

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

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

**Evaluación del potencial de infiltración de tinta en banano variedad Cavendish
durante la operación de eliminación de látex (desleche)**

Elaborado por:

María Fernanda Azofeifa Zumbado

Carné: B20734

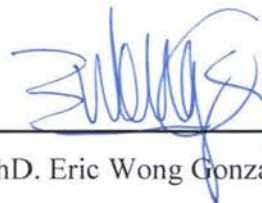
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Junio, 2020

Tribunal Examinador

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

Aprobado por:



PhD. Eric Wong González

Presidente del tribunal



PhD. Óscar Acosta Montoya

Director del proyecto



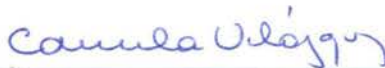
PhD. Jessie Usaga Barrientos

Asesora del proyecto



Lic. Johan Jiménez Arias

Asesor del proyecto



MSc. Carmela Velázquez Carillo

Profesora designada

Dedicatoria

A Dios por ser el centro, siempre.

A mis papás y mis hermanas por ser los cuatro pilares que me han permitido construir mis sueños hasta verlos convertidos en realidad, pero sobre todo por enseñarme que lo más importante de lograr las metas es poder compartirlas con ustedes. Todo lo que soy es por y para ustedes, los amo.

Agradecimientos

A mi mamá por ese amor incondicional traducido en madrugadas y consejos, por demostrarme que los sueños no tienen fecha de vencimiento, por estar e iluminarme con su fuerza. A mi papá por ser mi mayor ejemplo de dedicación y perseverancia, por el amor que se transformó en innumerables noches en vela explicándome cualquier cálculo que yo le preguntara sin dudar un segundo. A ambos por todo el esfuerzo y guía a lo largo de este camino para darme la mejor educación no sólo académica.

A mis hermanas por hacerme siempre dar lo mejor de mí. A Fabi por las noches de estudio, por ser mi polo a tierra y la ecuanimidad en mis decisiones. A Pau por ser mi fuerza al recordar la suya, por ser mi mejor consejera con tanta lógica e inteligencia. Por esas noches leyendo mi tesis y dándome las mejores sugerencias, no puedo agradecer suficiente tanto amor traducido en correcciones.

A Nía por sus consejos, su amor y ayuda, incluso en los momentos de más estrés. A Nani por sus oraciones y estar pendiente durante todo mi camino. A Tata por su “palabra del día” desde los 5 años y enseñarme lo mucho que me gusta aprender y a abuela por su apoyo. A mis padrinos, Hellen y Ran, por su apoyo y amor incondicional. A tía Rossy y tío Carlos por estar siempre dispuestos a ayudarme y darme todo su cariño.

A mi director de tesis el profe Óscar, por su entrega a este proyecto y siempre motivarme a aprender, estudiar y preguntar más. Estoy muy agradecida por los consejos, correcciones, reuniones, acompañamiento durante todo el proyecto (incluso cuando debía quedarme tarde haciendo réplicas), por su ejemplo y cada aporte que me han convertido en una mejor profesional y persona. A la profe Jessie por ser un ejemplo de excelencia, por cada palabra de ánimo y cada corrección que hizo crecer este proyecto y a mí. Al profe Johan por su apoyo, por las innumerables solicitudes que mediaba para la realización del proyecto, pero sobre todo por hacerlo con la mejor actitud. A los tres por permitirme ser parte de este proyecto tan valioso, de no haber sido por ustedes esta etapa no hubiera sido tan gratificante.

Gracias por esa calidad humana y profesional con la que me recibieron siempre en sus oficinas.

A Fer y José Pablo por estar desde el inicio, en los momentos más difíciles y en los momentos felices mucho más allá de la U. A Nico, Ronald, Mon, Nati y Fabián por su apoyo constante y amistad invaluable. A Rox, José y Kim por la experiencia que compartimos en el IFT, no puedo terminar de agradecerles y ese aprendizaje lo llevaré conmigo siempre. Por ser equipo y no grupo, por ser amigos más allá de los momentos de estrés o nervios y por crecer juntos en tantos aspectos. A Kari mi compañera de proyecto y amiga. A todos ustedes gracias infinitas y todo mi cariño.

A Cata y Gabi, porque sin su colaboración mis pruebas experimentales no habrían sido lo mismo. Muchas gracias por cada día que se quedaron hasta tarde acompañándome en el taller, por correr conmigo, ayudarme a lavar miles de baldes o el tanque y por lo mucho que me enseñaron.

A Richard, Daniel, Alonso, José Pablo y Randall porque sin su ayuda, todo hubiera sido sin duda más complicado. Muchas gracias por siempre colaborar con la mejor disposición. A CORBANA por proporcionarnos la materia prima para este proyecto y permitirnos realizar pruebas experimentales en una de sus fincas. A don Ricardo Alvarado, por su valiosa guía y apoyo en el análisis estadístico.

Contenido

Tribunal Examinador	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice de cuadros	vii
Índice de figuras	viii
Índice de abreviaturas	ix
Resumen	x
1 Justificación	1
2 Objetivos	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
3 Marco teórico	4
3.1 Industria bananera internacional	4
3.2 Industria bananera costarricense	5
3.2.1 Consumo de banano	6
3.3 Proceso de producción de banano	7
3.3.1 Remoción de látex (desleche)	8
3.4 Infiltración y condiciones de operación en el desleche	9
3.5 Modelo de tinta para evaluar infiltración bacteriana	10
3.6 Modelo de tinta para evaluar infiltración de agentes químicos	12
3.7 Implicaciones de la infiltración	14
4 Materiales y métodos	14
4.1 Localización	14
4.2 Materias primas	15
4.2.1 Bananos	15
4.2.2 Tinta	15
4.3 Equipo	15
4.4 Pruebas preliminares	15
4.4.1 Control positivo	15

4.5	Estandarización de la evaluación visual	16
4.6	Pruebas definitivas.....	16
4.6.1	Evaluación del efecto del tiempo de inmersión y el gradiente de temperatura entre el banano y el agua de inmersión, sobre el potencial de infiltración de tinta.....	16
4.6.2	Determinación del efecto de la agitación del agua de inmersión, tipo de colorante, grado de cosecha y presentación de los bananos sobre el potencial de infiltración de tinta.....	18
4.6.3	Verificación del potencial de infiltración de tinta bajo condiciones normales de desleche en una finca empacadora de banano	20
4.7	Caracterización del agua utilizada.....	21
5	Resultados y discusión.....	22
5.1	Efecto del tiempo de inmersión y el gradiente de temperatura entre el banano y el agua de inmersión	24
5.2	Efecto de la agitación del agua de inmersión, el grado de cosecha del banano, el tipo de colorante y la presentación de la fruta (individual o <i>cluster</i>) sobre el potencial de infiltración de tinta.....	30
5.2.1	Efecto de la agitación del agua de inmersión	31
5.2.2	Efecto del tipo de colorante	32
5.2.3	Efecto del grado de cosecha del banano	35
5.2.4	Efecto de la forma de presentación de los bananos: individuales o <i>cluster</i>	36
5.3	Potencial de infiltración de tinta en las condiciones normales de desleche por inmersión en una finca empacadora	36
6	Conclusiones.....	38
7	Recomendaciones.....	39
8	Bibliografía.....	40

Índice de cuadros

Cuadro I. Condiciones de operación de desleche evaluadas y probabilidad asociada del efecto sobre el potencial de infiltración de agua con tinta.....	30
Cuadro II. Promedios e intervalos de confianza (IC) de Wilson al 95% de la proporción binomial de bananos infiltrados con tinta, para dos tiempos de inmersión, para dos visitas realizadas a la Finca San Pablo.....	37
Cuadro III. Promedio y desviación estándar de mediciones de pH, turbiedad y dureza de las muestras de agua de inmersión utilizadas en el proyecto, según la localidad evaluada.....	38

Índice de figuras

Figura 1. Estructuras químicas de los colorantes rojo 40 y azul brillante N°1.....	11
Figura 2. Banano con infiltración de agua con tinta azul brillante N°1 en el pedicelo, haz vascular y pulpa.....	23
Figura 3. Proporción de bananos infiltrados en función del tiempo de inmersión para tres diferenciales de temperatura evaluados.....	25
Figura 4. Proporción de bananos infiltrados en función del diferencial de temperatura para cuatro tiempos de inmersión evaluados.....	27
Figura 5. Banano con infiltración de agua con colorante rojo 40 en el pedicelo.....	33
Figura 6. Banano con infiltración de agua con colorante azul brillante N°1 en el pedicelo, pulpa y cáscara.....	34

Índice de abreviaturas

%:	<i>Porcentaje</i>	FAO:	<i>Food and Agriculture Organization</i>
ΔT:	<i>Diferencial de temperatura</i>	FDA:	<i>US Food and Drug Administration</i>
BPA:	<i>Buenas Prácticas Agrícolas</i>	IC:	<i>Intervalo de Confianza</i>
CIBSA:	<i>Compañía Internacional de Banano</i>	IDA:	<i>Ingesta Diaria Admisible</i>
CICA:	<i>Centro de Investigación de Contaminación Ambiental</i>	IDTP:	<i>Ingesta Diaria Tolerable Provisional</i>
CITA:	<i>Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos</i>	LMR:	<i>Límite Máximo de Residuos</i>
CODEX:	<i>Codex Alimentarius</i>	LRT:	<i>Prueba de la razón de verosimilitud (por sus siglas en inglés)</i>
COMEX:	<i>Ministerio de Comercio Exterior</i>	OMS:	<i>Organización Mundial de la salud</i>
CORBANA:	<i>Corporación Bananera Nacional</i>	PROCOMER:	<i>Promotora de Comercio Exterior</i>

Resumen

Azofeifa Zumbado, María Fernanda

Evaluación del potencial de infiltración de tinta en banano variedad Cavendish durante la operación de eliminación de látex (desleche)

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

Azofeifa Zumbado, M., 2020.

59 h.: 6 il. – 71 refs.

El objetivo principal consistió en evaluar el potencial de infiltración de colorante durante la operación de desleche de banano, variedad Cavendish con grado cero de madurez según la variación de condiciones de operación. Se determinó el efecto del tiempo de inmersión, el gradiente de temperatura, la agitación, grado de cosecha del banano, tipo de colorante y forma de presentación de la fruta sobre el potencial de infiltración de colorante durante el desleche. También se realizó una verificación del potencial de infiltración de tinta en condiciones normales de la operación de desleche en una finca empacadora de banano.

Se utilizó un tanque de 700 L de agua con 200 mg/L de colorante azul brillante N°1 con una agitación de 2 m/min en la superficie del agua y se mantuvo la temperatura del agua constante a 25°C y se varió la temperatura de la fruta. Se evaluaron tres diferenciales de temperatura distintos: 0 °C, 5°C y 10°C, se realizaron 3 réplicas con 6 *clusters* para evaluar cada diferencial y, finalmente, se realizó una evaluación visual en una cabina con luz blanca

para determinar la cantidad de bananos donde se infiltró el colorante. Para el análisis estadístico se empleó un modelo mixto con respuesta binaria y dos factores de diseño: tiempo de inmersión (variable continua) y diferencial de temperatura (factor fijo de 3 niveles) y dos factores aleatorios para el análisis de resultados: *cluster* (6 *cluster* para cada experimento) y día del experimento (cada experimento se realizó en 3 días diferentes). Se obtuvo infiltración en todas las condiciones evaluadas y se determinó que no existe interacción entre los factores.

Para determinar si la agitación, grado de cosecha del banano, tipo de colorante y presentación del banano podían afectar el potencial de infiltración se realizaron 3 réplicas con 6 *clusters* cada una para cada condición. Se mantuvo el agua de inmersión a 25 °C, los bananos a 35°C y el tiempo de inmersión fue de 40 minutos. Para evaluar la agitación del agua de inmersión se utilizó 2 m/min y 0 m/min. Para el grado cosecha se utilizaron bananos de 11 y 12 semanas, en el tipo de colorante se utilizó azul brillante N°1 y rojo 40, y para la presentación de la fruta bananos en *clusters* o individuales. Para cada condición, se estableció un modelo mixto con respuesta binaria y función de enlace logística con un único factor de diseño, el cual corresponde a las 4 condiciones mencionadas, cada una como factor fijo con 2 niveles y 2 factores aleatorios: *cluster* y día del experimento. Se obtuvo que únicamente el tipo de colorante tiene un efecto significativo en el potencial de infiltración de tinta y es mayor para el colorante azul, para las otras 3 condiciones evaluadas no se encontraron diferencias significativas.

Se verificó que la infiltración con tinta ocurre en condiciones normales de una finca bananera. Es decir, factores que no pueden ser replicadas con exactitud a nivel piloto no afectan el potencial de infiltración.

BANANO, COLORANTE, INFILTRACIÓN, INMERSIÓN.

PhD. Óscar Acosta Montoya

Escuela Tecnología de Alimentos

1 Justificación

El consumo de banano al igual que otras frutas frescas, está asociado con una tendencia creciente de implementar un estilo de vida saludable con una alimentación práctica y rápida. La tendencia de la alimentación saludable se ha adoptado para contrarrestar los altos índices de obesidad y sobrepeso, productos de la mala alimentación y sedentarismo, que según la Organización Mundial de la Salud (OMS), aumentan el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer, trastornos del aparato locomotor, entre otras (2018). Un informe de la OMS y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) recomienda una ingesta mínima de 400 g diarios de frutas y vegetales variadas para mitigar las carencias de micronutrientes y prevenir las enfermedades mencionadas anteriormente (OMS, s.f.). Entre los vegetales y frutas recomendados, específicamente el banano es consumido porque tiene un alto valor nutricional.

El gran consumo de esta fruta, la producción y el impacto económico que genera resulta en la evidente importancia de asegurar la inocuidad de este producto. De esta manera evitar, en caso de contaminación con microorganismos patógenos o agroquímicos, se perjudique gravemente la salud pública, se afecten las pautas y reglamentos de exportación, así como el posicionamiento internacional que caracteriza al fruto y a sus países productores. Así mismo, la posible contaminación del banano con microorganismos de deterioro que afecten su calidad o vida útil puede llegar a generar pérdidas económicas muy altas para los países productores y exportadores de esta fruta. Estas repercusiones pueden evitarse tomando las medidas respectivas de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y minimizando el riesgo de infiltración.

A pesar de numerosos reportes de infiltración en otras frutas y vegetales, en el caso del banano, únicamente existe un estudio de la posible contaminación con microorganismos, *Escherichia coli* en este caso. Sin embargo, en este estudio no se evaluó el diferencial de temperatura o la desinfección previa de la fruta para asegurar que no existiera contaminación

al cortar la fruta (Girón *et al.*, 2019). Además, no existen investigaciones en banano sobre la posibilidad de infiltración de microorganismos de deterioro.

La relevancia de analizar este fenómeno en el banano surge de la operación de desleche, que consiste en colocar la fruta en tanques con agua potable para eliminar el látex (Paltrinieri *et al.*, 1993) y que por ende aumenta la posibilidad de infiltración.

De acuerdo con las condiciones de inmersión como la temperatura del agua y la fruta, cantidad de fruta en el tanque, tiempo de residencia, calidad del agua se puede provocar que las frutas lleguen a contaminarse con microorganismos patógenos (Bartz *et al.*, 2017) o el posible ingreso de agroquímicos a la fruta durante esta etapa generando un peligro químico. Lo anterior debido al alto uso de estos compuestos en las plantaciones de banano por su susceptibilidad a plagas, incluida la sigatoka negra, que podrían reducir los rendimientos de producción de esta fruta de 35 a 50%, generando grandes pérdidas monetarias (FAO, 2017).

Por otro lado, mediante pruebas preliminares y por medio de un estudio reciente no publicado, realizado con tinta y bajo distintas condiciones de desleche por inmersión del banano, que simulan las utilizadas actualmente en la industria bananera, se evidenció que hay un alto potencial de infiltración en esta fruta; reafirmando la importancia de llevar a cabo la presente investigación.

Se considera relevante evaluar el efecto de la temperatura, el tiempo de inmersión y la velocidad de agitación, ya que están reportados en la literatura como condiciones determinantes en la infiltración. Además, debido a las particularidades propias del fruto se evalúa la presentación de los bananos (individual o en *clústers*) y el grado de cosecha de la fruta dependiente del destino de exportación, sobre el posible efecto que tienen en la infiltración durante el proceso de desleche.

Análisis en frutas (Merker *et al.*, 1999) y vegetales frescos (Mendonca, 2005) han utilizado modelos de tinta como un indicador visual del posible ingreso de agua. Además, varios de estos estudios que han utilizado tinta como evaluación previa a los estudios con microorganismos (Bartz *et al.*, 2015; Bartz *et al.*, 2017; Buchanan, 1999; Branquinho *et al.*, 2007; Macarisin *et al.*, 2017; Penteado *et al.*, 2004) han evidenciado la efectividad de esta metodología para ejemplificar e inferir la posible infiltración de microorganismos en ciertas

condiciones de proceso y concluye su utilidad para diseñar estudios posteriores con patógenos.

El presente trabajo final de graduación es además la base para ejecutar una investigación posterior, donde se evalúe la probabilidad de infiltración de microorganismos (patógenos y de deterioro) y químicos (plaguicidas) durante la operación de desleche. Se encuentra fundamentado en el impacto que tienen sus resultados al evaluar las condiciones normales de la operación actual de eliminación de látex del banano tales como: temperatura, tiempo de inmersión, agitación, entre otros (Bartz *et al.*, 2017; Bartz *et al.*, 1981). El impacto se encuentra respaldado en las implicaciones económicas asociadas con pautas de exportación y divisas generadas por esta actividad. Así como el aporte social de esta actividad como la generación de miles empleos que genera esta actividad productiva.

En el proyecto se propuso además evaluar el efecto del tipo de colorante ya que el potencial de infiltración con tinta en banano no está reportado y se presenta la inquietud acerca de cuál de los colorantes reportados en la literatura para estudios con otras frutas es el mejor para el banano: azul brillante N°1 (Merker *et al.*, 1999; Penteado *et al.*, 2004; Eblen *et al.*, 2004) o colorante rojo 40 (Buchanan, 1999).

Adicionalmente, se propuso realizar una verificación de las condiciones de ejecución del experimento en una finca empacadora de banano perteneciente a CORBANA, para evaluar factores como el tiempo entre la cosecha de la fruta y su procesamiento y las características del agua de la finca empacadora, entre otras condiciones de proceso que no es posible replicar con exactitud en el laboratorio.

En caso de encontrar evidencia de infiltración de tinta, esta investigación impulsaría la implementación de medidas puntuales para evitar la presencia de microorganismos patógenos, o sustancias que representen algún peligro químico tanto en la fruta como en el agua de desleche (buenas prácticas agrícolas y de manufactura), o bien modificar las condiciones de desleche utilizadas actualmente para evitar el grave impacto en la salud pública y la economía nacional, que podría significar la infiltración de algún patógeno o sustancias tóxicas en este fruto. Por otro lado, si se concluye que no ocurre infiltración en esta parte del proceso, los resultados se pueden considerar como evidencia con base

científica, para dar auge a la comercialización de este producto sin preocupaciones puntuales de contaminación en el interior de la fruta producto de infiltración.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el potencial de infiltración de tinta durante la operación de eliminación de látex por inmersión (desleche) de banano variedad Cavendish con grado cero de madurez según la variación de condiciones de operación.

2.2 Objetivos específicos

- a. Evaluar el efecto del tiempo de inmersión y el gradiente de temperatura entre el banano y el agua de inmersión, sobre el potencial de infiltración de tinta durante la operación de desleche.
- b. Determinar el efecto de la agitación del agua de inmersión, el grado de cosecha del banano, el tipo de colorante y la presentación de la fruta (individual o *cluster*) sobre el potencial de infiltración de tinta durante la operación de desleche.
- c. Verificar el potencial de infiltración de tinta bajo las condiciones normales de desleche por inmersión utilizadas en una finca empacadora de banano.

3 Marco teórico

3.1 Industria bananera internacional

Algunos horticultores, basándose en textos sanscritos desde 500 a.C, creen que el banano fue la primera fruta que hubo en la tierra (FAO, 2016). Actualmente, el banano es el cuarto cultivo de importancia productiva a nivel mundial después del arroz, trigo y maíz. Esta fruta es un alimento básico que contribuye a la seguridad alimentaria de muchos países,

además de ser fundamental en la economía de países en vías de desarrollo, que cultivan y exportan banano (FAO, 2004).

Esta fruta se cultiva en más de 135 países de las zonas tropicales y subtropicales. El primer productor es la India y genera cerca de 30 millones de toneladas anuales, el segundo es Uganda con 11,1 millones de toneladas, seguido de China con una producción de 10,7 millones de toneladas por año (FAO, 2016). Además, se proyecta que desde el 2019 hasta el 2028 habrá un crecimiento del 1,8% cada año. Se espera que la producción asiática sea un cuarto de la producción mundial; y que la producción de América Latina y el Caribe disminuya levemente del 26% que representa actualmente debido a la expansión de las regiones competidoras (FAO, 2020).

El cultivo de banano es muy rentable, ya que puede cultivarse todo el año y su crecimiento es rápido. Las plantas de banano se reproducen asexualmente y pueden producir un racimo maduro en menos de un año (FAO, 2004), aumentando su auge y comercialización. A pesar de que existen cerca de 1 000 variedades de banano, el más cultivado es la variedad Cavendish que representa cerca del 95% de los bananos comercializados. Esto se debe a que es muy dulce y no posee semillas y la producción de una única variedad disminuye los costos a la industria que genera la recolección, el empaque y transporte (FAO, 2016) generando un incremento en el aporte económico de esta actividad agrícola.

3.2 Industria bananera costarricense

Un ejemplo reconocido internacionalmente como un país agrícola es Costa Rica. Según la FAO, el país tiene una extensión territorial de 51 100 km², de los cuales 17 595 km² son área agrícola (2016). Uno de sus principales cultivos es el banano, el cual corresponde al 2,44% del territorio agrario antes mencionado, con 430 km² de plantaciones (CORBANA, 2011). Esto se ve reflejado positivamente en la actividad económica del país, ya que se logra producir anualmente 120 millones de cajas de la fruta, que generan cerca de 1 000 millones de dólares estadounidenses en divisas (CORBANA, 2019).

Según la institución Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER), en el 2017 el país generó 10 623,8 millones de dólares estadounidenses en exportaciones

totales de productos como café, banano, piña, jugos y concentrados de frutas, entre otros. Estas exportaciones agrícolas corresponden al 27% de las totales y de estas, el 10% corresponde a la exportación de banano (2017). Esta fruta es exportada a 46 destinos distintos siendo Estados Unidos de América, Bélgica y Reino Unido los principales (PROCOMER, 2017).

El cultivo y exportación de banano también tiene un aporte social importante, ya que genera aproximadamente 40 000 empleos permanentes asociados con la recolección y mantenimiento de las plantaciones y 10 000 empleos indirectos (CORBANA, 2019). Es valioso destacar que esta actividad se da principalmente en la zona Atlántica de Costa Rica, en la provincia de Limón, donde la incidencia de pobreza corresponde a la más alta del país con un 32,35% (INEC, 2011) teniendo un impacto directo en el desarrollo de la región. Particularmente los cantones de Matina, Siquirres y Pococí son los más beneficiados ya que concentran cerca del 63,41% del territorio nacional cultivado (Vallejo, 2018).

El banano costarricense no es únicamente reconocido por la cantidad de producto colocado en el mercado mundial, ya que también es distinguido por sus altos estándares de calidad, lo que le permitió obtener a nivel internacional indicación geográfica (CORBANA, 2011) y que le permite diferenciar el producto debido a su procedencia, reputación, atributos y calidad asociada a su producción o procesamiento (Errázuriz, 2010).

3.2.1 Consumo de banano

El banano es fuente de energía, proteína, fibra dietética y provee una gran cantidad de potasio, que está relacionado con una reducción de hasta el 27% de riesgo de padecer enfermedades cardíacas y regular la presión arterial. También es fuente de vitamina B6, hierro, zinc, calcio, vitamina A, vitamina C y ácido fólico (FAO, 2016). Además, la OMS promueve que su consumo sea fresco ya que el procesamiento de esta fruta puede reducir la cantidad de potasio y, por lo tanto, sus beneficios (OMS, 2019).

El incremento en el consumo del banano se evidencia en la importación en otros países. Según la FAO, en la Unión Europea la importación de esta fruta aumentó en un 3% llegando

a concretar 5,2 millones de toneladas. En los Estados Unidos, se reportó un crecimiento del 1% para un total de 4,7 millones de toneladas y en Japón llegó a 1 millón de toneladas (2018).

3.3 Proceso de producción de banano

Debido a la iniciativa de consumir esta fruta fresca, para evitar pérdida de componentes nutricionales como se mencionó anteriormente, resulta indispensable mantener las buenas prácticas durante la cosecha, producción y exportación de banano para asegurar su calidad e inocuidad.

Es importante conocer el proceso de producción para identificar los potenciales riesgos en cada etapa y de esta manera prevenir posibles contaminantes químicos o microbiológicos. Uno de estos factores es el manejo del suelo y la calidad del agua de riego, para así evitar contaminación de la fruta (FAO, 2017). Otro riesgo es la aplicación de agroquímicos utilizados para evitar plagas en los cultivos, esta etapa es crítica ya que en exceso podrían generar envenenamiento en los consumidores, resultando en graves problemas de salud pública (FAO, 2017). Para minimizar los peligros a la inocuidad se recomiendan las BPA, así como medidas tecnológicas para evitar el escurrimiento de los agroquímicos a los cuerpos de agua (CORBANA, 2011).

Una vez que las plantaciones de banano se encuentran en estado óptimo para su cosecha, se recolectan de acuerdo con el destino de exportación esperado. Por ejemplo, los bananos que van desde Costa Rica hacia China son cosechados verdes en la semana número doce después de la floración, estas semanas difieren cuando el destino es europeo al reducirse una semana (COMEX, s.f).

Realizar la cosecha en distintos momentos posterior a la floración, es posible debido a que el banano es un fruto climatérico, es decir, puede continuar madurando y desarrollando características como: aroma, color y sabor, aún luego de haber sido recolectado. Este proceso de maduración puede ser incluso acelerado comercialmente mediante el uso de etileno (FAO, 2010).

Una vez que los racimos de fruta son cosechados de acuerdo con su destino de exportación, comienza el manejo postcosecha para su posterior comercialización. Primero se

realiza el desflore que consiste en eliminar las estructuras florales ubicadas a un extremo de cada banano. Esto genera, debido a la posición del racimo, que el látex se elimine parcialmente y se cristalice para evitar manchar el producto. Luego se realiza el desmane que consiste en la eliminación de las manos apicales para formar unidades de 4 a 7 bananos (comúnmente llamados *clusters*) (Vargas *et al.*, 2017).

Posteriormente se realiza un “desleche” que puede ser entendido como un lavado por inmersión en tanques con agua. Sin embargo, su función es eliminar el látex del producto y no realizar una limpieza de la fruta *per se*. El látex contiene lípidos, terpenos, agua, azúcar y proteínas que cumplen en la fruta una función de protección contra bacterias y hongos (Ramírez *et al.*, 2011). Este debe ser eliminado mientras se encuentre fluido, ya que una vez empacada la fruta, la salida del látex provoca uno de los principales defectos de calidad de la fruta en la exportación, al convertirse en una mancha oscura difícil de eliminar (Miranda, 1986).

3.3.1 Remoción de látex (desleche)

A pesar de que existen muchas similitudes en las condiciones de operación del lavado por inmersión y el desleche, los objetivos de ambas operaciones son distintos. El lavado tiene como función la remoción de impurezas físicas y químicas, mientras que en el desleche se busca eliminar el látex para evitar futuros defectos de calidad en la fruta.

Es importante destacar que existen distintos métodos de lavado para frutas y vegetales como inmersión total, aspersion o una combinación de ambos. A pesar de que el lavado por aspersion representa un riesgo menor de propagación directa de contaminantes microbiológicos (FDA, 1998), este método no permitiría la completa eliminación del látex del banano. Además, la inmersión forma parte del proceso productivo del banano desde sus inicios y es una manera efectiva de eliminar el látex de la corona. No obstante, el lavado/desleche por inmersión representa un reto de sostenibilidad para la industria bananera nacional, ya que la huella hídrica de las plantas empacadoras es elevada y la mayor proporción del uso de este recurso ocurre durante el desleche (Vallejo, 2015).

Adicional a la búsqueda del uso adecuado del recurso hídrico, se han estudiado condiciones para hacer el desleche eficiente y así contribuir a esta etapa de preparación de la fruta. Se han realizado análisis del efecto de la temperatura del agua y el tiempo de inmersión de los *clusters* sobre la secreción de látex por la corona. Se definió que un tiempo de aproximadamente 10 minutos a 45°C es suficiente para eliminar el látex (Ramírez *et al.*, 2011); no obstante, estas no son las condiciones aplicadas en la industria bananera actual donde el desleche tarda entre 20 y 40 minutos aproximadamente y la temperatura del agua o la cantidad de racimos no es normalmente controlada. El tiempo de inmersión de los bananos no solamente se relaciona con el proceso de desleche, ya que los tanques también son utilizados como un mecanismo para transportar la fruta utilizando agitación.

También existen algunos componentes en el mercado que se pueden añadir a los tanques de desleche para favorecer la degradación del látex y así evitar su acumulación en el agua de inmersión (Girón *et al.*, 2019). Sin embargo, en las especificaciones de estos productos se menciona que deben mantenerse en contacto con la fruta en inmersión durante aproximadamente 15 minutos. Además, se ha propuesto utilizar el lavado por aspersion utilizado en otras frutas que requiere menor cantidad de agua, sin embargo, se ha demostrado que no asegura la salida total del látex (Ramírez *et al.*, 2011).

3.4 Infiltración y condiciones de operación en el desleche

El fenómeno de infiltración se debe a una diferencia de presión, que genera un efecto de succión, permitiendo el ingreso de microorganismos a diferentes tejidos vegetales (FDA, 2002). Se debe principalmente al diferencial de temperatura entre la fruta y el agua de lavado (CODEX, 2003) (en este caso, el agua de desleche) debido a la transferencia de masa y la fuerza motriz que genera el diferencial de temperatura. La presión externa del agua supera la resistencia hidrofóbica de la cera natural propia de frutas y vegetales, así como la presencia de burbujas de aire en las aberturas (Bartz *et al.*, 2017), favoreciendo la infiltración del agua y de los componentes que podrían estar en suspensión como células bacterianas, restos de plaguicidas u otras sustancias que podrían comprometer la inocuidad del producto (Bartz *et al.*, 2015).

El ingreso de agua a las plantas durante su producción y etapas previas a la cosecha ha sido estudiado mediante distintos modelos matemáticos. Por ejemplo: Van de Honert para el flujo de savia/látex, Fick para explicar la transpiración en las plantas y el ingreso de agua debido a solutos presentes en el suelo, Gardner para el flujo de agua del suelo y Buckley para el mecanismo de ajuste de estomas que utilizan las plantas (Félix, 2011). Sin embargo, no se ha estudiado propiamente las ecuaciones que podrían describir mejor el proceso de infiltración en la etapa de desleche. De acuerdo con lo presentado en la literatura, se puede deducir que es una combinación de la ley de Van Honert, que podría describir la salida del látex durante el proceso por unidad de área foliar y la ley de Fick que establece que el movimiento de materia se debe al diferencial de presiones generado (Félix, 2011). Además, la ley de Fick también explica el proceso de transferencia de energía convectivo (Olallas, 2015), en un medio en el que inicialmente no hay equilibrio químico ni térmico y se ha utilizado también para explicar el ingreso de agua a productos en su rehidratación (Agudelo & Franco, 2009).

De acuerdo con las condiciones utilizadas actualmente y la ubicación de las plantas empacadoras de banano en el Caribe costarricense, donde la temperatura puede alcanzar cerca de 34°C (Chaves & Garro, 2018), se podría generar entre la fruta y el agua de inmersión un diferencial de temperatura de hasta 10°C.

Otro factor reportado en la literatura como determinante en la posibilidad de infiltración, es el tiempo de inmersión (Richards & Beuchat, 2004). Se ha identificado que, en frutas como el tomate, debido a las fuerzas de capilaridad, la infiltración de agua puede ocurrir en menos de sesenta segundos (Bartz *et al.*, 2017). En el proceso de producción de banano se mantiene la fruta en inmersión de 10 a 20 minutos, para asegurar la eliminación de látex en condiciones comerciales en las plantas empacadoras (Ramírez *et al.*, 2011).

3.5 Modelo de tinta para evaluar infiltración bacteriana

Estudios previos relacionados con la evaluación del fenómeno de infiltración de microorganismos en frutas (Merker *et al.*, 1999) y vegetales frescos (Mendonca, 2005) han sugerido el uso de tinta como un mecanismo físico para observar, de forma preliminar, la

posibilidad de infiltración de agua en los frutos durante el lavado y, consecuentemente, la probabilidad de penetración de microorganismos. Sin embargo, es importante considerar que no toda infiltración con tinta es perceptible mediante la evaluación visual y en algunos estudios, con observación microscópica, se menciona que no se correlacionó completamente con la infiltración bacteriana, debido a que la tinta presentó un mayor movimiento longitudinal en el tejido y canales de frutas cítricas al moverse a través de poros más pequeños que las células bacterianas (Pao *et al.*, 2001). Sin embargo, la distancia que podría recorrer el colorante no resulta determinante al utilizar el colorante como un indicador visual del posible ingreso de agua ya que se realiza una medición cualitativa (ocurre infiltración o no ocurre infiltración).

Para la evaluación visual se ha reportado frecuentemente como indicador la tinta azul brillante N°1 para estudios de este tipo en frutas y vegetales (Merker *et al.*, 1999; Penteadó *et al.*, 2004; Eblen *et al.*, 2004). El colorante rojo 40 también se encuentra reportado en estudios similares, aunque en menor medida, por ejemplo, en estudios con manzanas (Buchanan, 1999).

En la siguiente figura se presentan las estructuras químicas de ambos colorantes empleados en el presente estudio para evaluar su efecto sobre el potencial de infiltración de agua con tinta en banano.

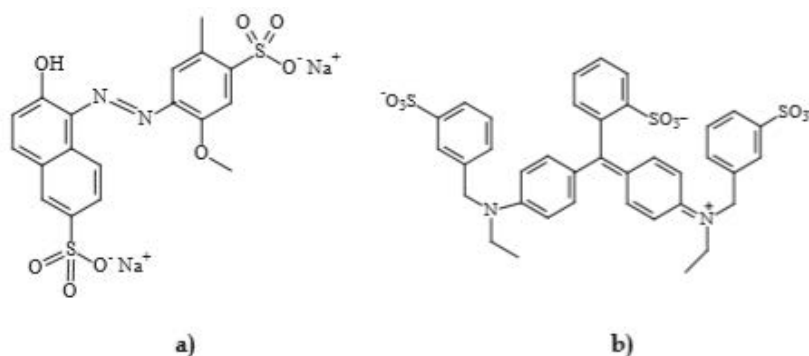


Figura 1. Estructuras químicas de los colorantes rojo 40 (a) y azul brillante N°1 (b) (Villada & Hormaza, 2015).

Como se observa en la Figura 1, el colorante rojo 40 es azoico (presenta el grupo azo R-N=N-R) (Sánchez, 2013) y el colorante azul brillante es derivado del ácido trimetilmetano (Badui, 2013). Ambos colorantes son aniónicos y tienen propiedades ácidas (Villada & Hormaza, 2015). Esto permite evaluar si las diferencias estructurales entre ambos colorantes tienen un efecto en la infiltración.

El colorante azul brillante N°1 tiene mayor masa molar (792,85 g/mol) que el colorante rojo 40 (496,42 g/mol) (Villada & Hormaza, 2015). Para efectos del experimento realizado, esta diferencia de masas molares podría implicar que el colorante rojo presente mayor movilidad en el tejido vegetal (Macarulla *et al.*, 2001), pero debe analizarse de manera integral con las demás propiedades químicas. Por ejemplo, otro factor que se puede considerar al comparar los dos colorantes es la solubilidad que podría implicar una mejor absorción del tejido vegetal en caso de infiltración con agua; sin embargo, la solubilidad del colorante rojo 40 es 22 g/100 mL y el azul brillante número 1 es de 20 g/100 mL (Badui, 2013). Es decir, ambos tienen similar solubilidad en agua, evitando que esta característica sea determinante en la evaluación realizada.

3.6 Modelo de tinta para evaluar infiltración de agentes químicos

La gran cantidad de agroquímicos utilizados en el cultivo de banano genera la preocupación adicional de que el agua infiltrada pueda estar contaminada con agentes químicos y genere un peligro para el consumidor de esta fruta. Es relevante mencionar que desde 1992 Costa Rica es el país con mayor consumo de plaguicidas por hectárea y por trabajador de América Latina e incluso se ha estudiado el riesgo que estos plaguicidas podrían generar a los trabajadores que empaquetan la fruta, sin estudiar el posible efecto en el consumidor (Vindas *et al.*, 2004).

Estudios en otros cultivos como la papa han demostrado la presencia de plaguicidas acumulados en la cáscara (Giannuzzi, 1994) lo cual representa un riesgo de que ocurra lo mismo con el banano y en caso de infiltración, sean arrastrados al interior de la fruta. También se ha estudiado la capacidad de absorción de distintas frutas de acuerdo con el espesor de la cáscara y la cantidad de agroquímicos utilizados, esto considerando que se podría llevar a un

mejor manejo de los químicos utilizados para asegurar la inocuidad de los productos frescos (Yang *et al.*, 2016).

Además, existen muchos estudios acerca del efecto de los agroquímicos por lixiviación de estos componentes (CORBANA, 2011), (Deluchi *et al.*, 2015), (Jaramillo *et al.*, 2016). Sin embargo, no hay reportes de la posibilidad de infiltración de agroquímicos durante el lavado por inmersión de frutas y vegetales, a pesar de la importancia que representa evaluar este peligro químico para la industria alimentaria.

Es relevante destacar que los peligros químicos asociados con pesticidas y sus residuos son ampliamente estudiados y considerados en la industria alimentaria, debido a sus graves implicaciones en la salud de los consumidores. Incluso se encuentran contemplados en el Codex Alimentarius y se define su ingesta diaria admisible (IDA), ingesta diaria tolerable provisional (IDTP), límite máximo de residuos (LMR), entre otros (CODEX, 2019). Además, un estudio realizado en tomates demostró que soluciones con surfactantes, que muchas veces son adicionados a los pesticidas, pueden llegar a duplicar la absorción de agua en esta fruta. Esto se debe a que los surfactantes disminuyen la tensión superficial del agua, por lo tanto, incrementan la posibilidad de infiltración (Bartz, 1982).

A pesar de esto, aún no se han realizado investigaciones acerca del posible ingreso de estos componentes a frutas y vegetales durante operaciones de inmersión tales como lavado o enfriamiento. El modelo de tinta demostró ser un indicador visual confiable para estudios con componentes químicos como desinfectantes o agroquímicos (Pao *et al.*, 2004). Por lo tanto, resulta imprescindible evaluar estos riesgos con el fin de controlarlos y reducirlos en el proceso productivo, para asegurar la inocuidad y calidad del banano.

Es importante mencionar que, para evaluar el riesgo químico asociado a los residuos de estas sustancias en la fruta, se requiere realizar análisis específicos para los plaguicidas más utilizados, con mayor toxicidad, solubilidad y estabilidad en agua. Debido a que cada componente tiene características distintas que podrían o no afectar su potencial de infiltración se recomienda que los análisis consideren los límites de cuantificación y detección del método de acuerdo con las propiedades antes mencionadas para cada potencial peligro químico seleccionado.

3.7 Implicaciones de la infiltración

A diferencia de frutas como la manzana, la fresa, la uva, entre otras, la cáscara de banano no es consumida, lo cual reduce el riesgo del consumo de microorganismos patógenos que puedan transportarse en la superficie de la fruta y afectar al consumidor (López, 2003). No obstante, estudios en otras frutas han demostrado que puede ocurrir el ingreso de distintos microorganismos patógenos, el cual se conoce como fenómeno de internalización o infiltración microbiana. Por ejemplo, se ha encontrado *Salmonella* sp. en el interior de mangos (Penteado *et al.*, 2004) y en tomate (Bartz *et al.*, 2015), así como *Salmonella* sp. y *Escherichia coli* O157:H7 en naranjas (Eblen *et al.*, 2004) y *Listeria monocytogenes* en melones (Macarisin *et al.*, 2017).

Además, existe evidencia de ingreso de pesticidas a algunos productos frescos como papas (Giannuzzi, 1994), manzanas, uvas y espinacas (Yang *et al.*, 2016), e incluso la permanencia de estos residuos en la extracción de aceites esenciales provenientes de frutas cítricas (Montti *et al.*, 2013). Sin embargo, actualmente no se han realizado estudios de dicha infiltración de compuestos químicos por efecto de la operación de inmersión en un ambiente acuoso. Específicamente en el caso del banano, este análisis resulta imprescindible no solamente por la operación de desleche (inmersión), si no por la gran cantidad de pesticidas utilizados en este cultivo (Vindas *et al.*, 2004).

4 Materiales y métodos

4.1 Localización

Las pruebas para evaluar la infiltración de tinta se llevaron a cabo en las instalaciones del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), ubicadas en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, San Pedro, Montes de Oca. La verificación del potencial de infiltración de tinta se realizó en la Finca San Pablo, Compañía Internacional de Banano S.A. (CIBSA), CORBANA S.A., provincia de Limón, cantón de Siquirres, distrito Madre de Dios.

4.2 Materias primas

4.2.1 Bananos

Se utilizaron bananos enteros de la variedad Cavendish, con grado cero de madurez y grado de cosecha de 11 y 12 semanas cultivados en la Finca San Pablo. Los racimos de banano se trasladaron y almacenaron en las instalaciones del CITA por un periodo no mayor a dos días, cuando fue necesario.

4.2.2 Tinta

Se utilizó tinta color azul N°1 brillante 100 en una concentración de 200 mg/L de agua en el tanque de inmersión (Merker *et al.*, 1999). Además, se utilizó colorante rojo 40 grado alimentario en una concentración de 200 mg/L (Buchanan, 1999).

4.3 Equipo

Para simular las condiciones de desleche por inmersión, se empleó un tanque de acero inoxidable, cuyas dimensiones son 2,4 m x 0,5 m x 0,7 m y 850 L de capacidad. El tanque posee una tubería conectada a una bomba que reguló el flujo del agua y que permitió producir una agitación similar a la ocurrida a nivel industrial para obtener condiciones representativas de la realidad.

4.4 Pruebas preliminares

4.4.1 Control positivo

Se evaluó la infiltración en 6 *clusters* de banano Cavendish con grado cero de madurez. Se colocaron en el tanque de inmersión con tinta color azul brillante N° 1 en una concentración de 200 mg/L por 12 horas sin agitación. Posteriormente, se realizó una prueba de evaluación visual en el interior de la fruta y se obtuvo un control positivo de las muestras infiltradas con tinta. Así se identificaron los canales por los cuales ocurrió la infiltración y se

definió y estandarizó la forma de corte del banano para la evaluación visual en las pruebas definitivas.

4.5 Estandarización de la evaluación visual

Se cortó longitudinalmente el banano, asegurando que el corte fuera lo más cercano posible al sistema vascular de la fruta, donde se observó en pruebas preliminares y en un estudio reciente no publicado, la mayor probabilidad de infiltración. Luego se realizó una evaluación visual de la fruta y se procedió a documentar si la infiltración ocurrió en el pedicelo, pulpa y haz vascular, en más de una o en todas esas estructuras de la fruta simultáneamente.

Para estandarizar las condiciones de la evaluación visual, se utilizó para todas las pruebas una mesa donde se colocó una cabina de 1,0 m x 0,8 m x 0,8 m con un bombillo de luz blanca fría a 0,66 m con respecto al fondo y un ángulo de observación de -45° . De esta manera se evitó que las condiciones externas interfirieran con la determinación de esta evaluación. Se observó cada muestra por un máximo de 5 segundos para evitar que la vista se acostumbrara y afectara las condiciones del análisis y evitar el pardeamiento de la fruta, el cual podría entorpecer la evaluación. Se consideró positivo para infiltración los bananos que presentaron coloración en cualquier punto de su interior.

4.6 Pruebas definitivas

4.6.1 Evaluación del efecto del tiempo de inmersión y el gradiente de temperatura entre el banano y el agua de inmersión, sobre el potencial de infiltración de tinta

Para realizar estas evaluaciones se definieron las condiciones a analizar (agitación, tiempo de inmersión y gradientes de temperatura) en pruebas realizadas en una visita a la Finca San Pablo, mientras que el grado de cosecha y maduración del banano fue definido a partir de comunicaciones con el personal de CORBANA S.A.

En la evaluación de infiltración de tinta se utilizó el tanque descrito en la sección 3.3. Se preparó el tanque de simulación con 700 L de agua y se adicionaron 200 mg/L de tinta azul N° 1 brillante. La temperatura del agua del tanque se mantuvo constante a 25 °C. Se ajustó el flujo de agua para lograr una velocidad de 2 m/min en la superficie del agua y con ello simular las condiciones utilizadas en la finca empacadora.

Se utilizaron bananos variedad Cavendish con grado cero de madurez y grado de cosecha de 12 semanas. Los racimos de banano se almacenaron en una incubadora que aseguró una temperatura interna de 25 °C, 30 °C y 35 °C obteniendo un gradiente de temperatura (ΔT) de 0 °C, 5 °C y 10 °C con respecto al agua de inmersión, respectivamente. Los racimos se cortaron en *clusters* de 5 a 7 bananos utilizando un cuchillo afilado y se formó la corona del *cluster* de acuerdo con instrucciones brindadas por personal capacitado. Se procedió a realizar el desflore del banano en los casos que la empresa facilitó los racimos todavía con flores, mientras que los racimos que no tenían flor se cortaron en *clusters* sin necesidad de aplicar este paso previo.

Luego se sumergieron los *clusters* de banano por lapsos de 10, 20, 30 y 40 minutos. Se sacaron los *clusters* al cumplir el tiempo determinado, se retiró el exceso de tinta del exterior de la fruta enjuagando con agua y se secaron con una toalla de papel. Los *clusters* se separaron en bananos individuales y se realizó la evaluación visual de acuerdo con lo descrito en la sección 4.5

La variable respuesta binaria correspondió a la presencia o ausencia de cualquier evidencia de infiltración con tinta en cada banano (unidad muestral). Se empleó un diseño factorial completo con dos factores: diferencial de temperatura (3 niveles: 0, 5 y 10°C) y tiempo de inmersión (4 niveles: 10, 20, 30 y 40 min). Para el análisis de resultados se empleó un modelo mixto con respuesta binaria y función de enlace logística con dos factores de diseño: el primero es una variable continua (tiempo de inmersión) y el segundo un factor fijo con 3 niveles (diferencial de temperatura). En un primer análisis se consideró el diferencial de temperatura como una variable continua para analizar su tendencia; sin embargo, luego se estableció como un factor fijo con los 3 niveles evaluados. Además, se incluyeron dos factores aleatorios: *cluster* (6 *cluster* para cada experimento) y día del experimento (cada

experimento se realizó en 3 días diferentes). Con el fin de evaluar si existe interacción entre los predictores, se compararon dos modelos (uno incluyendo la interacción y otro sin ella) empleando la prueba de la razón de verosimilitud (LRT por sus siglas en inglés). Las pruebas del experimento fueron aleatorizadas y se utilizó el paquete estadístico RStudio 1.2.5033 (RStudio, PBC, Boston, MA) para el análisis de los datos.

4.6.2 Determinación del efecto de la agitación del agua de inmersión, tipo de colorante, grado de cosecha y presentación de los bananos sobre el potencial de infiltración de tinta

Para realizar estas determinaciones se utilizaron bananos variedad Cavendish con grado cero de madurez y grado de cosecha de 12 semanas que se mantuvieron a una temperatura interna de 35 °C. Se preparó el tanque de simulación con 700 L de agua y 200 mg/L de tinta azul N° 1 brillante. La temperatura del agua del tanque se mantuvo constante a 25 °C para asegurar un diferencial de temperatura de 10 °C y se utilizó un flujo de 2 m/min en la superficie del agua. Los racimos se cortaron en *clusters* de 5 a 7 bananos utilizando un cuchillo afilado y se formó la corona del *cluster* de acuerdo con instrucciones brindadas por personal capacitado. Se procedió a realizar el desflore del banano en los casos que la empresa facilitó los racimos todavía con flores, mientras que los racimos que no tenían flor se cortaron en *clusters* sin necesidad de aplicar este paso previo. Se mantuvieron los bananos en inmersión durante 40 minutos. Estas condiciones se definieron a partir de una visita realizada a la Finca San Pablo y comunicaciones con el personal de CORBANA S.A. Finalmente, se retiró el exceso de tinta del exterior de la fruta enjuagando con agua y se secaron con una toalla de papel. Los *clusters* se separaron en bananos individuales y se realizó la evaluación visual de acuerdo con lo descrito en la sección 4.5. La variable respuesta binaria correspondió a la presencia o ausencia de cualquier evidencia de infiltración con tinta en cada banano (unidad muestral). Una de las condiciones descritas a continuación se modificó para evaluar su efecto sobre la infiltración con tinta, mientras se mantuvieron las otras condiciones constantes.

4.6.2.1 Efecto de la agitación del agua de inmersión

Se ajustó el flujo de ingreso de agua al tanque mediante los rociadores para asegurar que la velocidad en la superficie del agua del tanque fuera: 0 m/min (es decir, sin agitación) y 2 m/min.

4.6.2.2 Efecto del tipo de colorante

Para evaluar si el tipo de colorante tiene un efecto sobre el potencial de infiltración de tinta en banano, se preparó el tanque de simulación manteniendo una concentración de tinta de 200 mg/L pero se varió el tipo de colorante utilizado para el análisis: tinta azul N° 1 brillante al estar reportado en mayor cantidad de estudios (Merker *et al.*, 1999; Penteado *et al.*, 2004; Eblen *et al.*, 2004) y colorante rojo 40 grado alimentario reportado en un estudio de infiltración en manzanas (Buchanan, 1999).

4.6.2.3 Efecto del grado de cosecha del banano

Se utilizaron dos grados de cosecha diferente de 11 y 12 semanas, de banano de la variedad Cavendish con madurez cero, definidos a partir de comunicaciones con el personal de CORBANA S.A.

4.6.2.4 Efecto de la presentación de los bananos

Se colocaron *clusters* y bananos individuales en el tanque de inmersión. Cuando se utilizaron bananos individuales, la unidad muestral correspondió a los bananos de un mismo *cluster*. En el caso de los *clusters*, igualmente los bananos de uno de ellos corresponden a la unidad muestral. Para este experimento, se seleccionaron *clusters* con la misma cantidad de

bananos (entre 4 y 7), empleando uno para la inmersión en *cluster* y otro para la inmersión de bananos individuales. Es decir, los clusters seleccionados de manera aleatoria fueron marcados para evaluar los bananos individuales pertenecientes al mismo *cluster*.

Para determinar el efecto de cada una de las condiciones evaluadas (agitación, colorante, grado de cosecha, presentación), la variable respuesta binaria que se utilizó fue la presencia o ausencia de cualquier evidencia de infiltración con tinta en cada banano (unidad muestral). Para el análisis de resultados, se empleó en cada caso un modelo mixto con respuesta binaria y función de enlace logística con un único factor de diseño, el cual corresponde a las 4 condiciones mencionadas, cada una como factor fijo con 2 niveles: con y sin agitación, colorante rojo y azul, 11 y 12 semanas de cosecha, bananos individuales o en *cluster*. Además, se incluyeron inicialmente dos factores aleatorios para evaluar la agitación: *cluster* (6 *clusters* para cada experimento) y día del experimento (cada experimento se realizó en 3 días diferentes). Para el análisis estadístico del tipo de colorante, grado de cosecha y presentación de la fruta debió eliminarse del modelo mixto el factor aleatorio día del experimento para evitar problemas con la estimación.

Las pruebas del experimento fueron aleatorizadas y se utilizó el paquete estadístico RStudio 1.2.5033 (RStudio, PBC, Boston, MA) para el análisis de los datos.

4.6.3 Verificación del potencial de infiltración de tinta bajo condiciones normales de desleche en una finca empacadora de banano

Para la comparación de las condiciones de laboratorio con las condiciones usuales aplicadas en la industria bananera nacional se transportó el tanque de simulación a la Finca San Pablo (ver apartado 4.1). Esto con el objetivo de replicar las condiciones de la operación de desleche reales, tales como las condiciones del banano con corte fresco en la línea de producción y las características del agua de la finca empacadora, entre otras condiciones de proceso que no es posible replicar con exactitud en el laboratorio. Por otro lado, las pruebas se realizaron en el tanque de simulación para lograr la verificación del potencial de

infiltración en las condiciones normales de la operación antes mencionadas, sin detener la producción en la finca empacadora o afectar con el colorante la fruta que se encuentra en los tanques industriales.

Se preparó el tanque con 700 L de agua y 200 mg/L de tinta azul N° 1 brillante, ya que es el colorante que se encuentra reportado en la literatura para más estudios de este tipo (Merker *et al.*, 1999; Penteado *et al.*, 2004; Eblen *et al.*, 2004). La temperatura del agua del tanque se midió y se mantuvo en las condiciones normales de proceso de la finca empacadora. Se utilizaron bananos variedad Cavendish con grado cero de madurez y grado de cosecha de 12 semanas a la temperatura ambiental de la finca. Se midió y registró la temperatura interna de los bananos y se mantuvo una velocidad de agitación de 2 m/min en la superficie del tanque. Un total de 6 *clusters* de bananos se obtuvieron de la línea de proceso normal de la empresa y fueron colocados en el agua de inmersión por 20 y 40 minutos. Una vez cumplido el tiempo, se retiró el exceso de tinta del exterior de la fruta enjuagando con agua y se secaron con una toalla de papel. Los *clusters* se separaron en bananos individuales y se realizó la evaluación visual de acuerdo con lo descrito en la sección 4.5 sin emplear la cabina descrita. Se repitió la metodología anterior en 2 visitas diferentes, a la misma finca, pero en periodos distintos del año (7 de mayo de 2019 y 9 de agosto de 2019), para utilizar distintas temperaturas ambientales y por lo tanto diferenciales de temperatura entre el agua de desleche y la fruta.

La variable respuesta binaria que se utilizó fue la presencia o ausencia de cualquier evidencia de infiltración con tinta en cada banano (unidad muestral). Se reportó el promedio y el intervalo de confianza de Wilson al 95% de la proporción binomial bananos infiltrados con tinta, para cada tiempo de inmersión e indicando el gradiente de temperatura correspondiente, para cada visita realizada.

4.7 Caracterización del agua utilizada

Se realizó la caracterización del agua utilizada para llenar el tanque de inmersión en la planta piloto del CITA, Universidad de Costa Rica. Se tomaron tres muestras de agua en

momentos distintos durante la realización de las réplicas de los objetivos 1 y 2. También se caracterizó una muestra de agua obtenida de la Finca San Pablo en cada visita. Las muestras fueron almacenadas en botellas plásticas suministradas por el Laboratorio de Calidad de Aguas del Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), donde se llevaron a cabo los análisis. Para tomar las muestras se realizaron 3 enjuagues con el agua que se deseaba caracterizar y se llenó la botella asegurando que no quedaran burbujas de aire en el interior.

Se realizaron análisis de: dureza total, pH y turbiedad. Los métodos de análisis fueron realizados de acuerdo con lineamientos establecidos por *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federations* denominado “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. 23a.Edición. 2017 (Baird *et al.*, 2017). Para dureza total se utilizó el método MAQA-13, pH se ejecutó según MAQA-24 y turbiedad según el método MAQA-28.

5 Resultados y discusión

La operación de desleche permite mantener la calidad del banano de exportación, evitando manchas de color negro en las cajas de transporte y frutas (Miranda, 1986). Por esta razón, se realiza la inmersión de la fruta en tanques para eliminar el látex. En Costa Rica se han realizado estudios para definir los mejores parámetros de tiempo y temperatura para favorecer la secreción de látex por la corona de la fruta. Se definió que inmersión en agua a 45 °C durante 10 minutos es comparable con el tratamiento comercial (inmersión por 20 minutos) sin afectar variables postcosecha (Ramírez *et al.*, 2011). Sin embargo, en condiciones normales de proceso en las plantas empacadoras, esta operación puede tardar entre 20 y 40 minutos y la temperatura del agua y la fruta no son controladas.

Un riesgo presente en esta etapa es la infiltración de agua hacia el interior de la fruta, la cual podría acarrear microorganismos patógenos, microorganismos de deterioro o componentes químicos nocivos disueltos. Para evaluar la posibilidad de infiltración, se utiliza

tinta como indicador visual del ingreso de agua a los tejidos de la fruta (Merker *et al.*, 1999) (Mendonca, 2005) en condiciones normales de operación en las fincas empacadoras de banano. A continuación (Figura 2), se presenta un ejemplo de la infiltración de tinta azul brillante N°1 en un banano grado cero de madurez cortado longitudinalmente para realizar la evaluación final.

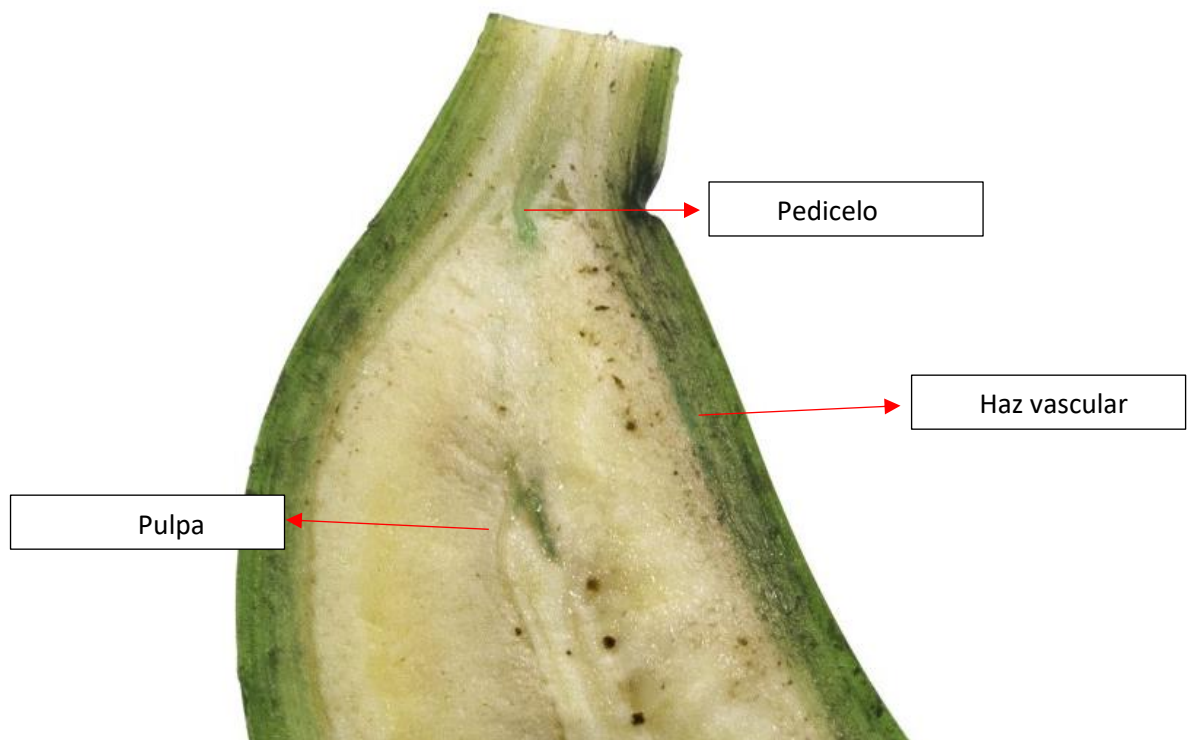


Figura 2. Banano con infiltración de agua con tinta azul brillante N°1 en el pedicelo, haz vascular y pulpa, elaboración propia a partir de IPGRI, 1996.

Experimentalmente, la infiltración de agua con tinta ocurrió por la parte superior de la fruta (sección adherida a la corona) en todos los casos analizados. Como se observa en la Figura 2, se identificaron tres zonas principales de evidencia de infiltración con tinta: pedicelo, pulpa y haz vascular de la cáscara. En cada banano positivo, la evidencia podía estar presente en las tres secciones, en dos de ellas en las distintas combinaciones posibles o en una sola sección. Esto puede ser explicado debido a que el colorante ingresa por el mismo sistema vascular que utiliza la planta para absorber nutrientes y agua (Taiz & Zeiger, 2006).

Se evidenció tinta principalmente en la médula central del fruto: pedicelo y pulpa. En el haz vascular presente en la cáscara, la evaluación visual requirió más detalle debido al color verde de la cáscara que dificultaba observar la coloración correspondiente a la tinta.

Además, se evaluaron *clusters* elaborados con racimos que presentaban o no flor de acuerdo con la materia prima proporcionada por la empresa y no se evidenció una diferencia en el potencial de infiltración debido a esta característica. Sin embargo, es importante aclarar que este factor podría deberse al factor aleatorio *cluster* que contempla estas posibles variaciones en la fruta.

5.1 Efecto del tiempo de inmersión y el gradiente de temperatura entre el banano y el agua de inmersión

Se ha reportado que el tiempo de inmersión de una fruta en un sistema acuoso tiene efecto sobre la infiltración (Richards & Beuchat, 2004). Estudios previos en tomate han determinado que la infiltración puede ocurrir en menos de 60 segundos (Bartz, 2017) y se ha reportado que el efecto del tiempo de inmersión en esta fruta es significativo e incide en la infiltración de *Salmonella enterica* (Zhou *et al.*, 2013). Incluso al evaluar el efecto del tiempo de inmersión en tomates verdes y maduros, el efecto de este sobre la internalización de

Salmonella sp. fue significativo para ambos grados de cosecha (Turner *et al.*, 2016). Algunos autores reportan que el control del tiempo de inmersión es más importante para evitar la contaminación con microorganismos que el control del diferencial de temperatura que pueda presentarse (Zhou *et al.*, 2013). En el caso del banano, no se encuentra reportado en la literatura el efecto que podría tener el tiempo de inmersión de la fruta sobre la infiltración durante el desleche.

En la Figura 3, se muestra el aumento de la proporción de bananos infiltrados con tinta al aumentar el tiempo de inmersión, para los tres diferentes diferenciales de temperatura. Inicialmente se incluyó un término cuadrático del tiempo de inmersión en el modelo empleado. Este término cuadrático no resultó significativo ($P=0.5674$), eliminándose del modelo y resultando en que únicamente el término lineal del tiempo de inmersión resultó significativo ($P<0.0001$).

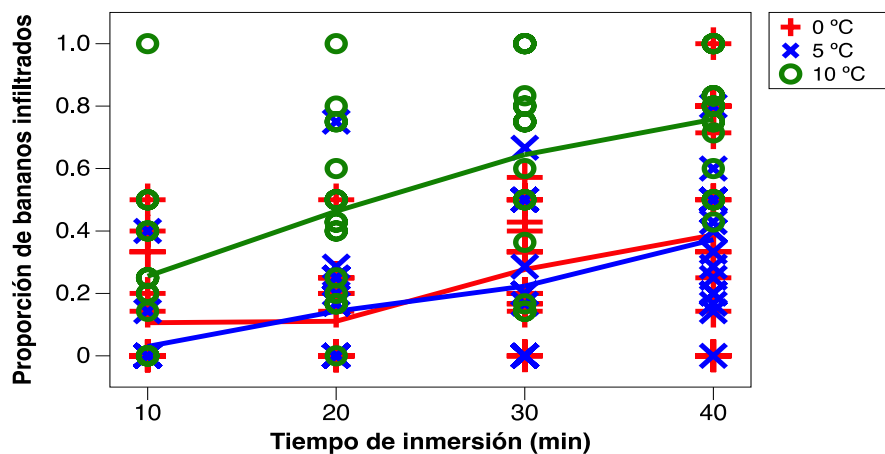


Figura 3. Proporción de bananos infiltrados en función del tiempo de inmersión para tres diferenciales de temperatura evaluados.

Como se observa en la Figura 3 la proporción de bananos infiltrados se incrementa al tener más tiempo de inmersión. Esta tendencia es esperada ya que, como se mencionó anteriormente, ha ocurrido en otras frutas incluso en un minuto de inmersión (Bartz, 2017).

Los cuatro tiempos evaluados se seleccionaron de acuerdo con las condiciones necesarias para eliminar el látex de la fruta y evitar defectos de calidad, por lo tanto, no pueden ser reducidos. Los resultados demuestran que aún en el menor tiempo (10 minutos) ocurrió infiltración de agua con tinta.

Se evidencia que la tendencia al aumento mencionada se mantiene independientemente del diferencial de temperatura entre el agua de inmersión y los *clusters* de banano evaluados. Esto indica que el tiempo de inmersión puede considerarse, en el caso del desleche de banano, una fuerza motriz suficiente para favorecer el ingreso de agua con colorante a la fruta (Richards & Beuchat, 2004). También, la capilaridad favorece la probabilidad de infiltración aún en diferenciales de temperatura bajos y corto tiempo de inmersión (Bartz, 2017), ya que los tejidos vegetales presentan en la pared celular tubos largos y estrechos que permiten el ingreso de agua.

Este movimiento es producto de la tensión superficial (la energía necesaria para aumentar el área superficial del líquido), la cohesión (la atracción entre las moléculas de agua debido sus puentes de hidrógeno) y la adhesión (la atracción del agua a la fase sólida presente en la pared celular) (Taiz & Zeiger, 2006), que genera una presión en el resto del líquido permitiendo impulsar el agua a través del sistema vascular de la planta. Otro factor de gran importancia en el análisis del potencial de infiltración en banano y que podría explicar su ocurrencia aún en tiempos cortos de inmersión es la presencia del látex, ya que se ha demostrado que éste podría generar un canal líquido entre el espacio extracelular vacío en los tejidos vegetales (apoplastos) y el agua de inmersión, en este caso agua con colorante (Bartz *et al.*, 2015).

En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos al evaluar el potencial de infiltración en *clusters* de banano a 25, 30 y 35°C manteniendo a 25 °C el agua de inmersión para obtener tres diferenciales de temperatura distintos. Según los registros de temperatura ambiental facilitados por CORBANA y los registros nacionales de las zonas donde se encuentran las fincas empacadoras, no se consideró necesario evaluar temperaturas más altas o bajas a las analizadas porque no reflejarían la realidad de la actividad bananera nacional.

Además, investigaciones de absorción de pesticidas en suelos demuestran que un aumento en la temperatura puede favorecer la difusión de estos componentes (Bouaid, 2001) así como su solubilidad (Bartz, 1982) por lo tanto se evaluaron las temperaturas mayores que podría alcanzar la fruta en la industria, al ser reportadas en la literatura como las condiciones que podrían incrementar el riesgo de infiltración.

Como se observa en la Figura 4, la proporción de bananos infiltrados tiende a incrementarse al aumentar el diferencial de temperatura, para todos los tiempos de inmersión. Considerando el diferencial de temperatura como una variable continua para analizar su tendencia, tanto el término cuadrático ($P=0.0008$) como el lineal ($P=0.0110$) resultaron significativos. Sin embargo, aunque hay indicación de un efecto cuadrático del predictor diferencial de temperatura, se decidió considerarlo como factor fijo con tres niveles y solamente evaluar si existen diferencias entre los niveles estudiados. Se recomienda para un análisis posterior aumentar el número de niveles del factor diferencial de temperatura con el objetivo de mejorar la modelización de la tendencia, ya que tratar de ver una tendencia con un número tan bajo de posibilidades (pocos niveles del factor) no da una buena aproximación.

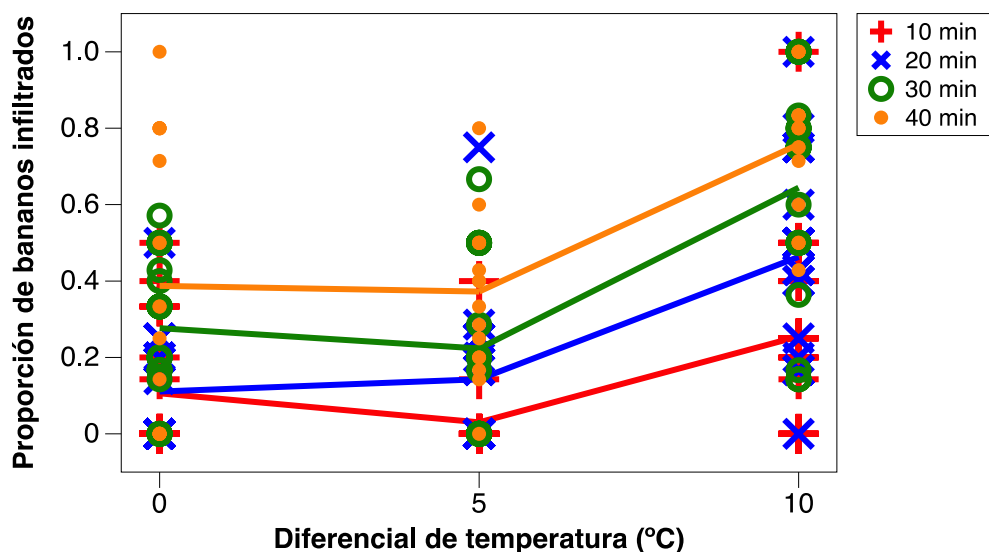


Figura 4. Proporción de bananos infiltrados en función del diferencial de temperatura para cuatro tiempos de inmersión evaluados.

Este comportamiento del diferencial de temperatura coincide con la literatura, ya que es presentado como un factor determinante en la infiltración (Richards & Beuchat, 2004; Bartz & Showalter, 1981; Buchanan *et al.*, 1999; Eblen *et al.*, 2004; Zhuang *et al.*, 1996). Por ejemplo, un estudio realizado en naranjas evaluó durante 10 minutos de inmersión 3 diferenciales de temperatura variando la temperatura del agua con colorante azul brillante N°1 y la fruta de la siguiente manera: naranjas a 21 °C en agua a 4°C ($\Delta T = 17$ °C), fruta a 4 °C en agua a 21 °C ($\Delta T = -17$ °C) y un $\Delta T = 0$ °C obtenido al colocar naranjas a 21 °C en agua a 21 °C. Únicamente se presentó infiltración de tinta en las naranjas analizadas con el diferencial de temperatura de 17 °C (Eblen *et al.*, 2004).

Un estudio similar en mangos demostró que la infiltración de tinta ocurre cuando la fruta se coloca en agua de inmersión con una temperatura menor, generando un diferencial de temperatura positiva (Penteado *et al.*, 2004). En tomates, al evaluar propiamente la infiltración de una bacteria (*Salmonella Newport*) utilizando $\Delta T = -16,7$ °C, $\Delta T = -5,6$ °C, $\Delta T = 0$ °C y $\Delta T = 5,6$ °C demostró que no hay efecto significativo del diferencial de temperatura en la infiltración ($P = 0,2536$) (Zhou *et al.*, 2013). También se añadió colorante a una suspensión bacteriana con *Listeria monocytogenes* para evaluar el ingreso del agua de inmersión en melones. Se encontró que *L. monocytogenes* ingresó a la fruta cuando el diferencial fue 0 °C y también cuando era 36 °C (Macarisin *et al.*, 2017).

A partir del análisis de la Figura 3 y la Figura 4, aparentemente conforme aumenta el tiempo de inmersión, aumenta la proporción de infiltración, independientemente del diferencial de temperatura. Además, aparentemente no hay un efecto marcado sobre la proporción de infiltración entre los diferenciales de temperatura de 0 y 5 °C, pero ambos parecen menores que lo obtenido para el diferencial de temperatura de 10 °C. Con el fin de evaluar si existe interacción entre los predictores, se compararon dos modelos (uno incluyendo la interacción y otro sin ella). La prueba de la razón de verosimilitud (LRT por sus siglas en inglés) mostró que no hay diferencia significativa entre ambos modelos ($P = 0.6317$). La ausencia de interacción puede confirmarse gráficamente (Figura 2 y Figura

3), dado que la forma como el predictor tiempo de inmersión afecta la proporción de infiltración no dependen del predictor diferencial de temperatura y viceversa.

A partir del modelo resultante, se obtuvo en el análisis estadístico que un aumento de 5 min en el tiempo de inmersión produce un aumento en la propensión de infiltración de entre un 37 y 64% (intervalo al 95% de confianza). La propensión corresponde a la razón de las probabilidades ($p1 / p2$), donde $p1$ es la probabilidad de infiltración y $p2$ es la probabilidad de no infiltración ($p2 = 1-p1$) (De Gregorio, 2007).

Con respecto al predictor diferencial de temperatura, no hay diferencia significativa entre las proporciones obtenidas al compararse un diferencial de temperatura de 5 °C con un diferencial de temperatura de 0 °C ($P=0.0908$), pero sí hay diferencia entre las proporciones obtenidas al compararse un diferencial de temperatura de 10 °C con un diferencial de temperatura de 0 °C ($P=0.0111$). La propensión al usar un diferencial de 10 °C es entre 1.24 y 5.15 veces la propensión al usar 0 °C (intervalo al 95% de confianza). Este intervalo es amplio, por lo que se recomienda para un análisis posterior aumentar el número de repeticiones con el objetivo de mejorar la precisión de esta cuantificación.

Como se observa en la Figura 4, un mayor diferencial de temperatura favoreció el potencial de infiltración porque generó un mayor efecto de succión del agua con colorante (FDA, 2002). Además, un mayor diferencial de temperatura aumenta la fluidez del látex (Ramírez *et al.*, 2011), que como se mencionó anteriormente, funciona como un canal de ingreso para el agua de inmersión que podría acarrear microorganismos patógenos, microorganismos de deterioro o sustancias químicas disueltas (Bartz *et al.*, 2015). Un incremento en la temperatura también aumenta la solubilidad de sustancias surfactantes y pesticidas incrementando el riesgo de que se infiltren en la fruta (Bartz, 1982) y disminuye la viscosidad del líquido de inmersión favoreciendo su movilidad dentro del tejido vegetal (Moreno, 2005). Esto es relevante porque si los pesticidas se encuentran disueltos en el agua y ocurre infiltración al tejido vegetal, podría convertirse en un peligro químico para el consumidor.

Dado que los efectos del diferencial de temperatura y el tiempo de inmersión son significativos y que en todos los casos evaluados se presenta infiltración de tinta, la recomendación principal es mantener las BPA y mantener un estricto control de la calidad del agua de desleche, ya que los resultados con colorante demuestran que hay una alta probabilidad de infiltración de agua durante esta etapa del proceso.

5.2 Efecto de la agitación del agua de inmersión, el grado de cosecha del banano, el tipo de colorante y la presentación de la fruta (individual o *cluster*) sobre el potencial de infiltración de tinta

Se seleccionaron distintas condiciones de la operación de desleche para evaluar si tienen un efecto sobre el potencial de infiltración de agua con tinta. Para definir las condiciones más relevantes se realizó una revisión bibliográfica (Merker *et al.*, 1999; Mendonca, 2005; (Merker *et al.*, 1999; Penteado *et al.*, 2004; Eblen *et al.*, 2004; Buchanan, 1999; Bartz *et al.*, 1981; Richards & Beuchat, 2004) así como entrevistas con personal de CORBANA para responder algunas de las inquietudes de la industria bananera nacional referentes a esta operación del proceso productivo.

Se procedió a evaluar el efecto de los factores: agitación del agua de inmersión, tipo de colorante, grado de cosecha del banano y presentación de la fruta: *cluster* o banano individual. En el Cuadro I se presentan los resultados generales obtenidos.

Cuadro I. Condiciones de operación de desleche evaluadas y probabilidad asociada del efecto sobre el potencial de infiltración de agua con tinta.

Condición	Efecto significativo (P<0,05)	Probabilidad asociada (P)
Agitación del agua de inmersión	No	0,5980
Tipo de colorante	Sí	0,0484
Grado de cosecha del banano	No	0,4600

Presentación de bananos: individuales o <i>cluster</i>	No	0,2934
---	----	--------

5.2.1 Efecto de la agitación del agua de inmersión

Esta condición surge como una inquietud debido a que en la literatura se encuentra reportada como una de las variables que podría afectar el potencial de infiltración en otras frutas y vegetales (Bartz *et al.*, 1981; Richards & Beuchat, 2004). Además, en el proceso productivo del banano resulta determinante porque en las empresas empacadoras la agitación tiene la función de facilitar el transporte a través de los tanques de desleche.

La agitación es una operación física que vuelve más uniforme las propiedades del sistema (Ayala *et al.*, 2009), por lo tanto, podría favorecer el potencial de infiltración al mantener el diferencial de temperatura constante en todo el líquido de inmersión (Macarisin *et al.*, 2017). También el movimiento del agua de desleche favorece la transferencia de calor del medio incrementando la posibilidad que se genere vacío por diferencial de temperatura, implicando mayor probabilidad de succión del agua (FDA, 2002).

En el Cuadro I se observa que bajo las condiciones del experimento realizado: factor de dos niveles con y sin agitación (2 m/min y 0 m/min). El efecto de la agitación del agua de inmersión no fue significativo al evaluar la infiltración de agua con colorante en los bananos, determinando que no es una fuerza motriz suficiente que afecte el fenómeno bajo las condiciones evaluadas. A pesar de encontrarse reportado que al aumentar la agitación disminuye la viscosidad del líquido de inmersión (Delegido & Herráez, 2011), se considera que la velocidad de agitación utilizada en las condiciones normales del proceso de desleche no genera un aporte importante al potencial de infiltración.

Es relevante considerar que esta operación mecánica se encuentra reportada en sistemas de suspensiones bacterianas como un factor de interés, al aumentar la disponibilidad de oxígeno, disminuyendo el tamaño de las burbujas de aire y aumentando su solubilidad en el

medio (Hernández *et al.*, 2003). Además, la agitación favorece la remoción de esporas bacterianas de la superficie de las frutas, que pueden eliminarse si el agua de inmersión presenta desinfectantes en las concentraciones adecuadas, pero en el agua de desleche estos componentes no son utilizados y, por lo tanto, las esporas podrían mantenerse en suspensión e ingresar a las frutas o vegetales por infiltración (Garmendia & Vero, 2006).

La agitación también favorece el contacto de sustancias químicas como desinfectantes en las frutas (González, 2018). En el tanque de desleche, la mayor preocupación se debe a la presencia de residuos de pesticidas que podrían ingresar con mayor facilidad por esta operación. Por esta razón, la evaluación del potencial de infiltración con tinta es una base para elaborar estudios con pesticidas y se recomienda verificar si en el desleche de banano el efecto de la agitación no es significativo para el ingreso de sustancias químicas disueltas, al igual que los resultados obtenidos para el agua con colorante.

5.2.2 Efecto del tipo de colorante

Las características de los colorantes azul brillante N°1 y rojo 40 tales como estabilidad y baja toxicidad facilitaron su selección como las dos principales alternativas (Sánchez, 2013). En la Figura 5 y la Figura 6 se presenta un ejemplo de la evaluación visual realizada en bananos cortados longitudinalmente para cada colorante.

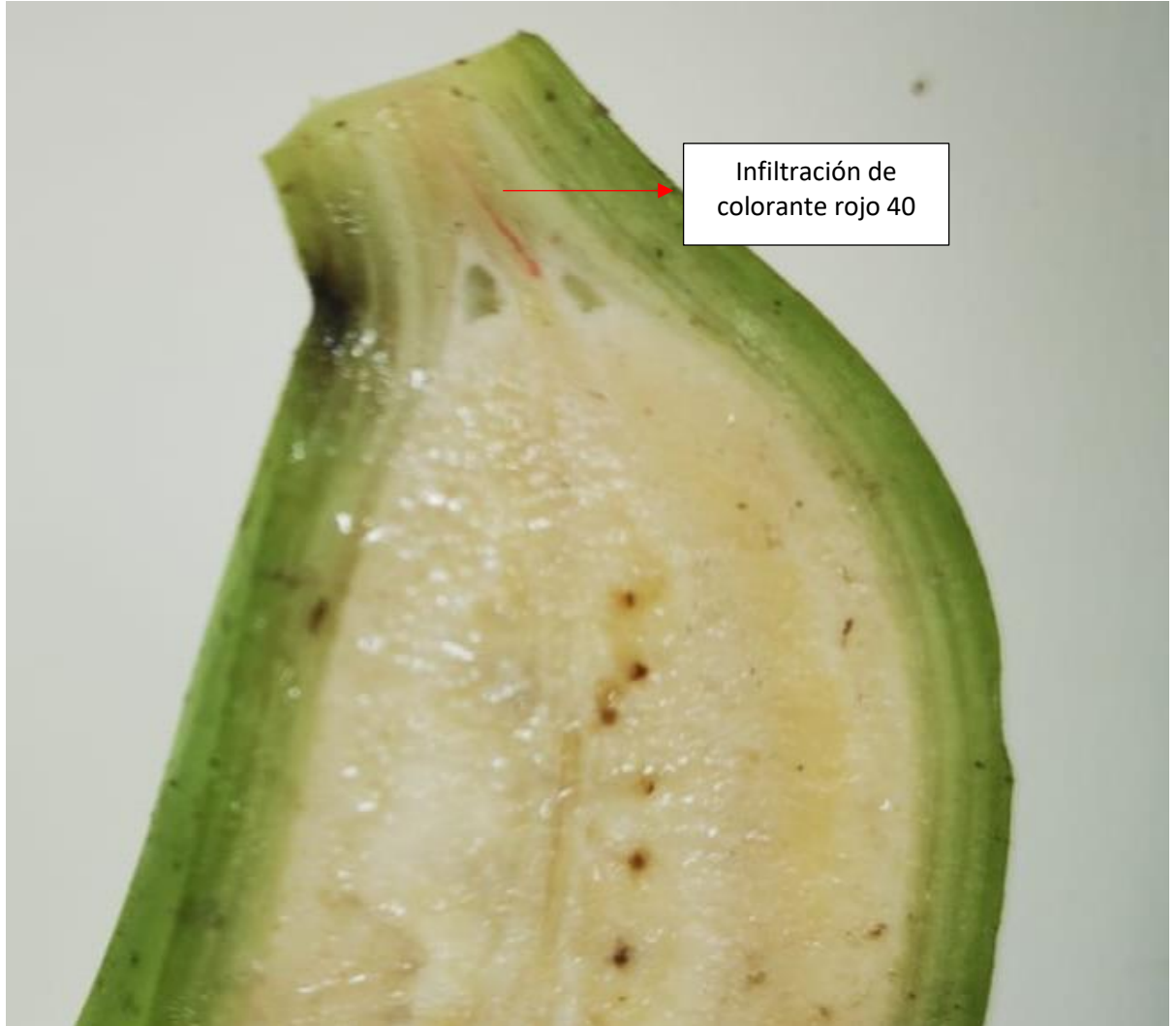


Figura 5. Banano con infiltración de agua con colorante rojo 40 en el pedicelo.

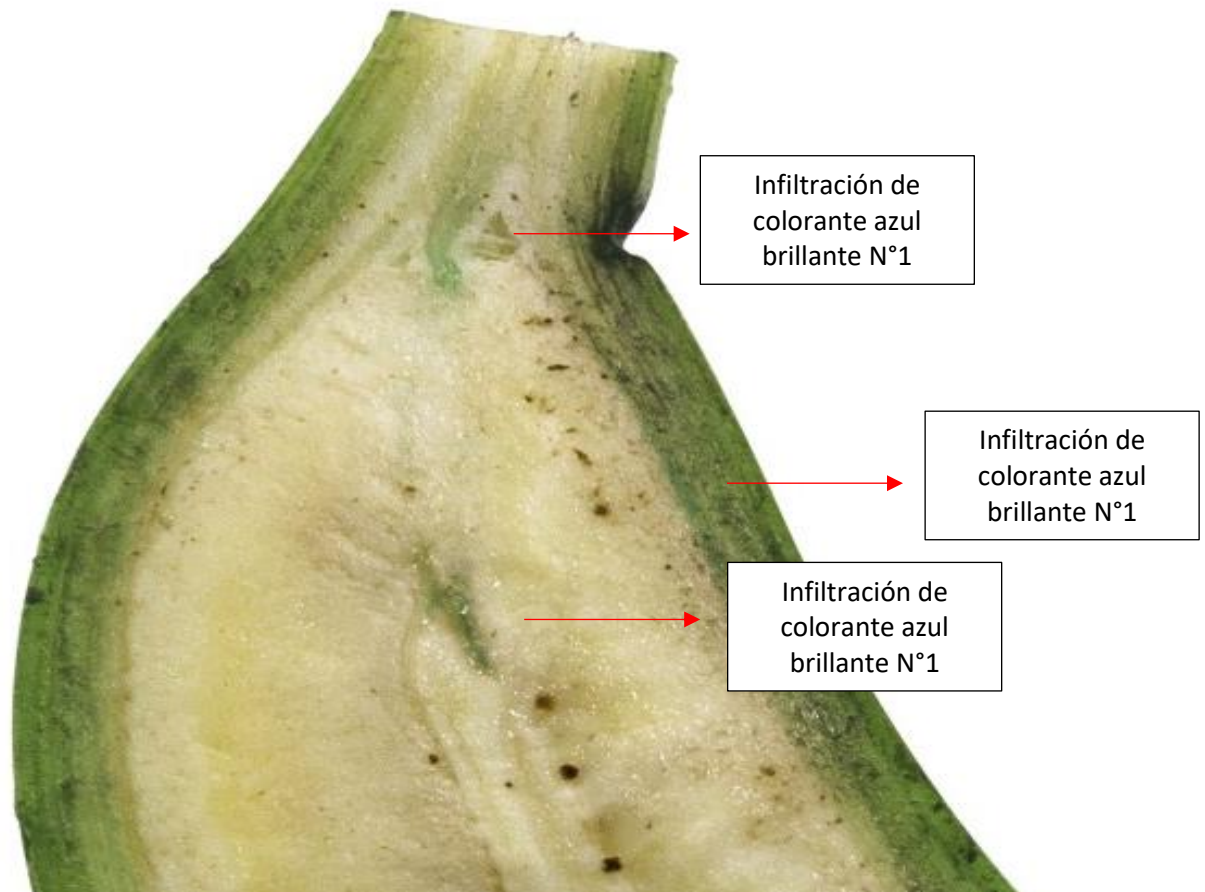


Figura 6. Banano con infiltración de agua con colorante azul brillante N°1 en el pedicelo, pulpa y cáscara.

Según el criterio de la investigadora, la evaluación visual del colorante azul fue más sencilla que la del colorante rojo, debido a que algunos bananos presentaban líneas propias de la fruta en el pedicelo color café impidiendo diferenciarlas de un posible ingreso de colorante rojo.

A pesar de esto y de que el colorante azul es el más utilizado, se decidió evaluar si en el caso del banano este es el más adecuado. Se determinó que el efecto del tipo colorante

sobre el potencial de infiltración sí es significativo (Cuadro I) y que es mayor al utilizar colorante azul brillante N°1. Según el modelo obtenido, la propensión al usar colorante azul brillante N°1 es entre 1.01 y 5.57 veces la propensión al usar colorante rojo (intervalo de confianza al 95%). Esto es un resultado positivo ya que valida que se utilizara azul brillante N°1 en los otros objetivos experimentales.

5.2.3 Efecto del grado de cosecha del banano

Los destinos de exportación del banano definen el grado de cosecha que requiere la fruta para asegurar que llegue en el estado de maduración óptimo (Vargas, 2014). Por lo tanto, la operación de eliminación del látex por inmersión (desleche) ocurre en *clusters* de banano con distintas semanas de cosecha. Por consiguiente, surgió la inquietud de si el grado de cosecha tiene un efecto sobre el potencial de infiltración de agua con tinta.

El efecto del grado de cosecha (11 o 12 semanas de cosecha correspondientes a las utilizadas para los principales destinos de exportación) sobre la infiltración de agua evidenciada con colorante azul brillante N°1 para la operación de desleche de banano no fue significativo (Cuadro I). Esto coincide con lo reportado en la literatura para infiltración de agua con microorganismos en otras frutas, que han utilizado distintos grados de cosecha para evaluar si tiene efecto en este fenómeno. Por ejemplo, en mangos se determinó que el grado de cosecha en la internalización de *Salmonella enterica* no fue significativo (Penteado *et al.*, 2004). En tomates, la infiltración de *Salmonella* fue mayor en tomates verdes que en esta fruta madura, pero el efecto no fue significativo (Turner *et al.*, 2016).

Además, el ciclo productivo de la planta de banano tiene una duración 12 ± 2 semanas por lo que el grado de cosecha entre 11 y 12 semanas no implica mayores diferencias en la fisiología de la fruta o cambio en la absorción de nutrientes y agua que podría involucrar diferencias en el ingreso del agua de desleche por los canales de la pared celular (Nava & Vera, 2004).

5.2.4 Efecto de la forma de presentación de los bananos: individuales o *cluster*

La formación del *cluster* es una etapa del proceso productivo del banano. Está relacionado con las exigencias de grosor y largo del fruto empacado para exportación principalmente por las especificaciones de calidad (Vargas, 2014). Además, es una de las características que diferencia la inmersión de bananos de otros frutos, ya que su presentación no suele ser unitaria, sino en clusters de banano que incluyen de 4 a 7 unidades.

En este estudio el efecto de la forma de presentación de la fruta no tuvo un efecto significativo sobre el potencial de infiltración de la tinta (Cuadro I). La profundidad de inmersión se encuentra reportada en la literatura como una condición que aumenta la probabilidad de infiltración (Richards & Beuchat, 2004). Sin embargo, los resultados reflejan que el tamaño y peso diferente entre ambas presentaciones, que podría aumentar la profundidad de inmersión, no genera un impacto en la proporción de bananos infiltrados bajo las condiciones estudiadas.

También se encuentra reportado que la cantidad de fruta puede afectar el potencial de infiltración, en el caso específico del banano debido a la salida del látex al agua de inmersión, podría generar un cambio en la viscosidad del líquido de inmersión generando un efecto en el potencial de infiltración.

Además, el área cortada para separar los *clusters*, al ser comparada con el área del pedicelo del banano suelto, no generó un efecto relevante al evaluar la infiltración de tinta, aunque al generar mayor salida de látex se esperaba que se favoreciera la infiltración (Bartz *et al.*, 2015).

5.3 Potencial de infiltración de tinta en las condiciones normales de desleche por inmersión en una finca empacadora

Se realizaron dos visitas a la Finca San Pablo, con el objetivo de verificar los resultados obtenidos en condiciones experimentales en el CITA, Universidad de Costa Rica, San José. Es decir, determinar si en las condiciones normales del proceso en la finca (sin controlar

temperaturas, corte fresco del banano, condiciones normales de manejo y empleando el agua de la finca) se presentaba infiltración con tinta en cualquier proporción, en los bananos evaluados.

En el Cuadro II se presentan los promedios e intervalos de confianza (IC) de Wilson al 95% de la proporción binomial de bananos infiltrados con tinta, para dos tiempos de inmersión, para dos visitas realizadas en fechas diferentes (7 de mayo de 2019 y 9 de agosto de 2019).

Cuadro II. Promedios e intervalos de confianza (IC) de Wilson al 95% de la proporción binomial de bananos infiltrados con tinta, para dos tiempos de inmersión, para dos visitas realizadas a la Finca San Pablo.

Visita	Temperatura promedio de bananos (°C)	Temperatura promedio de agua (°C)	Diferencial de temperatura (°C)	Tiempo de inmersión (min)	Promedio de proporción de bananos infiltrados (IC 95%)
1	25,8	25,6	0,2	20	0,06 (0,02 – 0,19)
				40	0,09 (0,03 – 0,23)
2	28,4	27,2	1,2	20	0,53 (0,37 – 0,69)
				40	0,29 (0,18 – 0,44)

Los resultados presentados en el Cuadro II evidencian que aún cuando los diferenciales de temperatura fueron menores según las condiciones de operación normales en la finca, también ocurre infiltración. Además, realizar la evaluación de infiltración en las instalaciones de la finca empacadora permite verificar que condiciones como el corte fresco o condiciones que no pudieron replicarse con exactitud a nivel piloto como las características

del agua, temperaturas y condiciones normales de manejo en la finca no invalidan los resultados obtenidos.

Por otra parte, en el Cuadro III se presenta la caracterización realizada al agua de planta piloto del CITA y de la Finca San Pablo. El agua de la Planta Piloto del CITA fue empleada durante la ejecución de los objetivos 1 y 2 del presente estudio. El agua de la Finca San Pablo fue empleada para el desarrollo del objetivo 3.

Cuadro III. Promedio y desviación estándar de mediciones de pH, turbiedad y dureza de las muestras de agua de inmersión utilizadas en el proyecto, según la localidad evaluada.

Muestra	Análisis (unidades)		
	pH	Turbiedad (UNT)	Dureza (mg CaCO ₃ /L)
Agua planta piloto CITA (n=3)	7,1 ± 0,2	0,67 ± 0,04	37 ± 1
Agua finca empacadora San Pablo (n=2)	7,8 ± 0,2	1,39 ± 0,08	90 ± 2

Ninguno de los parámetros químicos analizados se encuentra reportado en la literatura científica que evalúa el potencial de inmersión de agua con tinta en frutas y vegetales. Los valores reportados permiten documentar las características del agua de inmersión empleada en este estudio.

6 Conclusiones

- a) Bajo las condiciones evaluadas, el tiempo de inmersión y el gradiente de temperatura entre el banano y el agua de inmersión influye significativamente sobre el potencial de infiltración de agua con tinta durante la operación de desleche de bananos variedad Cavendish con grado cero de madurez y grado de cosecha de 12 semanas. No se observó que la interacción de los factores fuese significativa. Se obtuvieron resultados de

infiltración positivos en todas las condiciones evaluadas. Por consiguiente, se considera probable que se pueda producir internalización de microorganismos patógenos, de deterioro y agroquímicos en la fruta. Consecuentemente, es importante seguir las Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura que permitan reducir el riesgo de que un microorganismo o sustancia nociva llegue al consumidor.

- b) El potencial de infiltración de agua con tinta durante la operación de desleche de banano no es afectado significativamente por la agitación del agua de desleche (tanque agitado o no), la presentación del banano (fruta individual o en *cluster*) o su grado de cosecha (11 o 12 semanas). El tipo de colorante sí tiene un efecto significativo sobre el potencial de infiltración y es mayor para el colorante azul brillante N°1 que para el rojo 40. Los resultados permitieron identificar condiciones de operación del desleche de banano que no afectan el potencial de infiltración de colorante bajo las condiciones evaluadas tales como: agitación del agua de inmersión, grado de cosecha o forma de presentación y se pudo determinar que el colorante azul es más adecuado para evaluar el potencial de infiltración, dado que se obtiene una mayor proporción de bananos infiltrados al emplear esta tinta.
- c) Se logró verificar que, en condiciones normales de operación en la finca empacadora de banano, ocurre infiltración de agua con tinta en banano durante la operación de desleche. Estos resultados permiten concluir que variables como el corte fresco, las características del agua, temperaturas y condiciones normales de manejo en la finca no tienen un efecto marcado sobre la infiltración con tinta y hacen ver que las condiciones experimentales desarrolladas, son un reflejo de las condiciones reales y los resultados que podrían obtenerse en finca.

7 Recomendaciones

- a) Al determinar que la infiltración de agua con colorante ocurre en condiciones normales de proceso con diferenciales de temperatura pequeños y en el menor tiempo evaluado, se recomienda controlar la calidad del agua ya que el riesgo de infiltración de agua indicado por los resultados es alto.

- b) Se recomienda llevar a cabo estudios posteriores con los principales pesticidas utilizados en la industria bananera nacional, para analizar el potencial de infiltración de estos componentes y sus residuos, así como los posibles efectos que podrían llegar a tener en la salud de los consumidores. Además, es recomendable evaluar si estos compuestos químicos se encuentran en la cáscara, la pulpa o en ambas partes de la fruta y si se encuentran dentro de los límites máximos de residuos permitidos.
- c) Evaluar el potencial de infiltración de microorganismos patógenos y de microorganismos de deterioro característicos del banano en las condiciones normales de la operación de desleche, para evitar posibles consecuencias negativas a la salud pública, pautas de exportación y pérdidas económicas debido a deterioro de la fruta.
- d) Se considera pertinente llevar a cabo un estudio de sobrevivencia de estos microorganismos tanto en la cáscara del banano como en su interior durante el proceso de maduración de la fruta, con el fin de comprender si existe riesgo de que estos peligros microbiológicos puedan llegar a los consumidores.

8 Bibliografía

- Agudela, J. Franco, R. 2009. Aplicación de la ley de Fick y el modelo de Peleg para estudiar la absorción de agua en el frijol cargamento ombligo amarillo (*Phaseolus vulgaris* L.) y la arveja seca (*Pisan Sativa*) durante la rehidratación. *Revista publicaciones e investigaciones* 3(1): 15-28
- Ayala, A., Serna, L., Giraldo, C. 2009. La deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* s.) empleando soluciones de sacarosa. *Asociación Interciencia* 34(7): 492-496.
- Badui, S. 2013. *Química de los alimentos*. Juárez, México, Pearson Educación. 723 p.
- Baird, R., Eaton, A., Rice, E. 2017. *Standard methods for the examination of water and wastewatwer*. Washington, Estados Unidos, American Public Health Association. 1546 p.

- Bartz, J. 1982. Infiltration of tomatoes immersed at different temperatures to different depths in suspensions of *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora*. *Plant Disease*. 66:302-305.
- Bartz, J. A., and R. K. Showalter. 1981. Infiltration of tomatoes by aqueous suspensions. *Phytopathology* 71:515–518.
- Bartz, J., Sargent, S., Mahovic, M. 2017. Guide to identifying and controlling postharvest tomato diseases in Florida (en línea, sitio web). Consultado 12 feb. 2019. Disponible en <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS13100.pdf>
- Bartz, J., Yuk, H., Mahovic, M., Warren, B., Sreedharan, A., Schneider, K. 2015. Internalization of *Salmonella enterica* by tomato fruit. *Food control*. 55: 141-150.
- Bouaid, A. 2001. Nuevos métodos de tratamiento de muestra para la preconcentración, estabilización y determinación de pesticidas por cromatografía de gases. Tesis Ph.D. Madrid, España, Universidad Complutense de Madrid. 26 p
- Branquinho, M., Asturiano, C., Jakabi, M., Scala, D. 2007. Incidence, internalization and behavior of *Salmonella* in mangoes, var. Tommy Atkins. *Food control*. 18: 1002-1007.
- Bunchanan, R., Edelson, S., Miller, R., Sapers, G. 1999. Contamination of intact apples after immersion in an aqueous environment containing *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Food Protection* 62(5): 444-450
- Chaves, K., Garro, D. 2018. Climatología aeronáutica (2012-2017): aeropuerto internacional de Limón. Instituto Meteorológico Nacional. (en línea, sitio web). Consultado 28 ene. 2020. Disponible en: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/38326/Climatolog%C3%ADa+de+Lim%C3%B3n/ddd8ca1f-bee4-4a2b-8459-fb01d139fe3e?version=1.1>
- CODEX. 2003. Código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas frescas (CXD 53-2003).
- CODEX. 2019. LMR de plaguicidas. (en línea, sitio web). Consultado 30 mar. 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/glossary/es/>

- COMEX. s.f. Banano-China. (en línea, sitio web). Consultado 18 ene. 2020. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ZucQ-2AvCcYJ:www.comex.go.cr/media/6405/26-banano-china.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=cr>
- CORBANA S.A (Corporación Bananera Nacional). 2011. Reporte de estudio de caso: implementación de buenas prácticas agrícolas para reducir el escurrimiento de plaguicidas en el cultivo del banano de la región caribe costarricense. San José, Costa Rica, Corporación Bananera Nacional.
- CORBANA S.A (Corporación Bananera Nacional). 2019. Estadísticas: industria bananera (en línea). San José, Costa Rica, Corporación Bananera Nacional. Consultado 8 feb. 2019. Disponible en <https://www.corbana.co.cr/banano-de-costa-rica/#estadistica>
- De Gregorio, J. 2007. Macroeconomía: teoría y políticas. Juárez, México, Prentice Hall. 769 p.
- Delegido, J., Herráez, J. 2011. Elementos de física aplicada y biofísica. Valencia, España, Universitat de València. 204 p.
- Deluchi, S., Flores, C., Sarandón, S. 2015. Análisis de la sustentabilidad del uso del recurso hídrico bajo tres estilos de producción hortícola en el cinturón hortícola platense. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 114 (2): 287-294.
- Eblen, B., Walderhaug, M., Edelson, S., Chirtel, S., De Jesus, A., Merker, R., Buchanan, R., Miller, A. Potential for internalization, growth, and survival of *Salmonella* and *Escherichia coli* 0157:H7 in oranges. Journal of Food Protection. 67(8): 1578-1584.
- Errázuriz, C. 2010. Indicaciones geográficas y denominaciones de origen. Propiedad intelectual en progreso. Revista chilena de derecho. 37 (2): 207-239.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Roma). 2004. La economía mundial del banano 1985-2002 (en línea, sitio web). Consultado 6 ene. 2020 Disponible en <http://www.fao.org/3/y5102s/y5102s00.htm#Contents>

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Roma). 2016. Country profiles: Costa Rica. (en línea, sitio web). Consultado 8 feb. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/countryprofiles/index/en/?iso3=CRI>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Roma). 2018. Banana market review: preliminary results. Roma, Italia, FAO. 9 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Roma). 2016. Todo sobre los bananos: lo que debería saber acerca de esta fruta tropical. (en línea, sitio web). Consultado 10 feb. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/447827/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Roma). 2017. Foro mundial bananero colección de buenas prácticas: manejo de pesticidas en la industria bananera (en línea, sitio web). Consultado 28 dic. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i6840s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Roma). 2017. Promoviendo la sostenibilidad de la industria bananera (en línea, sitio web). Consultado 12 ene. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i6917s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Roma). 2000. Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos). (en línea, sitio web). Consultado 17 feb. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-ac304s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Roma). 2020. Medium term outlook: prospects for global production and trade in bananas and tropical fruits 2019-2028. (en línea, sitio web). Consultado 23 feb. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/ca7568en/ca7568en.pdf>
- FDA (US Food and Drug Administration). 2002. Mejorando la seguridad y calidad de frutas y hortalizas frescas: Manual de formación para instructores (en línea). Maryland, Estados Unidos, FDA. 269 p. Consultado 12 feb. 2019. Disponible en http://www.fao.org/ag/agn/CDfruits_es/others/docs/maryland_manual.pdf

- Félix, H. 2011. Regulación de la hidratación y la turgencia foliares por mecanismos evitadores del estrés y resistencia a déficit hídrico en vid: modelo vs experimentos. (en línea). Mendoza, Argentina. Consultado el 23 feb. 2020. Disponible en https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/4367/vila-regulacionhidratacion.pdf
- Garmendia, G., Vero, S. 2006. Métodos para desinfección de frutas y hortalizas. Distribución y alimentación. 197: 18-27.
- Giannuzzi, L. 1994. Residuos de plaguicidas organoclorados en papas que se comercializan en la ciudad de La Plata y La Gran Plata (Argentina). Acta Farm: Bonaerense 13(2): 103-112.
- Girón, B., Cano, F., Castillo, L., Méndez, Á., Espinoza, H. 2019. Determinación de la presencia de *Escherichia coli* en la cáscara y parte comestible del banano y evaluación de su crecimiento durante el proceso de postcosecha y almacenamiento a temperatura controlada. Revista Científica. 2(28); 26-36.
- González, A. 2018. Evaluación de la efectividad de distintos desinfectantes oxidantes en el lavado industrial de melón mediante el control del potencial de oxidación reducción en la pila. Tesis Licenciatura. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 66p.
- Hernández, A., Alfaro, I., Arrieta, R. 2003. Microbiología industrial. San José, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia. 269 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2011. Censo nacional de población y vivienda: Datos territoriales. San José, Costa Rica, INEC. Consultado 9 feb. 2019. Disponible en <http://www.inec.go.cr/>
- IPGR (International Plant Genetic Resources Institute). 1996. Descriptores para el banano (*Musa spp.*). Roma, Italia.
- Jaramillo, B., Palacio, F., Pérez, I. 2016. Residuos de pesticidas organofosforados en frutas obtenidas de plazas de mercado y supermercados en Cartagena. Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias. 25(4): 39-46.

- López, A. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas (en línea). Roma, Italia, FAO. Consultado 9 feb. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/Y4893S/y4893s08.htm#TopOfPage>
- Macarisin, D., Woteen, A., De Jesus, A., Hur, M., Bae, S., Patel, J., Evans, P., Brown, E., Hammack, T., Chen, Y. 2017. Internalization of *Listeria monocytogenes* in cantaloupes during dump tank washing and hydrocooling. *International Journal of Food Microbiology*. 257: 165-175.
- Macarulla, J., Marino, A., Macarulla, A. 2001. Bioquímica cuantitativa: cuestiones sobre biomoléculas. Barcelona, España, Reverté S.A. 300 p.
- Mendonca, A. 2005. Bacterial infiltration and internalization in fruits and vegetables. Produce degradation pathways and prevention. Boca Raton, Estados Unidos, Taylor & Francis Group. 462 p.
- Merker, R., Edelson-Mammel, S., Davis, V., Buchanan, R. 1999. Preliminary experiments on the effect of temperature differences on dye uptake by oranges and grapefruit. (en línea, sitio web). Consultado 18 feb. 2019. Disponible <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/HACCP/ucm082931.htm>
- Miranda, J. 1986. Nueva tecnología en el control de las manchas de látex en bananos y equipos de empaque. *Informe mensual UPEB* 10(78-79):57-59.
- Monti, M., Visciglio, S., Fabricio, S., Gladys, M., Munitz, M. 2013. Incidencia de la carga inicial de pesticidas en fruta sobre los niveles residuales en aceites esenciales cítricos. *Ciencia, docencia y tecnología*. 14(47):187-218.
- Moreno, R. 2005. Reología de suspensiones cerámicas. Madrid, España, Editorial. 328p.
- Nava, C., Vera, J. 2004. Relación del número de hojas o floración y hojas perdidas en el ciclo reproductivo con el peso del racimo en plantas de plátano en presencia de Sigatoka negra. *Revista de la facultad de agronomía* 21 (4): 336-343.

- Olalla, F. 2005. Agua y agronomía. Barcelona, España, Mundi-Prensa Libros. 606 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2018. Obesidad y sobrepeso. OMS: centro de prensa, notas descriptivas. Ginebra, Suiza, OMS. Consultado 10 feb. 2019. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2019. Biblioteca electrónica de documentación científica sobre medidas nutricionales (eLENA): Aumentar la ingesta de potasio para reducir la tensión arterial y el riesgo de enfermedades cardiovasculares en adultos. Consultado 8 ene. 2020. Disponible en https://www.who.int/elena/titles/potassium_cvd_adults/es/
- OMS (Organización Mundial de la Salud). s.f. Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud: fomento del consumo mundial de frutas y verduras. Consultado 20 feb. 2020. Disponible en <https://www.who.int/dietphysicalactivity/fruit/es/>
- Paltrinieri, G., Figuerola, F., Rojas, L. 1993. Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala (en línea). Roma, Italia, FAO. 190 p. Consultado 10 feb. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/x5062S/x5062S00.htm>
- Pao, S., Davis, C., Parish, M. 2000. Microscopic observation and processing validation of fruit sanitizing treatments for the enhanced microbiological safety of fresh orange juice. *Journal of food protection*. 64 (3): 310-314.
- Penteado, A., Eblen, B., Miller, A. 2004. Evidence of Salmonella internalization into fresh mangos during simulated postharvest insect disinfestation procedures. *Journal of Food Protection*. 67 (2): 181-184.
- PROCOMER (Institución Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica). 2017. Estadísticas de comercio exterior (en línea). San José, Costa Rica, PROCOMER. Consultado 9 feb. 2019. Disponible en https://procomer.com/downloads/estudios/estudio_estadistico_2017/Estadisticas2017.pdf

- Ramírez, M., Sáenz, M., Vargas, A. 2011. Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la secreción de látex por la corona de gajos recién conformados de frutos de banano. *Agronomía Costarricense* 35(1):1-14.
- Richards, G., Beuchat, L. 2004. Attachment of Salmonella Poona to cantaloupe rind and stem scar tissues as affected by temperature of fruits and inoculum. *Journal of food protection*. 67:1359-1364
- Sánchez, R. 2013. La química del color en los alimentos. *Química Viva* 12(3):234-246.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2006. *Fisiología vegetal*. Valencia, España, Universitat Jaume. 1338 p.
- Turner, A., Friedrich, L., Danyluk, M. 2016. Influence of temperature differential between tomatoes and postharvest water on *Salmonella* internalization. *Journal of food protection* 79 (6): 922-928.
- Vallejo, A. 2015. Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en plantas empacadoras de banano en Costa Rica. (en línea, sitio web). Consultado 22 ene. 2020. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6305/TFG_Metodologia_huell_a_agua_Plantas_Empacadoras_banano_CR_Lorena_Vallejo.pdf?sequence=1&isAllowed=y,
- Vallejo, A. 2018. Lineamientos para el diseño e implementación de la estrategia de producción de musáceas bajas en carbono, resilientes y adaptadas al cambio climático para Costa Rica. Banco interamericano de desenvolvimiento. San José, Costa Rica. 115 p.
- Vargas, A. 2014. Efecto del desmane intensivo sobre el desarrollo del racimo de banano. *Agronomía Mesoamericana* 25 (1): 85-98.
- Vargas, A., Watler, W., Morales, M., Vignola, R. 2017. Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de banano en Costa Rica. (en línea, sitio web). Consultado 19 ene. 2019. Disponible en: www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-Banano.pdf

- Villada, Y., Hormaza, A. 2015. Análisis simultáneo de la remoción de azul brillante y rojo 40 mediante espectrofotometría de derivadas. *Ingeniería y desarrollo* 33 (1): 38-58.
- Vindas, R., Ortíz, F., Ramírez, V., Cuenca, P: 2004. Genotoxicidad de tres plaguicidas utilizadas en la actividad bananera en Costa Rica (en línea, sitio web). Consultado 22 feb 2020. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442004000300022&script=sci_arttext
- Yang, T., Zhao, B., Hou, R., Zhang, Z., Kinchla, A., Clark, J., He, L. 2016. Evaluation of penetration of multiple classes of pesticides in fresh produce using surface-enhanced raman scattering mapping. *Journal of Food Science*. 81: T2891-T2901
- Zhou, B., Luo, Y., Nou, X., Yang, Y., Wu, Y., Wang, Q. 2013. Effects of postharvest handling conditions on internalization and growth of *Salmonella enterica* in Tomatoes. *Journal of food protection*. 77(3): 365-370.
- Zhuang, R. Y., and L. R. Beuchat. 1996. Effectiveness of trisodium phosphate for killing *Salmonella* Montevideo on tomatoes. *Lett. Appl. Microbiol.* 22(2) :97–100.