

**Análisis geoespacial de zonas de amortiguamiento por fumigación aérea de plaguicidas en el cultivo de banano, Costa Rica**

**Geospatial analysis of buffer zones for aerial pesticide spraying on banana plantations, Costa Rica**



**Luis Palomo-Cordero**

Licdo. Ingeniería en Gestión Ambiental

Programa Infantes y Salud Ambiental (ISA), Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA)

Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 4 No. 1. Enero-Julio, 2023: 21-46

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.4-1.2>

[luis.palomo.cordero@una.ac.cr](mailto:luis.palomo.cordero@una.ac.cr)

<https://orcid.org/0000-0002-9561-6742>

Heredia, Costa Rica.

Recibido: 11/01/2023

Revisado: 08/04/2023

Aprobado: 30/08/2023

**Reichel Rodríguez-Miranda**

Máster en Educación Rural Centroamericano

Programa Infantes y Salud Ambiental (ISA), Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA)

[reichel.rodriguez.miranda@una.ac.cr](mailto:reichel.rodriguez.miranda@una.ac.cr)

<https://orcid.org/0000-0003-1745-5477>

**Jane A Hoppin**

ScD in Environmental Health and Epidemiology

Center for Human Health and the Environment and Department of Biological Sciences, North Carolina State University

[jahoppin@ncsu.edu](mailto:jahoppin@ncsu.edu)

<https://orcid.org/0000-0001-8456-0969>

Raleigh, NC, USA

**Berna van Wendel de Joode**

PhD en Evaluación de Exposición y Epidemiología Ambiental

Programa Infantes y Salud Ambiental (ISA), Instituto Regional de Estudios en Sustancias  
Tóxicas (IRET), Universidad Nacional (UNA)

[berendina.vanwendel.dejoode@una.ac.cr](mailto:berendina.vanwendel.dejoode@una.ac.cr)  
<https://orcid.org/0000-0001-9699-5046>

Heredia, Costa Rica

## Resumen

La aplicación aérea de plaguicidas está permitida en América Latina y Estados Unidos, pero prohibida en la Unión Europea. En Costa Rica, se establece una franja de  $\geq 100$  metros sin aplicación aérea, reducible a 30 metros si existe una barrera natural. El objetivo del estudio fue analizar zonas de amortiguamiento y algunas prácticas de aviación agrícola en fincas bananeras del cantón de Matina, Costa Rica, según la reglamentación existente.

Durante el I semestre 2021, se utilizó imágenes satelitales de Google Earth para la fotointerpretación e identificación de barreras naturales del área del estudio. Posteriormente, se visitaron 63 sitios sin barrera natural y se entrevistó a 58 personas vecinas sobre prácticas de fumigación. Se analizó la información recolectada en ArcGIS 10.7.

Mediante el análisis SIG se identificó 44 kilómetros de línea de cultivo sin barrera natural adyacentes a viviendas y carreteras. Durante el último mes, el 88% de las personas entrevistadas reportó aplicaciones aéreas a  $< 100$  metros de espacios públicos en sitios sin, o a  $< 30$  metros de espacios públicos en sitios con, una barrera natural. Además, 43% indicó haber observado trabajadores dentro del campo de cultivo durante aplicaciones por vía aérea, y 59% en condiciones ventosas. Se estimó un  $3,3 \text{ km}^2$  de cultivos de banano sembrados en áreas de protección.

Los resultados sugieren que las empresas bananeras del cantón de Matina frecuentemente incumplen la regulación costarricense de aviación agrícola. Los sistemas de información geográfica forman una valiosa herramienta para fortalecer la implementación de legislaciones ambientales en América Latina.

**Palabras clave:** sistemas de información geográfica; aviación agrícola; agricultura; cumplimiento legal; deriva



## Abstract

Aerial pesticides spraying is allowed in Latin America and the United States but prohibited in the European Union. In Costa Rica by legislation a  $\geq 100$  meters' distance without aerial application has been established, that can be reduced to 30 meters if a natural barrier exists.

We aimed to analyze buffer zones and aerial spraying practices on banana plantations situated in Matina County, Costa Rica, within the context of national regulations.

During the I semester of 2021, we used Google Earth satellite images (years: 2019 - 2021) for landscape recognition and the identification of buffer zones. Then, we visited 63 sites without natural barriers and interviewed 58 neighbors about spraying practices using a structured questionnaire. We analyzed the collected data in ArcGIS 10.7.

Using geographical information system (GIS) analysis, we identified 44 km of field borders without natural barriers, of which 52% adjacent to houses and 48% to roads. Eighty-eight percent the interviewees reported to have observed aerial spraying at  $< 100$  meters from public spaces in sites without, or  $< 30$  meters in sites with, natural barriers, during the last month. Also, 48% percent had observed workers inside the crop field during aerial spraying during last month, and 59% indicated having observed aerial spraying in windy conditions. With SIG, we estimated an area of 3.3 km<sup>2</sup> of banana crops grown in protected areas that should be destined to riparian forests.

Our data suggest that banana companies from Matina County only partly fulfill Costa Rica aerial pesticide spraying regulations.

**Key words:** geographical information systems; agricultural spraying; agriculture; legal compliance; drift

## Introducción

Un problema común de la aviación agrícola es la deriva del plaguicida aplicado, es decir, la fracción de sustancia que sobrepasa el área objetivo por corrientes de viento (Zhang et al. 2018). Se ha demostrado que la deriva genera contaminación ambiental, la cual puede afectar la salud de poblaciones humanas y otros organismos que habitan en la colindancia de

los cultivos fumigados (Corrales et al. 2022; Giffin et al. 2022; Mora et al. 2018; van Wendel de Joode et al. 2014, 2016). El control y manejo del efecto deriva es complejo debido a la influencia de las condiciones meteorológicas, la aerodinámica de los aerosoles, así como la volatilización de sustancias a la fase gaseosa (Rojo et al. 2019). Por ejemplo, estudios realizados en Brasil sobre el efecto de la deriva, han detectado residuos de plaguicidas en muestreadores colocados a 2 km de distancia con respecto a las áreas de aplicación por vía aérea, mientras que en aplicaciones terrestres se ha determinado > 50 m como la distancia segura de amortiguamiento para reducir los impactos de la deriva en organismos acuáticos (Barraza et al. 2011; Bueno y Da Cunha 2020; Rojo et al. 2019).

Las fumigaciones aéreas han sido prohibidas en países de la Unión Europea por los riesgos que representan a nivel de exposición ambiental y de salud pública (European Parliament and of the Council 2009; Tudi et al. 2022). Adicionalmente, existen diferencias entre países de América Latina con respecto a las distancias de amortiguamiento sin aplicación aérea (Tabla 1). En Ecuador, el principal exportador de banano en Latinoamérica (OEC 2021), se establece una franja sin fumigación aérea de 200 m (Acuerdo No 365 - Reglamento Interministerial para el saneamiento ambiental agrícola, 2015), igual que Chile (Ministerio de Salud 2015). En Brasil, para aviación agrícola en cultivos de banano se determina una distancia de no aplicación de 250 metros (m) como mínimo de centros poblacionales (Diário oficial da união 2020). Por otro lado, en Colombia, son 100 m sin aplicación aérea, que se pueden incrementar dependiendo del plaguicida, clase de cultivo, lugar de aplicación y condiciones ambientales según determinen los Consejos Asesores Seccionales, Regionales o la Autoridad Sanitaria (Ministerio de Salud 1991). Finalmente, en Guatemala y Costa Rica, también son 100 metros sin aplicación aérea (La Gaceta 2003; MAG et al. 2007; Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional 2014).

**Tabla 1.** Zonas de amortiguamiento o franjas de protección reglamentadas por algunos otros países de Latino América.

País	Zona de amortiguamiento / franja de seguridad (metros)	Velocidad del viento (km/h)	Altura del vuelo	Regulación / decreto / normativa
------	--	-----------------------------	------------------	----------------------------------

Brasil	250 metros de poblaciones (ciudades, pueblos y barrios).  30 metros de viviendas aisladas y grupos de animales.	No realizar aplicaciones con fuertes vientos.	> 4 m	- Instrução normativa Nº 13, de 8 de abril de 2020  - Instrução normativa conjunta Nº 1, de 28 de dezembro de 2012
Chile	200 metros	15 km/h	Según el DAN 137 la altura mínima a volar es la correspondiente a la de un diámetro de rotor principal	Decreto num. 5 Reglamento sobre aplicación aérea de plaguicidas  DAN 137 "Trabajos aéreos"
Colombia	100 metros aplicaciones aéreas (se puede incrementar la distancia dependiendo de las características del plaguicida, clase de cultivo, lugar de aplicación, condiciones ambientales según recomiende el considere Consejos Asesores Seccional, Regional o específico de la autoridad sanitaria).	8 km/h	3 m	Decreto número 1843 de 1991.
Costa Rica	100 metros sin barreras naturales y 30 metros con barreras naturales	15 km/h	5 m desde el dosel de las plantaciones	Reglamento No. 31520 para las actividades de Aviación Agrícola
Ecuador	200 metros en perímetros aledaños a zonas pobladas centros educativos, centros de salud, centros recreativos al aire libre y cuerpos de agua destinados para consumo humano.	9,3 km/h	Igual o inferior a 5 m sobre el dosel de las plantas	Acuerdo No. 365 - Reglamento Interministerial para el saneamiento ambiental agrícola

Guatemala	100 metros sin barreras naturales y 30 metros con barreras naturales	No indica	20 m	Reglamento sobre trabajos aéreos y de aspersión.
-----------	--	-----------	------	--

Fuente: elaboración propia.

En Costa Rica, indican 100 metros sin aplicación aérea, medidos horizontalmente, con respecto a cualquier carretera, centro poblacional, casas de habitación, edificios donde permanezca personal laborando, fuentes de agua y cultivos aledaños, o fincas vecinas (La Gaceta 2003; MAG et al. 2007). Se señala que la distancia puede reducirse a 30 m, en caso de existir una barrera natural sembrada de árboles, de altura mayor al dosel de la plantación, de  $\geq 30$  m de ancho. Además, se prohíbe la presencia de trabajadores dentro del campo a tratar durante la fumigación aérea, la aplicación aérea solamente puede llevarse a cabo en días con una velocidad del viento  $\leq 15$  km/h y se prohíbe la aplicación de plaguicidas sobre cuerpos de agua como ríos, quebradas, lagos, entre otros, que sean de dominio público. Finalmente, se indica una franja de protección de 15 m, medidos horizontalmente, a ambos lados de las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano (Asamblea Legislativa 1996).

En Costa Rica, el banano para exportación es el cultivo con mayor frecuencia y cantidad de plaguicidas aplicados por vía aérea (Pomareda 2021), en el cual se ha reportado la aplicación de al menos 12 ingredientes activos (i.a.) de fungicidas por vía aérea representando cerca de 34 kg i.a. por hectárea/año (Bravo et al. 2013). El fungicida más aplicado por vía aérea es el mancozeb, con aproximadamente 48 aplicaciones anuales (28-52 ciclos de fungicidas por ciclo de cultivo (+/- 37 semanas), resultando en 0,8 – 1,4 aplicaciones semanales (Vargas et al. 2017). El alto uso de plaguicidas responde a las necesidades de producción intensiva de la fruta en una zona tropical; Costa Rica es el segundo mayor exportador de banano de la región latinoamericana después de Ecuador (FAO 2022). En Costa Rica, el cantón de Matina cuenta con la mayor producción de banano, donde  $\sim 142$  km<sup>2</sup> de su territorio es utilizado para su siembra (Rodríguez-Miranda et al. 2022).

En zonas agrícolas, las poblaciones viven frecuentemente cercanas a los cultivos, reflejado por la ubicación del 40% de los centros educativos a menos de 100 metros de distancia de fincas bananeras en el cantón de Matina (Rodríguez-Miranda et al. 2022). La aplicación de plaguicidas por vía aérea ha sido percibida como un riesgo para la salud de la



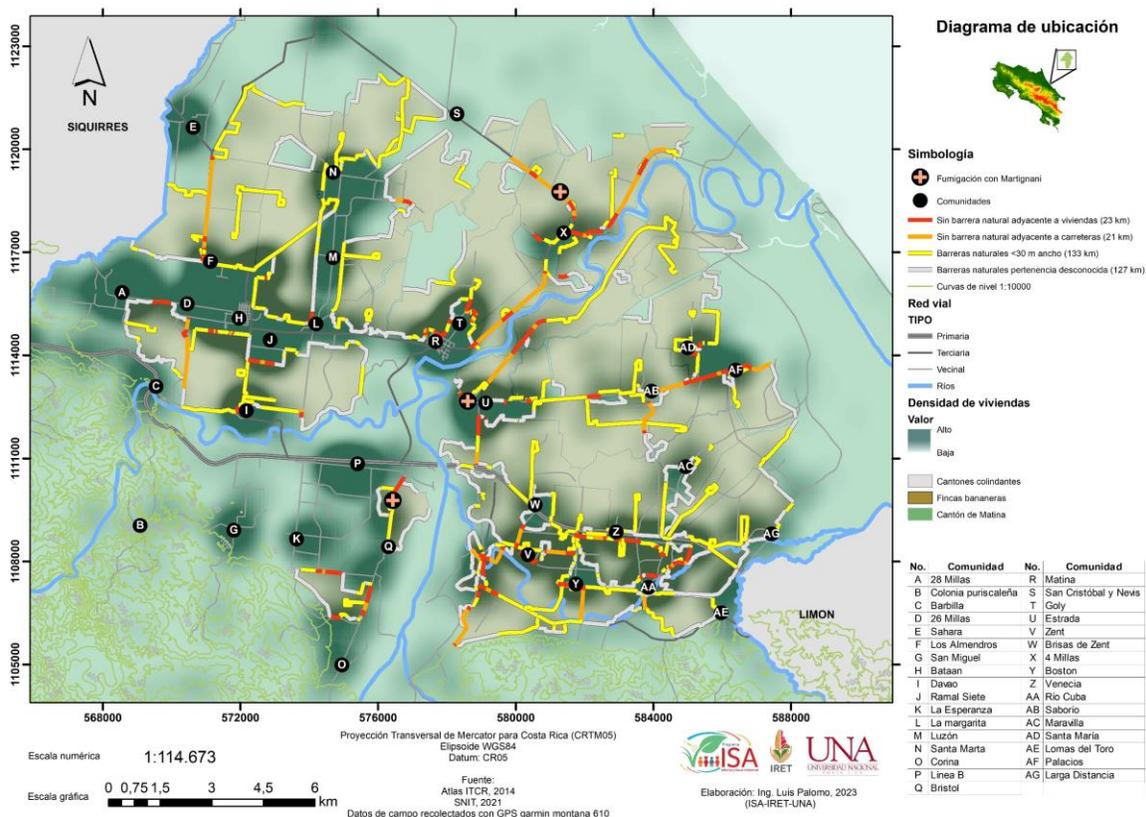
población que vive cercana a los campos agrícolas, y se ha documentado que la legislación para regular actividades de aviación agrícola a veces se incumple (Barraza et al. 2011). Además, el personal de centros educativos del cantón de Matina, una zona con frecuente fumigación aérea ha reportado una mayor percepción de riesgos por el uso de plaguicidas en comparación con el personal de Siquirres y Talamanca, zonas de menor frecuencia de aplicación por vía aérea (Barraza et al. 2011). Resultados de investigaciones realizados en el cantón de Matina han demostrado mayores concentraciones de plaguicidas y/o sus metabolitos en muestras de aire y polvo de centros educativos ubicados a menor distancia de, y muestras urinarias de niños y mujeres viviendo proximales a, fincas bananeras (Córdoba et al. 2020; Giffin et al. 2022; van Wendel de Joode et al. 2014).

Los análisis geoespaciales por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido utilizados para la evaluación de exposición ambiental a plaguicidas y sus impactos en la salud pública (Córdoba et al. 2020; van Wendel de Joode et al. 2014). Sin embargo, hasta donde llega nuestro conocimiento, no han sido utilizados para analizar las zonas de amortiguamiento por fumigación aérea. Por tanto, el objetivo del estudio fue analizar las zonas de amortiguamiento y algunas prácticas de fumigación aérea de plaguicidas en el cultivo de banano del cantón de Matina, Costa Rica, mediante la aplicación de SIG y entrevistas estructuradas a vecinos.

## **Metodología**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó entre febrero y junio del 2021. El área de estudio correspondió al cantón de Matina, provincia de Limón, Costa Rica (Figura 1), donde se han desarrollado investigaciones del programa Infantes y Salud Ambiental (ISA) para la exposición a plaguicida y la salud de niños, niñas y mujeres (Corrales et al. 2022; Mora et al. 2018; van Wendel de Joode et al. 2014). El cantón se ubica en la subregión Caribe Norte donde se presentan precipitaciones entre los 3 500 – 4 500 mm anuales y vientos provenientes del este durante casi todo el año, excepto por las noches donde prevalecen brisas tierra-mar, cuya dirección tienen componente del oeste a bajas velocidades (Manso, Stolz, y Fallas 2005).



**Figura 1.** Estado de las barreras naturales en el cantón de Matina, Costa Rica, según la fotointerpretación de imágenes satelitales y comprobación en campo entre febrero y junio del 2021.

### **Análisis del estado de las barreras naturales y áreas de protección forestal mediante SIG**

De febrero a marzo de 2021, se reconoció el estado de todos los bordes de cultivo de las fincas bananeras foto-interpretando imágenes satelitales de los años 2019 y 2021 disponibles en Google Earth Pro. Se dibujó polilíneas en formato .kml para señalar tres escenarios de bordes del cultivo de banano a menos de 100 m de cualquier carretera, centro poblacional, casa de habitación, edificio, fuentes de agua o cultivos aledaños: 1) sin barrera natural o barrera incompleta, 2) barrera natural con un ancho menor a 30 m, y 3) barrera natural con ancho mayor o igual a 30 m, pero con desconocimiento de pertenencia de la barrera a fincas bananeras, fincas aledañas y/o áreas de dominio público.

Se analizó la superposición poligonal de áreas de cultivo de banano y retiros de los cuerpos de agua de dominio público, específicamente de ríos y quebradas contiguos a las fincas bananeras. Para este análisis se tomó como criterio lo especificado en el artículo 68 del decreto No. 31520, vinculante con el artículo 33 de la Ley Forestal 7575 (Tabla 2). Se calculó el área de fincas bananeras situadas en zonas de protección de bosque de ribera.

### Visita a sitios sin barrera natural o barrera fragmentada

Posteriormente, del 02 de marzo al 29 de junio de 2021, se observaron a 63 sitios del primer escenario en campo (Tabla 2). En el campo se validó lo identificado mediante las imágenes satelitales y se documentó barreras inexistentes y fragmentadas. Se grabó un trayecto en el dispositivo GPS (Garmin Montana 610) de los segmentos con una barrera natural deficiente y/o ausente. Se documentó el nombre de las fincas bananeras, según la rotulación en el campo.

**Tabla 2.**

*Artículos del decreto 31520, su reforma 34202, y la Ley Forestal 7575 analizados mediante SIG, observaciones en campo y entrevistas a vecinos.*

Decreto/Ley (Artículo)	Contenido	Verificación SIG/observación entrevista	Pregunta del cuestionario*
Decreto 31520 y su reforma 34202 (63)	<p>Criterios de cumplimiento a los efectos de espolvorear y asperjar agroquímicos:</p> <p><i>“...las condiciones climáticas, la dirección y la velocidad del viento, cuyos límites máximos deben ser de 10 km/h para espolvoreo y 15 km/h para aspersiones...”</i></p>	Entrevista	Durante el último mes, ¿usted ha visto que realizaron una fumigación aérea mientras hubo mucho viento?

(68)	Prohibición de aspersión y polvoreo de plaguicidas en zonas acuíferas:	SIG	No aplica
------	--	-----	-----------

*“Se prohíbe la aspersión y espolvoreo de plaguicidas sobre los diferentes cuerpos de agua (ríos, lagos, embalses, manantiales, esteros, pantanos, manglares, quebradas, lagunas, océanos, mares y estuarios).”*

(70)	Requisitos de cumplimiento en las aplicaciones aéreas de plaguicidas respecto a centros de población o granjas:	SIG Entrevista	¿Durante el último mes, ¿ha observado aplicación de plaguicidas por fumigación aérea a menos de 100 metros en lugares donde la siembra de una barrera de árboles está ausente?
------	---	-------------------	--

*“Las aplicaciones aéreas de plaguicidas pueden llevarse a cabo si entre el campo a tratar y cualquier carretera, centros de población, casas de habitación, edificios donde permanezca personal laborando, fuentes de agua y cultivos aledaños o fincas vecinas susceptibles a efectos negativos derivados del plaguicida aplicado, se deja una franja de no aplicación aérea no menor de 100 metros.”*

“La distancia podrá reducirse de 100 hasta 30 metros si se dispone de una zona de amortiguamiento y se cumplen las siguientes condiciones:	SIG Observación altura árboles Entrevista	¿Durante el último mes, ¿ha observado aplicación de plaguicidas por fumigación aérea a menos de 30 metros en lugares donde existe una barrera de árboles?
a) <i>...árboles de especies ... nativas con una altura mayor al cultivo y un ancho mínimo de 30 metros...”</i>		



<p><i>“El dueño de la plantación o cultivo también será responsable de velar que durante la aplicación de agroquímicos no existan personas (incluyendo sus trabajadores), cultivos o animales dentro del perímetro de la siembra que puedan ser afectados”</i></p>	<p>Entrevista</p>	<p>Durante el último mes ¿Ha observado la presencia de trabajadores en el campo mientras aplicaban plaguicidas vía aérea?</p>
--	-------------------	---

<p><b>Ley Forestal 7575 (33)</b></p>	<p><i>“Áreas de protección Se declaran áreas de protección las siguientes: Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado”</i></p>	<p>SIG</p>	<p>No aplica</p>
--------------------------------------	--	------------	------------------

Fuente: elaboración propia.

### **Entrevista a pobladores: comprobación de prácticas de incumplimiento**

En 58 de los 63 sitios observados, se entrevistó a una persona vecina por muestreo de conveniencia; a la primera persona que se encontraba en cada lugar se le pedía su colaboración con una breve entrevista sobre prácticas de fumigación aérea. Si la persona prefería no colaborar (n = 6), se solicitaba la colaboración a la siguiente persona que se encontrara en el sitio. A las personas se les consultó sobre actividades de aviación agrícola durante el último mes (Tabla 2). Al final del cuestionario hubo un espacio para incluir comentarios adicionales por parte de las personas entrevistadas. Las respuestas al cuestionario se guardaron en Microsoft Forms. Se georreferenció la información de las entrevistas con los trayectos grabados en el GPS.



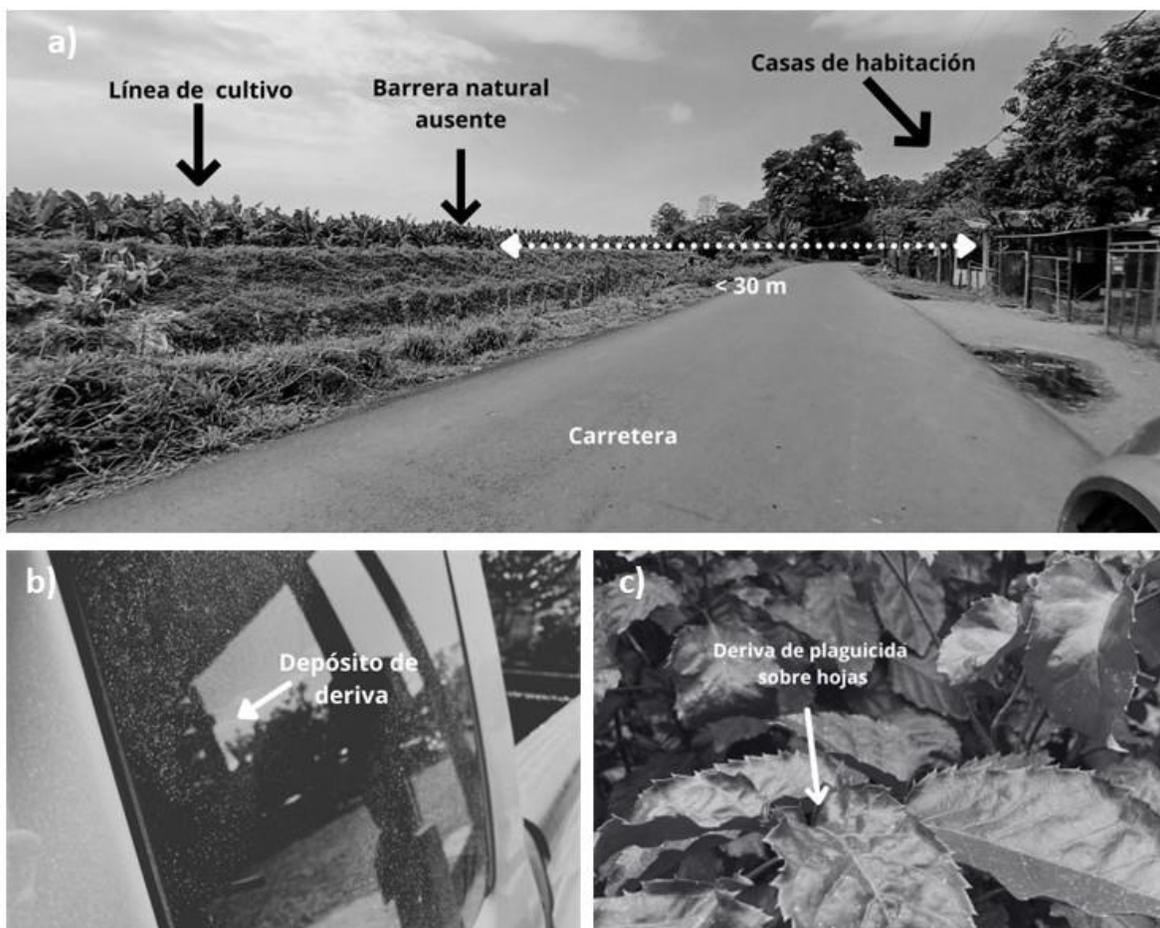
## Resultados

### Análisis geoespacial de zonas de amortiguamiento

La Figura 1 demuestra del área del cultivo banano y 33 poblaciones del cantón de Matina donde existe un centro educativo. Además, refleja el estado de las barreras naturales entre febrero y junio del 2021, según la fotointerpretación de imágenes satelitales y comprobación en campo. De manera general, se observa que la mayor población se concentra hacia las zonas de llanura donde hay una mayor presencia de las fincas bananeras, mientras que las zonas montañosas no son tan habitadas (Figura 1).

Las polilíneas de color rojo y naranja de la Figura 1, corresponden a fincas bananeras sin barrera natural, o con una barrera fragmentada, situadas a menos de 100 m de viviendas y carreteras, respectivamente, que fueron observados y grabados con GPS. El total de km lineales de estas polilíneas de color rojo y naranja fue de 44 km, el 52 % (23 km) fueron fincas bananeras adyacentes a viviendas y 48% (21 km) adyacentes a carreteras. En todas las comunidades con más de 551 viviendas/km<sup>2</sup> se presentaron sitios sin barrera natural o fragmentada adyacente a viviendas, indicados según densidad de viviendas. Las polilíneas de color amarillo y gris fueron identificadas por fotointerpretación satelital. Según el análisis, existen 133 km de borde de cultivos donde la barrera natural tiene un ancho < 30 m (polilíneas amarillas) y 127 km con barreras naturales con ancho  $\geq$  30 m (polilíneas color gris). Se desconoce si esta últimas corresponden a barreras naturales sembradas dentro de las fincas bananeras, o si este espacio perteneció a fincas aledañas o de dominio público.

Durante las observaciones en campo se documentó, en algunos de los sitios indicados por las polilíneas rojas y anaranjadas, la deriva de plaguicidas (residuos de deposición) sobre las superficies de objetos ubicados en espacios residenciales, por ejemplo, en el parabrisas de los vehículos estacionados dentro de los garajes y las plantas del jardín (Figura 2).



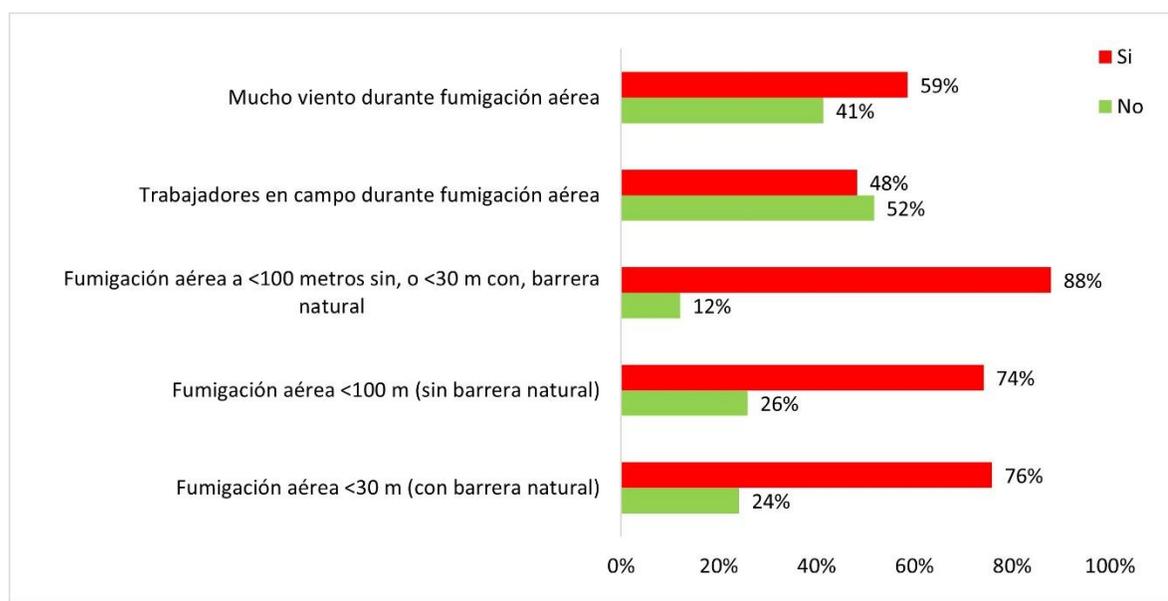
**Figura 2.** Ejemplos de deriva de plaguicidas, Cantón de Matina, Costa Rica, (2021).

### Prácticas de fumigación aérea reportadas por personas entrevistadas

Sobre las distancias de aplicación de plaguicidas por vía aérea, un 88% (n=51) reportó haber observado la aplicación de plaguicidas a menos 100 metros a partir de la línea de cultivo durante el último mes en sitios sin barrera natural, o a menos de 30 metros en sitios con barrera natural (Figura 3).

Algunas personas comentaron que el líquido aplicado por vía aérea les había caído directamente sobre la piel cuando transitaban hacia sus destinos. Varias personas indicaron haber documentado la deposición de plaguicidas sobre carros parqueados bajo techo en sus casas de habitación. Un vecino de una comunidad de Matina indicó:

*“Eso nunca se ha respetado [las distancias de aplicación], siempre pasan por encima y hasta nos bañan con el líquido ese que tira la avioneta sin importar la distancia” (comunicación personal por vecino entrevistado en una de las comunidades del área de estudio, junio 2021).*



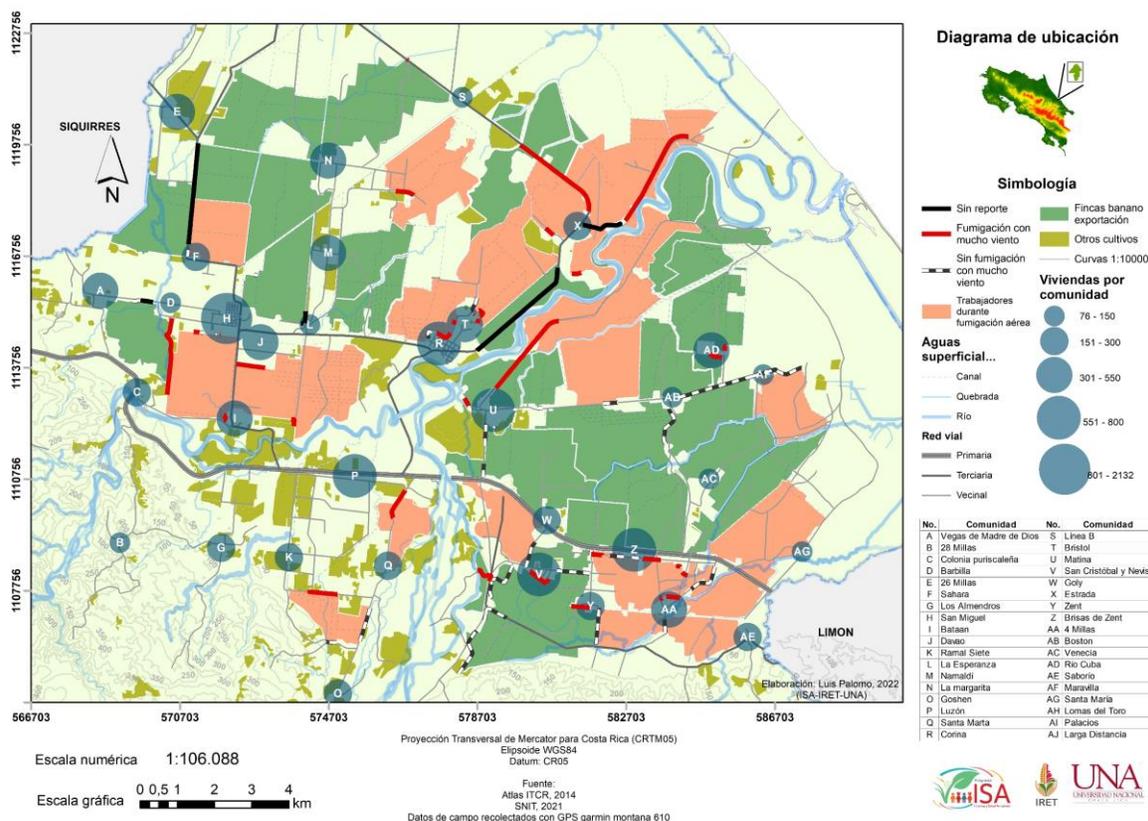
**Figura 3.** Prevalencias de prácticas indebidas de fumigación aérea reportadas por vecinos durante el último mes (n = 58), cantón de Matina, (2021).

De acuerdo con algunos participantes de la entrevista, la calidad de las barreras naturales ha sido un tema discutido en sitios como el poblado de Matina, pues se indicó que se ha tomado la decisión de no mejorar el estado de estas por que se convierten en espacios clave para la operación del hampa. Por otra parte, en tres lugares, las personas entrevistadas mencionaron que las fumigaciones aéreas se alternaban con aplicaciones utilizando el Martignani, enfatizando que en días que hace mucho viento se aplica con el “camión”.

En cuanto a fumigaciones aéreas en condiciones de mucho viento (Figura 4), un 59% (n = 34) indicó que en el último mes se aplicaron plaguicidas por vía aérea en condiciones de mucho viento (polilíneas de color rojo). Particularmente, se refirieron a aplicaciones durante la Semana Santa de 2021 (28 de marzo - 3 de abril de 2021) indicando que hubo mucho viento mientras fumigaban. Por otra parte, veinte personas (43%) entrevistadas indicaron haber observado la presencia de trabajadores en el campo mientras aplicaban

plaguicidas por vía aérea (polígonos de color rosado). Para explicar esta información, un vecino, quien indicó ser trabajador bananero, detalló:

*“...dividen la finca en dos áreas: rojo y verde, de modo que, si se fumigan vía aérea la zona roja, todos los trabajadores deben realizar labores de mantenimiento de la plantación en la zona verde y viceversa...Cuando fumigan después de llover se intercambian las áreas y se pierde control...tampoco se respetan los tiempos de reingreso a las fincas, normalmente solo les piden 30 min” (Comunicación personal con vecino).*



**Figura 4.** Prevalencia de fumigaciones aéreas en condiciones ventosas y presencia de personas en el campo durante el último mes reportados por vecinos, cantón de Matina, (2021).

Once (19%) de las personas entrevistadas indicó haber puesto una queja con respecto a fumigaciones aéreas. La mayoría tuvo comunicación directa con la administración de la finca (n = 9) y dos personas realizaron denuncias formales, una persona en el Ministerio de Salud y la dirección del Agua del Ministerio de Ambiente y Energía, y la otra persona en la Fiscalía del Poder Judicial. Algunas personas indicaron que, después de haber puesto la



queja, hubo mejoras de forma temporal, pero con el tiempo las malas prácticas de fumigación reincidieron. Por ejemplo, una persona comentó que después de interponer una denuncia formal ante el Ministerio de Salud y Defensoría de los Habitantes, la bananera desplazó del cultivo hacia adentro. Indicó que hubo un seguimiento durante un año, periodo en que firmó un registro cada cinco días haciendo constar que la fumigación aérea no le afectó. Sin embargo, una vez que se finalizó el seguimiento, percibió nuevamente los efectos de la deriva sobre su huerta sembrada adyacente al campo tratado por vía aérea.

Con respecto a las personas entrevistadas que no habían puesto quejas o denuncias, algunos indicaron no haberlo hecho por temor a perder sus trabajos actuales, o no ser contratados a futuro. Otras personas indicaron desconocer cómo denunciar. Durante las visitas a campo, algunos vecinos solicitaron asesoramiento y acompañamiento para interponer una denuncia ante la Comisión Asesora para el Control y Regulación de las Actividades de Aviación Agrícola, en adelante Comisión Asesora de Aviación Agrícola. A estas personas se les solicitó documentar los hechos, como: hora, fecha, lugar, matrícula de la avioneta y descripción de las afectaciones. Se interpuso en total cuatro denuncias que fueron atendidas por parte de la Comisión Asesora de Aviación Agrícola semanas después de presentar los actos probatorios. En uno de los casos, se dio un seguimiento más cercano, y se documentó que el denunciante percibió una reducción de la deriva después de que la empresa respectiva cambió la fumigación aérea por fumigaciones con el Martignani y drones (Rodríguez y Palomo 2022).

### **Áreas de protección definidas por la Ley Forestal en cuerpos de agua de dominio público**

En la Figura 5, se presentan las zonas de influencia de 15 m de ríos, quebradas con flujo permanente e intermitente de dominio público que colindan o atraviesan fincas bananeras en el cantón de Matina. Las zonas de influencia son elaboradas de acuerdo con lo definido por la Ley Forestal para zonas rurales. Los polígonos de color vino representan sitios donde se encuentran fincas bananeras ubicadas a menos de 15 m de los respectivos cuerpos de agua. Se calcula un total de 0,9 km<sup>2</sup> de cultivos de banano sobre sitios que deberían ser áreas de protección con bosque de ribera. En quebradas o arroyos con flujo constante el área



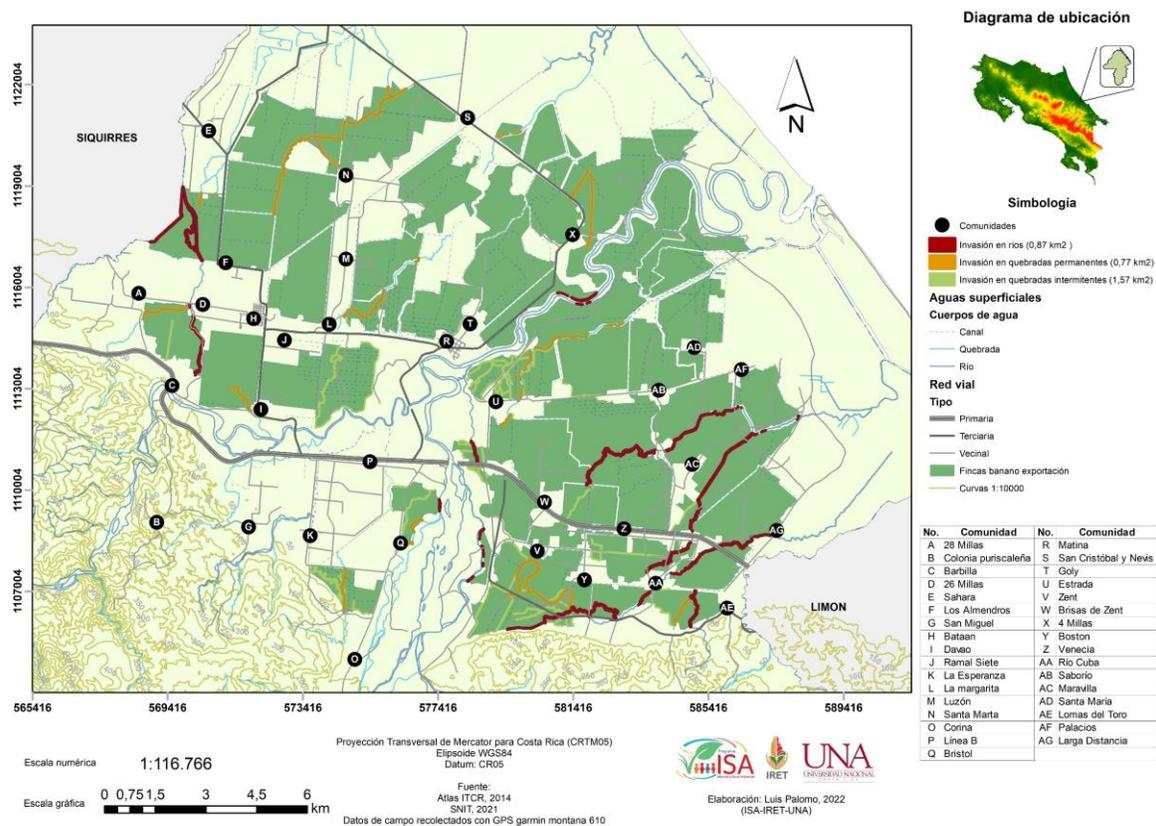
sembrada fue de 0,8 km<sup>2</sup>, y para quebradas intermitentes se estimaron 1,6 km<sup>2</sup>, para un total de 3,3 km<sup>2</sup>.

## Discusión

Los resultados del estudio indican una estimación de 44 km de frontera agrícola del cultivo de banano sin barreras naturales adyacentes a carreteras y centros poblacionales en el cantón de Matina durante el I semestre del 2021. Adicionalmente, se estimaron 133 km de borde de cultivos donde la barrera natural tenía un ancho < 30 m adyacentes a carreteras, centros poblacionales, edificios donde permanece personal laborando, fuentes de agua y cultivos aledaños o fincas vecinas. Según la legislación actual costarricense, en los sitios sin barrera, o barrera menor a 30 m de ancho, se debe respetar una franja de no aplicación aérea de  $\geq 100$  m. Sin embargo, aproximadamente tres cuartas partes de las personas entrevistadas reportaron haber observado aplicaciones aéreas de plaguicidas a menos de 100 m en sitios sin barrera natural. Además, el análisis SIG demostró una siembra del cultivo de banano en zonas de influencia de ríos, quebradas y arroyos (3,3 km<sup>2</sup>) que deberían ser áreas de protección. Finalmente, los vecinos reportaron aplicaciones en condiciones ventosas y la presencia de personas trabajadoras en las fincas durante las fumigaciones aéreas durante el último mes; una parte de las personas entrevistadas reportó haber puesto una queja o denuncia con respecto a prácticas de fumigación aérea.

El reporte sobre personas trabajadoras presentes dentro del campo durante fumigaciones aéreas (43%) se podría explicar por la necesidad de aplicar el fungicida mancozeb semanalmente, en una zona de frecuentes precipitaciones difíciles de predecir. En la zona del estudio, las lluvias se mantienen entre 100 y 200 mm en los meses más secos y la lluvia no presenta variación diurna bien definida, mientras que las aplicaciones se necesitan realizar en días no lluviosos (Manso et al. 2005). Lo anterior es ilustrado por el comentario de una de las personas entrevistadas “*Cuando fumigan después de llover se intercambian las áreas y se pierde el control...*”, esto implicaría que algunas de las fincas no se logren fumigar según lo programado; adicionalmente, esta persona comentó que el tiempo de reingreso no se respeta,

“... normalmente solo les piden 30 min”. Los tiempos del reingreso varían por tipo de fungicida según el sistema de Insumos y Fiscalización del Servicio Fitosanitario del Estado Costarricense. Por ejemplo, para Calixin 86 OL [ingrediente activo (i.a.) tridemorf], Volley 88 OL (i.a. fenpropimorf), Sico 25 EC (i.a. difenoconazol), Banazeb 43.5 SC (i.a. mancozeb), Impulse 80 EC (i.a. spiroxamina) se indica que el reingreso es cuando la aspersión esté seca sobre el follaje, mientras para Regnum 25 (i.a. pyraclostrobina) deben haber pasado 12 horas (h), Odeon 72 SC (i.a. clorotalonil) y Opus 12.5 SC (i.a. epiconazol) 24 h; si se requiere ingresar antes, debe ser con equipo de protección personal.



**Figura 5.** Siembra del cultivo de banano en áreas de protección de aguas superficiales según análisis SIG, cantón de Matina, (2021).

Acerca de las quejas y denuncias por prácticas inadecuadas de aviación agrícola que parte de las personas reportaron haber realizado, es de interés que reportaron una mejora posterior a su queja, lo cual demuestra la importancia de notificar al personal de las fincas sobre prácticas inadecuadas para que apliquen medidas correctivas. Sin embargo, las personas también indicaron que las mejoras fueron temporales, ilustrando la importancia de dar un



seguimiento permanente a las medidas correctivas por parte de la gerencia de estas fincas, y entes reguladores como el Ministerio de Salud y la Comisión Asesora de Aviación Agrícola. Adicionalmente, parte de las personas indicó desconocer cómo realizar una denuncia, por lo cual es recomendable que los entes reguladores informen a la población general sobre cómo realizar una denuncia, y además simplifiquen el proceso de realizar una denuncia; se recomienda el desarrollo de una aplicación móvil o habilitar un módulo para aplicaciones aéreas en el sitio web existente del Sistema Integrado de Trámite y Atención de Denuncias Ambientales (SITADA) (<https://www.sitada.go.cr/denunciaspublico/>). Por otra parte, para fortalecer la implementación de la regulación con respecto a la fumigación aérea, se recomienda que Dirección de Aviación Civil como ente regulador, en coordinación con el Ministerio de Salud y la Comisión Asesora de Aviación Agrícola, implemente un monitoreo constante del registro de trayectos de avionetas de las zonas marcadas de color rojo y naranja en la Figura 1, para así vigilar si las distancias de amortiguamiento para aplicación de plaguicidas por vía aérea se están cumpliendo, y realizar acciones correctivas si fuera necesario.

Por haber entrevistado a personas seleccionadas por conveniencia, los resultados de las entrevistas no permiten su extrapolación hacia la población de Matina (Stratton 2021). No obstante, la frecuencia del reporte de las inadecuadas prácticas de fumigación aérea sugiere que estas son comunes. Lo anterior, porque se entrevistaron a las personas de distintos lugares del cantón y, sistemáticamente, se entrevistó a la primera persona que se encontraba en el lugar preseleccionado en el mapa. Además, relativamente pocas personas indicaron no desear colaborar (10%,  $n = 6$ ), las cuales fueron reemplazadas por la segunda persona presente en el sitio visitado. Un limitante del estudio fue que no se pudo verificar si las respuestas de las personas entrevistadas fueron adecuadas. Sin embargo, lo anterior podría resultar tanto en una sobre como subestimación de las prevalencias reportadas y estudios anteriores han demostrado que las personas son capaces de identificar condiciones de mucho viento (Weaver, Williams, y Arthur 2021). Otro limitante del estudio fue la identificación de la frontera agrícola por medio del reconocimiento del paisaje y verificación en el campo, sin contar con los respectivos planos de catastro de las fincas bananeras. No obstante, se espera que esto generó solamente un margen de error de 0,3 – 6,2 metros de exactitud vertical, según indicado por (Farah y Algarni 2014; Nwilo et al. 2022). Finalmente, se documentó el nombre



de las fincas bananeras según la rotulación en el campo, los nombres indicados en el registro oficial pueden ser distintos.

Con respecto a las distancias de amortiguamiento en Costa Rica, se considera importante mencionar que tienden a ser inferiores que otros países de América Latina (Diário oficial da união 2020; Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca et al. 2015; Ministerio de Salud 1991, 2015). En Costa Rica, en el 2003, se redujo la distancia de no aplicación aérea de 200 a 100 m, con posibilidades de fumigar a  $\geq 30$  m en sitios con barrera natural superior al dosel del cultivo con un ancho de 30 m. En el 2006, se reestableció por un recurso de amparo la distancia única de no aplicación los 100 m. Sin embargo, en el 2008, el decreto fue nuevamente modificado, reduciendo la distancia de amortiguamiento nuevamente a 30 m en caso de existir una barrera natural superior al dosel del cultivo con un ancho de 30 m, y un mínimo de 100 m en lugares sin la presencia de una barrera natural.

En conclusión, los resultados del estudio sugieren que las empresas bananeras ubicadas en el cantón de Matina cumplen parcialmente con la regulación sobre aviación agrícola en Costa Rica. Lo anterior, por la ausencia o fragmentación de las barreras naturales adyacentes a centros poblacionales y por el reporte de vecinos que indicaron: 1) fumigaciones aéreas más cercanas a casas y carreteras que lo permitido según la legislación nacional, irrespetando las zonas de amortiguamiento; 2) la presencia de trabajadores en el campo, y 3) aplicaciones en condiciones ventosas. Además, se identificó la siembra del cultivo en áreas de protección de cuerpos de agua. La frecuente ausencia de las zonas de amortiguamiento y las indebidas prácticas de fumigación aérea reportadas en el estudio actual son de preocupación, ya que podrían contribuir a un incremento en la exposición ocupacional y ambiental a plaguicidas por deriva en poblaciones y ecosistemas adyacentes al cultivo de banano. Lo anterior es consistente con resultados de estudios realizados en la misma zona, que indicaron una detección más frecuente de fungicidas aplicadas por vía aérea en muestras de aire obtenidas en escuelas a  $< 100$  m de distancia en comparación con escuelas situadas a  $> 1$  km de distancia de fincas bananeras (Córdoba et al. 2020), y concentraciones de metabolitos de fungicidas más altas en mujeres embarazadas quienes vivían a menor distancia del cultivo en comparación con mujeres que vivían a mayor distancia (Giffin et al. 2022; van Wendel de Joode et al. 2014). La exposición a estos fungicidas ha sido asociada con cambios en niveles de hormonas tiroideas medidas en muestras del suero de mujeres



embarazadas (Corrales et al. 2022), cambios en el neurodesarrollo infantil (van Wendel de Joode et al. 2016), y/o infecciones respiratorias del tracto inferior (Islam et al. 2022). En cuanto a la vida acuática, según el análisis SIG, se debe convertir un área de 3,3 km<sup>2</sup> (actualmente plantaciones de banano) en áreas de bosque ripario, lo cual ayudaría a contener la carga de contaminantes antes de que estos tengan contacto con el cuerpo de agua (Echeverría-Sáenz 2015). La presión sobre las áreas de protección del sector agroindustrial coincide con los resultados de un estudio realizado en el estado de Santa Catarina, Brasil (Coletti 2022).

Los análisis geoespaciales por medio de SIG demostraron ser un valioso insumo para la identificación de oportunidades de mejora de las zonas de amortiguamiento del área de estudio. Se espera que los resultados del estudio sirvan al sector bananero y entes reguladores para la implementación de medidas que mejoren las zonas de amortiguamiento y las prácticas de aplicación en los sitios identificados en este estudio, y que además sean una herramienta para el ejercicio de derechos de la sociedad civil. Se recomienda repetir el análisis presentado en este informe de manera periódica para poder registrar posibles cambios en el tiempo. Adicionalmente, se concluye que la metodología descrita es una herramienta de bajo costo que puede facilitar el proceso de monitoreo de zonas de amortiguamiento de cultivos agrícolas en otros países de América Latina, para fortalecer la implementación de legislaciones ambientales.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a las personas entrevistadas vecinas del cantón de Matina por su participación. Este trabajo fue parcialmente financiado por el Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS), Estados Unidos número de subvención R024 ES028526.

## Referencias

- Asamblea Legislativa. 1996. *Ley Forestal No. 7575*. San José: Asamblea Legislativa.
- Barraza, Douglas, Kees Jansen, Berna van Wendel de Joode, y Catharina Wesseling. 2011. “Pesticide use in banana and plantain production and risk perception among local actors in Talamanca, Costa Rica”. *Environmental Research* 111(5):708–17. doi: 10.1016/j.envres.2011.02.009.
- Bravo, Virya, Elba de la Cruz, Gustavo Herrera, y Fernando Ramírez. 2013. “Uso de plaguicidas en cultivos agrícolas como herramienta para el monitoreo de peligros en salud”. *Uniciencia* 27:351–76.
- Bueno, Mariana R., y João Paulo Arantes Rodrigues Da Cunha. 2020. “Environmental risk for aquatic and terrestrial organisms associated with drift from pesticides used in soybean crops”. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 92:1–16. doi: 10.1590/0001-3765202020181245.
- Coletti, Tomé. 2022. “May no one say ‘I will never drink of this water’: agricultural production and water pollution in western Santa Catarina State, Brazil”. *Cadernos de Saude Publica* 38(4). doi: 10.1590/0102-311XPT165421.
- Córdoba, Leonel, Karla Solano, Clemens Ruepert, y Berna van Wendel de Joode. 2020. “Passive monitoring techniques to evaluate environmental pesticide exposure: Results from the Infant’s Environmental Health study (ISA)”. *Environmental Research* 184(September 2019):109243. doi: 10.1016/j.envres.2020.109243.
- Corrales, Andrea, Jorge Peñaloza Castañeda, Emelie Rietz Liljedahl, Ana María Mora, Jose Antonio Menezes-Filho, Donald R. Smith, Donna Mergler, Brian Reich, Andrew Giffin, Jane A. Hoppin, Christian H. Lindh, y Berna van Wendel de Joode. 2022. “Exposure to common-use pesticides, manganese, lead, and thyroid function among pregnant women from the Infants’ Environmental Health (ISA) study, Costa Rica”. *Science of the Total Environment* 810(October 2021). doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151288.
- Diário oficial da união. 2020. *Instrução normativa N°13*. Brasil.



Echeverría-Sáenz, Silvia. 2015. “Bosques de Ribera: Protección para la calidad del agua y la integridad ecológica del ecosistema acuático”. *SALTRA* 12.

European Parliament and of the Council. 2009. *Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides (Text with EEA relevance)*. Strasbourg: European Parliament and Council.

FAO. 2022. *Banana market review - preliminary results 2021*. Roma.

Farah, Ashraf, y Dafer Algarni. 2014. “Positional accuracy assessment of Googleearth in Riyadh”. *Artificial Satellites* 49(2):101–6. doi: 10.2478/arsa-2014-0008.

La Gaceta. 2003. *Reglamento N° 31520-MS-MAG-MINAE-MOPT-MGPSP para las actividades de la Aviación Agrícola*. San José, Costa Rica: La Gaceta.

Giffin, Andrew, Jane A. Hoppin, Leonel Córdoba, Karla Solano-Díaz, Clemens Ruepert, Jorge Peñaloza-Castañeda, Christian Lindh, Brian J. Reich, y Berna van Wendel de Joode. 2022. “Pyrimethanil and chlorpyrifos air concentrations and pregnant women’s urinary metabolites in the Infants’ Environmental Health Study (ISA), Costa Rica”. *Environment International* 166. doi: 10.1016/j.envint.2022.107328.

Islam, Jessica Y., Jane Hoppin, Ana M. Mora, Manuel E. Soto-Martinez, Leonel Córdoba Gamboa, Jorge Ernesto Peñaloza Castañeda, Brian Reich, Christian Lindh, y Berna van Wendel de Joode. 2022. “Respiratory and allergic outcomes among 5-year-old children exposed to pesticides”. *Thorax* thoraxjnl-2021-218068. doi: 10.1136/thoraxjnl-2021-218068.

MAG, MS, MINAE, MOPT, y MGSP. 2007. *Reforma al artículo 70 del Decreto Ejecutivo N°31520, Reglamento para las actividades de Aviación Agrícola, del 16 de octubre del 2003*. Costa Rica: La Gaceta.

Manso, P., W. Stolz, y J. Fallas. 2005. “El régimen de la precipitación en Costa Rica”. *Ambientico* 7–8.



Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca, Ministerio de Salud, Dirección Nacional de Aviación Civil, y Agrocalidad. 2015. *Acuerdo N° 365 - Reglamento Interministerial para el saneamiento ambiental agrícola*. Ecuador.

Ministerio de Salud. 1991. *Decreto número 1843 de 1991*. Colombia: Diario Oficial.

Ministerio de Salud. 2015. *Decreto num. 5 Reglamento sobre aplicación aérea de plaguicidas*. Chile.

Mora, Ana, Leonel Córdoba, Juan Camilo Cano, David Hernandez-Bonilla, Larissa Pardo, Lourdes Schnaas, Donald R. Smith, José A. Menezes-Filho, Donna Mergler, Christian H. Lindh, Brenda Eskenazi, y Berna van Wendel de Joode. 2018. “Prenatal mancozeb exposure, excess manganese, and neurodevelopment at 1 year of age in the infants’ environmental health (ISA) study”. *Environmental Health Perspectives* 126(5):1–9. doi: 10.1289/EHP1955.

Nwilo, Peter C., Chukwuma J. Okolie, Johanson C. Onyegbula, Ikenna D. Arungwa, Owolabi Q. Ayoade, Olagoke E. Daramola, Michael J. Orji, Ikechukwu D. Maduako, y Imeime I. Uyo. 2022. “Positional accuracy assesment of historical google earth imagery”. *Applied Geomatics* 14:545–68. doi: <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00449-9>.

OEC. 2021. “Bananas in Ecuador”. Recuperado el 24 de abril de 2023 (<https://oec.world/en/profile/bilateral-product/bananas/reporter/ecu>).

Pomareda, Fabiola. 2021. “En Costa Rica se usan 133 plaguicidas considerados altamente peligrosos • Semanario Universidad”. *Semanario Universidad*. Recuperado el 17 de enero de 2023 (<https://semanariouniversidad.com/pais/en-costa-rica-se-usan-133-plaguicidas-considerados-altamente-peligrosos/>).

Rodríguez, Reichel, y Luis Palomo. 2022. *Una experiencia de denuncia sobre fumigación aérea en Matina, Limón, Costa Rica - YouTube*. YouTube.

Rodríguez-Miranda, Reichel, Luis Palomo-Cordero, Michael Padilla-Mora, Andrea Corrales-Vargas, y Berna van Wendel de Joode. 2022. “Aprendizaje a través de estrategias lúdicas: una herramienta para la Educación Ambiental”. *Revista de Ciencias Ambientales* 56(1):209–28. doi: 10.15359/rca.56-1.10.



Rojo, Fabio Henrique, Ulisses Rocha Antuniassi, Bruno Rodeguer Castilho, Paulo Eduardo Teodoro, y Eder Eujácio da Silva. 2019. “Factors affecting aerial spray drift in the Brazilian Cerrado”. *PLoS ONE* 14(2). doi: 10.1371/journal.pone.0212289.

Sistema Regional de Cooperación para la Vigilancia de la Seguridad Operacional. 2014. *Modelo de Reglamento sobre Trabajo Aéreos: Trabajos aéreos agrícolas y de aspersión*. Guatemala.

Stratton, Samuel J. 2021. “Population Research: Convenience Sampling Strategies”. *Prehospital and Disaster Medicine* 36(4). doi: 10.1017/S1049023X21000649.

Tudi, Muyesaier, Hairong Li, Hongying Li, Li Wang, Jia Lyu, Linsheng Yang, Shuangmei Tong, Qiming Jimmy Yu, Huada Daniel Ruan, Albert Atabila, Dung Tri Phung, Ross Sadler, y Des Connell. 2022. “Exposure Routes and Health Risks Associated with Pesticide Application”. *Toxics* 10(6). doi: 10.3390/toxics10060335.

Vargas, Armando, William Watler, Mariela Morales, y Raffaele Vignola. 2017. *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de banano en Costa Rica*.

Weaver, Iain S., Hywel T. P. Williams, y Rudy Arthur. 2021. “A social Beaufort scale to detect high winds using language in social media posts”. *Nature* 11:3647. doi: 10.1038/s41598-021-82808-x.

van Wendel de Joode, Berna, Ana Mora, Leonel Córdoba, Juan Cano, Rosario Quesada, Moosa Faniband, Catharina Wesseling, Clemens Ruepert, Mattias Öberg, Brenda Eskenazi, Donna Mergler, y Christian Lindh. 2014. “Aerial Application of Mancozeb and Urinary Ethylene Thiourea (ETU) Concentrations among Pregnant Women in Costa Rica: The Infants’ Environmental Health Study (ISA)”. *Environmental Health Perspectives* 122(12):1321–28. doi: 10.1289/ehp.122-a321.

van Wendel de Joode, Berna, Ana M. Mora, Christian H. Lindh, David Hernández-Bonilla, Leonel Córdoba, Catharina Wesseling, Jane A. Hoppin, y Donna Mergler. 2016. “Pesticide exposure and neurodevelopment in children aged 6–9 years from Talamanca, Costa Rica”. *Cortex* 85:137–50. doi: 10.1016/j.cortex.2016.09.003.



Zhang, Bin, Qing Tang, Li ping Chen, Rui rui Zhang, y Min Xu. 2018. “Numerical simulation of spray drift and deposition from a crop spraying aircraft using a CFD approach”. *Biosystems Engineering* 166:184–99. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.11.017.