

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 pesticidas aplicados a la fruta de  
banano previo a su cosecha durante la etapa de remoción de látex (desleche)  
en empacadoras comerciales**

Elaborado por:

Wen Tan He  
B67113

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
2022

## 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:



M.Sc. Ruth de la Asunción Romero  
Presidente del tribunal



PhD. Jessie Usaga Barrientos  
Directora del proyecto



PhD. Óscar Acosta Montoya  
Asesor del proyecto



PhD. Maricruz Ramírez Sánchez  
Asesora del proyecto



PhD. Natalia Barboza Vargas  
Profesora designada

## Dedicatoria

A mis papás y a mi familia,  
por todos los sacrificios  
que me permitieron estar aquí,  
y por enseñarme el valor  
del esfuerzo y trabajo.

## **Agradecimientos**

A mis papás, por todos los sacrificios que han hecho para ayudarme a cumplir mis sueños y por todos los valores que me han inculcado que me convirtieron en la persona que soy. Gracias por creer en mí y por siempre haber velado por mi futuro.

A mis amigos, que me escucharon y acompañaron en las crisis, en los tropiezos y en las alegrías cuando todo salía bien. Gracias por ser un fundamento para mi paz mental cuando los problemas se sentían más grandes de lo que realmente eran.

A mi directora de tesis, la profe Jessie, gracias por la confianza, la oportunidad de realizar esta investigación y guiarme a lo largo del camino. Ha sido un reto donde he aprendido mucho más de lo que podía esperar de la carrera, y le agradezco que me haya permitido vivir esta experiencia.

Al profe Oscar, gracias por el tiempo que ameritó la guía y correcciones a lo largo del proyecto. Gracias por la paciencia con la cual me ayudó con los análisis estadísticos, y brindarme el reto de confiar en mi criterio científico.

A la profe Maricruz, gracias por brindarme su tiempo y experiencia profesional cada vez que me realizó correcciones. Gracias por haber aceptado ser mi profe consejera y haberme brindado su conocimiento de post-cosecha.

A los profesionales de CORBANA, don Sergio Laprade por todo el conocimiento que me brindó sobre el tema de bananos y agroquímicos, fue fundamental para el desarrollo del proyecto. Bismark y José Moscoso de la Finca San Pablo, por toda la ayuda y logística durante las visitas que realicé a Siquirres.

A don Walter, gracias por todas las manejadas desde las 6 de la mañana hacia Siquirres y por siempre ayudarme a jalar la hielera Heineken llena de bananos.

A los profesionales del CICA, don Mario y don Greivin, por siempre brindarme apoyo, consejos y conocimiento sobre los resultados que íbamos obteniendo. Gracias por permitirme acompañarlo y aprender sobre el procesamiento de las muestras y el análisis de estas.

Muchas gracias a todos los profesores de la ETA y del CITA que me ayudaron a lo largo de la carrera a desarrollarme en la profesional que soy.

## Índice general

<b>Tribunal Examinador</b> .....	<b>1</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>2</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>3</b>
<b>Índice general</b> .....	<b>4</b>
<b>Índice de cuadros</b> .....	<b>6</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>7</b>
<b>Abreviaturas</b> .....	<b>8</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Justificación</b> .....	<b>12</b>
<b>2. Objetivos</b> .....	<b>14</b>
2.1. <i>Objetivo general</i> .....	14
2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	14
<b>3. Marco teórico</b> .....	<b>14</b>
3.1. <i>Industria bananera internacional</i> .....	14
3.2. <i>Industria bananera costarricense</i> .....	15
3.3. <i>Proceso de producción bananero</i> .....	15
3.4. <i>Uso de agroquímicos en el cultivo de banano</i> .....	16
3.4.1. <i>Peligros químicos: Agroquímicos</i> .....	18
3.4.2. <i>Valores de referencia y orientativos de sustancias químicas</i> .....	18
3.4.3. <i>Evaluación de riesgos</i> .....	20
3.5. <i>Cosecha y post-cosecha del banano</i> .....	21
3.5.1. <i>Lavado de la fruta: Remoción de látex (desleche)</i> .....	22
3.6. <i>Infiltración de agroquímicos durante el desleche</i> .....	24
<b>4. Materiales y métodos</b> .....	<b>25</b>
4.1. <i>Identificación de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano.</i> .....	25

4.1.1.	Identificación de peligros .....	25
4.1.2.	Caracterización del peligro .....	26
4.1.3.	Evaluación de la exposición .....	27
4.1.4.	Caracterización de riesgos .....	29
4.1.5.	Probabilidad de presencia de los plaguicidas .....	30
4.1.6.	Ponderación final .....	31
4.2.	<i>Evaluación de la concentración de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano, en cáscara de banano y el potencial de infiltración en la pulpa de la fruta, durante la operación de desleche de la fruta bajo las condiciones de procesamiento de la Finca San Pablo.....</i>	31
4.2.1.	Muestras de banano .....	31
4.2.2.	Procesamiento de la muestra.....	32
4.2.3.	Extracción de residuos .....	32
4.2.4.	Análisis de residuos .....	33
4.2.5.	Análisis estadístico.....	35
<b>5.</b>	<b>Resultados y discusión.....</b>	<b>35</b>
5.1.	<i>Identificación de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano. ....</i>	35
5.2.	<i>Evaluación de la concentración de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano, en cáscara de banano y el potencial de infiltración en la pulpa de la fruta, durante la operación de desleche de la fruta bajo las condiciones de procesamiento de la Finca San Pablo. ....</i>	49
<b>6.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>56</b>
<b>7.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>56</b>

## Índice de cuadros

<b>Cuadro I.</b> Programación de temperatura del inyector del cromatógrafo de gases utilizado para el análisis de agroquímicos en las muestras de pulpa y cáscara de banano. ....	33
<b>Cuadro II.</b> Ordenamiento ascendente de los agroquímicos y su clasificación (acción biocida), autorizados por el Servicio Fitosanitario del Estado para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje ingesta diaria admisible (IDA) calculado.....	36
<b>Cuadro III.</b> Ordenamiento ascendente de los agroquímicos y su clasificación (acción biocida), autorizados por el Servicio Fitosanitario del Estado para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje dosis de referencia aguda del agroquímico (ARfD) calculado.....	41
<b>Cuadro IV.</b> Agroquímicos autorizados por el Servicio Fitosanitario del Estado, de mayor probabilidad de presencia en banano, con sus respectivas ponderaciones según los porcentajes de ingesta diaria admisible (IDA) y dosis de referencia aguda (ARfD) de los agroquímicos.....	46
<b>Cuadro V.</b> Agroquímicos autorizados por el Servicio Fitosanitario del Estado, de mayor probabilidad de presencia en fruta de banano, presentados en orden descendente según su severidad como peligro químico. ....	47
<b>Cuadro VI.</b> Concentración de bifentrina y piriproxifén en las muestras compuestas de pulpa de banano verde con 13 semanas de cosecha, recolectadas antes y después del desleche, de la Finca San Pablo. ....	50
<b>Cuadro VII.</b> Límites máximos de residuos (LMR) de bifentrina y piriproxifén permitidos en la pulpa de banano, establecidos por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica.....	51
<b>Cuadro VIII.</b> Concentración de bifentrina y piriproxifén en las muestras compuestas de cáscara de banano verde con 13 semanas de cosecha, recolectadas antes y después del desleche, de la Finca San Pablo. ....	52
<b>Cuadro IX.</b> Valores promedios de temperatura interna del banano antes del desleche y la temperatura del agua de los tanques de desleche en la planta de procesamiento de la Finca San Pablo, obtenidos durante la recolección de clústeres de bananos verdes con 13 semanas de cosecha. ....	53
<b>Cuadro X.</b> Valores de tiempo de duración de la operación de desleche en los tanques de la planta de procesamiento de la Finca San Pablo, obtenidos durante la recolección de clústeres de bananos verdes con 13 semanas de cosecha.....	54
<b>Cuadro XI.</b> Sustancias agroquímicas detectadas en la pulpa y cáscara de muestras de banano, y agua de los tanques de desleche recolectados de la planta empacadora de la Finca San Pablo.....	55
<b>Cuadro XII.</b> Límites máximos de residuos (LMR) de azoxistrobina y tiabendazol permitidos en la pulpa de banano, establecidos por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica.....	55

## **Índice de figuras**

<b>Figura 1.</b> Tanques de lavado o desleche de la finca San Pablo, CORBANA. ....	23
<b>Figura 2.</b> Estructura química del insecticida y acaricida bifentrina. ....	48
<b>Figura 3.</b> Estructura química del insecticida piriproxifén. ....	48



## Abreviaturas

<b>ANDEVA</b>	Análisis de Varianza
<b>AOAC</b>	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
<b>ARfD</b>	Dosis aguda de referencia (mg/kg pc/día)
<b>BfR</b>	Instituto Federal de la Evaluación de Riesgos
<b>CICA</b>	Centro de Investigación de Contaminación Ambiental
<b>CORBANA</b>	Corporación Bananera Nacional
<b>EC</b>	Comisión Europea
<b>EFSA</b>	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
<b>EPA</b>	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
<b>F</b>	Consumo diario de alimento (kg/día)
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>FSANZ</b>	Normas Alimentarias de Australia y Nueva Zelanda
<b>FSCJ</b>	<i>Food Safety Commission of Japan</i>
<b>HR</b>	Residuo más alto en la porción comestible cruda de la muestra encontrada en los ensayos supervisados en campo (mg/kg)
<b>HR-P</b>	Residuo más alto hallado en el producto procesado (mg/kg)
<b>IDA</b>	Ingesta diaria admisible (mg/kg pc/día)
<b>IDT</b>	Ingesta diaria tolerable
<b>IDTMN</b>	Ingesta diaria teórica máxima nacional (mg/día)
<b>IRAC</b>	Comité de Acción contra la Resistencia a Insecticidas
<b>IRET</b>	Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas
<b>IUPAC</b>	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
<b>JACC</b>	<i>Japan Analytical Chemistry Consultants</i>
<b>JMPR</b>	Reunión Conjunta sobre Residuos de Plaguicidas
<b>LAPCO</b>	Laboratorio de Análisis de Plaguicidas y Compuestos
<b>LMR</b>	Límite máximo de residuo (mg/kg)
<b>LP</b>	Porción más alta reportada (percentil 97,5 de los consumidores) (kg/día)
<b>MRM</b>	Monitorización de Reacción Múltiple

<b>NESTI</b>	Estimación nacional de la ingesta a corto plazo (mg/kg pc/día)
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>ORST</b>	<i>Oregon State University</i>
<b>OSHA</b>	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
<b>PAHO</b>	Organización Panamericana de la Salud
<b>PAM</b>	Pesticide Analytical Manual
<b>Pc</b>	Peso corporal (kg)
<b>PPDB</b>	Base de Datos de Propiedades de los Plaguicidas
<b>PTFE</b>	Politetrafluoroetileno
<b>QuEChERS</b>	<i>Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe</i>
<b>SFE</b>	Servicio Fitosanitario del Estado
<b>STMR</b>	Valor medio de residuo de ensayos supervisados
<b>U</b>	Porción comestible del alimento (kg)
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>V</b>	Factor de variabilidad

## Resumen

Tan He, Wen Fang

### **Evaluación del potencial de infiltración de pesticidas aplicados a la fruta de banano previo a su cosecha durante la etapa de remoción de látex (desleche) en empacadoras comerciales**

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

Tan He, W., 2022.

65 h.: 3 il. – 76 refs.

El objetivo del presente estudio consistió en evaluar el efecto de la operación de eliminación de látex por inmersión (desleche), sobre la concentración en cáscara de banano y el potencial de infiltración en la pulpa de la fruta, de los dos pesticidas con mayor probabilidad y severidad de ocurrencia como peligros químicos en banano. Se identificaron los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos utilizados en las plantaciones de banano de Costa Rica. Se evaluó la concentración de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano, en cáscara de banano y el potencial de infiltración en la pulpa de la fruta, durante la operación de desleche de la fruta bajo las condiciones de procesamiento de la Finca San Pablo.

Se determinaron los dos pesticidas con mayor probabilidad y severidad de ocurrencia en bananos costarricenses mediante una evaluación de riesgos químicos modificada. Para la identificación de peligros, se recopiló la lista de agroquímicos permitidos por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano y sus respectivos Límites Máximos de Residuos (LMR). Para la caracterización de peligro de cada sustancia química, se extrajo la ingesta diaria admisible (IDA) y las dosis agudas de referencia (ARfD, por sus siglas en inglés) a partir de bases de datos internacionales. Se utilizó la estimación de la ingesta diaria teórica máxima nacional (IDTMN) y estimación nacional de la ingesta a corto plazo (NESTI, por sus siglas en inglés) para evaluar la exposición crónica y aguda a cada uno de los compuestos, respectivamente. La caracterización del riesgo dietario crónico de los residuos de los plaguicidas se realizó entre el IDTMN y el IDA mediante el cálculo del porcentaje IDA. Análogamente, se caracterizó el riesgo dietario agudo entre el NESTI y el ARfD mediante el cálculo del porcentaje ARfD. En conjunto con la ayuda de profesionales de Corporación Bananera Nacional

(CORBANA), se determinó que la bifentrina y el piriproxifén son los dos pesticidas de mayor probabilidad y severidad de ocurrencia en bananos.

Se determinó la concentración de bifentrina y piriproxifén en la cáscara de banano, y su potencial de infiltración en la pulpa de la fruta mediante el método *quick, easy, cheap, effective, rugged and safe* (QuEChERS). Las muestras compuestas analizadas tenían 13 semanas de cosecha, y para cada repetición, se recopiló un total de 3 clústeres de 5 – 7 bananos antes del desleche y 3 clústeres de 5 – 7 bananos después del desleche. Durante este estudio, se midió la temperatura interna del banano antes del desleche y la temperatura del agua de los tanques de desleche. No se encontró infiltración de bifentrina y piriproxifén en la pulpa de la fruta del banano bajo las condiciones de procesamiento de la Finca San Pablo, pero se identificó que la operación de desleche, bajo las condiciones de proceso de la misma planta empaedora, no disminuye la cantidad de bifentrina y piriproxifén en la cáscara de banano.

BANANO, BIFENTRINA, INMERSIÓN, INFILTRACIÓN, LAVADO, PIRIPROXIFÉN

Ph.D. Jessie Usaga Barrientos  
Escuela Tecnología de Alimentos

## 1. Justificación

El banano (*Musa* sp.) es consumido por más de 400 millones de personas a lo largo de todo el mundo con un total de 116,2 millones de toneladas de fruta ingerida para el año 2017, y una expectativa de aumento de consumo de 136 millones de toneladas para el año 2025 (Voorra *et al.*, 2020). Para el año 2020 se estimó la exportación de 22,2 millones de toneladas de bananos y Costa Rica se encuentra como el primer país centroamericano exportador con un aporte de alrededor de 2,6 millones de toneladas anuales (FAO, 2021b). Dado lo anterior, es evidente la importancia económica nacional e internacional del banano, y la necesidad de comercializar fruta, que además de inocua, tenga una calidad óptima para todos los consumidores.

Dentro de las preocupaciones en el tema de inocuidad que existen en la producción bananera, se encuentra la posibilidad de infiltración de compuestos químicos o microorganismos patógenos hacia la pulpa de banano durante el proceso de desleche (operación de inmersión en agua para eliminación del látex de la fruta). En estudios no publicados, se evaluó el fenómeno de infiltración de agua con tinta (Azofeifa, 2020) y *Escherichia coli* ATCC 25922 (Valverde, 2020) en la pulpa de banano durante la operación de desleche. En estas investigaciones, no se reportó evidencia de la infiltración del microorganismo inoculado durante la operación lo cual concuerda en análisis realizado por Girón *et al.*, (2019), en el cual tampoco se evidenció la infiltración de *E. coli* durante la inmersión postcosecha de la fruta. No obstante, en este último informe se indica que los periodos de inmersión superiores a 30 minutos, en combinación con temperaturas favorables, pueden cambiar la permeabilidad de la cáscara de banano y aumentar la susceptibilidad a la entrada del microorganismo. En adición a lo anterior, Azofeifa (2020) encontró que la tinta diluida en agua sí se logra infiltrar en el banano durante el desleche, lo cual genera la preocupación de la posible infiltración de algunos compuestos químicos solubles en agua dentro de la pulpa de la fruta que puedan comprometer la inocuidad del alimento. La infiltración de compuestos químicos en la pulpa del banano puede suponer un peligro químico para los consumidores debido a la imposibilidad de remoción previo al consumo de la fruta.

Con ello, cabe destacar el uso extensivo de distintos químicos, específicamente agroquímicos, en la industria bananera y la presencia de dichas sustancias activas en la fruta de banano. En estudios relacionados a la presencia de agroquímicos en banano, Hernández-Borges *et al.* (2009) encontraron residuos del insecticida clorpirifos en cantidades entre 0,07–0,12 mg/kg en pulpa de banano y 0,87 mg/kg en las cáscaras, donde las muestras provenían de las Islas Canarias. En otra investigación, Plácido *et al.* (2013) encontraron residuos y derivados del insecticida

metilcarbamato de 3,5-dimetil-4-(metiltio)fenilo, comúnmente conocido como Metiocarb, en pulpas de banano y en banano entero. Además, se encontró que las cantidades totales de Metiocarb y sus derivados se presentaban entre 0,041 – 0,093 mg/kg en la pulpa de la fruta. Por otro lado, en un análisis realizado en Grecia, se encontraron hasta 13 tipos de pesticidas diferentes en la pulpa de la fruta, siendo los organofosfatos el grupo principal (Christia *et al.*, 2015).

Considerando que la literatura indica que la pulpa de banano efectivamente puede contener residuos de agroquímicos, en la presente investigación se estudió el efecto que puede tener la operación de desleche en el potencial de infiltración de pesticidas aplicados en campo en la fruta y su aporte al contenido final de residuos de agroquímicos en la cáscara del banano. Dicha operación es de interés dado que consiste en la inmersión de los clústeres o manos de banano dentro de una tina o tanque con agua con el fin de eliminar el látex (Sanmartín, 2018), condiciones que podrían favorecer el ingreso de los compuestos a las secciones comestible de la fruta. Se puede mencionar el diferencial de temperatura entre la fruta y el agua y el tiempo de inmersión de la fruta en el agua como factores contribuyentes a la infiltración de agua dentro de la pulpa (Macarisin *et al.*, 2017; FAO, 2018), implicando la posible entrada de agroquímicos en caso de estar presentes en el exterior del fruto.

En cuanto a la infiltración de productos agroquímicos dentro de frutas y vegetales, los estudios científicos publicados sobre el tema son muy limitados, lo cual aumenta la relevancia e impacto de investigar al respecto. En un análisis realizado por Yang *et al.*, (2017), donde se comparó la efectividad de distintos métodos de lavado comerciales y domésticos en la remoción de residuos de pesticidas en las cáscaras y pulpa de manzanas, se encontró que al utilizar un mismo método de lavado con agua con bicarbonato de sodio, el tiabendazol (pesticida sistémico) se internalizó cuatro veces más que el Fosmet (pesticida no sistémico) dentro de las frutas, pero a la fecha, no se encuentran investigaciones similares ejecutadas en la fruta de interés de este proyecto y aplicando las condiciones industriales comunes en el sector bananero nacional. Considerando la limitada evidencia científica sobre la infiltración de agroquímicos en frutas y vegetales, particularmente en banano, y la importancia económica y social de este cultivo para Costa Rica, se considera de extrema relevancia la evaluación realizada sobre el potencial de infiltración de pesticidas aplicados a la fruta previo a su cosecha durante el proceso de desleche del banano. Dado que el banano representa la fruta más comercializada globalmente, dicha información beneficiaría a un número importante de consumidores a nivel mundial, donde se podrá ofrecer recomendaciones técnicas puntuales para la prevención de los peligros químicos identificados (Dawson, 2016).

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de la operación de eliminación de látex por inmersión (desleche), sobre la concentración en cáscara de banano y el potencial de infiltración en la pulpa de la fruta, de los dos pesticidas con mayor probabilidad y severidad de ocurrencia como peligros químicos en esta fruta.

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Identificar los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos utilizados en las plantaciones de banano de Costa Rica para determinar su potencial de infiltración durante el desleche de la fruta.

2. Evaluar la concentración de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano, en cáscara de banano y el potencial de infiltración en la pulpa de la fruta, durante la operación de desleche de la fruta bajo las condiciones de procesamiento de la Finca San Pablo.

## **3. Marco teórico**

### **3.1. Industria bananera internacional**

El banano se encuentra dentro del grupo de frutas más comercializadas internacionalmente. Así, para el periodo de años del 2017–2019, se estima una producción promedio de 116 millones de toneladas mundialmente, teniendo un valor de 31 billones de dólares estadounidenses. Asimismo, se pronostica el aumento de la demanda de bananos debido al cambio de hábitos de consumo, donde prevalece una dieta más sana y nutritiva. Por lo cual, para el año 2029, se proyecta una producción mundial de 132,6 millones de toneladas de banano (FAO, 2020).

El banano se cultiva en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo, donde el 44 % de la producción global se ubica en Asia, el 25 % en África, y el 22 % en Centroamérica y América del Sur (Dawson, 2016). Respecto a la exportación global, se aproxima un valor récord de 22,2 millones de toneladas para el año 2020, figurando un crecimiento de 1,7 % en comparación al año 2019. Con ello, los países de Latinoamérica y del Caribe son las regiones que lideran la exportación mundial del banano. Para dichas regiones, se estima un total de 17,1 millones de toneladas de banano exportado (FAO, 2021a).

La exportación de bananos representa el 15 % de la producción mundial donde la variedad más exportada es la Cavendish (FAO, 2020) que representa alrededor del 95 % del producto comercializado. El fruto se caracteriza por su resistencia a los efectos del transporte global, y el comercio enfocado en una variedad permite abaratar costos de recolección, empaque y transporte. Aunado a ello, el cultivo y la cosecha se puede realizar durante todo al año, donde su recolección se realiza a las 10 – 13 semanas desde el embolse de la fruta (FAO, 2022; FAO, 2016; Soto, 2017).

### **3.2. Industria bananera costarricense**

Costa Rica tiene una productividad promedio de 2 325 cajas de banano por hectárea, comprendiendo un aproximado de 43 mil hectáreas de área sembrada. La actividad bananera nacional representa cerca del 29 % de exportaciones del sector agrícola. Con ello, el cultivo de banano generó aproximadamente 40 000 empleos directos en el año 2019, destacando que brinda trabajo a lo largo del año debido a la necesidad de mantenimiento semanal de las plantaciones. Además, el sector bananero genera alrededor de 100 000 empleos indirectos al presentar la necesidad de áreas complementarias tales como comercio, fábricas de insumos y transporte (CORBANA, 2020).

Para el año 2020, Costa Rica se encuentra como el primer país centroamericano exportador con un aporte de alrededor de 2,6 millones de toneladas anuales (FAO, 2021a). Dichas exportaciones representan cerca de 1 000 millones de dólares estadounidenses de las divisas anuales del país, donde los principales destinos de exportación son el Reino Unido y los Estados Unidos, los cuales corresponden al 53,2 y 32,2 % de la producción bananera de exportación, respectivamente (CORBANA 2020).

### **3.3. Proceso de producción bananero**

Las condiciones de la producción bananera serán influyentes en la calidad e inocuidad de las frutas cosechadas. Se comienza con la preparación del terreno de acuerdo con el tipo de suelo y la humedad presente (Rosales *et al.*, 2010), esto es primordial para alcanzar mayores rendimientos y se puede realizar de manera tradicional o mecanizada. Los suelos se deben nivelar y arar con el fin de reducir la compactación y mejorar la infiltración. Asimismo, es importante la creación de canales para eliminar encharcamientos (Vargas *et al.*, 2017).

Previo a la siembra se debe asegurar la selección de un cultivar libre de enfermedades y adaptable a las condiciones edafoclimáticas de la zona. Seguido, la selección del material de plantación también influye en la calidad del fruto



obtenido. Se recomienda el cultivo de tejidos dado que es un método que permite obtener plantas de bananos libres de enfermedades y de mayor homogeneidad. Asimismo, las semillas utilizadas deben estar libres de nemátodos, provenientes de terrenos libres de patógenos (hongos y bacterias), y se recomienda la aplicación de productos químicos preventivos y curativos para prevenir el esparcimiento de problemas fitosanitarios (Vargas *et al.* 2017).

Posterior, se realizan las prácticas de deshije y deshoja. El primero corresponde a la eliminación de hijos (plantas improductivas) para mantener el ordenamiento lineal de las plantas. Mientras que el deshoje corresponde a la eliminación de hojas secas, dañadas o enfermas que puedan servir como medio de propagación de enfermedades o patógenos, por ejemplo, la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) (Rosales *et al.*, 2010; Vargas *et al.*, 2017).

Se debe tener uniformidad en el tamaño y grosor de bananos cosechados, para ello se realizan prácticas tales como el desflore, desmane y embolse. El desflore se refiere a la eliminación temprana de las estructuras florales adheridas al dedo del banano. El desmane consiste en la eliminación de las últimas manos a partir de la última mano falsa o primera mano incompleta de arriba hacia abajo, y se deja un dedo llamado espuela. Luego se procede a colocar bolsas especiales de polietileno impregnadas con insecticidas para proteger la fruta de daños físicos y crear un microclima óptimo para la formación y llenado del fruto. También es común la colocación de una cinta plástica de distintos colores para señalar la edad del racimo (Rosales *et al.*, 2010; Vargas *et al.*, 2017).

### **3.4. Uso de agroquímicos en el cultivo de banano**

El cultivo de banano utiliza distintos agroquímicos con distintas funciones, entre ellos se destacan los fertilizantes, y sustancias para el manejo de malezas, enfermedades y plagas. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), su uso en el cultivo de bananos para el control de plagas y enfermedades resulta ser extenso debido a que los cultivos se concentran en zonas tropicales y se exponen a infestaciones (FAO, 2017).

Se utilizan fertilizantes con el fin de brindar los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta de banano. Generalmente se utilizan entre 60 – 120 gramos de fertilizante por planta, esto depende del estado fenológico del cultivo y se recomienda el uso de dosis más pequeñas, pero con mayor frecuencia (Vargas *et al.*, 2017).

Las malezas compiten con las plantas de banano en la absorción de nutrientes, la disponibilidad de agua y luz necesaria para suplir el proceso de fotosíntesis. Además, pueden alojar plagas y enfermedades. Las plantaciones de banano son mayormente afectadas por gramíneas (*Paspalum paniculatum*, *Eleusine indica*, *Digitaria horizontalis*), dicotiledóneas (*Borreria* sp, *Acalipha* sp, *Galinsoga* sp, *Phyllanthus niruri* y *Drymaria cordata*) ciperáceas (*Cyperus diffusus*, *C. flavus* y *C. luzulae*) y plantas trepadoras como *Ipomoea* sp. (Vargas *et al.*, 2017). Para control de malezas, se ha utilizado ureas sustituidas o triazinas, herbicidas post-emergentes, chapias, coberturas y productos orgánicos (Vargas *et al.*, 2017).

Las enfermedades de mayor control son aquellas provocadas por los hongos *Mycosphaerella fijiensis* y *Fusarium oxysporum* f. cubense, los cuales ocasionan sigatoka negra y marchitez, respectivamente (Vargas *et al.*, 2017). La sigatoka negra disminuye el área foliar fotosintética, ocasionando frutos de menor peso con respecto a plantas sanas (Álvarez *et al.*, 2013). Mientras que el marchitamiento proviene del bloqueo del sistema vascular de la planta, alterando la absorción y movimiento de agua. Por un lado, para combatir *M. fijiensis* se aplica un producto químico de forma aérea con hasta 28-52 ciclos del fungicida debido a que las condiciones climáticas tropicales y las ubicaciones de los cultivos dificultan el control de la enfermedad. Por otro lado, la marchitez no implica el uso de productos químicos directos, sino que se opta por medidas fitosanitarias preventivas, tales como utilizar herramientas desinfectadas, control de plagas como el picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), restricción de personas dentro de las plantaciones, entre otras (Vargas *et al.*, 2017; SFE, 2017a).

El control del picudo negro es particularmente relevante para evitar la propagación de enfermedades entre plantas infectadas y sanas. Así, se ha combatido usualmente con insecticidas de manera indiscriminada, lo cual ha generado la resistencia a ciertas moléculas por parte del insecto causante de la enfermedad, la proliferación de plagas secundarias e incluso el decremento de insectos beneficiosos de las zonas de aplicación (Amador *et al.*, 2015).

También se suele controlar otras plagas en banano tales como la cochinilla (*Pseudococcus elisae*), escama (*Diaspis boisduvallii*) y nemátodos (*Radophulus similis*) mediante la aplicación de clorpirifos, bupofrezina y nematicidas granulados o de inyección, respectivamente (Vargas *et al.*, 2017; Loo, 2016). Adicionalmente, en el estudio realizado por Diepens *et al.* (2014) sobre el efecto del uso de pesticidas en las plantaciones de banano y piña en los ecosistemas acuáticos de Costa Rica, se indica que la mayor cantidad de pesticidas encontrados en banano pertenecen al grupo de los fungicidas, seguidos de los insecticidas, y de último, los herbicidas.

Las bolsas de polietileno corresponden a uno de los métodos de aplicación de agroquímicos en la industria bananera. Estas son impregnadas con insecticidas para el control de plagas, dentro de las cuales se puede mencionar la cochinilla harinosa, escamas, trips de la flor, gusano basurero, áfidos y tortuguilla (Grupo Olefinas, 2020). Dicho embolse se realiza desde el momento de la inflorescencia hasta su cosecha. Se ha demostrado que cuánto más precozmente se proteja el fruto, existe una mayor efectividad en el control de ciertas plagas (Scribano *et al.*, 2011).

### **3.4.1. Peligros químicos: Agroquímicos**

La Organización Panamericana de la Salud (PAHO, por sus siglas en inglés) define a los peligros químicos como los compuestos químicos presentes naturalmente o adicionados durante las etapas de producción del alimento, que pueden ser carcinogénicos o causar toxicidad, mutagenicidad, enfermedades severas e incluso la muerte, si se consumen en cantidades peligrosas. Dentro de los principales peligros químicos de interés en productos frescos se encuentran enlistados los pesticidas químicos (PAHO, 2020).

La Reunión Conjunta sobre Residuos de Plaguicidas (JMPR, por sus siglas en inglés) es el órgano compuesto de expertos de la FAO y la OMS cuyo fin es conciliar los requisitos y la evaluación de riesgos de los residuos de plaguicidas. El organismo realiza reuniones anuales desde 1963, donde se evalúa científicamente los residuos de plaguicidas en los alimentos, y se brinda asesoramiento sobre los niveles aceptables de residuos de plaguicidas en los alimentos comercializados internacionalmente (OMS, 2021).

Entre otras funciones, la JMPR se encarga de revisar los datos toxicológicos de los plaguicidas y de estimar las ingestas diarias admisibles (IDA), las dosis agudas de referencia (ARfD, por sus siglas en inglés) y de caracterizar otros criterios toxicológicos tales como los límites máximos de residuos, los valores medios de residuos de ensayos supervisados (STMR, por sus siglas en inglés) y los residuos máximos (HR) en alimentos y piensos (OMS 2021).

### **3.4.2. Valores de referencia y orientativos de sustancias químicas**

#### **3.4.2.1. Límite máximo de residuos**

Según la FAO (2021b), un límite máximo de residuos (LMR) corresponde a la cantidad máxima de residuos de un compuesto agroquímico permitido legalmente en alimentos, tanto en el interior del producto, así como en la superficie de estos. En Costa Rica, se adoptan los LMR establecidos por el *Codex Alimentarius*, ente

encargado de establecer los valores máximos de residuos en la Reunión Conjunta FAO/OMS sobre residuos de plaguicidas. En la ausencia de LMR establecidos por el *Codex*, se procede a utilizar las cantidades de mayor valor nominal establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y la Unión Europea (SFE 2021a; SFE 2017b).

#### **3.4.2.2. Ingesta diaria admisible, ingesta diaria teórica máxima nacional y %IDA**

La ingesta diaria admisible (IDA) corresponde a una estimación de la cantidad de sustancia química presente en alimentos o el agua, que se puede consumir diariamente por unidad de peso corporal durante la vida de un organismo, sin que presente un riesgo sanitario. Normalmente se expresa como miligramos del compuesto entre kilogramos del peso corporal por día (OMS, 2017a). Así, la toxicidad crónica se refiere a los efectos tóxicos observados cuando se tiene exposiciones frecuentes a una sustancia, o exposiciones agudas que resultan en efectos crónicos a largo plazo. Los efectos pueden retrasarse por periodos extensos (por ejemplo, años), y la mayoría de veces, son irreversibles (OSHA, 2001).

La estimación del riesgo dietario crónico de la ingesta de un agroquímico en determinado alimento, se puede identificar mediante el cálculo de la ingesta diaria teórica máxima nacional (IDTMN). Por un lado, la IDTMN es una sobreestimación de la ingesta de residuos dado que la exposición diaria perpetua a los residuos -al nivel de LMR- es poco probable. Sin embargo, la comparación de la IDTMN con los valores de IDA permite la caracterización de un riesgo dietario crónico (FAO, 2019).

La comparación de los valores de IDTMN con la IDA se realiza mediante el cálculo del parámetro %IDA, considerando el peso corporal del grupo en estudio. Un valor de IDTMN inferior a la IDA (<100 %) significa un riesgo muy improbable para el consumidor, y no existe necesidad de realizar una evaluación adicional del riesgo alimentario. No obstante, %IDA superior al 100 %, necesita la incorporación de factores como porciones comestibles, efectos del procesamiento, cocción, y entre otros, para refinar la evaluación del riesgo (Maggioni, 2018; FAO, 2019).

#### **3.4.2.3. Dosis de referencia aguda, estimación nacional de la ingesta a corto plazo y %ARfD**

La dosis de referencia aguda (ARfD, por sus siglas en inglés) corresponde a la cantidad de sustancia activa, presente en el alimento o el agua, que puede ser ingerida en 24 horas o menos por unidad de peso corporal, sin presentar un riesgo sanitario al consumidor. Normalmente se expresa como miligramo del compuesto químico sobre el peso corporal del grupo en estudio por día (OMS, 2017a). La

toxicidad aguda se considera producto de una exposición única de corta duración, donde los efectos tóxicos aparecen inmediatamente y suelen ser reversibles (OSHA, 2001).

La estimación del riesgo dietario agudo de la ingesta de un agroquímico en determinada matriz alimentaria, se puede identificar mediante el cálculo de la estimación nacional de la ingesta a corto plazo (NESTI, por sus siglas en inglés). El valor de NESTI se compara con las ARfD establecidas para la caracterización de un riesgo dietario agudo. La comparación se realiza mediante el cálculo del parámetro %ARfD, donde un porcentaje inferior a la ARfD (<100 %) se categoriza como un riesgo aceptable para el consumidor (Maggioni, 2018; FAO, 2019).

### **3.4.3. Evaluación de riesgos**

La evaluación de riesgos consiste en análisis científicos -cuantitativos o cualitativos- de la probabilidad de generación de daños relacionados a un determinado organismo dada la exposición a un producto químico. Esto incluye la identificación, recopilación e integración de información pertinente a los peligros que presenta a la salud una sustancia química y la exposición humana, así como las relaciones entre exposición, dosis y efectos adversos (OMS, 2017a).

Para ello, se utilizan métodos y técnicas aplicables a la evaluación de peligros, exposición y daños ocasionados por los productos químicos. El proceso de evaluación de riesgos incluye (OMS, 2017a):

- I. Identificación de peligros
- II. Caracterización del peligro
- III. Evaluación de la exposición
- IV. Caracterización de riesgos

#### **3.4.3.1. Identificación de peligros**

En esta primera etapa, se identifica el peligro químico específico y se determina si la exposición a dicha sustancia tiene potencial dañino para la salud humana. Esto implica establecer la identidad del compuesto de interés y conocer si las organizaciones internacionales han considerado o consideran la peligrosidad del agroquímico en este caso. El peligro potencial del producto químico se determina mediante los datos científicos, tales como datos provenientes de estudios toxicológicos, epidemiológicos, estructura o actividad. Así, se debe brindar la respuesta a dos preguntas: 1) ¿Se conoce la identidad del compuesto químico? y 2) ¿La sustancia activa es potencialmente peligrosa para el ser humano? (OMS, 2017a).

### **3.4.3.2. Caracterización del peligro**

Se realiza una descripción cuantitativa o cualitativa de las propiedades inherentes, de las sustancias químicas que tengan el potencial de generar efectos adversos en la salud de los consumidores. Con ello, se identifica los valores de dosis-respuesta de referencia o valores orientativos disponibles internacionalmente. Cabe mencionar que los valores de referencia deben ser adecuados para la situación específica del estudio, donde se considera la tasa de exposición correspondiente a la población consumidora o expuesta al producto. Se puede mencionar valores orientativos comúnmente utilizados tales como la ingesta diaria tolerable (IDT) o ingesta diaria admisible (IDA) (OMS, 2017a).

### **3.4.3.3. Evaluación de la exposición**

La evaluación de la exposición responde a la determinación de las distintas maneras en las que la sustancia activa puede ingresar o estar en contacto con los seres humanos. Algunas rutas de exposición comprenden el aire (inhalación, cutánea), suelo y agua (ingesta, cutánea), productos de consumo (ingesta, inhalación, cutánea), y alimentos y bebidas (ingesta). Además, se debe establecer la duración probable de la exposición y la medición más adecuada para estimar dicho periodo de tiempo. Se puede destacar periodos de corto, mediano y largo plazo, donde la medición corresponde a valores expresados en tasa de exposición (mg sustancia química/kg de peso corporal) y/o concentración de exposición (mg sustancia química/kg alimento) comparables con las cantidades de referencia u orientativas (OMS 2017a).

### **3.4.3.4. Caracterización de riesgos**

En la última etapa, correspondiente a la caracterización de riesgos, se realiza una comparación de los valores de exposición estimados contra los valores de referencia previamente identificados. La caracterización del riesgo brinda estimaciones del riesgo potencial para la salud humana bajo las condiciones estudiadas o escogidos de la exposición. Por ello, se debe incluir los supuestos utilizados, la relevancia y magnitud del riesgo, poblaciones o subpoblaciones susceptibles, entre otros. Finalmente, el informe de riesgos, cualitativo o cuantitativo, puede resultar importante para la toma de decisiones en la gestión de riesgos (Maggioni, 2018; OMS, 2017a).

## **3.5. Cosecha y post-cosecha del banano**

Los bananos son cosechados verdes con el fin que lleguen a los mercados de exportación con un color verde y frescos. El encintado, previamente mencionado,

ayuda la programación de los tiempos de cosecha. Usualmente, el tiempo de duración entre el embolse y la recolecta consta de 10 – 13 semanas<sup>1</sup>. En conjunto, los racimos de banano deben cumplir con requerimientos físicos de calidad, tales como estar libres de maltratos físicos o daño bacteriano, no provenientes de zonas inundadas y alcanzar el grosor de calibración. El grosor se determina con el dedo central de la segunda mano del racimo (Rojas *et al.*, 2007; Vargas *et al.*, 2017).

Los racimos de fruta son luego transportados con ayuda de cables vías o cablecarriles hasta el patio de recibo. En dicho transporte, se suele colocar esponjas entre las manos de banano con el fin de evitar el maltrato de los dedos. Previo al recibo se realiza un lavado por aspersion de la fruta y se realiza una inspección para asegurar el rechazo de banano no conforme. Entre las deficiencias se puede mencionar *speckling* severo, fruta pobre, mancha rojas, daño de insecto, edad no autorizada, suciedad, pudrición, cuello roto, quema de sol, cicatriz severa. Durante el tiempo de estadía de los racimos en el patio, se remueven las bolsas plásticas, así como los residuos florales (Soto, 2017; Rojas *et al.*, 2007).

Seguido, se procede al desmane, el cual consiste en separar las manos del raquis o vástago central del racimo hasta llegar a clústeres de 5 – 11 dedos de banano. La operación se realiza en pilas con flujo constante de agua limpia y con la ayuda de cuchillos curvos o espátulas de acero especiales. Adicionalmente, se realiza un corte de las coronas para obtener una superficie plana en esta, y se debe procurar eliminar la menor cantidad posible de corona para evitar falsear los dedos (Soto, 2017).

Posteriormente, se realiza el lavado de la fruta seleccionada y separada en clústeres en tanques con el fin de eliminar suciedades y el látex derramado proveniente de los cortes realizados (Soto 2017). Una vez realizado el lavado, se procede a las líneas de empaque donde se aplican los tratamientos químicos post-cosecha. Entre las sustancias, se mencionan los fungicidas tiabendazol, imazalil y/o azoxistrobina, retardantes de maduración como el ácido giberélico, y alumbre (sulfato amónico de aluminio) para cicatrizar el corte en la corona (Rojas *et al.*, 2007; Syngenta, 2017; Stoller, 2022).

### **3.5.1. Lavado de la fruta: Remoción de látex (desleche)**

La remoción de látex o desleche es la operación correspondiente a la continuación del desmane. El látex del banano tiene la función biológica de retrasar y suprimir el desarrollo de hongos y bacterias que puedan afectar la planta y fruta durante su

---

<sup>1</sup> Moscoso, J. 2022. Procesamiento del banano de exportación en la Finca San Pablo (entrevista física). Siquirres, Limón, Finca San Pablo.

crecimiento. No obstante, su secreción durante el corte de coronas corresponde a un defecto postcosecha del banano de exportación debido a que genera manchas oscuras y pegajosas en la piel de la fruta (Soto, 2017; Ramírez *et al.*, 2011).

El agua de los tanques de lavado suele contener sustancias químicas que ayudan a la remoción del látex. Dentro de ellas, se menciona la combinación de sulfato amónico de aluminio (alumbre), y peróxido de hidrógeno con tensoactivos. Asimismo, los tanques de lavado se suelen diseñar con las dimensiones y flujo de agua adecuados para asegurar el tiempo necesario para la eliminación del látex. Se ha reportado el uso de tinas de 9 metros de largo equivalente a 20 minutos de estadía para detener la salida de látex de los cortes de la fruta (Soto, 2017; Rojas *et al.*, 2007; AgroambienteCR, s.f.).

En la planta del presente estudio, se utiliza un sistema similar al previamente descrito donde las tinas de lavado están demarcadas para lograr el tiempo óptimo para la eliminación del látex de los bananos. Únicamente se puede comenzar a transferir hacia la línea de empaque cuando los tanques de lavado contienen manos de banano hasta la demarcación, como se muestra en la figura 1 (cordel con banderillas amarillas). Esto porque a partir de esa línea y hasta la salida, se logra asegurar un periodo de inmersión de 20 minutos. En conjunto, en los tanques de desleche se incorpora alumbre (sulfato amónico de aluminio), Super Bacterol (peróxido de hidrógeno y tensoactivos), ácido cítrico y cloro.<sup>1</sup>



**Figura 1.** Tanques de lavado o desleche de la Finca San Pablo, CORBANA.

---

<sup>1</sup> Moscoso, J. 2022. Procesamiento del banano de exportación en la Finca San Pablo (entrevista física). Siquirres, Limón, Finca San Pablo.



### 3.6. Infiltración de agroquímicos durante el desleche

La infiltración es un proceso que ocurre cuando frutas y vegetales con temperaturas elevadas se sumergen en agua a temperaturas menores o fría. La diferencia de presión entre la matriz vegetal y el medio genera la succión o entrada de agua al alimento (Higgins, 2018). No obstante, el fenómeno también se puede presentar si se aplica agua a altas presiones o existe una cantidad excesiva de frutas o vegetales en los tanques de lavado. Dicho esto, en conjunto con la entrada de agua, se podrían infiltrar otros componentes tales como células de microorganismos, residuos de agroquímicos y otras moléculas químicas presentes en el agua o medio (Bartz *et al.*, 2015; Bartz *et al.*, 2017).

Existen distintos factores que pueden afectar la tasa de infiltración, se puede mencionar el diferencial de temperatura, la profundidad en el agua, el tiempo de inmersión, y presencia de cicatrices o daños físicos en la matriz vegetal (Higgins, 2018). Mientras más grande sea la diferencia de temperaturas entre el agua y la fruta, mayor es la tasa de infiltración. En un estudio realizado por Macarisin *et al.* (2017), se analizó la infiltración de agua con tinta en melones a distintas temperaturas, y se encontró menor incidencia del fenómeno cuando las muestras se sumergían a 18 °C en comparación a 42 °C, ambos en agua a 6 °C.

Al aumentar la profundidad de inmersión del alimento, mayor es la tasa de infiltración debido al aumento de presión hidrostática. Bartz (1982) demostró que existe una correlación positiva entre la cantidad de agua infiltrada y la profundidad de inmersión en tomates. En adición, un aumento en el tiempo de inmersión también resulta en un aumento en la velocidad de infiltración. En un estudio no publicado, Azofeifa (2020) reporta un incremento en el número de dedos de bananos infiltrados con tinta con el aumento del tiempo de inmersión de la fruta en los tanques de lavado. Mientras que, en otros estudios realizados con tinta en mangos, naranjas, aguacates y manzanas, se ha demostrado que existen distintas rutas de entrada para la infiltración de compuestos tales como la cicatriz del tallo, y no se limita a cicatrices o daños físicos en la fruta (Estrada *et al.*, 2019).

Lo anterior recalca la importancia del estudio del potencial de infiltración de agroquímicos en la fruta de banano durante la operación de desleche. Para la empacadora de estudio actual, Azofeifa (2020) reporta tiempos de desleche poco uniformes, los cuales fluctúan desde los 20 hasta los 40 minutos. En adición, no se muestra un monitoreo de las temperaturas de entrada al lavado de las manos de banano y agua de lavado, así desconociendo la existencia de un posible diferencial de temperatura entre ellos<sup>1</sup>.

Los tanques de lavado cuentan con un sistema de recirculación de agua para mantener el nivel de los tanques y para impulsar los bananos a lo largo del recorrido, así como un ingreso constante de agua potable limpia. No obstante, el vaciado y recambio de agua potable solo se realiza una vez a la semana, específicamente los viernes de cada semana<sup>1</sup>. Esto podría suponer un riesgo a la inocuidad dado que el agua podría acumular cantidades de agroquímicos provenientes de la fruta, los cuales podrían infiltrarse o permanecer en pulpa o cáscara del banano, respectivamente.

## **4. Materiales y métodos**

### **4.1. Identificación de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano.**

Como referencia para la ejecución de este objetivo, se utilizaron distintas guías internacionales de análisis de peligros químicos, así como artículos científicos con énfasis en evaluación de riesgos de pesticidas en banano, para establecer los dos agroquímicos de mayor severidad y probabilidad de presencia en la fruta costarricense. Asimismo, se utilizó la guía de ruta establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017a) en su documento “Herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana de la OMS: Peligros químicos”, en la cual se describe un proceso de evaluación compuesto de cuatro etapas:

- I. Identificación de peligros
- II. Caracterización del peligro
- III. Evaluación de la exposición
- IV. Caracterización de riesgos

Posteriormente, se desarrolló un sistema de ponderación para calificar la probabilidad de ocurrencia (considerando método de aplicación, posibilidad de contaminación cruzada y etapa de aplicación del agroquímico) y severidad como peligro químico (considerando toxicidad aguda y crónica). A partir de dicho sistema, se identificaron los dos pesticidas con mayor probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano, esto considerando las mayores calificaciones obtenidas en la ponderación.

#### **4.1.1. Identificación de peligros**

Se obtuvo una lista de todos los agroquímicos registrados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el uso en el cultivo y post-cosecha de banano

---

<sup>1</sup> Moscoso, J. 2022. Procesamiento del banano de exportación en la Finca San Pablo (entrevista física). Siquirres, Limón, Finca San Pablo.

en Costa Rica. La lista recopilada contenía la clasificación de los agroquímicos según su acción biocida o función (acaricida, desinfectante, fumigante, fungicida, herbicida, insecticida, nematicida, regulador de crecimiento) y los límites máximos de residuos (LMR) nacionales correspondientes a cada sustancia química. Sumado a esto, se realizaron entrevistas a personal de CORBANA y afiliados, con el fin de asegurar que los compuestos químicos utilizados en los cultivos costarricenses por la corporación estuvieran presentes en la lista extraída de la fuente de información gubernamental.

#### **4.1.2. Caracterización del peligro**

Se consideró una descripción cuantitativa de las propiedades inherentes, de los pesticidas enlistados en la sección 4.1.1, que tengan el potencial de generar efectos adversos en la salud de los consumidores. Se identificaron los valores de la ingesta diaria admisible (IDA) y la dosis de referencia aguda (ARfD) de cada uno de los compuestos identificados como peligros para la caracterización de la toxicidad crónica y aguda asociada a estos compuestos, respectivamente.

Se consideraron distintas fuentes para la recolección de los datos. Se priorizaron los datos que establece la Reunión Conjunta FAO/OMS sobre residuos de plaguicidas (JMPR, por sus siglas en inglés). Seguidamente, para la comprobación y comparación, y en ausencia de valores reportados por JMPR, se procedió a consultar bases de datos, reportes y artículos de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés). La comprobación y comparación de información permitió determinar los valores más bajos de IDA o ARfD existentes, debido a que poseen mayor toxicidad crónica o aguda, respectivamente. Se realizó lo anterior debido a que existe discrepancias entre las fuentes de información consultadas. Por ejemplo, para el diflubenzurón, JMPR estipula un valor de IDA de 0,02 mg/kg de peso corporal, mientras que EFSA indica un IDA de 0,1 mg/kg de peso corporal. También se puede mencionar el caso de spinetoram dado que EFSA indica un valor de 0,025 mg/kg y JMPR se refiere a un valor de 0,05 mg/kg. Para el caso de oxamil, EFSA reporta un valor de 0,001 mg/kg y JMPR indica un valor sutilmente mayor 0,009 mg/kg, entre otros.

Sumado a lo anterior, se utilizaron las bases de datos de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada – Base de Datos de Propiedades de los Plaguicidas (IUPAC – PPDB, por sus siglas en inglés), Instituto Federal de la Evaluación de Riesgos (BfR, por sus siglas en alemán), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), Comisión Europea (EC, por sus siglas en inglés), *Health Canada*, *Food Safety Commission of Japan* (FSCJ) y *Japan Analytical Chemistry Consultants* (JACC). Las fuentes anteriores se utilizan ante la falta de ciertos datos no estipulados por JMPR. Recurrir a otros organismos

internacionalmente reconocidos es la práctica sugerida en la literatura (FSANZ, 2016).

Adicionalmente, no se les estableció un valor de referencia de ARfD a varias sustancias agroquímicas debido a que los organismos consultados declaran innecesario la determinación de dicho dato. Esto se puede deber a que existen datos que aseguran la ausencia de generación de residuos en los alimentos o según el uso previsto del químico, o el perfil de toxicidad sugiere que el ARfD es mayor a la cifra de la "mejor estimación" de lo que podría ingerirse a partir de los productos. Aunado a esto, también se puede deber a que el plaguicida ha mostrado una toxicidad oral aguda muy baja, el perfil toxicológico se basa únicamente en efectos leves irrelevantes para la ingesta aguda o no tiene otras alertas de toxicidad aguda. Dicho esto, estos plaguicidas fueron designados con la descripción *Non allocated* utilizada por JMPR y EFSA (EC, 2001). Esto aplicó para azoxistobrina, boscalidad, carfentrazone-etil, cletodim, diflubenzurón, diquat, flufenoxurón, novalurón, pirimetanil y trifloxiestrobina.

Respecto a la ausencia de cifras de ARfD en las bases de datos mencionadas previamente, donde se considera necesario el uso de un valor de toxicidad aguda, se utilizó el valor de IDA en su lugar (EC, 2001). Lo anterior solo aplicó para el herbicida dalapón.

#### 4.1.3. Evaluación de la exposición

Se utilizó la estimación de la ingesta diaria teórica máxima nacional (IDTMN) y estimación nacional de la ingesta a corto plazo (NESTI, por sus siglas en inglés) para evaluar la exposición crónica y aguda a cada uno de los compuestos, respectivamente. Con ello, se obtuvo la siguiente fórmula de toxicidad crónica, basado en lo expuesto por la OMS (1989) y en un estudio realizado por Maggioni (2018) sobre la "Evaluación de riesgos por ingesta dietaria de residuos de plaguicidas":

$$IDMTN = \sum_{i=1}^n LMR_i * F_i \quad (1)$$

Donde,

IDTMN: Ingesta diaria máxima teórica nacional (mg/día)

LMR: Límite máximo de residuo (mg/kg)

F: Consumo diario del alimento (kg/día)

La fórmula original asume una sumatoria de los LMR y consumo diario del alimento (F) establecidos en los alimentos analizados. Sin embargo, en el presente estudio solo se analizó el banano, siendo el dato de consumo diario de esta fruta de la población general costarricense de 20 a 65 años de 89,01 gramos de banano por día<sup>2</sup>. Por ello, la fórmula utilizada corresponde a la siguiente:

$$IDMTN = LMR_i * F_i \quad (1.1)$$

Donde,

IDTMN: Ingesta diaria máxima teórica nacional (mg/día)

LMR *i*: Límite máximo de residuo (mg/kg banano)

F *i*: Consumo diario de banano (kg banano/día)

Respecto a la determinación de la toxicidad aguda, se obtuvo la siguiente fórmula basado en lo expuesto por la OMS (2017b) y en un estudio realizado por Maggioni (2018):

$$NESTI = \frac{LP*(HR \text{ o } HR-P)*v}{pc} \quad (2)$$

Donde,

NESTI: Estimación nacional de la ingesta a corto plazo (mg/(kg peso corporal/día))

LP: Porción más alta reportada (percentil 97,5 de los consumidores) (kg/día)

HR: Residuo más alto en la porción comestible cruda de la muestra compuesta encontrada en los ensayos supervisados en campo (mg/kg)

HR-P: Residuo más alto hallado en el producto procesado (mg/kg)

pc: Peso corporal (kg)

v: Factor de variabilidad

---

<sup>2</sup> Gómez, G. 6 jul. 2021. Antropometría de Costa Rica y porciones de consumo de banano (videollamada Zoom). San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica.

Se escogió la ecuación 2 como base debido a que la porción comestible de banano (U = 140 gramos) era mayor que la porción más alta reportada a nivel nacional (LP = 119 gramos)<sup>2</sup>. Por ende, la OMS (2017b) establece dicha fórmula para casos como el anteriormente mencionado. Asimismo, se sustituyó el valor de HR o HR-P por LMR dado que no hay información nacional de todos los plaguicidas que correspondan a los residuos más altos en la porción comestible cruda de una muestra compuesta.

Respecto al factor de variabilidad (v), la OMS (2017b) establece que es la división del percentil 97,5 de las concentraciones de residuos presentes en las unidades de producto dividido entre la concentración promedio de residuos de la población muestra. Por ende, ajustado al presente estudio, se obtuvo al dividir el percentil 97,5 de los LMR entre el LMR medio de la lista de plaguicidas de la sección 4.1.1. La fórmula ajustada utilizada para calcular el NESTI corresponde a la siguiente:

$$NESTI = \frac{LP * LMR * v}{pc} \quad (2.1)$$

Donde,

LP: Porción más alta reportada (percentil 97,5 de los consumidores)

(kg/día)

LMR: Límite máximo de residuo (mg/kg banano)

pc: Peso corporal (kg)

v: Factor de variabilidad

#### 4.1.4. Caracterización de riesgos

La caracterización del riesgo dietario crónico de los residuos de los plaguicidas se realizó entre el IDTMN y el IDA. Lo anterior se logró mediante el cálculo del porcentaje IDA. Análogamente, se realizó una comparación entre el NESTI contra el ARfD para caracterizar el riesgo dietario agudo, donde se obtiene con la determinación del porcentaje ARfD. Para esto, se utilizaron las siguientes fórmulas (OMS, 1997):

$$IDA(\%) = \left( \frac{IDMTN}{IDA * PC} \right) * 100 \quad (3)$$

---

<sup>2</sup> Gómez, G. 6 jul. 2021. Antropometría de Costa Rica y porciones de consumo de banano (videollamada Zoom). San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica.

Donde,

IDA: Ingesta diaria admisible del compuesto (mg/(kg peso corporal\*día))

IDTMN: Ingesta diaria máxima teórica nacional del compuesto (mg/día)

$$ARfD (\%) = \left( \frac{NESTI}{ARfD} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde,

ARfD: Dosis de referencia aguda del agroquímico (mg/kg)

NESTI: Estimación nacional de la ingesta a corto plazo del compuesto (mg/(kg peso corporal/día))

Como se mencionó previamente, la guía utilizada como referencia usualmente describe la comparación de los valores de exposición estimados contra los valores de referencia previamente identificados (OMS, 2017). No obstante, el interés del presente trabajo consistió en la comparación entre los valores de exposición estimados de cada pesticida. Con ello, se ordenó las cifras de porcentaje IDA y porcentaje ARfD de menor a mayor, obteniendo una puntuación de severidad ascendente. Los plaguicidas que presentaban porcentajes de IDA y ARfD iguales se puntuaron con el mismo número, y la enumeración prosiguió hasta encontrar un valor consiguiente distinto.

#### **4.1.5. Probabilidad de presencia de los plaguicidas**

La clasificación de la probabilidad de presencia fue obtenida a partir de una entrevista a personal de CORBANA y afiliados, donde se logró identificar los plaguicidas utilizados en campo sin contacto directo con la fruta, aquellos presentes en las bolsas con fruta y los compuestos aplicados en la post-cosecha del fruto. Se consideró los agroquímicos utilizados en la bolsa con la mayor probabilidad de presencia por tener contacto directo con la fruta. Seguido, los agroquímicos aplicados en campo por aspersion dada la posibilidad de entrar en contacto con el fruto (contaminación cruzada por mano de obra, recolección de banano del piso, entre otros). Por último, se consideró de menor probabilidad de presencia aquellas sustancias químicas aplicadas en post-cosecha debido a que su aplicación se realiza después del desleche, siendo irrelevante para la determinación del potencial de infiltración de estos durante la eliminación de látex pues las frutas ya han pasado por la etapa de inmersión en el medio acuoso.

#### 4.1.6. Ponderación final

Los dos pesticidas de mayor ponderación se determinaron al dilucidar los pesticidas de mayor probabilidad de ocurrencia, según la sección 4.1.5, en combinación a la determinación de la severidad compuesta (crónica y aguda) de dichos agroquímicos. Se otorgó una proporcionalidad igual a ambas toxicidades obtenidas en el inciso 4.1.4 para el cálculo final, expresada a continuación:

$$Ponderación\ final = (Ponderación\ \% \text{IDA} * 0,5) + (Ponderación\ \% \text{ARfD} * 0,5) \quad (5)$$

La fórmula determinó las dos sustancias activas para realizar la evaluación de la concentración en cáscara de banano y el potencial de infiltración en la pulpa de la fruta durante la operación de desleche de banano bajo las condiciones de procesamiento de la Finca San Pablo.

#### 4.2. Evaluación de la concentración de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano, en cáscara de banano y el potencial de infiltración en la pulpa de la fruta, durante la operación de desleche de la fruta bajo las condiciones de procesamiento de la Finca San Pablo

El análisis de residuos fue ejecutado por Laboratorio de Análisis de Plaguicidas y Compuestos (LAPCO) del Centro de Investigación de Contaminación Ambiental (CICA). Se utilizó el método *quick, easy, cheap, effective, rugged and safe* (QuEChERS) basado en la Metodología Oficial *AOAC International 2007.01* para la determinación de residuos de pesticidas en alimentos.

##### 4.2.1. Muestras de banano

Se utilizaron clústeres compuestos de 5–7 bananos de la variedad Cavendish con un grado de madurez de cero (bananos verdes) y con 13 semanas de cosecha. Los racimos de bananos se recolectaron en la Finca San Pablo ubicada en provincia de Limón, cantón de Siquirres, distrito Madre de Dios, y se trasladaron y almacenaron en refrigeración en las instalaciones del CICA. El grado de cosecha y madurez de las muestras de banano fueron definidos según indicaciones de CORBANA para banano destinado a exportación.

Se recolectaron clústeres de 3 racimos diferentes, 3 clústeres antes del desleche, y 3 clústeres después del desleche y aplicación de compuestos post-cosecha. Para cada repetición, se registró la temperatura interna de los bananos antes del desleche y la temperatura del agua de los tanques de desleche. Adicional, se registró el tiempo de reposo de cada clúster de banano en los tanques de desleche.



Cada clúster fue almacenado en bolsas plásticas y transportadas hacia el CICA en un contenedor con hielo. Lo anterior se repitió para todas las repeticiones.

#### **4.2.2. Procesamiento de la muestra**

El procesamiento de las muestras de bananos se realizó en las instalaciones del CICA. Los grupos de clústeres (antes y después del desleche) fueron distribuidos aleatoriamente mediante un proceso de cuarteo para asegurar la representatividad de la muestra compuesta. Los bananos fueron cortados a la mitad (cabeza y cola) y separados en dos grupos, donde se alternó la distribución de la composición de cabeza y cola en cada grupo. Un conjunto se destinó al análisis en cáscara y el otro en pulpa.

Seguido, se realizó la homogenización de corte y golpe de las pulpas y cáscaras, antes y después del desleche, a una velocidad de 4000 rpm por un tiempo de 40 segundos. Las muestras trituradas fueron recolectadas en un contenedor de plástico hasta su utilización para la extracción y análisis de residuos.

Se midió la masa de muestra según lo establecido en el *Pesticide Analytical Manual* (PAM) (FDA, 1999) para una matriz con un porcentaje de humedad entre 25 – 80 %. Se midió 11,139 g de cáscara o pulpa de banano en tubos de centrifugación y se aforó a 15 g con agua destilada. Los tubos fueron agitados mecánicamente a 3000 rpm por 1 minuto y se dejaron en reposo por 20 minutos. Seguidamente, se aforó los 15 g restantes con agua desionizada. Se agitaron nuevamente a 3000 rpm por 1 minuto y se dejaron en reposo por 30 minutos.

#### **4.2.3. Extracción de residuos**

Se agregó acetonitrilo con ácido acético al 1 % a los tubos de centrifugación con las muestras hidratadas. Se agitaron los tubos a 2500 rpm por 5 minutos en modo pulsante. Seguido, se agregaron las sales de extracción: sulfato de magnesio anhidro, acetato de sodio anhidro y cloruro de sodio. Los tubos se agitaron a 2500 rpm por 15 minutos y se centrifugaron a 4100 rpm por 7 minutos a 10 °C.

Se extrajo 5 mL de la fase orgánica y se trasladó a tubos de centrifugación con sulfato de magnesio anhidro, amins primarias/secundarias y absorbente no polar C18. Los tubos se agitaron mecánicamente a 3000 rpm por 1 minuto. Las muestras se centrifugaron a 4100 rpm por 7 minutos a 10 °C.

#### 4.2.4. Análisis de residuos

##### 4.2.4.1. Cromatografía de gases-masas

Las muestras obtenidas se transfirieron a viales de cromatografía para el análisis en el cromatógrafo de gases acoplado a un detector de masas. A continuación, se detallan las condiciones cromatográficas utilizadas en el cromatógrafo de gases para el análisis de agroquímicos en las muestras de pulpa y cáscara de banano.

- Equipo: Cromatógrafo de gases, modelo 7890B, marca Agilent Technologies
- Tiempo de corrida: 20,75 min
- Software: Mass Hunter
- Gas portador: Helio 99,999 % pureza
- Tipo de liner: Ultra inerte con hoyuelos, 200 µL
- Tipo de inyector: Multimodo
- Modo de inyección: Programación de temperatura programada con venteo de disolvente
- Temperatura: 60 °C
- Presión: 16 psi
- Flujo de purga en el septum: 3 mL / min
- Modo de flujo de purga en el septum: Standard
- Programa de temperatura:

A continuación, se presentan los valores de la programación de temperatura y tiempo del inyector del cromatógrafo de gases utilizado para el análisis de agroquímicos en las muestras de pulpa y cáscara de banano.

**Cuadro I.** Programación de temperatura del inyector del cromatógrafo de gases utilizado para el análisis de agroquímicos en las muestras de pulpa y cáscara de banano.

Rampa (°C/min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
-	60	0,35
900	300	0

A continuación, se detallan las condiciones cromatográficas utilizadas en el espectrómetro de masas para el análisis de agroquímicos en las muestras de pulpa y cáscara de banano.

- Modo de ionización: EI, -70 eV
- Temperatura de la fuente: 300 °C
- Temperatura de los cuadrupolos: 150 °C

- Tiempo de apagado del filamento: 4 min
- Resolución EM1/EM2: Amplia
- Modo de adquisiciones de iones: Monitorización de Reacción Múltiple (MRM)

#### 4.2.4.2. Cromatografía de líquidos-masas

Las muestras obtenidas se introdujeron a un concentrador de gas inerte (nitrógeno) para eliminar el disolvente (acetonitrilo). Se reconstituyeron los extractos con acetonitrilo:agua 1:1 acidificado con ácido fórmico al 0,1 % y se homogenizaron. Las muestras se filtraron, hacia viales de cromatografía, con papel PTFE para eliminar partículas obstruyentes o contaminantes.

A continuación, se detallan las condiciones cromatográficas utilizadas en el cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas para el análisis de agroquímicos en las muestras de pulpa y cáscara de banano.

- Equipo: Cromatógrafo líquido de alta resolución, modelo Infinity 1290, marca *Agilent Technologies*
- Columna: *Agilent Technologies*, Poroshell 120, EC-C18 de 2,7  $\mu\text{m}$  x 10 cm x 2,1 mm
- Flujo de fase móvil: 0,3 mL / min
- Temperatura de la columna: 40 °C
- Volumen de inyección: 25  $\mu\text{L}$  (loop de 20  $\mu\text{L}$ )
- Automuestreador: *Agilent Technologies Infinity* HTS G4277A
- Bomba de fase móvil: *Agilent Technologies* serie 1290 *Infinity* G4220A
- Software: *Mass Hunter*
- Tiempo entre inyección: 27,1 min
- Tiempo de corrida: 22 min
- Detector: Espectrómetro de masas de triple cuádruplo, *Agilent Technologies* modelo 6460
- Composición fase móvil:
- Fase A: Ácido fórmico 0,1 % en acetonitrilo
- Fase B: Ácido fórmico 0,1 % en metanol

Cabe mencionar que se analizó otras moléculas de residuos de agroquímicos detectados en las muestras de banano recolectadas, esto con el fin de aumentar el alcance de la investigación.

#### 4.2.5. Análisis estadístico

Para el segundo objetivo específico, se reportó las concentraciones de los pesticidas de las 3 repeticiones. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) unifactorial para las concentraciones iniciales (antes del desleche) y finales (después del desleche) en las cáscaras y pulpas de banano. La prueba se realizó con un nivel de confianza del 95 %, con valores de P significativos de ser menores a 0,05 ( $P < 0,05$ ).

Se realizó el cálculo de la potencia de la prueba para las concentraciones de bifentrina y piriproxifén, el cual corresponde a la probabilidad de rechazar una hipótesis nula siendo falsa, al no obtener diferencias significativas en el análisis. La potencia (1-beta) se calculó con la fórmula mostrada a continuación:

$$Z_b = -Z_a + \frac{d}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (6)$$

Donde,

$Z_a$ : Valor estándar de z para alfa de 0,05 (1,96)

$Z_b$ : Valor estándar de z para beta de 0,15

s: Desviación estándar de las muestras analizadas

d: Diferencia mínima por detectar (se seleccionó el valor de LMR)

n: Número de muestras analizadas (3)

## 5. Resultados y discusión

### 5.1. Identificación de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano.

Se obtuvo un listado final de 119 sustancias activas para la evaluación de riesgos. En el cuadro II, se observa una organización ascendente de los agroquímicos autorizados por el SFE para el cultivo de banano en Costa Rica según la toxicidad crónica asociada. Se logra identificar 2 grupos de agroquímicos de acuerdo con los valores numéricos obtenidos. En el primer grupo se encuentran 116 sustancias activas con valores menores que 100 %. El segundo grupo, contiene las sustancias químicas restantes, se encuentran los valores de mayor severidad crónica, donde los LMR nacionales superan a las IDA internacionales en más del 100 %. Estos corresponden al diazinón, clorotalonil y clorpirifós. El método de evaluación de riesgos indica que cuando el valor de IDTMN es superior al IDA (>100 %), es necesario aplicar algunos factores para refinar la ingesta con el fin de determinar la

aceptabilidad de los LMR propuestos y las buenas prácticas agrícolas subyacentes. Dentro de los factores comunes, se puede mencionar efectos del procesamiento, porción comestible del alimento y el uso de valores de residuos de plaguicidas (concentraciones) provenientes de ensayos experimentales (STMR) (Maggioni, 2018; FAO, 2019). Con ello, se calcula la ingesta diaria estimada nacional (IDEN) como una estimación de residuos más realista para la determinación del riesgo al consumidor. Por otro lado, para las 116 sustancias con IDA (%) menores al 100 %, el riesgo de consumo es altamente improbable (FAO, 1997; FAO, 2019).

No obstante, como se mencionó previamente, el interés del presente estudio no radicaba en la comparación de las cantidades calculadas (IDTMN) con dosis o valores de referencia (IDA), sino en la obtención de una puntuación de los agroquímicos enlistados mediante el cálculo de un valor aplicable a los agroquímicos (porcentaje de IDA). Al realizar un ordenamiento ascendente de los agroquímicos, se obtiene una ponderación ascendente según la toxicidad crónica de los agroquímicos enlistados.

A continuación, se presenta la clasificación de agroquímicos según su acción biocida, organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje ingesta diaria admisible (IDA) calculado.

**Cuadro II.** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida, organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje ingesta diaria admisible (IDA) calculado.

Numeración	Clasificación	Agroquímico	IDA (%)
1	Fungicida	Propamocarb	0,0030
2	Herbicida	Glifosato	0,012
3	Fungicida	Flutolanil	0,014
4	Fungicida	Metalaxil	0,015
5	Herbicida	Asulam	0,017
6	Herbicida	Butilato	0,024
6	Insecticida	Clotianidina	0,024
6	Fungicida	Dimetomorf	0,024
7	Insecticida	Triclorfón	0,027
8	Insecticida	Tiametoxán	0,030
9	Insecticida	Acefato	0,041

**Cuadro II (continuación).** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida, organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje ingesta diaria admisible (IDA) calculado.

9	Insecticida	Clorfenapir	0,041
10	Fungicida	Iprodiona	0,061
10	Insecticida	Metomil	0,061
10	Insecticida	Pirimicarb	0,061
10	Herbicida	Propanil	0,061
11	Fungicida	Primetanil	0,072
12	Fungicida	Tridemorf	0,076
13	Insecticida	Malatión	0,081
13	Fungicida	Piraclostrobin	0,081
13	Insecticida, Acaricida	Spiromesifén	0,081
14	Fungicida	Benalaxil	0,087
15	Insecticida, Nematicida	Dicloropropeno	0,097
16	Insecticida	Imidacloprid	0,10
17	Desinfectante	Cloruro de benzalconio (BAC)	0,12
17	Insecticida	Deltametrina	0,12
17	Desinfectante	Didecildimetilamonio (DDAC)	0,12
17	Insecticida	Fenvalerato	0,12
17	Insecticida	Novalurón	0,12
18	Fungicida	Trifloxiestrobina	0,15
19	Insecticida	Fentión	0,17
20	Insecticida	Azinfos Metil	0,20
20	Herbicida	Dalapón	0,20
20	Regulador de Crecimiento	Etefón	0,20
21	Fungicida	Acibenzolar-S-Metil	0,24
21	Fungicida	Fosetil-Al	0,24
21	Fungicida	Benomil	0,24
21	Fumigante	Dazomet	0,24

**Cuadro II (continuación).** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida, organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje ingesta diaria admisible (IDA) calculado.

21	Fungicida	Diclorán	0,24
21	Insecticida	Fenitrotión	0,24
21	Fungicida	Hexaconazol	0,24
21	Herbicida	Paraquat	0,24
22	Herbicida	Fluazifop-P-Butil	0,30
22	Insecticida	Metamidofós	0,30
22	Herbicida	Atrazina	0,30
22	Fungicida	Ciproconazol	0,30
22	Insecticida	Diflubenzurón	0,30
22	Fungicida	Propiconazol	0,30
23	Herbicida	Acetoclor	0,34
24	Herbicida	Diquat	0,41
24	Herbicida	Linurón	0,41
24	Insecticida	Metil Paratión	0,41
24	Herbicida	Carfentrazone - Etil	0,41
25	Fungicida	Flusilazol	0,52
26	Insecticida	Amitraz	0,61
26	Insecticida, Acaricida	Flufenoxurón	0,61
26	Insecticida	Fosmet	0,61
27	Fungicida	Fenbuconazol	1,0
28	Insecticida, Acaricida	Abamectina	1,2
28	Fungicida	Azoxistrobina	1,2
28	Insecticida, Nematicida	Cloropicrina	1,2
28	Insecticida	Dimetoato	1,2
28	Insecticida	Spinetoram	1,2
28	Insecticida	Bifentrina	1,2
28	Fungicida	Carbendazima	1,2
28	Insecticida	Cipermetrina	1,2

**Cuadro II (continuación).** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida, organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje ingesta diaria admisible (IDA) calculado.

28	Herbicida	Cletodim	1,2
28	Fungicida	Difenoconazol	1,2
29	Herbicida	Oxadiazón	1,7
30	Insecticida	Piriproxifén	1,7
31	Insecticida	Forato	1,7
32	Fungicida	Boscalid	1,8
33	Herbicida	Oxifluorfén	2,0
34	Insecticida	Acetamiprid	2,4
34	Fumigante	Metam Sodio	2,4
34	Fungicida	Fenarimol	2,4
34	Herbicida	Glufosinato de Amonio	2,4
35	Insecticida, Nematicida	Cadusafós	3,0
35	Fungicida	Metil Tiofanato	3,0
36	Insecticida	Buprofezin	4,1
36	Herbicida	Diurón	4,1
36	Fungicida	Triadimefón	4,1
36	Fungicida	Triadimenol	4,1
37	Fungicida	Mancozeb	4,9
37	Fungicida	Maneb	4,9
37	Insecticida	Indoxacarb	4,9
38	Insecticida, Nematicida	Etoprofós	6,1
38	Insecticida	Fipronil	6,1
38	Fungicida	Tebuconazol	6,1
38	Fungicida	Tiabendazol	6,1
39	Insecticida	Lambda- Cihalotrina	7,3
40	Fungicida	Epoconazol	7,6
40	Insecticida, Nematicida	Fenamifós	7,6



**Cuadro II (continuación).** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida, organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje ingesta diaria admisible (IDA) calculado.

41	Fungicida	Metiram	8,1
41	Fungicida	Zineb	8,1
42	Insecticida	Spirotetramato	9,7
42	Fungicida	Fluopiram	9,7
43	Insecticida, Nematicida	Terbufós	10,1
44	Insecticida	Spinosad	12,2
44	Insecticida	Propoxur	12,2
45	Fungicida	Imazalil	14,6
45	Fungicida	Spiroxamina	14,6
46	Fungicida	Fluxapiroxad	18,3
47	Fungicida	Miclobutanil	19,5
48	Fungicida	Bitertanol	20,3
48	Insecticida	Etofenprox	20,3
49	Fungicida	Tiram	24,3
50	Fungicida	Propineb	34,8
51	Insecticida, Nematicida	Oxamil	36,5
52	Insecticida	Metiocarb	48,7
53	Fungicida	Fenpropidin	60,9
54	Fungicida	Fenpropimorf	81,2
54	Fungicida	Ferbam	81,2
54	Fungicida	Ziram	81,2
54	Insecticida	Carbaril	81,2
55	Fungicida	Procloraz	85,2
56	Insecticida	Diazinón	121,7
56	Fungicida	Clorotalonil	121,7
57	Insecticida	Clorpirifós	243,5

En el cuadro III, se observa una organización ascendente de los agroquímicos autorizados por el SFE para el cultivo de banano en Costa Rica según su toxicidad aguda. A diferencia del %IDA, se logra identificar 3 grupos de agroquímicos de acuerdo con los valores de porcentaje de ARfD obtenidos. El primer grupo corresponde a compuestos sin cantidades de ARfD establecidas debido a su clasificación de *Non allocated* explicado previamente en la metodología. Por ende, se consideran las sustancias químicas de menor toxicidad aguda. Seguido, se encuentran 102 sustancias activas con valores menores al 100 %, indicando un riesgo agudo aceptable. En el último conjunto, se presentan los valores de mayor severidad aguda, donde los LMR nacionales superan a las ARfD internacionales en más del 100 %. Estos corresponden al metiocarb, procloraz, clorotalonil, oxamil, clorpirifós, carbaril, fenpropidin y ferbam, siendo los compuestos de mayor ponderación. A diferencia del %IDA, no es necesario realizar un refinamiento de la estimación de los valores que superan la ARfD establecida. Los últimos 8 agroquímicos mencionados se consideran un riesgo agudo no aceptable para el consumidor de acuerdo con los LMR establecidos (FAO, 2019).

Sin embargo, se recalca el enfoque del presente estudio en la obtención de una puntuación de los agroquímicos enlistados, como se mencionó previamente.

A continuación, se presenta la clasificación de agroquímicos según su acción biocida), organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje dosis de referencia aguda del agroquímico (ARfD) calculado.

**Cuadro III.** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida), organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje dosis de referencia aguda del agroquímico (ARfD) calculado.

Numeración	Clasificación	Agroquímico	ARfD (%)
1	Fungicida	Azoxistrobina	N.A.
1	Fungicida	Boscalid	N.A.
1	Herbicida	Carfentrazone - Etil	N.A.
1	Herbicida	Cletodim	N.A.
1	Insecticida	Diflubenzurón	N.A.
1	Herbicida	Diquat	N.A.
1	Insecticida, Acaricida	Flufenoxurón	N.A.
1	Insecticida	Novalurón	N.A.

**Cuadro III (continuación).** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida), organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje dosis de referencia aguda del agroquímico (ARfD) calculado.

1	Fungicida	Pirimetanil	N.A.
2	Herbicida	Acetoclor	0,006
3	Fungicida	Propamocarb	0,010
3	Insecticida, Acaricida	Spiromesifén	0,010
4	Fungicida	Dimetomorf	0,016
5	Fungicida	Metalaxil	0,019
6	Herbicida	Butilato	0,024
6	Fungicida	Flutolanil	0,024
7	Fungicida	Hexaconazol	0,038
7	Insecticida	Tiametoxán	0,038
8	Herbicida	Asulam	0,048
9	Insecticida	Malatión	0,063
10	Insecticida	Acefato	0,095
10	Insecticida, Nematicida	Dicloropropeno	0,095
10	Insecticida	Fenvalerato	0,095
10	Insecticida	Pirimicarb	0,095
10	Insecticida	Triclorfón	0,095
10	Herbicida	Glifosato	0,095
10	Fungicida	Trifloxiestrobina	0,095
11	Fungicida	Iprodiona	0,16
11	Herbicida	Oxifluorfén	0,16
12	Insecticida	Clotianidina	0,19
12	Fumigante	Metam Sodio	0,19
13	Fungicida	Fenbuconazol	0,24
14	Herbicida	Linurón	0,32
14	Insecticida	Metil Paratión	0,32
15	Fungicida	Diclorán	0,38
16	Herbicida	Oxadiazón	0,40

**Cuadro III (continuación).** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida, organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje dosis de referencia aguda del agroquímico (ARfD) calculado.

17	Herbicida	Propanil	0,48
17	Fungicida	Tridemorf	0,48
17	Fungicida	Benalaxil	0,48
18	Herbicida	Fluazifop-P-Butil	0,56
19	Insecticida	Buprofezin	0,57
20	Fungicida	Difenoconazol	0,59
20	Insecticida	Imidacloprid	0,59
21	Insecticida	Clorfenapir	0,63
21	Fumigante	Dazomet	0,63
21	Fungicida	Piraclostrobin	0,63
22	Insecticida	Piriproxifén	0,67
23	Insecticida	Fenitrotión	0,73
24	Fungicida	Benomil	0,76
25	Insecticida	Deltametrina	0,95
25	Insecticida	Dimetoato	0,95
25	Insecticida	Fentión	0,95
25	Insecticida	Metamidofós	0,95
25	Desinfectante	Cloruro de benzalconio (BAC)	0,95
25	Desinfectante	Didecildimetilamonio (DDAC)	0,95
25	Regulador de Crecimiento	Etefón	0,95
25	Fungicida	Propiconazol	0,95
26	Fungicida	Fluopiram	1,5
27	Herbicida	Dalapón	1,6
28	Insecticida, Acaricida	Abamectina	1,9
28	Insecticida, Nematicida	Etoprofós	1,9
28	Herbicida	Paraquat	1,9
28	Fungicida	Acibenzolar-S-Metil	1,9

**Cuadro III (continuación).** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida), organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje dosis de referencia aguda del agroquímico (ARfD) calculado.

28	Herbicida	Atrazina	1,9
28	Fungicida	Fosetil-Al	1,9
29	Insecticida	Spinetoram	2,4
29	Fungicida	Ciproconazol	2,4
29	Insecticida	Fosmet	2,4
30	Insecticida	Fipronil	3,2
30	Insecticida	Forato	3,2
30	Fungicida	Mancozeb	3,2
31	Insecticida	Metomil	3,8
31	Insecticida	Spirotetramato	3,8
32	Insecticida	Etofenprox	4,8
32	Fungicida	Metiram	4,8
32	Insecticida	Amitraz	4,8
32	Insecticida	Azinfos Metil	4,8
33	Fungicida	Flusilazol	5,7
34	Herbicida	Diurón	5,9
35	Insecticida	Diazinón	7,6
36	Insecticida, Nematicida	Cadusafós	9,5
36	Insecticida, Nematicida	Cloropicrina	9,5
36	Fungicida	Maneb	9,5
36	Fungicida	Metil Tiofanato	9,5
36	Insecticida	Bifentrina	9,5
36	Fungicida	Carbendazina	9,5
36	Insecticida	Cipermetrina	9,5
36	Fungicida	Fenarimol	9,5
37	Fungicida	Fluxapiroxad	11,4
38	Fungicida	Triadimefón	11,9

**Cuadro III (continuación).** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida), organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje dosis de referencia aguda del agroquímico (ARfD) calculado.

39	Fungicida	Miclobutanil	12,3
40	Insecticida	Acetamiprid	19,0
40	Insecticida	Spinosad	19,0
40	Fungicida	Triadimenol	19,0
40	Insecticida, Nematicida	Fenamifós	19,0
40	Herbicida	Glufosinato de Amonio	19,0
41	Fungicida	Epoxiconazol	20,7
42	Fungicida	Propineb	21,1
43	Insecticida, Nematicida	Terbufós	23,8
44	Fungicida	Zineb	25,3
45	Fungicida	Spiroxamina	28,5
45	Insecticida	Lambda- Cihalotrina	28,5
46	Insecticida	Indoxacarb	38,0
47	Fungicida	Tebuconazol	47,5
47	Fungicida	Tiabendazol	47,5
47	Fungicida	Bitertanol	47,5
47	Fungicida	Ziram	47,5
48	Fungicida	Imazalil	57,0
49	Fungicida	Fenpropimorf	63,3
50	Fungicida	Tiram	76,0
51	Insecticida	Propoxur	95,0
52	Insecticida	Metiocarb	190,0
53	Fungicida	Procloraz	266,1
54	Fungicida	Clorotalonil	285,1
54	Insecticida, Nematicida	Oxamil	285,1
55	Insecticida	Clorpirifós	380,1

**Cuadro III (continuación).** Clasificación de agroquímicos según su acción biocida), organizados de forma ascendente, y avalados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica, según el valor del porcentaje dosis de referencia aguda del agroquímico (ARfD) calculado.

56	Insecticida	Carbaril	475,1
56	Fungicida	Fenpropidin	475,1
57	Fungicida	Ferbam	950,2

En el cuadro IV, se logra observar los 3 agroquímicos de mayor probabilidad de presencia en la fruta de banano cultivada en Costa Rica, así como la ponderación asociada al %IDA y %ARfD. Lo anterior se debe a que dichas sustancias activas se impregnan en las bolsas durante el embolsado de la fruta<sup>3</sup>. Esto se refiere a la colocación de bolsas especiales de polietileno en los racimos de bananos con el fin de proteger la fruta contra daños físicos, generar un microclima óptimo para la formación y llenado del banano (Vargas *et al.*, 2017). Las bolsas utilizadas en el estudio corresponden a las Totalflex 0,4 %, impregnadas con piriproxifén al 0,3 % y bifentrina al 0,1 % (Grupo Olefinas, 2020). Por ende, la posibilidad de presencia de dichos agroquímicos es mayor respecto a las otras a pesar de no presentar un posible riesgo crónico o agudo según lo discutido para el cuadro II y III.

De manera general, los agroquímicos en el cultivo de banano se aplican de distintas formas. Además, en el territorio nacional, la mayoría de los agroquímicos utilizados en el campo son aplicados de manera aérea<sup>3</sup>. Sin embargo, también se pueden impregnar en los tallos y en los suelos, tales como los herbicidas y nematocidas, respectivamente (Mendez *et al.*, 2018). Esto coloca a los restantes agroquímicos de la lista dentro del segundo grupo de probabilidad de presencia del agroquímico en los bananos, a excepción del tiabendazol, azoxistrobina y miclobutanil. Los últimos son fungicidas (SFE, 2021b) que se utilizan en el proceso de post-cosecha de los bananos. Sin embargo, se aplican posterior a la operación de desleche, perdiendo pertinencia en el objetivo general del presente estudio<sup>3</sup> para el cual se tenía como interés principal evaluar la posibilidad de infiltración de sustancias químicas a la fruta durante la inmersión de la fruta en un medio acuoso para la eliminación del látex de la fruta (desleche).

A continuación, se presentan los agroquímicos autorizados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), de mayor probabilidad de presencia en banano, con sus respectivas ponderaciones según los porcentajes de ingesta diaria admisible (IDA) y dosis de referencia aguda (ARfD) de los agroquímicos.

<sup>3</sup> Laprade, S. 8 jul. 2021. Probabilidad de presencia de agroquímicos en la fruta de banano (videollamada Zoom, correo electrónico). San José, Costa Rica, CORBANA.

**Cuadro IV.** Agroquímicos autorizados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), de mayor probabilidad de presencia en banano, con sus respectivas ponderaciones según los porcentajes de ingesta diaria admisible (IDA) y dosis de referencia aguda (ARfD) de los agroquímicos.

Agroquímico	IDA (%)	Valor ponderado según IDA (%)	ARfD (%)	Valor ponderado según ARfD (%)
Bifentrina	1,2	28	9,5	36
Piriproxifén	1,7	30	0,7	22
Buprofezin	4,1	36	0,6	19

En el cuadro V, se observa la ponderación final de severidad de los agroquímicos de mayor probabilidad de presencia en la fruta de banano. Como se menciona previamente, se obtienen del promedio de las puntuaciones de la determinación de la toxicidad aguda y crónica. No obstante, se determina que los agroquímicos de interés corresponden a la bifentrina y piriproxifén dado a su uso en bananos exportados tanto al mercado Norteamericano como Europeo. A diferencia de estos, el buprofezin se aplica únicamente en producto exportado a Norteamérica. El LMR permitido en Europa corresponde a 0,001 miligramo de buprofezin por kilogramo de banano, correspondiente al límite de detección<sup>4</sup>.

A continuación, se presentan los agroquímicos autorizados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), de mayor probabilidad de presencia en fruta de banano, presentados en orden descendente según su severidad como peligro químico.

**Cuadro V.** Agroquímicos autorizados por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), de mayor probabilidad de presencia en fruta de banano, presentados en orden descendente según su severidad como peligro químico.

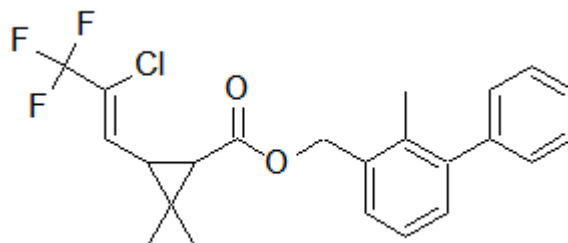
Clasificación	Agroquímico	Ponderación final
Insecticida	Bifentrina	32
Insecticida	Buprofezin	28
Insecticida	Piriproxifén	26

La bifentrina, mostrada en la figura 2, es un insecticida y acaricida que pertenece al grupo químico de los piretroides. Estos afectan el sistema nervioso central y periférico de los organismos debido a que interfieren en los canales de sodio de las membranas. Así, ocasiona la interrupción de la transferencia de iones y transmisión

<sup>4</sup> Laprade, S. 24 ago. 2021. Uso de bifentrina, piriproxifén y buprofezin en la Finca San Pablo y el mercado destinatario (videollamada Zoom). San José, Costa Rica, CORBANA.



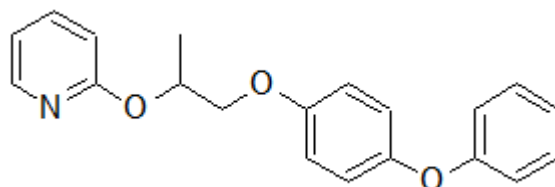
de impulsos entre las células nerviosas (Devine *et al.*, 2008; Johnson *et al.*, 2010). De tal manera, el agroquímico se puede encontrar de forma granulada o concentrados para el control de insectos de follaje (IRET, 2021a). Así, la vía de exposición más común a la sustancia corresponde a la ingesta de alimentos con residuos del agroquímico (Heudorf & Angerer, 2001; Schettgen *et al.*, 2002). Algunos efectos corresponden a reacciones alérgicas, dermatitis, asma, bronquitis, estornudos y congestión nasal (EFSA, 2011).



Fuente: propia.

**Figura 2.** Estructura química del insecticida y acaricida bifentrina.

El piriproxifén, mostrado en la figura 3, es un insecticida perteneciente al grupo químico del fenil éter. La sustancia activa funciona como un mimético de la hormona juvenil con un efecto en la regulación del crecimiento de los insectos. El agroquímico inhibe el crecimiento al suprimir la embriogénesis, la metamorfosis y la reproducción. Así, el producto se puede encontrar como un concentrado con aplicaciones para el control de moscas, escarabajos, mosquitos, mosca blanca y trips (IRET, 2021b; IRAC, 2019). En estudios *in vitro* en animales se ha demostrado efectos en el hígado, generando aumento del peso del órgano y cambios en el colesterol en plasma (OMS, 2004). Además, se ha encontrado que la sustancia puede incrementar la severidad de amiloidosis sistémica y cambios histopatológicos en los riñones (EFSA, 2019).



Fuente: propia.

**Figura 3.** Estructura química del insecticida piriproxifén.

Según la FDA (Food and Drug Administration, por sus siglas en inglés) (2021), desde el 2017 hasta el 2021, no se han reportado retiros de mercado de banano debido al

uso indiscriminado de bifentrina o piriproxifén. Aunado a ello, la Comisión Europea (EC, por sus siglas en inglés) (2021) tampoco ha emitido retiros de banano debido a presencia de bifentrina o piriproxifén desde el 2011. Por otro lado, Li *et al.* (2016) encontraron que la bifentrina es de los compuestos de mayor frecuencia de detección en frutas y vegetales, correspondiendo al 69 % de todos los residuos analizados en la investigación. En otro estudio realizado por Kim *et al.* (2020) en el cual se determina los residuos de pesticidas en banano, se encontró la presencia de 14 pesticidas en el banano de exportación de Costa Rica, los cuales incluye la bifentrina y el piriproxifén. Asimismo, en una investigación realizada por Grimalt *et al.* (2010), se determinó 11 residuos en distintas frutas y vegetales, donde se incluyó piriproxifén y bananos, respectivamente. Lo mismo ocurre en un estudio realizado por Wang *et al.* (2010), donde se determinó 148 pesticidas en distintas frutas y vegetales, incluidos piriproxifén y banano, respectivamente. Lo anterior, en conjunto con los posibles efectos secundarios de la bifentrina y el piriproxifén en la salud humana previamente expuestos, se logra corroborar la severidad y probabilidad de presencia de las sustancias en el banano costarricense.

## **5.2. Evaluación de la concentración de los dos pesticidas con la más alta probabilidad de presencia y mayor severidad como peligros químicos en banano, en cáscara de banano y el potencial de infiltración en la pulpa de la fruta, durante la operación de desleche de la fruta bajo las condiciones de procesamiento de la Finca San Pablo.**

A partir de los resultados obtenidos de análisis de residuos, mostrados en el cuadro VI, no se logra detectar residuos de bifentrina en la pulpa de la fruta de banano. Lo mismo ocurre con las cantidades de piriproxifén, exceptuando la concentración cuantificable después del desleche de la primera repetición. Por un lado, los hallazgos sugieren una ausencia de infiltración de las sustancias hacia la pulpa de la fruta. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de infiltración de los compuestos en cantidades iniciales muy pequeñas, siendo concentraciones no detectables por el método utilizado. Los valores de 0,014 mg/kg y 0,0091 mg/kg corresponden a los límites de detección de la bifentrina y piriproxifén del método analítico utilizado, respectivamente. Mientras que el valor de 0,018 mg/kg corresponde al límite de cuantificación del piriproxifén correspondiente a la metodología cuantitativa utilizada. Se reportan dichos resultados asumiendo las mayores cantidades de ser detectables y cuantificables.

A continuación, se presentan las concentraciones de bifentrina y piriproxifén en las muestras compuestas de pulpa de banano verde con 13 semanas de cosecha, recolectadas antes y después del desleche, de la Finca San Pablo.

**Cuadro VI.** Concentración de bifentrina y piriproxifén en las muestras compuestas de pulpa de banano verde con 13 semanas de cosecha, recolectadas antes y después del desleche, de la Finca San Pablo.

Repetición	Concentración de bifentrina (mg/kg)		Concentración de piriproxifén (mg/kg)	
	Antes	Después	Antes	Después
1	0,014 <sup>a</sup>	0,014 <sup>a</sup>	0,018 <sup>b</sup>	0,0192
2	0,014 <sup>a</sup>	0,014 <sup>a</sup>	0,0091 <sup>c</sup>	0,0091 <sup>c</sup>
3	0,014 <sup>a</sup>	0,014 <sup>a</sup>	0,0091 <sup>c</sup>	0,0091 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Límite de detección bifentrina.

<sup>b</sup> Límite de cuantificación de piriproxifén.

<sup>c</sup> Límite de detección de piriproxifén.

En adición, al comparar los resultados obtenidos con los LMR establecidos por el SFE mostrados en el cuadro VII, se puede confirmar que ambas sustancias agroquímicas se encuentran por debajo de los valores permitidos. Dicho resultado es positivo tanto para el margen legal de la producción bananera de la Finca San Pablo como para el aseguramiento de la inocuidad de los bananos para el consumo humano. Lo anterior podría ser indicador de aplicación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo y procesamiento de banano de la planta en discusión. Los resultados concuerdan con el informe realizado por EFSA (2018), en el cual 797 muestras de banano presentaron residuos de bifentrina menores al límite de cuantificación establecido. Además, 191 muestras con residuos de bifentrina cuantificables, se encontraban debajo del LMR establecido. De igual manera, se repite el mismo comportamiento con el piriproxifén, donde 983 muestras no fueron cuantificables y 2 cuantificables por debajo del LMR.

Lo mismo ocurre con un estudio realizado por Castricini *et al.* (2018) donde se determinó el nivel de residuos de la bifentrina a lo largo del proceso de maduración de bananos “Grande Naine” (subgrupo de la variedad Cavendish) cultivados en la zona de Minas Gerais de Brasil. Entre los hallazgos, no se detectó residuos de la sustancia activa en la pulpa de la fruta no madura, atribuyendo el resultado a la protección física que brinda la cáscara de la fruta. Lo mismo se observa en otro trabajo realizado por Castricini *et al.*, (2021) para la evaluación de residuos de bifentrina en racimos de bananos lavados y sin lavar, cosechados de una finca en Nova Porteirinha de Brasil donde tampoco se detectó bifentrina en la pulpa de la fruta.

Por otro lado, los estudios sobre el comportamiento de piriproxifén en la fruta de estudio son escasos. Sin embargo, en relación con otras matrices, en un estudio realizado por Maofeng *et al.* (2018), donde se evaluó la disipación y seguridad del

uso de 4 pesticidas (novaluron, piriproxifén, tiacloprid y tolfenpyrad) en cítricos (fruta entera, pulpa y cáscara) a lo largo del tiempo, se encontraron resultados comparables. Los niveles de piriproxifén en la pulpa de la fruta cítrica se encontraban por debajo del límite de cuantificación correspondiente a 0,005 mg/kg, valor inferior al límite de detección del ensayo analítico utilizado en el presente estudio.

Existen otras técnicas que permiten detectar y cuantificar cantidades más pequeñas de residuos en la matriz de estudio. Por ejemplo, se ha demostrado la aplicabilidad del método QuEChERS en conjunto con cromatografía líquida de ultra alto rendimiento acoplada a la espectrometría de masas en tándem para la determinación de pesticidas (entre ellos, bifentrina) en banano. El método permite un límite de detección y cuantificación de 5 y 10 µg/kg, respectivamente (Carneiro *et al.*, 2013). Sin embargo, dado que los límites de detección y cuantificación del presente método son inferiores a los LMR establecidos por el SFE, no se considera necesario realizar estudios con métodos más sensibles.

A continuación, se presentan los límites máximos de residuos (LMR) de bifentrina y piriproxifén permitidos en la pulpa de banano, establecidos por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica.

**Cuadro VII.** Límites máximos de residuos (LMR) de bifentrina y piriproxifén permitidos en la pulpa de banano, establecidos por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica.

<b>Agroquímico</b>	<b>LMR (mg/kg)</b>
Bifentrina	0,1
Piriproxifén	0,7

Respecto a las concentraciones de bifentrina y piriproxifén encontradas en la cáscara de la fruta presentados en el cuadro VIII, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa de las cantidades de agroquímicos antes y después de la operación de desleche. Se puede afirmar con un 95 % de confianza, que la operación de desleche no tiene efecto en la concentración de los agroquímicos ( $P_{\text{bifentrina}}: 0,6189$ ;  $P_{\text{piriproxifén}}: 0,8335$ ) presente en las cáscaras de banano. A partir del cálculo de la potencia de la prueba, empleando el valor de LMR como diferencia mínima por detectar, para el caso de bifentrina se determina que el valor corresponde a 72,7 % y para piriproxifén de 49,5 %.

A continuación, se presentan las concentraciones de bifentrina y piriproxifén en las muestras compuestas de cáscara de banano verde con 13 semanas de cosecha, recolectadas antes y después del desleche, de la Finca San Pablo.

**Cuadro VIII.** Concentración de bifentrina y piriproxifén en las muestras compuestas de cáscara de banano verde con 13 semanas de cosecha, recolectadas antes y después del desleche, de la Finca San Pablo.

Repetición	Concentración de bifentrina (mg/kg)		Concentración de piriproxifén (mg/kg)	
	Antes	Después	Antes	Después
1	0,094	0,174	0,76	0,93
2	0,087	0,07	0,162	0,234
3	0,056	0,056	0,0091 <sup>c</sup>	0,0091 <sup>c</sup>

<sup>c</sup> Límite de detección de piriproxifén.

Al comparar los resultados obtenidos, se observa que las concentraciones de bifentrina (después del desleche) y piriproxifén (antes y después del desleche) de la primera repetición, superan los LMR establecidos por el SFE. En el estudio realizado por Castricini *et al.* (2018), se encontró un promedio de 0,34 mg/kg de bifentrina en la cáscara de la fruta recién cosechada, siendo concentraciones mayores a las encontradas en el presente estudio. Adicionalmente, en el estudio de Castricini *et al.* (2021), previamente mencionado, la cáscara de la fruta sin lavar y lavada presentó concentraciones de bifentrina de 0,31 mg/kg y 0,060 mg/kg, respectivamente. En dicho estudio, se encontró que existe una diferencia significativa en la reducción del agroquímico durante el lavado. No obstante, se concluye que el procedimiento habitual para el lavado de bananos no es efectivo para la eliminación completa de la sustancia activa.

En el estudio realizado por Maofeng *et al.* (2018), se encontró concentraciones de 0,063 – 0,37 mg/kg de piriproxifén en la cáscara de la fruta cítrica. Mientras que en una investigación realizada por Andrade *et al.* (2015), donde se analizó el efecto de distintos métodos de lavado sobre la cantidad de residuos de pesticidas en tomates, se encuentran resultados similares a los de Castricini *et al.* (2021). Al realizar lavados por inmersión en agua por 20 minutos sin agitación, se logra alcanzar la mayor disminución de residuos de diflubenzurón, el cual es un insecticida no sistémico al igual que el piriproxifén. De igual manera, no se logra la completa eliminación del agroquímico en cuestión.

En el cuadro IX, se pueden observar los valores promedios de temperatura interna del banano antes del desleche y la temperatura del agua de los tanques de desleche en la planta de procesamiento de la Finca San Pablo. Se puede observar una diferencia de temperatura de 4,67 – 5 °C, siendo superior la temperatura interna del banano respecto a la del agua de los tanques de desleche. Como se mencionó previamente, no existe un monitoreo de la temperatura interna de la fruta o el agua

de los tanques de desmano o lavado en la planta empacadora de estudio, lo cual puede comprometer la inocuidad del producto si las condiciones son favorables y permiten la infiltración. En el estudio realizado por Macarisin *et al.* (2017), se encontró que inclusive en la ausencia de diferencial de temperatura entre el agua de inmersión y melones, se presenta infiltración de *Listeria monocytogenes* en la fruta. Por otro lado, en el estudio de Azofeifa (2020) se encontró resultados similares, donde en los ensayos con diferenciales de temperaturas de 0 y 5 °C, se obtuvo la misma incidencia de bananos infiltrados. Además, en el *Standards for the Growing, Harvesting, Packing, and Holding of Produce for Human Consumption* de la FDA (2015), se discute la consideración de establecer una temperatura superior de al menos 10 °F (5,56 °C) en el agua de inmersión en comparación a los cultivos con el fin de minimizar el potencial de infiltración. Aplicar esta recomendación en la industria bananera disminuiría la probabilidad de infiltración de la fruta que comprometa la inocuidad de esta.

A continuación, se presentan los valores promedios de temperatura interna del banano antes del desleche y la temperatura del agua de los tanques de desleche en la planta de procesamiento de la Finca San Pablo, obtenidos durante la recolección de clústeres de bananos verdes con 13 semanas de cosecha.

**Cuadro IX.** Valores promedios de temperatura interna del banano antes del desleche y la temperatura del agua de los tanques de desleche en la planta de procesamiento de la Finca San Pablo, obtenidos durante la recolección de clústeres de bananos verdes con 13 semanas de cosecha.

<b>Repetición</b>	<b>Temperatura interna promedio del banano antes del desleche (°C)</b>	<b>Desviación estándar de la temperatura interna promedio del banano antes del desleche (<math>\pm</math>°C) n=3</b>	<b>Temperatura del agua de los tanques de desleche (°C)</b>
1	30	1	25
2	30	1	25
3	29,67	0,58	25

Según los tiempos de duración de la operación de desleche mostrados en el cuadro X, se puede observar un rango de tiempos que varía entre los 10 y 41 minutos. Lo anterior es similar con lo expuesto en el estudio no publicado de Azofeifa (2020), donde se reportan tiempos de desleche entre 20 a 40 minutos para la misma planta empacadora en estudio. No obstante, esta vez se obtuvo un valor de 10 minutos de

duración en el tanque de desleche. El valor obtenido corresponde a un clúster de banano procesado en el horario de descanso de operarios, donde existe un cese en las etapas de desmane de banano y entrada a los tanques de desleche, y se continúa la transferencia de los clústeres desde los tanques de lavado hacia las líneas de empaque.

A continuación, se presentan los valores de tiempo de duración de la operación de desleche en los tanques de la planta de procesamiento de la Finca San Pablo, obtenidos durante la recolección de clústeres de bananos verdes con 13 semanas de cosecha.

**Cuadro X.** Valores de tiempo de duración de la operación de desleche en los tanques de la planta de procesamiento de la Finca San Pablo, obtenidos durante la recolección de clústeres de bananos verdes con 13 semanas de cosecha.

Repetición	Tiempo de desleche (min)		
	1	23,55	37,87
2	28,23	29,43	30,53
3	22,08	22,45	10,9

Por otro lado, lo anterior plantea la pregunta para posibles investigaciones futuras sobre la efectividad de eliminación del látex del banano en periodos de tiempo de 10 minutos a las temperaturas de operación, dado que la misma planta sugiere un tiempo de 20 minutos de inmersión en los tanques para la correcta remoción de la sustancia. Esto concuerda con los hallazgos de Ramírez *et al.* (2011), los cuales indican que los frutos de banano con tratamiento comercial duran aproximadamente 20 minutos para liberar el látex. Adicionalmente, la investigación también define que el desleche por 10 minutos es efectivo en la remoción de látex cuando se realiza a 45 °C.

Adicionalmente, con el fin de ampliar el alcance de la investigación, en el cuadro XI se muestra un listado de todas las sustancias agroquímicas encontradas en la pulpa y cáscara de muestras de banano, y agua de los tanques de desleche recolectados. Las concentraciones encontradas de azoxistrobina y tiabendazol, tanto en la pulpa como en la cáscara de banano, no superan los LMR (mg/kg) establecidos por el SFE que se muestran en el cuadro XII. Los agroquímicos fueron detectados en las muestras recolectadas posterior a su procesamiento y aplicación de sustancias post-cosecha. Así, es esperable la presencia de azoxistrobina y tiabendazol en la fruta de banano dado que son aplicadas durante la post-cosecha.

Es importante agregar que el piriproxifén es aplicado en las bolsas de polietileno para la protección del fruto (Rosales *et al.*, 2010; Vargas *et al.*, 2017). La presencia

del agroquímico es esperable en el agua de lavado dado al contacto directo con los racimos de banano. El isofenfós y oxadiazón son sustancias aplicadas en la tierra de cultivo como tratamientos preventivos para insectos y hierbas, respectivamente (ORST, 1996; Farm saber, s.f.). Su detección indica una posible transferencia de los compuestos entre el suelo y/o los obreros con la fruta. Por otro lado, el hallazgo de azoxistrobina y tiabendazol en el agua de los tanques de desleche es un indicativo de una posible contaminación del agua de lavado, dado que ambos fungicidas son aplicados después de la operación de eliminación de látex y por tanto no resulta lógico el resultado observado.

A continuación, se presentan las sustancias agroquímicas detectadas en la pulpa y cáscara de muestras de banano, y agua de los tanques de desleche recolectados de la planta empacadora de la Finca San Pablo.

**Cuadro XI.** Sustancias agroquímicas detectadas en la pulpa y cáscara de muestras de banano, y agua de los tanques de desleche recolectados de la planta empacadora de la Finca San Pablo.

Pulpa		Cáscara		Agua de lavado	
Agroquímico	Concentración (mg/kg)	Agroquímico	Concentración (mg/kg)	Agroquímico	Concentración (µ/L)
Azoxistrobina	0,027 – 0,057	Azoxistrobina	0,50 – 0,66	Tiabendazol	3,6 – 6,1
				Azoxistrobina	Detectado <sup>d</sup>
Tiabendazol	0,0231 – 0,036	Tiabendazol	0,341 – 0,84	Piriproxifén	Detectado <sup>d</sup>
				Isofenfós	Detectado <sup>d</sup>
				Oxadiazón	0,033 <sup>e</sup>

<sup>d</sup> No se especifica el límite de detección.

<sup>e</sup> Límite de detección de oxadiazón.

A continuación, se presentan los límites máximos de residuos (LMR) de azoxistrobina y tiabendazol permitidos en la pulpa de banano, establecidos por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica.

**Cuadro XII.** Límites máximos de residuos (LMR) de azoxistrobina y tiabendazol permitidos en la pulpa de banano, establecidos por el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) para el cultivo de banano en Costa Rica.

Agroquímico	LMR (mg/kg)
Azoxistrobina	2
Tiabendazol	5



## 6. Conclusiones

- a) La bifentrina y el piriproxifén son los dos agroquímicos de mayor severidad y más alta probabilidad de presencia en la fruta de banano.
- b) No existe infiltración de cantidades detectables de bifentrina y piriproxifén en la pulpa de banano.
- c) La operación de desleche no tiene efecto en las concentraciones de bifentrina y piriproxifén presentes en la cáscara de banano.

## 7. Recomendaciones

- a) Se recomienda evaluar las prácticas agrícolas y manufactura en la Finca San Pablo dado a la presencia de fungicidas post-cosecha en el agua de lavado de operaciones previas, o realizar estudios para identificar los puntos de contaminación del agua de lavado con fungicidas propios de la post-cosecha.

## 8. Referencias

- AgroambienteCR. s.f.. Ficha técnica: Super Bacterol 100 orgánico (en línea). Costa Rica. Consultado el 31 ago. 2022. Disponible en <http://agroambientecr.com/wp-content/uploads/2019/05/FICHA-T%C3%89CNICA-SUPER-BACTEROL-100-ORG%C3%81NICO.pdf>
- Álvarez, E; Pantoja, A; Gañán, L; Ceballos, G. 2013. La Sigatoka negra en plátano y banano (en línea). Colombia. 1 p. Consultado el 9 sep. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/as089s/as089s.pdf>
- Amador, M; Molina, D; Guillen, C; Parajeles, E; Jiménez, K; Uribe, L. 2015. Utilización del nematodo entomopatógeno *Heterorhabditisatacamensis* ci-ne07 en el control del picudo del banano *Cosmopolites sordidus* en condiciones in vitro. *Agronomía Costarricense* 39(1): 47–60.
- Andrade, G; Monteiro, S; Francisco, J; Figueiredo, L; Rocha, A; Tornisielo, V. 2015. Effects of Types of Washing and Peeling in Relation to Pesticide Residues in Tomatoes. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 26(10): 1994-2002.

- Azofeifa, MF. 2020. Evaluación del potencial de infiltración de tinta en banano variedad Cavendish durante la operación de eliminación de látex (desleche). Tesis Lic. San José, Costa Rica, UCR.
- Bartz, JA. 1982. Infiltration of tomatoes immersed at different temperatures to different depths in suspensions of *Erwinia carotovora* subsp. *Carotovora*. *Plant Disease* 66(4): 302-306.
- Bartz, J; Yuk, HG; Mahovic, M; Warren, B; Sreedharan, A; Schneider, K. 2015. Internalization of *Salmonella enterica* by tomato fruit. *Food Control* 55(2015): 141-150.
- Bartz, J; Vallad, G; Sargent, S. 2017. Guide to identifying and controlling postharvest tomato diseases in Florida (en línea). Florida, Estados Unidos, University of Florida. Consultado el 31 ago. 2022. Disponible en <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf%5CHS%5CHS13100.pdf>
- Carneiro, R; Oliveira, F; Madureira, F; Silva, G; de Souza, W; Pereira, R. 2013. Development and method validation for determination of 128 pesticides in bananas by modified QuEChERS and UHPLC–MS/MS analysis. *Food Control* 33(2): 413-423.
- Castricini, A; Santos de Oliveira, A; de Pinho, G; Vilela, M. 2018. Pyrethroid insecticide residue in ‘Grande Naine’ banana peel and pulp during maturation. *Food Science and Technology (Campinas)* 39(4): 1-6.
- Castricini, A; Santos de Oliveira, A; Cacique, A; Vilela, M; Oliveira Silvério, F. 2021. Determination of bifenthrin residue in bananas after harvest and in washing water. *Brazilian Journal of Food Technology* 24: 1-10.
- CORBANA (Corporación Bananera Nacional, Costa Rica). 2020. Banano de Costa Rica (en línea, sitio web). Consultado el 23 dic. 2020. Disponible en <http://www.corbana.co.cr/banano-de-costa-rica/#industria>
- Christia, C; Bizani, E; Christophoridis, C; Fytianos, K. 2015. Pesticide residues in fruit samples: comparison of different QuEChERS methods using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Environmental Science and Pollution Research* 22(17):13167–13178.
- Dawson, C. 2016. Banano (en línea). Nueva York y Ginebra, Estados Unidos y Suiza, Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. 5, 15 p. Perfil de INFOCOMM. Consultado el 23 dic. 2020. Disponible en

[https://unctad.org/es/system/files/official-document/INFOCOMM\\_cp01\\_Banana\\_es.pdf](https://unctad.org/es/system/files/official-document/INFOCOMM_cp01_Banana_es.pdf)

- Devine, G; Eza, D; Ogusuku, E; Furlong, M. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica* 25(1): 74-100.
- Diepens, N; Pfennig, S; Van den Brink, P; Gunnarsson, J; Ruepert, C; Castillo, L. 2014. Effect of pesticides used in banana and pineapple plantations on aquatic ecosystems in Costa Rica. *Journal of Environmental Biology* 35(1):73-84.
- EC (European Commission). 2001. Guidance for the setting of an acute reference dose (ARfD) (en línea). Consultado el 10 ago. 2021. Disponible en [https://ec.europa.eu/food/system/files/2016-10/pesticides\\_ppp\\_app-proc\\_guide\\_tox\\_acute-ref-dose.pdf](https://ec.europa.eu/food/system/files/2016-10/pesticides_ppp_app-proc_guide_tox_acute-ref-dose.pdf)
- EC (European Commission). 2021. RASFF Window (en línea, sitio web). Consultado el 5 sep. 2021. Disponible en <https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/list>
- EFSA (European Food Safety Authority). 2018. The 2018 European Union Report on pesticide residues – bananas (en línea, sitio web). Consultado el 5 sep. 2021. Disponible en <https://www.efsa.europa.eu/fr/annual-pesticides-report-2018-bananas>
- EFSA (European Food Safety Authority); Abdourahime, H; Anastassiadou, M; Arena, M; Auteri, D; Barmaz, S; Brancato, A; Bura, L; Carrasco Cabrera, L; Chaideftou, E; Chiusolo, A; Court Marques, D; Crivellente, F; De Lentdecker, C; Egsmose, M; Fait, G; Ferreira, L; Gatto, V; Greco, L; Ippolito, A; Istace, F; Jarrah, S; Kardassi, D; Leuschner, R; Lostia, A; Lythgo, C; Messinetti, S; Miron, I; Molnar, T; Padovani, L; Parra Morte, JM; Pedersen, R; Raczky, M; Reich, H; Ruocco, S; Saari, KE; Santos, M; Serafimova, R; Sharp, R; Stanek; Alois; Streissl, F; Sturma, J; Szentés, C; Terron, A; Tiramani, M; Vagenende, B; Vainovska, P; Villamar-Bouza, L. 2019. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance pyriproxyfen. *EFSA Journal* 17(7):5732.
- Estrada, E; Zuchel, J; Vallotton, A; Strawn, L. 2019. Susceptibility of produce to infiltration: risk factors and mitigations (en línea). Virginia Tech. Consultado el 31 ago. 2022. Disponible en

[https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs\\_ext\\_vt\\_edu/FST/fst-320/FST-320.pdf](https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/FST/fst-320/FST-320.pdf)

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2016. Todo sobre los bananos: lo que debería saber acerca de esta fruta tropical (en línea, sitio web). Roma, Italia. Consultado el 20 ago. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/447827/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2017. Manejo de pesticidas en la industria bananera (en línea, sitio web). Consultado el 23 dic. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/world-banana-forum/projects/good-practices/pesticide-management/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2018. Post-harvest management of banana for quality and safety assurance: Guidance for horticultural supply chain stakeholders (en línea). Roma, Italia. Consultado el 24 dic. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/I8242EN/i8242en.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2019. Dietary risk assessment (en línea, sitio web). Consultado el 29 sep. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/pesticide-registration-toolkit/registration-tools/assessment-methods/method-detail/es/c/1187112/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2020. Banana market review: February 2020 snapshot (en línea). Roma, Italia. Consultado el 15 ene. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/ca9212en/ca9212en.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2021a. Banana market review: Preliminary results 2020 (en línea). Roma, Italia. Consultado el 20 ago. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/cb5150en/cb5150en.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2021b. Límites máximos de residuos (LMR) (en línea, sitio web). Consultado el 28 sep. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/maximum-residue-limits/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2022. Banana facts and figures (en línea, sitio web). Estados Unidos. Consultado el 18 oct. 2022. Disponible en <https://www.fao.org/economic/est/est->

commodities/oilcrops/bananas/bananafacts/en/#:~:text=Approximately%2050%20billion%20tonnes%20of,the%20effects%20of%20global%20travel.

Farm Saver. s.f.. Oxadiazon 2G (en línea). Carolina del Norte, Estados Unidos. Consultado el 9 sep. 2022. Disponible en <http://newsomseed.com/resources/Oxadiazon2G-LABEL.pdf>

FDA (U.S. Food and Drug Administration, Estados Unidos). 2015. Standards for the Growing, Harvesting, Packing, and Holding of Produce for Human Consumption: Final Rule (en línea). Estados Unidos. Consultado el 10 sep. 2022. Disponible en <https://www.regulations.gov/document/FDA-2011-N-0921-18558>

FDA (U.S. Food and Drug Administration, Estados Unidos). 2021. Recalls, market withdrawals, & safety alerts (en línea, sitio web). Estados Unidos. Consultado el 5 sep. Disponible en <https://www.fda.gov/safety/recalls-market-withdrawals-safety-alerts>

FSANZ (Food Standards Australia New Zealand). 2016. Directriz sobre LMRs de importación para plaguicidas: Directriz sobre los posibles enfoques para alcanzar alineamientos de los LMR internacionales (original en inglés). Canberra, Australia. 21 p.

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.

Grimalt, S; Sancho, J; Pozo, O; Hernández, F. 2010. Quantification, confirmation and screening capability of UHPLC coupled to triple quadrupole and hybrid quadrupole time-of-flight mass spectrometry in pesticide residue analysis. *Journal of Mass Spectrometry* 45(4): 421-436.

Hernández-Borges, J; Cabrera, J; Rodríguez-Delgado, M; Hernandez-Suarez, E; Saúco, V. 2009. Analysis of pesticide residues in bananas harvested in the Canary Islands (Spain). *Food Chemistry* 113(1):313-319.

Higgins, G. 2018. Infiltration (en línea, sitio web). Center for Agriculture, Food and the Environment, University of Massachusetts Amherst. Consultado el 31 ago. 2022. Disponible en <https://ag.umass.edu/vegetable/fact-sheets/infiltration>

- IRAC (Comité de Acción contra la Resistencia a Insecticidas, España). 2019. Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas (en línea). España. Consultado el 5 sep. 2021. Disponible en <https://irac-online.org/active-ingredient/pyriproxyfen/>
- IRET (Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas, Costa Rica). 2021a. Bifentrina (en línea, sitio web). Heredia, Costa Rica. Consultado el 5 sep. 2021. Disponible en <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/65-bifentrina>
- IRET (Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas, Costa Rica). 2021b. Piriproxifén (en línea, sitio web). Heredia, Costa Rica. Consultado el 5 sep. 2021. Disponible en <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/461-piriproxifen>
- Johnson, M; Luukinen, B; Gervais, J; Buhl, K; Stone, D. 2010. Bifenthrin technical fact sheet (en línea, sitio web). National Pesticide Information Center, Oregon State University. Consultado el 9 sep. 2021. Disponible en <http://npic.orst.edu/factsheets/archive/biftech.html>
- Kim, S; Kim, J; Im, M. 2020. Residual characteristics of pesticide in banana from international pesticide residue monitoring data. *Journal of Applied Biological Chemistry* 63(1):9-22.
- Li, W; Morgan, MK; Graham, SE; Starr, JM. 2016. Measurement of pyrethroids and their environmental degradation products in fresh fruits and vegetables using a modification of the quick easy cheap effective rugged safe (QuEChERS) method. *Talanta*.
- Loor, JA. 2016. Control cultural, físico y químico de la escama blanca (*Diaspis boisduvalii*) en cultivos de banano del cantón Marcelino Maridueña. Tesis M. Sc. Guayaquil, Ecuador, Universidad de Guayaquil.
- Macarisin, D; Wooten, A; De Jesus, A; Hur, M; Bae, S; Patel, J; Evanas, P; Brown, E; Hammack, T; Chen, Y. 2017. Internalization of *Listeria monocytogenes* in cantaloupes during dump tank washing and hydrocooling (en línea). *International Journal of Food Microbiology* 257(2017):165–175.
- Maggioni, D. 2018. Evaluación de riesgos por ingesta dietaria de residuos de plaguicidas. Tesis Ph.D. Santa Fe, Argentina, Universidad Nacional del Litoral. 97-114 p.

- Maofeng, D; Guangyue, W; Hongxia, T; Tan, W; Zihui, Z; Weiguo, S; Weimin, W; Li, Z. 2018. Dissipation and safety evaluation of novaluron, pyriproxyfen, thiacloprid and tolfenpyrad residues in the citrus-field ecosystem. *Food Chemistry* 269(2018): 136-141.
- Mendez, A; Castillo, L; Ruepert, C; Hungerbuehler, K; Ng, C. 2018. Tracking pesticide fate in conventional banana cultivation in Costa Rica: A disconnect between protecting ecosystems and consumer health. *Science of the Total Environment* 613-614: 1250-1262.
- Grupo Olefinas. 2020. Totalflex 0.4% (ficha técnica). Villa Nueva, Guatemala. 1 ficha técnica.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 1989. Pautas para predecir la ingesta de residuos de plaguicidas en los alimentos (original en inglés). *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana* 106(3): 214-223 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 1997. Orientaciones para predecir la ingestión alimentaria de residuos de plaguicidas / preparadas por el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente - Programa de Vigilancia y Evaluación de la Contaminación de los Alimentos (SIMUVIMA/Alimentos); en colaboración con el Comité del Codex sobre Residuos de Plaguicidas, Rev. ed. Organización Mundial de la Salud.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2004. Pyriproxyfen in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality (en línea). Ginebra, Suiza. Consultado el 11 sep. 2022. Disponible en <http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/WHO%20-%20Pyriproxyfen%20in%20Drinking-water.pdf>
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2017a. Herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana de la OMS: Peligros químicos (en línea). Ginebra, Suiza. Consultado el 21 feb. 2021. Disponible en <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255613/9789243548074-spa.pdf;jsessionid=B3405CFBE6560F8D775105E6C22EF676?sequence=1>
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2017b. Documento de debate sobre la posible revisión de las ecuaciones de la ingesta estimada internacional de corto plazo (IESTI). Roma, Italia. Consultado el 10 ago. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsit>

es%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-718-49%252FWD%252Fpr49\_12s.pdf

- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2021. Joint FAO/OMS Meeting on Pesticides Residues: About us (en línea, sitio web). Consultado el 29 sep. 2021. Disponible en <https://www.who.int/joint-fao-who-meeting-on-pesticide-residues/about>
- ORST (Oregon State University). 1996. Isofenphos (en línea, sitio web). Oregon, Estados Unidos. Consultado el 9 sep. 2022. Disponible en <http://extoxnet.orst.edu/pips/isofenph.htm#:~:text=The%20product%20is%20used%20in,termite%20in%20and%20around%20structures>.
- OSHA (Occupational Safety & Health Administration). 2001. Health hazard definitions (Mandatory) (en línea, sitio web). Consultado el 29 sep. 2021. Disponible en <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1917/1917.28AppA>
- PAHO (Organización Panamericana de la Salud, Estados Unidos). 2020. Peligros químicos: Inocuidad de alimentos - Control sanitario – HACCP (en línea, sitio web). Consultado el 23 dic. 2020. Disponible en [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10849:2015-peligros-quimicos&Itemid=41432&lang=en](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10849:2015-peligros-quimicos&Itemid=41432&lang=en)
- Plácido, A; Paíga, P; Lopes, DH; Correia, M; Delerue-Matos, C. 2013. Determination of methiocarb and its degradation products, methiocarb sulfoxide and methiocarb sulfone, in bananas using QuEChERS extraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61(2):325–331.
- Ramírez, M; Saenz, MV; 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.
- Rojas Sanabria, P; Araya Vega, J; Álvarez, S; Fuentes, G; Velázquez Villalta, M; Fallas Monge, M. 2007. Caracterización y plan de acción para el desarrollo de la agrocadena del cultivo de plátano en la Región Huetar Atlántica (en línea). Siquirres, Limón, MAG. Consultado el 31 ago. 2022. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-10317.pdf>
- Rosales, FE; Álvarez, JM; Vargas, A. 2010. Guía práctica para la producción de plátano con altas densidades (en línea). Bioversity International. Consultado el 27 ago. 2022. Disponible en [https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/\\_migrated/uploads/tx\\_news/Guia\\_practica\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_platano\\_con\\_atlas\\_densidades\\_experiencias\\_de\\_America\\_Latina\\_y\\_El\\_Caribe\\_1373.pdf](https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Guia_practica_para_la_produccion_de_platano_con_atlas_densidades_experiencias_de_America_Latina_y_El_Caribe_1373.pdf)



- Sanmartín, JA. 2018. Diseño de un sistema de tratamiento y recirculación para el efluente proveniente de la empacadora de banano de la finca “El Progreso” ubicada en el cantón El Guabo, provincia de El Oro”. Tesis Lic. Cuenca, Ecuador, Universidad de Cuenca.
- Scribano, F; Fontana, M; Alayón Luaces, P; Cáceres, S. 2018. Efecto del embolsado y deschire del cultivo de banano (*Musa acuminata* Colla) sobre las poblaciones de trips (*Thysanoptera: Thripidae*). Revista de la Sociedad Entomológica Argentina 77(3): 14-21.
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado, Costa Rica). 2017a. Costa Rica establece medidas fitosanitarias para importación de artículos reglamentados asociados con *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical (en línea). Boletín SFE 2017:1, 4. Consultado el 9 sep. 2021. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AF-0083.pdf>
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado, Costa Rica). 2017b. Establecimiento de niveles máximos de residuos (LMR) una tarea compleja explicada por especialistas (en línea). Consultado el 28 sep. 2021. Disponible en <https://www.sfe.go.cr/Prensa2017/CP10%20Establecimiento%20de%20niveles%20m%C3%A1ximos%20de%20residuos%20una%20tarea%20compleja%20explicada%20por%20especialistas.pdf>
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado, Costa Rica). 2021a. Límites máximos de residuos conocidos también como tolerancia (en línea, sitio web). Consultado el 28 sep. 2021. Disponible en <https://www.sfe.go.cr/SitePages/Residuosdeagroquimicos/LMR.aspx>
- SFE (Servicio Fitosanitario del Estado, Costa Rica). 2021b. Consultar norma nacional de LMR (en línea, sitio web). Consultado el 10 may. 2021. Disponible en <http://app.sfe.go.cr/SFEInsumos/asp/Pantallas/PantallaSeleccion.aspx>
- Soto, M. 2017. Bananos: Manejo poscosecha y comercialización. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 67-99 pp.
- Stoller. 2022. N-Large (en línea). México. Consultado el 31 ago. 2022. Disponible en <https://stollermexico.com/n-large/>
- Syngenta. 2017. Bankit: Ficha técnica (en línea). México. Consultado el 31 ago. 2022. Disponible en [https://www.syngenta.com.mx/sites/g/files/zhg501/f/media/2022/07/11/fichatecnica-bankit\\_25\\_sc.pdf?token=1657504135](https://www.syngenta.com.mx/sites/g/files/zhg501/f/media/2022/07/11/fichatecnica-bankit_25_sc.pdf?token=1657504135)
- Valverde, K. 2020. Evaluación del potencial de infiltración de *Escherichia coli* ATCC 25922 durante el proceso de lavado por inmersión del banano. Tesis Lic. San José, Costa Rica, UCR.

- Vargas, A; Watler, W; Morales, M; Vignola, R. 2017. Prácticas efectivas para la reducción de impacto por eventos climáticos en el cultivo de banano en Costa Rica (en línea). Costa Rica, CATIE, CORBANA, MAG. 14-16 p. Ficha técnica: Cultivo de banano. Consultado el 23 dic. 2020. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-Banano.pdf>
- Voora, V; Larrea, C; Bermudez, S. 2020. Global market report: Bananas (en línea). Manitoba, Canadá, IISD. 1 p. Sustainable commodities marketplace series 2019. Consultado el 23 dic. 2020. Disponible en <https://www.iisd.org/system/files/publications/ssi-global-market-report-banana.pdf>
- Wang, J; Chow, W; Leung, D. 2010. Applications of LC/ESI-MS/MS and UHPLC QqTOF MS for the determination of 148 pesticides in fruits and vegetables. *Analytical & Bioanalytical Chemistry* (396): 1513-1538.
- Yang, T; Doherty, J; Zhao, B; Kinchla, A; Clark, J; He, L. 2017. Effectiveness of commercial and homemade washing agents in removing pesticide residues on and in apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65(44):A.I.