/portal/statisticsevolution/index#>

PETRIFILM 3M. (2000). *Placas Petrifilm para el recuento de E. coli/coliformes totales. Guía de interpretación*. <https://multimedia.3m.com/mws/media/4449500/3m-petriefilm-e-coli-coliform-count-plate-interpretation-guide-spanish.pdf>

Pérez, E., Barrera, M., Castelló, M. (2017). *Métodos para la desinfección en la industria alimentaria*. Universidad Politécnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/84175>

Pérez, M. A. (2014). *Evaluación de la transferencia de Salmonella enterica en cajas de madera y plástico utilizadas en tomate (Solanum lycopersicum L.)*. [Tesis en Agroindustria Rural]. Escuela Agrícola Panamericana.

Pérez, E., & Chávez, M. (2012). Frecuencia de *Listeria monocytogenes* en tomate, zanahoria, espinaca, lechuga y rabanito, expandidos en mercados de Trujillo, Perú. *Revista Ciencia y Tecnología*, 8(22), 11-21.

Prince, J. L., Nace, M. E., Lyles, R. H., de Aceituno, A. M. F., Bartz, F. E., Arbogast, J. W., ... & Leon, J. S. (2020). Both Handwashing and an Alcohol-Based Hand Sanitizer Intervention Reduce Soil and Microbial Contamination on Farmworker Hands during Harvest, but Produce Type Matters. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(18).

Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA). (2016). *Análisis del consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en los hogares costarricenses*. <http://www.pima.go.cr/wp-content/uploads/2017/07/Analisis-Consumo.pdf>

Ramírez, C. & Nienhuis, J. (2012). Cultivo protegido de hortalizas en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha* 25 (2):10-20.

Ramírez, C. V. (2011). *Crecimiento y productividad del tomate (Lycopersicum esculentum Mill) bajo cultivo protegido hidropónico en tres localidades de Costa Rica* [Tesis de doctorado]. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica y Universidad Estatal a Distancia.

Ramírez, M., de Salim, A. M., Graterol, A. Y. A., & Gamboa, O. (2009). Frecuencia de *Listeria monocytogenes* en muestras de tomates (*Lycopersicum esculentum*) y cilantro



(*Coriandrum sativum*) frescos en tres supermercados de Valencia. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(3), 318.

Rayser, E. & Donnelly, C. (2015). *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. Capítulo 35. American Public Health Association. Fifth Edition, Washington, DC. U.S.A.

Recharte, D. C. (2015). *Evaluación de microorganismos eficientes autóctonos en el rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, mill) en San Gabriel–Abancay*. [Tesis de ingeniería agrónoma]. Universidad Tecnológica de los Andes.

Registro en Agricultura Orgánica (ARAO). (2020). *Registro de Agricultura Orgánica. Operadores orgánicos*. <https://www.sfe.go.cr/SitePages/ARAO/InicioARAO.aspx>

Resh, H. M. (2012). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC Press. [shorturl.at/yDKRW](https://www.crcpress.com/shorturl.at/yDKRW)

Robles, M. D. M., Villegas, E. S., Cortez, O. M., Castellanos, I. E. G., Plascencia, P. C. M., & Esparza, L. M. A. (2018). Evaluación de la eficiencia de desinfectantes comerciales para uso alimentario en el control de crecimiento *Escherichia coli*. *Avances de Investigación en Inocuidad de Alimentos*, 1(1).

Rodríguez, J. P. (2018). Panorama de la infección por *Listeria monocytogenes*. *Revista chilena de infectología*, 35(6), 649-657.

Romero, I. (2021). *Producción de licopeno en diferentes estadios de maduración de tomates genéticamente modificados (*Solanum lycopersicum* TA234)* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Veracruz].

Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9(4), 192.

Ruiz, R. E., Ruiz, J. A., G, S., & Pérez, E. D. J. (2011). Manejo y control de plagas del cultivo de tomate en Cintalapa, Chiapas, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 129-137.

Ryser, E. & Schuman, J. (2015). Mesophilic Aerobic Plate Count. En Salfinger, Y. & Tortorello, L. (Ed.), *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. American Public Health Association. (5 ed.), Washington, DC. U.S.A.

Salas, O. (2019). *Hidroponía Inteligente pensada para la ciudad*. Universidad de Costa Rica. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/01/17/hidroponia-inteligente-pensada-para-la-ciudad.html>

Sánchez, J. (2017). *Generación de líneas T-DNA de tomate (Solanum lycopersicum) para la identificación de mutantes de inserción alterados en la morfogénesis y el desarrollo vegetal* [Tesis de doctorado, Universitat Politècnica de València].

Santa, S., Fernández, I., Bataller, M., Veliz, E., García, M., & Díaz, R. (2010). Empleo de agua ozonizada en el manejo poscosecha de tomates. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 20(3).

Smoot, L. M., & Pierson, M. D. (1997). Microorganismos indicadores y criterios microbiológicos. *Microbiología de los alimentos: Fundamentos y fronteras*. pp. 69-83.

Soto, G. (2003). *Memoria del Taller: Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza*. Food and Agriculture Organization (FAO). <http://www.fao.org/3/aT738s/aT738s.pdf>

Soto, F. (2015). *Hidroponía familiar en sustrato: Hágalo fácil*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Universidad de Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10809.pdf>

Soto, F. (2018). Parámetros para el manejo del agua en tomate y chile dulce hidropónico bajo invernadero. *Agronomía Costarricense*, 42(2), 59-73.

Soto, G. (2020). El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 215-226.

Suslow, T. (2015). *Minimizing Microbiological Risks in Multiple Use Containers*. Food Quality and Safety. <https://ucfoodsafety.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7366/files/inline-files/212397.pdf>

Vacas, S. (2011). *Uso de semioquímicos en el control de plagas. Estudios básicos y de aplicación* [Tesis de doctorado]. Universitat Politècnica de València.

Van Dyk, B. N., De Bruin, W., du PLESSIS, E. M., & Korsten, L. (2016). Microbiological food safety status of commercially produced tomatoes from production to marketing. *Journal of food protection*, 79(3), 392-406.

Vargas-Hernández, G., Durán-Quirós, A., González-Lutz, M. I., & Mora-Acedo, D. (2015). Perfil de riesgos de contaminación microbiológica y química en la cadena de producción de nueve productos hortícolas para consumo fresco, de un grupo de empresas agrícolas del Valle Central de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(2), 105-120.

Woods, K. L., Acuña-Maldonado, L., Clements, D. P., Fisk, C. L., Stoeckel, D. M., Wall, G. L., & Bihn, E. A. (2020). Produce Safety Alliance Train-the-Trainer Course: Developing Trainers to Support Fruit and Vegetable Growers. *Food Protection Trends*, 40(6), 435-449.

Zarkani, A., Schierstaedt, J., Becker, M., J Krumwiede, J., Grimm, M., Grosch, R., Jechalke, S. & Schikora, A. (2019). *Salmonella* adapts to plants and their environment during colonization of tomatoes. *FEMS Microbiology Ecology*, 95.

Zenki, S. F. A., Mazeedi, H. M. A., Hooti, S. N. A., Ati, T. A., Matawah, Q. A., Alomirah, H. F., & Sidhu, J. S. (2008). Characterization of quality and safety of tomatoes sold in the state of Kuwait. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 1(3), 298.

## 9. ANEXOS

**Cuadro VII.** Descripción de las prácticas de cultivo, cosecha y post cosecha aplicadas en las fincas de tomate y plantas empacadoras visitadas, basadas en las Buenas Prácticas Agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2008).

<b>Práctica</b>	<b>Descripción</b>
Compra de semillas y selección de variedad	
Siembra y uso del almácigo	
Abonos y fertilizantes	
Control de plagas y uso de agroquímicos	
Control de entrada de animales	
Protección contra lluvia y sol	
Preparación y mantenimiento del sustrato o el suelo	
Agua de riego	
Control del crecimiento erecto de la planta	
Control de polinización	
Tiempo de cosecha	
Contenedores de recolección de tomates	
Técnica de cosecha de tomates	
Lavado y desinfección de instrumentos y contenedores de cosecha	
Higiene del personal de cultivo y cosecha	
Almacenamiento de producto cosechado	
Higiene del personal de la planta empacadora	

Lavado y desinfección de maquinarias	
Lavado y desinfección de tomates cosechados	
Selección y clasificación de tomates	
Empaque de tomates listos para la venta	
Almacenamiento, distribución y venta del producto terminado	

**Cuadro VIII.** Recuentos totales aerobios y recuentos de mohos y levaduras del tomate cultivado y tomate cosechado de las fincas hidropónica y tradicional.

Finca	Hidropónica		Tradicional	
	Cultivado	Cosechado	Cultivado	Cosechado
RTA (Log UFC/g)	1,90	3,63	1,54	1,65
	0,95	4,49	3,13	4,62
	3,20	3,05	2,06	3,10
RML (Log UFC/g)	0,95	3,59	3,31	1,60
	1,85	2,61	4,02	3,59
	-	2,76	2,79	2,26

**Cuadro IX.** Reducción microbiológica alcanzada por el método de lavado y desinfección ejecutado por las plantas empacadoras de las fincas tradicional e hidropónica.

Finca	Reducción RTA (Log UFC/g)	Reducción RML (Log UFC/g)
Tradicional	0,30	-0,74
	-1,49	0,13
	0,14	0,95
Hidropónica	-0,80	0,32
	0,18	0,21
	0,58	0,37