

Comparación de indicadores microbiológicos en sistemas de cultivo de tomate convencional o hidropónico

Viviana Wittmann Vega¹, Gabriela Davidovich-Young^{1,2}, Eric Wong-González^{1,2} & Manuel Montero Barrantes²

1. Universidad de Costa Rica, Escuela de Tecnología de Alimentos, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica; viviana.vittmann@gmail.com; gabriela.davidovich@ucr.ac.cr; eric.wong@ucr.ac.cr
2. Universidad de Costa Rica, Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica; manuel.montero@ucr.ac.cr

Recibido 06-VII-2023 • Corregido 07-VIII-2023 • Aceptado 22-VIII-2022

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v15i2.4831>

ABSTRACT. “Comparison of indicator microorganisms in conventional or hydroponic tomato production systems”. **Introduction:** Consumption of fresh tomatoes has increased over the years and production systems (conventional or hydroponic), harvest and post-harvest practices, irrigation water and harvest containers, can affect the microbiological quality of the final product. **Objective:** To compare the microbiological quality of the cultivated or harvested fruit, the irrigation water, and the harvest containers in two tomato production farms (conventional and hydroponic). **Methods:** We carried out three sampling visits in each farm (repetitions), taking, in each repetition, 3 tomatoes of each type (composite sample), 50 ml of irrigation water and swabbing 50cm² of the surface of three harvest containers (composite sample). We determined indicator microorganisms such as total aerobic mesophilic count, mold and yeast count, total coliforms, thermotolerant coliforms and *E. coli*. Presence of *Listeria monocytogenes* was also analyzed in fruits. We applied student's t-tests at a significance level of 5%. **Results:** Total aerobic mesophilic and mold and yeast counts of hydroponic tomato were significantly lower than in conventional tomato, while no difference in total coliform counts and *E. coli* was detected. *L. monocytogenes* was absent in all samples. The total aerobic mesophilic count was higher in the harvest containers of the conventional farm. In both farms, irrigation water was not considered a source of contamination since it had very low levels of total coliforms, thermotolerant coliforms, and *E. coli*. Finally, an adequate control during harvesting was presumed, having found no difference in the microbiological indicators between the cultivated and harvested tomato. **Conclusion:** Hydroponic tomatoes are more likely to have a better microbiological profile and longer shelf life compared to conventionally grown tomatoes, evidencing the importance of environmental control and cleaning and disinfection of all elements used in the farming, harvesting and postharvest processes.

Key words: microbiological quality, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, bacteria, yeast, molds.

RESUMEN. Introducción: El consumo de tomate fresco ha ido en aumento a través de los años y los sistemas de cultivo (convencional o hidropónico), las prácticas de cosecha y poscosecha, el agua de riego y los contenedores pueden incidir sobre su calidad microbiológica. **Objetivo:** Comparar la calidad microbiológica de la fruta cultivada o cosechada, del agua de riego y de los contenedores de cosecha en dos fincas de producción de tomate (convencional e hidropónica). **Métodos:** Realizamos tres muestreos a cada finca (repeticiones), tomando, en cada repetición, 3 tomates de cada tipo que conformaron una muestra compuesta, 50 ml de agua de riego e hisopando 50cm² de la superficie de tres contenedores de cosecha (muestra compuesta). Determinamos los indicadores microbiológicos de recuento total aerobio mesófilo, recuento de hongos filamentosos y levaduras, coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. coli*. Además, analizamos la presencia de *Listeria monocytogenes* en los frutos. Aplicamos pruebas de t-student a un nivel de significancia del 5%. **Resultados:** Los recuentos total aerobio mesófilo y hongos filamentosos y levaduras del tomate hidropónico fueron significativamente menores que en el tomate convencional, mientras que no hubo diferencia en los recuentos de coliformes totales y *E. coli*, además *L. monocytogenes* estuvo ausente en todas las muestras. El recuento total aerobio mesófilo fue mayor en los contenedores de cosecha de la finca convencional. En ambas fincas el agua de riego no se consideró fuente de contaminación pues tuvo niveles muy bajos de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. coli*. Finalmente, se presume un control adecuado en las fincas durante la cosecha, al no haber encontrado diferencia en los indicadores microbiológicos entre el tomate cultivado y el cosechado. **Conclusión:** Los tomates hidropónicos presentan mayor probabilidad de tener un mejor perfil microbiológico y mayor vida útil en comparación con los tomates cultivados de forma convencional, evidenciando la importancia del control ambiental y la limpieza y desinfección de todos los insumos utilizados en los procesos de cultivo, cosecha y poscosecha.

Palabras clave: calidad microbiológica, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, bacterias, hongos.



El tomate (*Solanum lycopersicum*), de la familia *Solanaceae*, es uno de los frutos (contiene al menos una semilla y la planta carece de flores) con mayor producción y consumo a nivel mundial y su cultivo ha aumentado aproximadamente un 300% en las últimas cuatro décadas (Costa & Heuvelink, 2018).

De acuerdo con el Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA) (2016), en Costa Rica el consumo per cápita de tomate anual es de aproximadamente 18,78kg. La producción nacional anual de esta fruta ronda las 45 500 toneladas métricas/año, con un rendimiento de 51,2 toneladas por hectárea (Consejo Nacional de Producción [CNP], 2022). Las siembras se dan principalmente en Cartago, Alajuela y Heredia, donde se destinan 319,3ha, 382ha y 213,1ha, respectivamente (Consejo Nacional de Producción [CNP], 2016).

Existen tres técnicas principales de cultivo de tomate: convencional, orgánica e hidropónica. La agricultura convencional 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 (Rosati et al., 2021), mientras que la hidroponía corresponde a una modalidad de manejo de plantas que permite su cultivo sin suelo o tierra, lo que la hace la opción ideal para el cultivo en zonas urbanas (Khan et al., 2018).

En el modelo de agricultura convencional, se escoge primero la variedad de tomate, se seleccionan las semillas y se colocan dentro de una bandeja con orificios (conocida como almácigo) previamente desinfectados, con tierra y abonos. Después de que la semilla germina, se traslada a la tierra previamente humedecida y abonada. Además, se agregan periódicamente abonos y fertilizantes (Rosati et al., 2021).

Por otro lado, dentro de la agricultura hidropónica, existen dos sistemas de cultivo. 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 otra parte, el cultivo en agregado (Aggregate Culture en inglés) es una técnica donde las raíces están creciendo en un medio sólido, inerte, capaz de retener suficiente humedad (Beltrano & Giménez, 2015).

Debido a que la mayoría del consumo de tomate es fresco o mínimamente procesado, las prácticas de cultivo, cosecha y poscosecha determinan su calidad microbiológica por lo que son las principales responsables de la inocuidad y vida útil del alimento (De Corato, 2020). Por lo tanto, fuentes de contaminación como el agua de riego, los suelos de cultivo contaminados, las prácticas de cultivo y las recolecciones inadecuadas inciden en gran medida en su calidad microbiológica (Durán-Quirós et al., 2016).

El agua de riego es uno de los factores más influyentes en la calidad microbiológica del tomate. La presencia de ciertos grupos de bacterias puede revelar una contaminación reciente por materia fecal o materia orgánica. La carga bacteriológica de algunos patógenos en el agua puede contaminar los cultivos, aumentando con ello el riesgo de brotes alimentarios por la ingesta de frutas, las cuales principalmente se consumen crudas (Hernández et al., 2011; van Dyk et al., 2016).

Usualmente se utilizan cajas de madera o plástico, así como bolsas de lona, para la cosecha, almacenamiento, distribución y transporte de tomate. Al higienizar estos contenedores correctamente, se evita que el contacto con la fruta resulte en la contaminación con microorganismos patógenos. En consecuencia, los contenedores utilizados durante el transporte de frutas y hortalizas juegan un papel importante en la contaminación del producto (Pérez, 2014). 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.

La calidad microbiológica de las frutas y del agua que se utiliza en procesos alimentarios, suele determinarse por medio del monitoreo de indicadores microbiológicos, lo que resulta más favorable que la detección de patógenos (Gorris & Cordier, 2019).

Los microorganismos mesófilos aerobios, los hongos filamentosos y levaduras y los coliformes totales constituyen algunos de los grupos indicadores más estudiados. Al determinar un recuento total aerobio mesófilo, se estima la cantidad total de bacterias capaces de desarrollarse a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ en atmósfera aerobia y que se encuentran presentes en el alimento (International Commission on Microbiological Specifications for Foods [ICMSF], 2000). Un alto recuento total aerobio mesófilo se relaciona con una disminución de la vida útil del producto y no es sinónimo de falta de inocuidad (Bolaños, 2002). Según la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, las ensaladas verdes, crudas o de frutas deben tener recuentos totales aerobios mesófilos (RTA) menores a 5 log UFC/g (Poder Ejecutivo Federal, 1994). En Costa Rica, este recuento no se encuentra regulado para frutas frescas.

En cuanto a los hongos filamentosos y levaduras, pueden ser agentes contaminantes de los alimentos, produciendo deterioro en frutas, el cual altera el sabor y el color en la superficie de los productos contaminados (Erkmen & Bozoglu, 2016a). Un elevado recuento de hongos filamentosos 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 frescas.

El grupo coliformes se utiliza como indicador de la calidad microbiológica del tomate (Desiree et al., 2020; Ocaña-de Jesús et al., 2015; Ocaña de Jesús, 2018). Estos microorganismos son empleados como indicadores microbiológicos de la higiene de los alimentos, así como contaminación del agua y los alimentos procesados (Buckley et al., 2015; Erkmen & Bozoglu, 2016b). No existe una normativa que regule la cantidad máxima de coliformes totales en frutas frescas, ya que estos son parte de su microbiota normal y es prácticamente imposible eliminarlos por completo (Gorris & Cordier, 2019). En el caso específico del agua de riego, según lo indicado en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903 (Presidencia de la República et al., 2007), el recuento de coliformes termotolerantes debe ser menor que 1 000 NMP/100 ml.

E. coli se emplea como indicador de contaminación fecal en alimentos y determina si el producto alimenticio ha sido manipulado en condiciones que aseguren la ausencia de contaminación fecal, esperando que esté ausente en un alimento listo para el consumo (Gorris & Cordier, 2019). 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). En cuanto a la Ley de Modernización de Inocuidad de Alimentos de Estados Unidos (FSMA por sus siglas en inglés), esta solicita que los agricultores controlen la carga microbiana de *E. coli* genérica presente en las aguas de riego utilizadas durante y después de la cosecha y que este microorganismo sea no detectable en 100ml (Stoeckel et al., 2022; Woods et al., 2020).

L. monocytogenes es un patógeno oportunista causante de la listeriosis humana asociado con brotes en frutas, sin embargo, este no es de origen entérico. Esta bacteria se encuentra ampliamente distribuida en el ambiente (Adams et al., 2016). Es común encontrar *L. monocytogenes* en tierras de cultivo y ambientes de siembra por lo que se considera importante determinar su presencia en productos frescos como tomate (Smith et al., 2018).

En algunos países se han realizado estudios en los que se compara la calidad microbiológica e inocuidad de tomate cultivado en agricultura convencional o hidropónica (Al-Zenki et al., 2008; Hernández, 2013; Khadka et al., 2017; Ocaña-de Jesús et al., 2015). Así también se ha relacionado



el agua de riego, las condiciones de recolección del tomate y los contenedores de cosecha con la microbiología del tomate como producto terminado (Durán-Quirós et al., 2016; Hernández et al., 2011; Pérez, 2014). Sin embargo, estos resultados no se pueden extrapolar a las hortalizas producidas en Costa Rica, donde las condiciones de producción locales pueden determinar variaciones importantes. Debido a lo anterior, para esta investigación planteamos el objetivo de comparar la calidad microbiológica de tomate cultivado, de tomate cosechado, del agua de riego y de los contenedores de cosecha de un sistema de producción de tomate convencional versus uno hidropónico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollamos el estudio entre setiembre del año 2020 y febrero del año 2021, tomando muestras de tomate cultivado o cosechado, agua de riego y superficies de contenedores de cosecha en dos fincas en Costa Rica. La finca de tomate convencional se localiza en Barva de Heredia y la de tomate hidropónico en el cantón Central de Cartago. Realizamos los análisis microbiológicos en el Laboratorio de Microbiología del Centro Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) de la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, ubicada en San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Toma de muestras: Realizamos tres visitas independientes (repeticiones), entre setiembre del año 2020 y febrero del año 2021, a cada una de las fincas con el fin de realizar tres muestreos en los que se obtuvieron las siguientes muestras:

Tomates cultivados y cosechados: Tres tomates al azar de las plantas en el campo (cultivado) y tres tomates al azar de los contenedores de cosecha (tomate cosechado por los colaboradores de la finca), todos de 100-150g, en época lluviosa del país. Manipulamos cada fruto con guantes de látex limpios y desinfectados para evitar agregar microorganismos externos y alterar la microbiota normal presente. Los colocamos en bolsas plásticas con cierre y los transportamos al laboratorio en hielera. Los tres tomates de cada fuente y cada finca formaron una única muestra compuesta. Realizamos los análisis antes de cumplir 48 horas a partir del muestreo.

Agua de riego: Previo al muestreo de agua, desinfectamos el exterior de la manguera con alcohol al 70% y dejamos correr el agua por dos minutos. Posteriormente sostuvimos una botella previamente esterilizada cerca de su base (con guantes desinfectados), 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. Conservamos las muestras de agua (50ml) en una hielera durante el transporte, con un tiempo máximo de cuatro horas de transporte. Colocamos el hielo utilizado para enfriar en bolsas de plástico con cierre para que el mismo no tuviera contacto con las botellas. Una vez en el laboratorio, refrigeramos las muestras y las analizamos dentro de las siguientes dos horas (Baird & Bridgewater, 2017).

Contenedores de cosecha: Muestreamos un área de 50cm² para cada uno de tres contenedores, seleccionada al azar y medida con una plantilla estéril. Usamos una gasa estéril de algodón (10cm x 10cm), sin preservantes antimicrobianos, autoclavada previamente dentro de bolsas de papel Kraft. Humedecemos cada gasa con 10ml de una solución de peptona bacteriológica al 0,1%, polisorbato al 0,5% y lecitina al 0,07%. Manipulamos esta gasa asépticamente con guantes desinfectados. Frotamos vigorosamente la superficie de 50cm² en tres direcciones distintas y después colocamos asépticamente la gasa en una bolsa plástica estéril y la transportamos en una



hielera con hielo al laboratorio. Las superficies de los tres contenedores formaron una sola muestra compuesta. Sumergimos las gasas de la muestra compuesta dentro de una botella estéril con 50ml de agua peptonada estéril 0,1% y las masajeamos durante un minuto. Realizamos los análisis antes de cumplir 48 horas a partir del muestreo (Moberg & Kornacki, 2015).

Análisis microbiológicos: Analizamos las muestras de tomate cultivado para determinar los siguientes indicadores microbiológicos (variables respuesta): recuento total aerobio mesófilo (Food and Drug Administration [FDA], 2022), recuento de hongos filamentosos y levaduras (Ryu & Wolg-Hall, 2015), recuento de coliformes totales y recuento de *E. coli* (Association of Official Agricultural Chemists [AOAC], 2005) y presencia/ausencia de *L. monocytogenes* por el método de cultivo con confirmación bioquímica e identificación de especie con API Listeria (FDA, 2022), todos sin modificaciones. A partir de estos resultados, escogimos el recuento total aerobio y el recuento de hongos filamentosos y levaduras como indicadores para evaluar la calidad microbiológica de los contenedores de cosecha y del tomate colocado en estos contenedores, usando la misma metodología descrita anteriormente. Para los recuentos del fruto, troceamos cada una de las tres unidades de tomate en una tabla de picar estéril, seleccionamos al azar y pesamos 25g (unidad experimental) para colocarlos en una bolsa estéril. Agregamos 225ml de agua peptonada estéril 0,1% y homogenizamos (Bag Mixer CC400, Interscience) durante 1min. A partir de esta bolsa, realizamos diluciones decimales en el mismo diluyente transfiriendo 1ml a tubos con 9ml (Ryser & Schuman, 2015; Ryu & Wolg-Hall, 2015). Para el análisis de *L. monocytogenes*, la unidad experimental también consistió en 25g que obtuvimos como se indicó anteriormente, con los que procedimos a realizar el enriquecimiento (FDA, 2022). En el caso del agua de riego, evaluamos *E. coli*, coliformes termotolerantes y coliformes totales por el método de Número Más Probable (NMP) para agua no potable, con serie de 5 tubos por dilución (Baird & Bridgewater, 2017).

Análisis estadísticos: Por separado, para cada indicador microbiológico analizado en tomate cultivado, contenedores de cosecha y agua de riego, aplicamos una t-student con el fin de comparar los resultados obtenidos para cada sistema de cultivo (convencional o hidroponía). Por otra parte, también por separado, para cada sistema de producción (convencional o hidroponía) y cada indicador microbiológico analizado (RTA y RML), aplicamos una prueba de t-student con el fin de comparar los resultados obtenidos para el tomate cultivado versus el tomate cosechado. Todos los análisis los realizamos con JMP 5.0.1.2. (SAS Institute, NC, Estados Unidos) a un nivel de significancia del 5% y cuando no se encontraron diferencias significativas reportamos la potencia de la prueba ($1-\beta$).

RESULTADOS

Los recuentos total aerobio mesófilo y hongos filamentosos y levaduras del tomate cultivado bajo el sistema hidropónico son significativamente menores ($p=0,0223$ y $p=0,0497$ respectivamente) que los mismos recuentos que determinamos en tomate cultivado bajo el sistema convencional. No encontramos diferencia significativa entre los recuentos de coliformes totales ($p=0,7390$; $1-\beta = 0,7610$) y *E. coli* en los tomates cultivados bajo ambos sistemas. No encontramos presencia de *L. monocytogenes* en ninguna de las muestras analizadas (Tabla 1).

Tabla 1

Comparación de los recuentos total aerobio mesófilo (RTA), hongos filamentosos y levaduras (RML), coliformes totales (CT) y *E. coli* y de los resultados del análisis de presencia/ausencia de *L. monocytogenes*, obtenidos al evaluar el tomate cultivado en el sistema convencional o hidropónico

Sistema	RTA (log UFC/g)	RML (log UFC/g)	CT (log UFC/g)	<i>E. coli</i> (log UFC/g)	<i>L. monocytogenes</i> (presencia/ausencia)
Hidropónico	1,7 ± 0,7 ^a	1,9 ± 0,1 ^a	1,3 ± 0,7 ^a	< 1	Ausencia
Convencional	3,7 ± 0,8 ^b	3,4 ± 0,7 ^b	1,5 ± 0,8 ^a	< 1	Ausencia

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

Para los contenedores de cosecha, el recuento total aerobio mesófilo fue mayor (p=0,0403) en la finca que utiliza cultivo convencional cuando lo comparamos con el de los contenedores que se utilizan en la finca hidropónica. Por otra parte, no hubo diferencia (p=0,1127; 1-β = 0,9012) en los recuentos de hongos filamentosos y levaduras que determinamos en los contenedores en ambos sistemas de cultivo (Tabla 2).

Tabla 2

Comparación de los recuentos total aerobio mesófilo (RTA) y hongos filamentosos y levaduras (RML) obtenidos al analizar los contenedores de cosecha empleados en el sistema convencional o hidropónico

Sistema	RTA (log UFC/50 cm ²)	RML (log UFC/50 cm ²)
Hidropónico	< 1,30 ^a	1,8 ± 0,6 ^a
Convencional	3 ± 1 ^b	2,8 ± 0,7 ^a

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

No encontramos diferencia significativa (p=0,1820; 1-β=1,000) entre la carga de coliformes totales presente en el agua de riego utilizada en la finca hidropónica, respecto a la empleada en la finca convencional. En cuanto a coliformes termotolerantes y *E. coli* ambos indicadores estuvieron, en el agua de riego de ambos sistemas de cultivo, por debajo del límite de detección de la técnica de recuento utilizada (Tabla 3).

Tabla 3

Comparación de los recuentos de coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. coli* obtenidos en el agua de riego en el sistema convencional o hidropónico.

Sistema	Coliformes totales (log NMP/mL)	Coliformes termotolerantes (log NMP/mL)	<i>E. coli</i> (log NMP/mL)
Hidropónico	< 0,26 ^a	< 0,26	< 0,26
Convencional	0,4 ± 0,8 ^a	< 0,26	< 0,26

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

No detectamos diferencias significativas en los RTA (p=0,5584; 1-β = 0,3638) o los RML (p=0,2626; 1-β = 0,5962) obtenidos al analizar el tomate convencional cultivado versus el tomate cosechado (Tabla 4).

Tabla 4

Comparación de los recuentos total aerobio mesófilo (RTA) y hongos filamentosos y levaduras (RML) obtenidos al analizar los tomates cultivados y los tomates cosechados en el sistema convencional o hidropónico

Sistema	RTA (log UFC/g)		RML (log UFC/g)	
	Cultivado	Cosechado	Cultivado	Cosechado
Hidropónico	1,7 ± 0,7 ^a	2,2 ± 0,9 ^a	1,9 ± 0,1 ^a	3,0 ± 0,6 ^a
Convencional	3,7 ± 0,8 ^a	3 ± 2 ^a	3,4 ± 0,7 ^a	2 ± 1 ^a

Para un mismo recuento y sistema, letras distintas representan diferencia significativa ($p < 0,05$).

DISCUSIÓN

Al analizar los recuentos total aerobio mesófilo y de hongos filamentosos y levaduras del tomate cultivado bajo ambos sistemas, demostramos que el contacto con el ambiente como fuente de microorganismos hace que estos recuentos sean mayores en el tomate cultivado de forma convencional. En la finca convencional el cultivo del fruto se realiza a campo abierto, mientras que en la finca hidropónica el tomate se encuentra en un ambiente más controlado dentro de un invernadero. Esta diferencia sugiere, de acuerdo con lo que establecen Ryser y Schuman (2015), que el tomate cultivado bajo el sistema hidropónico tendría una mayor vida útil. También confirmamos lo que indican otros autores (Durán-Quirós et al., 2016; Khadka et al., 2017; Ocaña-de Jesús et al., 2015) acerca del impacto que podrían tener las prácticas de cultivo en la calidad microbiológica de los alimentos.

Estudios similares han obtenido recuentos de RTA para tomate convencional de 4 log UFC/g (Ocaña-de Jesús et al., 2015), 2,9 log UFC/g (Hernández, 2013), entre < 2 y < 6 log UFC/g (Al-Zenki et al., 2008) y 3,89 log UFC/g (Khadka et al., 2017). La variabilidad entre los resultados se puede deber a que esta microbiota puede variar considerablemente, dependiendo del tipo de fruta, de las condiciones ambientales y de la cercanía de los productos con el suelo (Hernández, 2013). Otro factor que puede influir en los resultados de todos los recuentos microbiológicos es la variedad del tomate utilizado, ya que sus diferencias fenotípicas respecto a la salud y la nutrición de las plantas, generalmente determina la colonización de microorganismos en la superficie (Khadka et al., 2017). Cuando comparamos dichos valores con los que encontramos en la presente investigación, se puede afirmar que los tomates analizados presentaron recuentos similares a los reportados en la literatura. Además, los tomates de ambas fincas obtuvieron valores promedios de RTA menores a los 5 log UFC/g establecidos en la norma mexicana NOM-093-SSA1-1994 utilizada como referencia, cumpliendo así con dicho parámetro de calidad microbiológica (Poder Ejecutivo Federal, 1994).

Otros autores han reportado valores de hongos filamentosos y levaduras de 2,9 log UFC/g (Hernández, 2013), 2 log UFC/g (Al-Zenki et al., 2008) y 5,65 log UFC/g (Khadka et al., 2017) en tomate cultivado de forma convencional. La carga de hongos filamentosos y levaduras en los tomates estudiados se asemeja a lo reportado por Hernández (2013) y Al-Zenki et al. (2008); sin embargo, esta difiere respecto a los valores de Khadka et al. (2017), quienes encontraron recuentos más altos que indicaban una calidad microbiológica menor que los tomates que evaluamos en la presente investigación.

En cuanto a coliformes totales, en otras investigaciones se han reportado valores de 3,5 log UFC/g (Ocaña-de Jesús et al., 2015), 3,89 log UFC/g (Khadka et al., 2017) y 4,2-6,2 log UFC/g (van Dyk et al., 2016) en tomate convencional. No obstante, en dichos estudios los autores analizaron 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 que observamos 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 lo cual concuerda con lo reportado en esta investigación. Estos autores indican que, si este recuento es menor a los 4 log UFC/g, se considera de una calidad microbiológica óptima, lo cual aplica a las muestras de tomate analizadas para ambos sistemas productivos. Podríamos 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 (Prince-Guerra et al., 2020).

Los resultados que encontramos para *E. coli* sugieren la ausencia indirecta de patógenos de origen entérico (Bolaños, 2002); es decir, 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 deben estar ausentes (Decreto Ejecutivo N°41420).

Finalmente, la ausencia de *L. monocytogenes* sugiere un control eficaz de las condiciones agrícolas en las 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.

En cuanto a la microbiología de los contenedores de cosecha de los tomates, según Suslow (2015), se considera como “muy limpio” si el contenedor posee un RTA menor a los 3,5 log UFC/50cm². Los resultados obtenidos en esta investigación indican que todos los contenedores se catalogan como muy limpios. A pesar del buen estado microbiológico de los contenedores de cosecha en ambos sistemas productivos, detectamos una diferencia importante (alrededor de 2 log UFC/g en promedio) entre el RTA de los contenedores utilizados en la finca convencional (3 log UFC/g) y los utilizados en la finca hidropónica (<1,3 log UFC/g), no así en el RML. Con base en lo que apreciamos durante las visitas realizadas a las fincas, las cajas de cosecha de la finca hidropónica se sometían a procedimientos más controlados de limpieza, desinfección con amonio cuaternario y almacenamiento que la finca convencional, lo que permite explicar las diferencias mencionadas. El amonio cuaternario actúa principalmente sobre hongos filamentosos, levaduras y bacterias Gram positivas (Pérez et al., 2017). Además, estos se guardaban en una bodega dentro del invernadero, protegidos del ambiente externo, en concordancia con lo que indica la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO por sus siglas en inglés] (2007), la cual aconseja guardar los contenedores de cosecha dentro de un área limpia durante los períodos en los que no se están usando. Con base en lo anterior, podemos sugerir que estas dos medidas que toma la finca hidropónica podrían justificar los bajos recuentos microbianos obtenidos en sus cajas de cosecha, en comparación con la finca convencional donde no se aplican dichas prácticas.

Por otra parte, resulta importante mencionar que, en la investigación realizada por Durán-Quirós et al. (2016), 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-Hernández et al., 2015).

El agua de riego proveniente de ambas fincas es de óptima calidad microbiológica al no contener coliformes termotolerantes ni *E. coli*. Así mismo, con base en lo explicado por Hernández et al. (2011), podemos afirmar que las aguas de riego analizadas influyen de forma positiva en la

calidad microbiológica del tomate cultivado en las fincas, contribuyendo con su inocuidad y aumentando su vida útil.

Observamos que el proceso de cosecha, incluyendo el contacto con las manos de los recolectores y las superficies de los contenedores (Fernández & Peña, 2012), no afectaron significativamente la carga microbiana de los tomates cultivados. 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. Por su parte, Prince-Guerra (2020) encontraron niveles de 2-5 log UFC/mano de coliformes totales y de 1-2 log UFC/mano de *E. coli* al analizar las manos de los colaboradores que cosechaban tomate. El estudio costarricense de Durán-Quirós 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 y un 0% impone el lavado de manos con agua y jabón previo a la recolección de las hortalizas. Con base en los resultados obtenidos en las dos fincas analizadas, concluimos que estas prácticas deficientes no están presentes en sus procesos, dado que la calidad microbiológica del tomate cultivado y cosechado es muy similar, demostrando un manejo adecuado del fruto durante la etapa de cosecha.

Con base en las condiciones de las fincas objeto de estudio en esta investigación y los resultados obtenidos podemos indicar que, en general, los tomates cultivados bajo el sistema hidropónico presentan mayor probabilidad de tener un mejor perfil microbiológico y mayor vida útil en comparación con los tomates cultivados de forma convencional. Esta información es de gran relevancia para los productores locales de tomate, ya que se reconoce la importancia que tiene el control ambiental y la limpieza y desinfección de todos los insumos utilizados en el proceso de cultivo de tomate, en garantizar la calidad e inocuidad del fruto.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los productores de las dos fincas de tomate quienes brindaron colaboración para la toma de muestras en esta investigación. A la Escuela de Tecnología de Alimentos y al Centro Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos por el apoyo y facilidades brindadas en cuanto a instalaciones, equipos y materiales; así como a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, ente que financió esta investigación en el marco del proyecto 735-B8-040 "Evaluación de prácticas de cultivo, cosecha y poscosecha en Costa Rica y su influencia sobre la calidad microbiológica de hortalizas".

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la preparación de este documento; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, estamos de acuerdo con la versión editada final de esta publicación. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de contribución de cada autor es la siguiente: G.D.Y. y E.W.G.: diseño del estudio. V.W.V.: recolección y análisis de datos, redacción. G.D.Y.: redacción del manuscrito. E.W.G.: revisión del manuscrito. M.M.B. y V.W.V.: aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Adams, M. R., Moss, M. O., & McClure, P. (2016). *Food Microbiology*. The Royal Society of Chemistry.
- Al-Zenki, S.F., Al-Mazeedi, H.M., Al-Hooti, S.N., Al-Ati, T., Almatawah, Q.A., Alomirah, H.F., & Sidhu, J.S. (2008). Characterisation of quality and safety of tomatoes sold in the state of Kuwait. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 1(3), 298-311. <https://doi.org/10.1504/IJPTI.2008.021464>
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). (2005). *Coliform and Escherichia coli counts in foods* (AOAC official method 991.14). <http://www.eoma.aoac.org/methods/info.asp?ID=46949>
- Baird, R., & Bridgewater, L. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association.
- Beltrano, J., & Giménez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/46752>
- Bolaños, S. E. (2002). *Recuento microbiológico y presencia de enteropatógenos en vegetales cultivados y comercializados en el Área Metropolitana* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Kerwa. <https://hdl.handle.net/10669/16783>
- Buckley, D. H., Stahl, D. A., Martinko, J. M., Bender, K. S., & Madigan, M. T. (2015). *Brock: Biología de los microorganismos*. Pearson.
- 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 maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Colección digital UANL. <https://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/5113>
- Consejo Nacional de Producción (CNP). (2016). *Tomate* (Boletín N° 1). <https://tinyurl.com/2cccvy9d>
- Consejo Nacional de Producción (CNP). (2022). *Tomate*. Servicios de Información de Mercados Costa Rica. <https://tinyurl.com/2adp99ea>
- Costa, J. M., & Heuvelink, E. (2018). The Global Tomato Industry. In E. Heuvelink (Ed.), *Tomatoes* (pp. 1-26). CABI Digital Library. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/epdf/10.1079/9781780641935.0001>
- De Corato, U. (2020). Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60:(6), 940-975. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1553025>
- Decreto Ejecutivo N°41420. (2018). (COMIECO-LXXXIII) de fecha 28/06/2018 y su Anexo: "Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50:17 Alimentos. Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de los Alimentos". *Diario Oficial La Gaceta*, 238. Del 21 de diciembre del 2018. Costa Rica. <https://tinyurl.com/2chc5e4q>
- Desiree, K., Schwan, C. L., Ly, V., Hok, L., Bello, N. M., Nwadike, L., Phebus, R. K., & 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. <https://doi.org/10.4315/JFP-20-219>
- 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. <https://doi.org/10.15517/rac.v40i2.27393>
- Erkmen, O., & Bozoglu, T. F. (2016a). Spoilage of Vegetables and Fruits. In O. Erkmen (Ed.), *Food Microbiology: Principles into Practice* (pp. 337-363). John Wiley & Sons Incorporated. <https://doi.org/10.1002/9781119237860.ch20>
- Erkmen, O., & Bozoglu, T. F. (2016b). Indicators of Foodborne Pathogens. In O. Erkmen (Ed.), *Food Microbiology: Principles into Practice* (pp. 223-230). John Wiley & Sons Incorporated. <https://doi.org/10.1002/9781119237860.ch12>



- Fernández, E., & Peña, J. J. (2012). *Riesgos microbianos en la producción de alimentos frescos en áreas urbanas y periurbanas de América Latina*. <https://tinyurl.com/2xhxkr9>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2007). *Producción de Tomate Bajos Condiciones Protegidas*. <http://www.fao.org/3/a1374s/a1374s00.htm>
- Food and Drug Administration (FDA). (2015). *Standards for the growing, harvesting, packing, and holding of produce for human consumption*. <https://tinyurl.com/j3fkp2j>
- Food and Drug Administration. (2022). *Bacteriological analytical manual*. <https://bit.ly/3MwMgtq>
- Gorris, L. G. M., & Cordier, J. L. (2019). Microbiological Criteria and Indicator Microorganisms. In Doyle, M. P., Diez-Gonzalez, F., & Hill, C. (Eds.), *Food Microbiology: fundamentals and frontiers* (pp. 65-77). ASM Press. <https://doi.org/10.1128/9781555819972.ch3>
- Hernández, J. N. (2013). *Caracterización físico-química y microbiológica del tomate margariteño (Lycopersicum 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]. Helvia: Repositorio Institucional de la Universidad de Córdoba. <http://hdl.handle.net/10396/9925>
- 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. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/4320/4137
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). (2000). *Microorganismos de los alimentos: Técnicas de análisis microbiológico*. Editorial Acribia Zaragoza.
- 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*, 2017, 7148076. <https://doi.org/10.1155/2017/7148076>
- Khan, F. A. (2018). A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2(2), 59-66. <https://doi.org/10.31015/jaefs.18010>
- Moberg L., & Kornacki, J. L. (2015). Microbial Monitoring of the Food Processing Environment. In Y. Salfinger, & L. Tortorello (Eds.) *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. American Public Health Association. <https://doi.org/10.2105/MBEF.0222.008>
- Ocaña de Jesús, R. L. (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.] Red de Repositorios Latinoamericanos. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/68749>
- 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. http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol84-1/Ocania_De_Jesus.pdf
- Pérez, M. A. (2014). *Evaluación de la transferencia de Salmonella enterica en cajas de madera y plástico utilizadas en tomate (Solanum lycopersicum L.)*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.] Zamorano Biblioteca Wilson Popenoe. <http://hdl.handle.net/11036/3372>
- Pérez, E., & Chávez, M. (2012). Frecuencia de *Listeria monocytogenes* en tomate, zanahoria, espinaca, lechuga y rabanito, expendidos en mercados de Trujillo, Perú. *Revista Ciencia y Tecnología*, 8(22), 11-21. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/183>

- Pérez, E., Barrera, M., Castelló, M. (2017). *Métodos para la desinfección en la industria alimentaria*. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/84175>
- Poder Ejecutivo Federal. (1995, octubre 10). *Norma oficial mexicana NOM-093-SSA1-1994, bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos*. Secretaría de Gobernación. <https://bit.ly/3yH1xSH>
- Presidencia de la República, Ministerio de Ambiente y Energía & Ministerio de Salud. (2007). *Decreto Nº 33903. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*. 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>
- Prince-Guerra, J. L., Nace, M. E., Lyles, R. H., Fabiszewski de Aceituno, A. M., Bartz, F. E., Arbogast, J. W., Gentry-Shields, J., Jaykus, L. A., Heredia, N., García, S., & 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), e00780-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.00780-20>
- 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, M., de Salim, A. M., Graterol, A. Y. A., & Gamboa, O. (2009). Frecuencia de *Listeria monocytogenes* en muestras de tomates (*Lycopersicon esculentum*) y cilantro (*Coriandrum sativum*) frescos en tres supermercados de Valencia. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(3), 318-324. <https://tinyurl.com/yoe987u5>
- Rosati, A., Borek, R., & Canali, S. (2021). Agroforestry and organic agriculture. *Agroforestry Systems*, 95, 805–821. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00559-6>
- Ryser, E., & Schuman, J. (2015). Mesophilic Aerobic Plate Count. In Y. Salfinger, & L. Tortorello (Eds.), *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. American Public Health Association. <https://doi.org/10.2105/MBEF.0222.013>
- Ryu, D., & Wolf-Hall, C. (2015). Yeasts and Molds. In Y. Salfinger, & L. Tortorello (Eds.), *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. American Public Health Association.
- Smith, A., Moorhouse, E., Monaghan, J., Taylor, C., & Singleton, I. (2018). Sources and survival of *Listeria monocytogenes* on fresh, leafy produce. *Journal of Applied Microbiology*, 125(4), 930-942. <https://doi.org/10.1111/jam.14025>
- Stoeckel, D., Clements, D., Fisk, C., Wall, G., Woods, K., & Bihn, B. (2022). *FSMA Produce Safety Rule Water Requirements: Insights to Get You Organized* [Fact sheet]. Produce Safety Alliance. <https://tinyurl.com/2buepf2p>
- Suslow, T. (2015). *Minimizing Microbiological Risks in Multiple Use Containers*. Food Safety and Quality Magazine: UC Davis. <https://ucfoodsafety.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7366/files/inline-files/212397.pdf>
- 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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43642603008>
- 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. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-300>
- 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. <https://tinyurl.com/226u7w58>

