

Potencial distribución espacial del vector del HLB de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en el departamento del Tolima, Colombia

Potential spatial distribution of citrus HLB vector *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) in the department of Tolima, Colombia



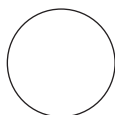
WILSON ARAQUE^{1, 3}
EMILIO ARÉVALO²

Cultivo de lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en el departamento de Tolima, Colombia.

Foto: W. Araque

RESUMEN

El Huanglongbing o HLB es una de las enfermedades más devastadoras de los cítricos y se encuentra en diferentes departamentos en Colombia. Sin embargo esta enfermedad aún no se encuentra reportada para el departamento del Tolima, el cual es un importante productor de cítricos a nivel nacional. Con el propósito de predecir la posible distribución espacial de *Diaphorina citri*, vector de la bacteria *Candidatus liberibacter* causante del HLB, se determinó la ubicación de los sistemas de producción de cítricos en el departamento del Tolima (Colombia). Utilizando el proceso geoestadístico de interpolación por el método Inverso de la Distancia Ponderada (IDW) se definieron las áreas de mayor y menor prevalencia del vector, a partir de datos muestrales, conformando posibles rutas de movilidad de la bacteria. Con el análisis multitemporal de la distribución del vector en los años 2014, 2015 y 2016, este trabajo aporta elementos cartográficos de apoyo en el uso y consulta de la información al proceso de la vigilancia fitosanitaria del HLB de los cítricos, definiendo sitios estratégicos de monitoreo del vector.



Palabras clave adicionales: epidemiología; tristeza de los cítricos; geoestadística; medidas fitosanitarias.

¹ Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Gerencia Seccional Valle del Cauca, Palmira (Colombia). ORCID Araque, W.: 0000-0001-7664-7773

² Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Dirección Técnica de Epidemiología Agrícola, Bogotá (Colombia). ORCID Arévalo, E.: 0000-0002-8773-6330

³ Autor para correspondencia. waaraquee@unal.edu.co



ABSTRACT

Huanglongbing, or HLB, is one of the most devastating diseases in citrus fruits and is found in different departments in Colombia. However, this disease has not yet been reported for the Department of Tolima, which is a significant domestic producer of citrus fruits. In order to present the spatial possible distribution possible of *Diaphorina citri* vector of the *Candidatus liberibacter* bacterium that causes citrus HLB in relation to the location of citrus production systems in the department of Tolima (Colombia), the geostatistical process of interpolation by the Inverse Method of Weighted Distance (IDW) was used to define the areas of greater and lesser prevalence of the vector, based on sample data, forming possible mobility routes of the bacteria. With the multitemporal analysis of the distribution of the vector in 2014, 2015 and 2016, this work provides cartographic elements to support the use and consultation of information on the process of phytosanitary monitoring of citrus HLB, defining strategic monitoring sites of the vector.

Additional key words: epidemiology; huanglongbing; geostatistics; phytosanitary measures.

Recibido para publicación: 30-05-18 Aceptado para publicación: 30-11-2018

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de cítricos para el 2017 fue de 146,5 millones de toneladas, destacándose la producción de naranjas (FAOSTAT, 2018). En Colombia según la Encuesta Nacional Agropecuaria, ENA, para el año 2014 la producción fue de 160.408 t, correspondiendo al departamento del Tolima 15.826 t (DANE, 2016).

En la actualidad, el cultivo de las especies cítricas se está viendo seriamente afectadas por la presencia de la enfermedad conocida como el huanglongbing, HLB de los cítricos, también conocida como enverdecimiento o greening, siendo considerada como la enfermedad más devastadora de estas especies a nivel mundial, tanto por la disminución en la calidad de la fruta, como por la muerte del árbol (Bové, 2006; CABI, 2019). El HLB de los cítricos es ocasionado por tres especies de proteobacterias asociadas al floema que pueden ser transmitidas a la planta por el psílido vector *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), presente en el departamento del Tolima (ICA, 2012a).

En Colombia, el HLB de los cítricos se encuentra reportado para los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, La Guajira y Magdalena, según se declara en la Resolución ICA No. 00007109 del 2017, y en el departamento de Norte de Santander según Resolución No. 00019680 del 2018. Debido a esto, es importante la detección temprana en departamentos como el

Tolima con liderazgo cítrico, en vista del riesgo que tiene la presencia del vector en el departamento y la bacteria en el territorio nacional.

Monzo *et al.* (2015) sugieren que la detección temprana de *D. citri* permite el establecimiento de medidas de contingencia en regiones donde aún no está presente la enfermedad. Por lo tanto, se requiere de investigación en la epidemiología de la enfermedad y tácticas de control del vector. Para lo que es necesario el apoyo de mapas epidemiológicos como lo sugiere Guarín (2010).

La epidemiología viene desarrollando modelos matemáticos de algunas enfermedades comunes e importantes con el fin de mejorar la capacidad de prever y comprender el desarrollo de una epidemia (Achicanoy, 2000). Para el caso de fenómenos epidemiológicos, la cercanía espacial de casos favorece la propagación de una epidemia, por lo que la geoestadística construye la posibilidad de predecir datos desconocidos a partir de datos muestreados (Castro *et al.*, 2005), en donde el componente espacial provee información sobre la posición dentro de un sistema de referencia establecido y el componente temático hace referencia al proceso o el fenómeno (Olaya, 2010).

Flores-Sánchez *et al.* (2011) señalan que en enfermedades que son transmitidas por un vector del agente causal, es muy común encontrar tasas de dispersión

elevadas con un confinamiento espacial inicial definido en una sola dirección y conforme avanza en el tiempo una distribución multidireccional. De igual manera señalan que la magnitud de la dispersión puede definirse en base al actor del inóculo inicial, dado que un inóculo con alto número de árboles enfermos conlleva a una mayor dispersión de la enfermedad que un foco menor.

El manejo del HLB se realiza a través de tres estrategias: erradicación, control del vector y uso de material vegetal certificado (Mora-Aguilera *et al.*, 2014), por lo tanto, se hace oportuno la implementación de procesos de análisis espacial en el proceso de vigilancia del vector del HLB de los cítricos. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen herramientas que permiten definir áreas en peligro de presencia de una plaga determinada y conformar la distribución espacial de esta, como información de apoyo en la toma de decisiones para el manejo del vector, entendiendo su distribución como un corredor biológico de movilidad de la bacteria causante del HLB.

Diaphorina citri pasa por cinco estados ninfales, en el último estado presenta esbozos alares bien desarrollados extendidos anteriormente hasta el margen frontal de los ojos o que sobrepasan los ojos hasta el cuarto segmento abdominal (Flores-Sánchez *et al.*, 2011).

Las ninfas en estado ninfal I y II son de color amarillo-anaranjado, tendiendo a anaranjado-amarillo hacia el estado ninfal V (Flores-Sánchez *et al.*, 2011). Los primordios de las alas son conspicuos; hilos cerosos cortos, pueden estar presentes sólo en el ápice del abdomen (Alemán *et al.*, 2007). El ciclo ninfal tiene una duración promedio de 15 d desde huevo a adulto, en un rango de temperatura de 25 a 37,1°C (Flores-Sánchez *et al.*, 2011). En períodos secos los adultos pueden ser abundante en tanto que las ninfas están ausentes (SENAVE, 2009).

D. citri se ha encontrado en América del Sur desde la década de 1940, invadiendo Brasil, posteriormente Argentina y Venezuela. En la década de 1990 invade las Antillas (Guadalupe), la isla Abaco, la isla Gran Bahama, las Islas Caimán y Florida, USA (Tsai y Liu, 2000; Halbert y Núñez, 2004). En Colombia, *D. citri* se reportó por primera vez en 2007 en el departamento del Tolima (ICA, 2012b). King (2012) reportó la presencia de *D. citri* en 20 municipios del departamento del Tolima, en un rango altitudinal de 256 a 1.458 msnm. Arévalo *et al.* (2015) reportan la presencia del

vector entre los 0 y 1.710 msnm, este último registro en Sylvania-Cundinamarca, y mayor presencia del vector en altitudes menores a 500 msnm, indicando altas poblaciones hacia las zonas más cálidas del país.

D. citri al parecer posee una capacidad agroclimática amplia y alcances migratorios a medianas y grandes distancias, lo que explica su distribución regional y continental (Mora-Aguilera *et al.*, 2014).

“El Huanglongbing (HLB) es el nombre común reconocido y adoptado por la Organization of Citrus Virologists (Da Graça y Korsten, 2004) y la Sociedad de Fitopatología Americana (Timmer *et al.*, 2000)” según lo cita USDA (2006, p. 2) y quienes mencionan que “esta enfermedad fue descrita por vez primera por Lin, Kung-Hsiang en el año 1956 y se ha catalogado como la enfermedad más importante de los cítricos en el mundo, afectando seriamente la producción cítrica en la India, Asia Sudoriental, la Península Árabe y África, reduciendo el ciclo del cultivo entre 5 y 8 años”. En el estado de la Florida (USA), la enfermedad fue reportada en el año 2005 reduciendo para el año 2011 la producción cítrica en un 23% (Hodges y Spreen, 2012).

La enfermedad se encuentra asociada a las tres especies de proteobacterias restringidas al floema: *Candidatus liberibacter asiaticus* (Las), *Ca. Liberibacter africanus* (Laf) y *Ca. Liberibacter americanus* (Lam); transmitidas a la planta por el psílido vector *D. citri* (ICA, 2012a), el cual para el caso de Colombia ha colonizado 26 departamentos: Antioquia, Arauca, Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, LA Guajira, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, San Andrés, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca y Vichada (Ebratt *et al.*, 2011; Ebratt-Ravelo, 2011b; King, 2012; Kondo *et al.*, 2012; Kondo y Simbaqueba-Cortés, 2014).

Otra forma de transmisión del HLB es la propagación vegetativa siendo particularmente importante a nivel de vivero (González-Gómez *et al.*, 2014).

Inicialmente, los síntomas suelen aparecer en una sola rama del árbol en la que se observan brotes amarillos (Bové, 2006). Los frutos de las ramas afectadas son pequeños, asimétricos y con inversión de color (López-Hernández *et al.*, 2014).

En el continente americano la enfermedad ha sido reportada por países como “Brasil (2004), Estados Unidos (Florida (2005), Texas (2012) y California (2012)), Cuba (2006), República Dominicana y México (2009), Honduras (2008), Belice (2009), Guatemala (2010), Nicaragua (2010) Costa Rica (2011) y Jamaica (2011)” (ICA, 2012a, p. 1). Robles-González *et al.* (2013) reportan que el HLB fue detectado a México en el año 2009, ocasionando impactos en pérdidas del rendimiento en el limón mexicano entre 20 hasta 48%.

Con la implementación de SIG se combinarán bases de datos gráficas a partir de cartografía digital con la localización de cada entidad, así como de sus atributos respectivos, para ser representados dentro de un sistema de coordenadas geográficas y realizar un tratamiento espacial de los datos a fin de obtener información significativa (Buzai, 2013).

Contreras (2014) implementó elementos de SIG para establecer las condiciones climáticas que han favorecido el desarrollo de *D. citri*, proporcionando bajo una visión espacial la forma en que se ha reproducido y dispersado el HLB en México como consecuencia del establecimiento y propagación del vector.

Heith *et al.* (2016) estimaron los efectos del cambio climático en la distribución geográfica potencial del HLB en Sudamérica, mediante el análisis de componentes principales que predicen la aptitud ambiental de una especie a partir de la distancia euclidiana de diferentes puntos en Sudamérica hacia sitios en los que se ha establecido el HLB.

Con el propósito de determinar la distribución del vector de la enfermedad conocida como el HLB de los cítricos, causada por la bacteria *Candidatus liberibacter* en los sistemas de producción de cítricos del departamento del Tolima, a partir de herramientas SIG, cartografía elaborada y el monitoreo del vector se proyectan las posibles rutas de movilidad de la enfermedad.

METODOLOGÍA

La cartografía se realizó a partir de la información obtenida en el proceso de vigilancia del HLB de los cítricos y su vector *D. citri*, realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en los años 2014-2016 en el departamento del Tolima. El objetivo principal de la vigilancia consiste en establecer la distribución

y nivel de prevalencia del psílido vector *D. citri* en diferentes regiones cítricas del país y determinar la condición fitosanitaria con respecto a la bacteria *Candidatus Liberibacter Asiaticus* (ICA, 2012b).

Muestreo

Consistió en la captura de adultos de *D. citri* rodeando los árboles con ayuda de una jama entomológica, haciendo movimientos de arriba hacia abajo en cuatro pases. Rozando las hojas de las plantas de cítricos se capturaron los insectos en estado adulto, vaciando el contenido completamente en un tubo Eppendorf con etanol al 70%, para envío de muestra al Laboratorio Nacional de diagnóstico fitosanitario del ICA. La captura solamente se realizó para adultos dado que es en este estado que el vector puede distribuirse regionalmente. Este proceso se realizó para 20 árboles por punto de muestreo, en 151 predios el año 2014, 255 predios el año 2015 y 123 predios el año 2016. La información obtenida fue consignada en formatos de campo diseñados bajo los lineamientos de la Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria del ICA, los cuales se consolidan en hoja electrónica de Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA) y se consignan en archivo digital.

Distribución de los sistemas cítricos

A partir de la información de vigilancia se caracterizó la producción de cítricos en el departamento del Tolima utilizando el *software* ArcGis v. 10.2.2 (ESRI Press, New York) (licencia académica Universidad de Manizales), definiendo los principales municipios productores de cítricos en el departamento del Tolima. La información fue registrada sobre la base cartográfica obtenida en el geoportal del DANE mediante formato “.shp” en el enlace: https://geoportal.dane.gov.co/descargas/mgn_2017/MGN2017_73_TOLIMA.rar. Se implementó la unión de la tabla de atributos en la capa de municipios del Tolima con el registro en formato CSV (delimitado por comas) del número de predios registrados por municipio; mediante las propiedades de la capa en ArcGis se implementó la herramienta de graduación de colores tanto para el mapa de producción cítrica del departamento por área total sembrada como para número de productores de cítricos por municipio. Adicionalmente, se graficó mediante símbolos proporcionales, la ubicación de los predios productores de cítricos y el área proporcional

de cada uno de estos con respecto al total de predios muestreados.

Interpolación por el método Inverso a la Distancia Ponderada (IDW) para la distribución del vector

A partir de la información de los consolidados de vigilancia en los años 2014, 2015 y 2016 se realizaron interpolaciones IDW, como mecanismo de predicción implícita que genera continuidad bajo el principio: valores obtenidos en muestras cercanas tienen mayor probabilidad de parecerse que aquellos valores obtenidos de muestras lejanas. Aunque los modelos para establecer posibles rutas de dispersión del HLB revisados en la literatura se basan en variables climáticas, en este trabajo se realizó la interpolación a partir de datos de muestreo del vector, con el fin de establecer un corredor biológico de dispersión de la enfermedad a partir de este. La metodología se adoptó con base a la experiencia obtenida en el programa Moscamed (Lira *et al.*, 2010), en el que se implementa como método de interpolación IDW a partir de los datos obtenidos en el trapeo para mosca de la fruta, con el propósito de obtener estimación de la presencia de la mosca del mediterráneo a nivel de zonas, en los lugares alrededor de las trampas y no en lugares puntuales como lo son los sitios de muestreo.

Análisis de riesgo de dispersión del HLB de los cítricos a través del vector

Sobre la base cartográfica obtenida en la interpolación de los datos de muestreo del vector por el método de IDW para el año 2016, se identificó un área de influencia de 1 km a cada lado de la vía con el propósito de identificar los predios ubicados dentro de esta área con la herramienta de intersección de ArcGis *intersect*, implementada para las capas de vías y predios cítricos. Los predios identificados se asociaron al riesgo de llegada de vectores del HLB portadores de la bacteria causante del HLB a través del transporte pasivo de adultos atraídos por la luz de los vehículos (Beattie y Barkley, 2009), relacionándolos a su vez con la información obtenida en el proceso de interpolación. De igual manera se identificó la ubicación de los viveros productores de material de propagación de cítricos, a los que se implementó un área de influencia de 4 km con el fin de identificar los predios ubicados en esta área de influencia del vector con base al aporte de Hall *et al.* (2008), quienes determinaron que *D. citri* puede ser arrastrada por corrientes de aire y trasladado

a distancias de 0,5 a 4,0 km. Se elaboró un mapa de apoyo para el análisis de riesgo de dispersión de la bacteria a partir del vector, en el que se registraron sobre la base de la interpolación por IDW realizada para el año 2016, las capas: predios productores de cítricos, viveros productores de material de propagación de cítricos, áreas de influencia de 4 km de los viveros, predios en área de influencia de viveros, predios ubicados dentro del área de influencia a 1 km de vías principales y otros hospederos entre los que se encuentra el mirto, *Murraya paniculata* (L.) Jack y la swinglea, *Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de huertos de cítricos

Mediante material cartográfico se caracterizó la producción cítrica del departamento del Tolima identificando gráficamente los municipios con mayor área cítrica y la ubicación geográfica de los predios, distinguiendo proporcionalmente el área entre estos (Fig. 1).

Según esta información se observó que los municipios con mayor área cítrica son los municipios de Mariquita y Guamo, seguidos de los municipios de Espinal, Coello, Flandes, Venadillo y Armero. Sin embargo, se observó también que existe un gran número de predios en el municipio de Guamo que adicionan al atributo de área cítrica por municipio y que, en el caso del municipio de Mariquita, un solo predio tiene una gran extensión de cítricos; por lo que un mapa de número de predios por municipios también aporta criterios para la identificación y caracterización de municipios con importancia cítrica.

Los municipios de Guamo y Espinal tienen un mayor número de predios cítricos (Fig. 2) y con predios de diferentes extensiones. Guamo presenta predios cítricos de mayor área que Espinal. Se destacan además los municipios de Saldaña y Melgar, los cuales presentaron un nivel bajo de área cítrica (Fig. 1).

El municipio de Guamo presentó la mayor área cítrica del departamento del Tolima, así como el mayor número de productores cítricos. En el municipio de Espinal se encontró un alto número de productores y un área importante, aunque no mayor en producción como la observada en el municipio de Mariquita en donde un solo predio abarca una gran extensión.

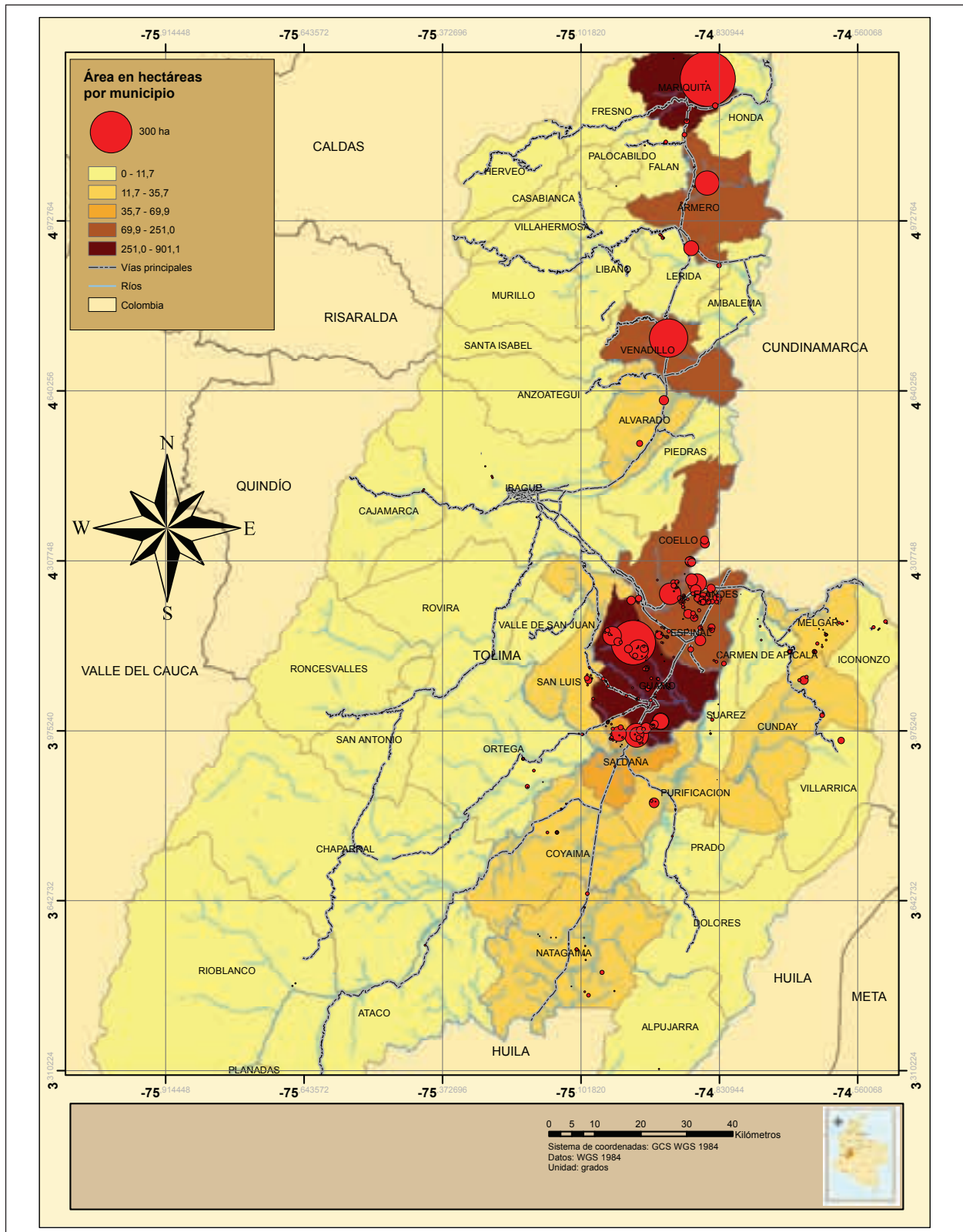


Figura 1. Área de producción cítrica en el departamento del Tolima, Colombia.

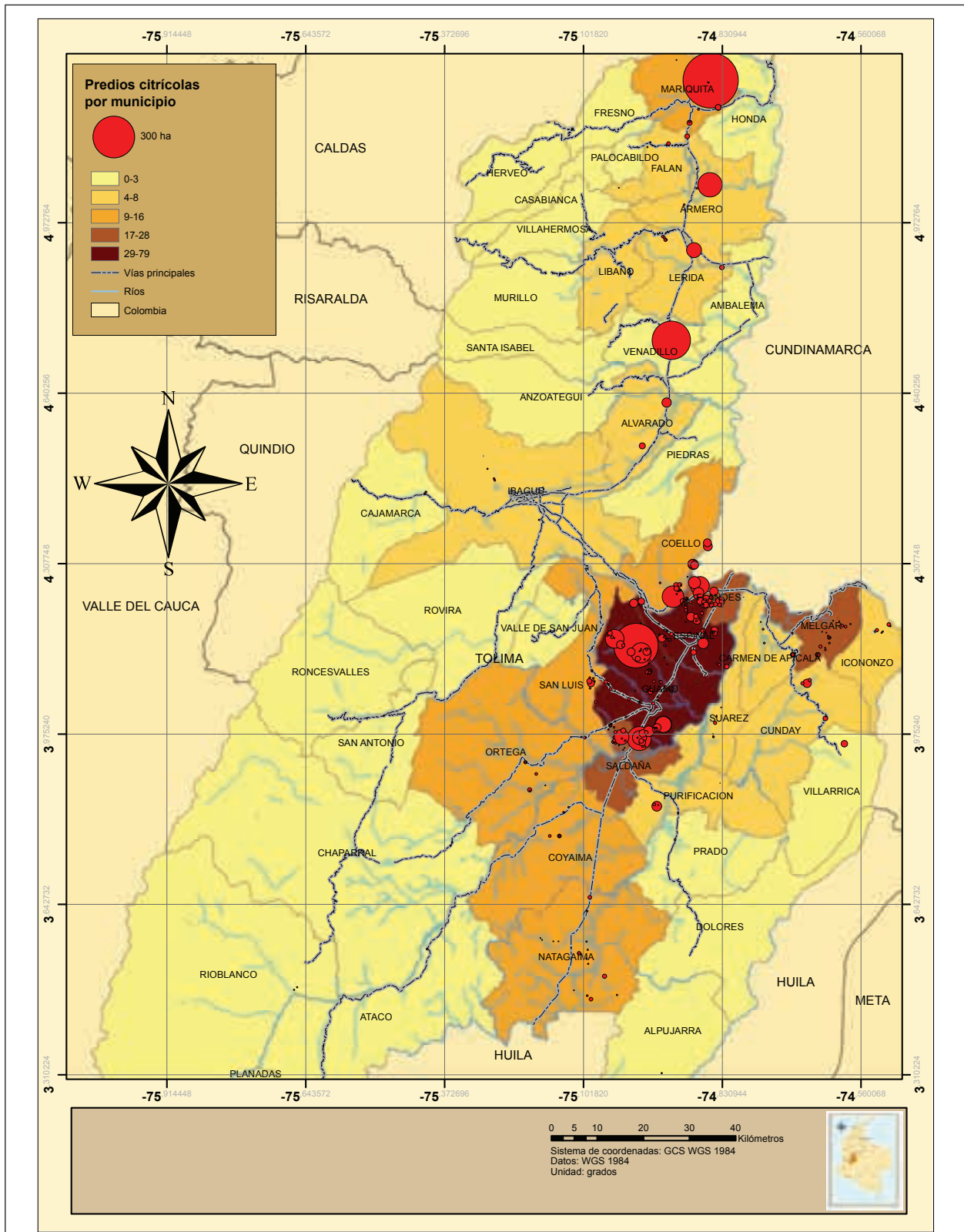


Figura 2. Número de sistemas cítricos por municipio en el departamento del Tolima, Colombia.

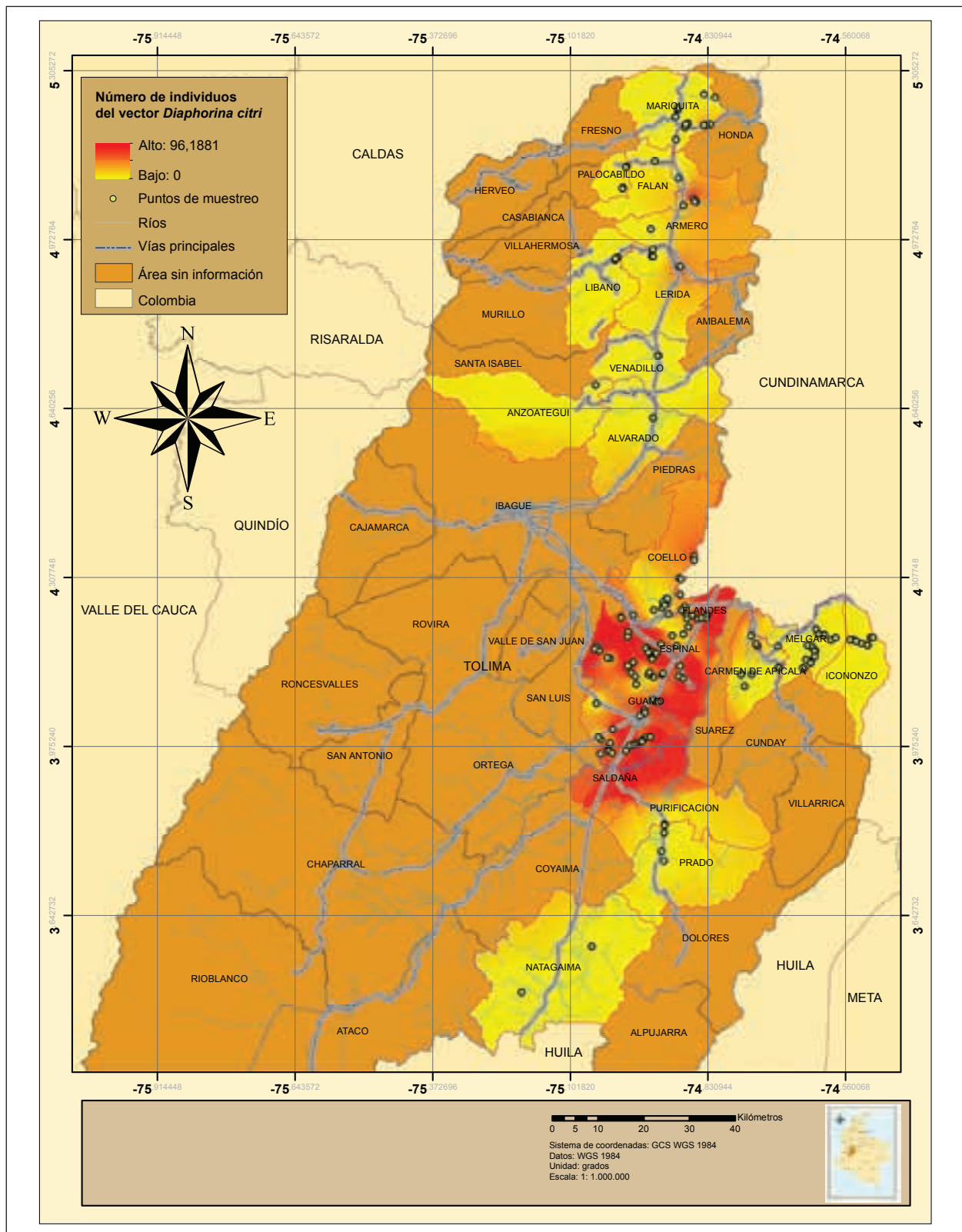


Figura 3. Distribución de *D. citri* en el departamento del Tolima (Colombia) año 2014.

Distribución de *D. citri*

Existen dos maneras de transmisión de la enfermedad del HLB, por el vector *D. citri* y mediante la implementación de yemas infectadas con la bacteria (Halbert y Manjunath, 2004). Siendo *D. citri* el principal mecanismo de dispersión de la bacteria en un área geográfica (Garnier y Bové, 2000; Hall *et al.*, 2008). En este estudio se pretendió predecir la ruta biológica de la bacteria a través de la dispersión del vector como factores determinantes en la forma y velocidad en que se distribuya una vez ingrese al departamento del Tolima.

Por la interpolación IDW en el año 2014 (Fig. 3) se observó la concentración de muestreo principalmente hacia los municipios ubicados sobre el valle del Magdalena, entre los que se excluyen los municipios de Piedras, Ambalema, Honda y Suarez. Se observó, además, una alta concentración de la población de *D. citri* en los municipios de Saldaña, Guamo, Espinal y Flandes con algunas excepciones en el municipio de Guamo (área de color amarillo) con registros bajos de la población de *D. citri*.

Se observó de igual manera en el municipio de Armero área de color rojo (Fig. 3), aunque los puntos alrededor no generaron la captura o una baja captura de individuos, en este punto específico se presentó una alta población del mismo, reportando la alta presencia y probabilidad de otros hospedantes vecinos con igual población.

Para el año 2015 (Fig. 4A) se observa disminución en el nivel alto de individuos obtenidos por muestreo (72,6781) con respecto al año anterior (96,1881). Por otra parte, hay mayor cobertura por municipio en la vigilancia de *D. citri*, al igual que la aparición de nuevos puntos con niveles altos de la población, tales como los que se observan en los municipios de Carmen de Apicalá, Coyaima, Falan y Mariquita, así como niveles medios en los municipios de Ambalema y Piedras, los cuales no fueron muestreados para el año 2014. De igual forma se observó que los niveles de captura por unidad de muestreo en los municipios de Guamo y Saldaña, continúan siendo altos como en 2014 y que no se realizaron muestreos en el año 2015 en puntos que para el año 2014 arrojaron valores altos de población capturada (Fig. 4B y C).

También se observó que hay una dispersión de *D. citri* a lo largo de los municipios de Ambalema, Armero, Carmen de Apicalá, Coello, Coyaima, Espinal,

Flandes, Falan, Lérida, Mariquita, Ortega, Piedras, Saldaña, San Luis y Venadillo, municipios con presencia de cultivos cítricos de diferentes áreas (Fig. 2).

En el año 2016 (Fig. 5) se observó una disminución en el número de municipios muestreados, además del aumento de la población obtenida en municipios muestreados con un valor de 103,49 individuos. De igual forma se observó aumento de la población obtenida en el proceso de muestreo a lo largo del área reportada para el año 2014 con el aumento de la superficie de color rojo. También se observa una disminución de la población muestreada en el municipio de Mariquita y la aparición de poblaciones altas en los municipios de Ambalema, Natagaima y Honda. Es importante resaltar que en estos dos últimos no hay registro de predios productores de cítricos (Fig. 2), por lo que la muestra puede provenir de hospedantes alternos como la swinglea, árbol de mirto o especies cítricas de traspatio.

Con base a la interpolación de los años 2014, 2015 y 2016, las poblaciones de *D. citri* aumentaron para el 2016 consolidando un corredor biológico de dispersión del HLB de los cítricos en el que predominan los municipios de Coello, Espinal, Flandes, Guamo y Saldaña, y de acuerdo a lo planteado por Martínez y Wallace (1968) citado por Pacheco *et al.* (2012), "la velocidad de dispersión del HLB podría ser mayor debido a que se requiere un alto número de insectos vectores para lograr una buena transmisión de la enfermedad".

Análisis de riesgo de dispersión HLB a través *D. citri*

Sobre la base, que una importante fuente de dispersión de *D. citri* es el transporte pasivo de adultos, los cuales son altamente atraídos por la luz de los vehículos (Beattie y Barkley, 2009) y puede ser arrastrado por corrientes de aire y trasladado a distancias entre 0,5 a 4,0 km (Hall *et al.*, 2008), presenta un riesgo de diseminación de la bacteria causante de HLB dentro de una plantación y entre plantaciones; el área de influencia a la capa de vías de comunicación (Fig. 6A) y a la capa de viveros reveló predios cítricos dentro de dichas áreas de influencia, los cuales al estar a menos de 1 km podrían ser afectados por el transporte pasivo de adultos que contengan la bacteria causante de HLB. Su identificación servirá para la definición de un sistema de monitoreo periódico y continuo de estos predios, ya que las carreteras podrían constituirse

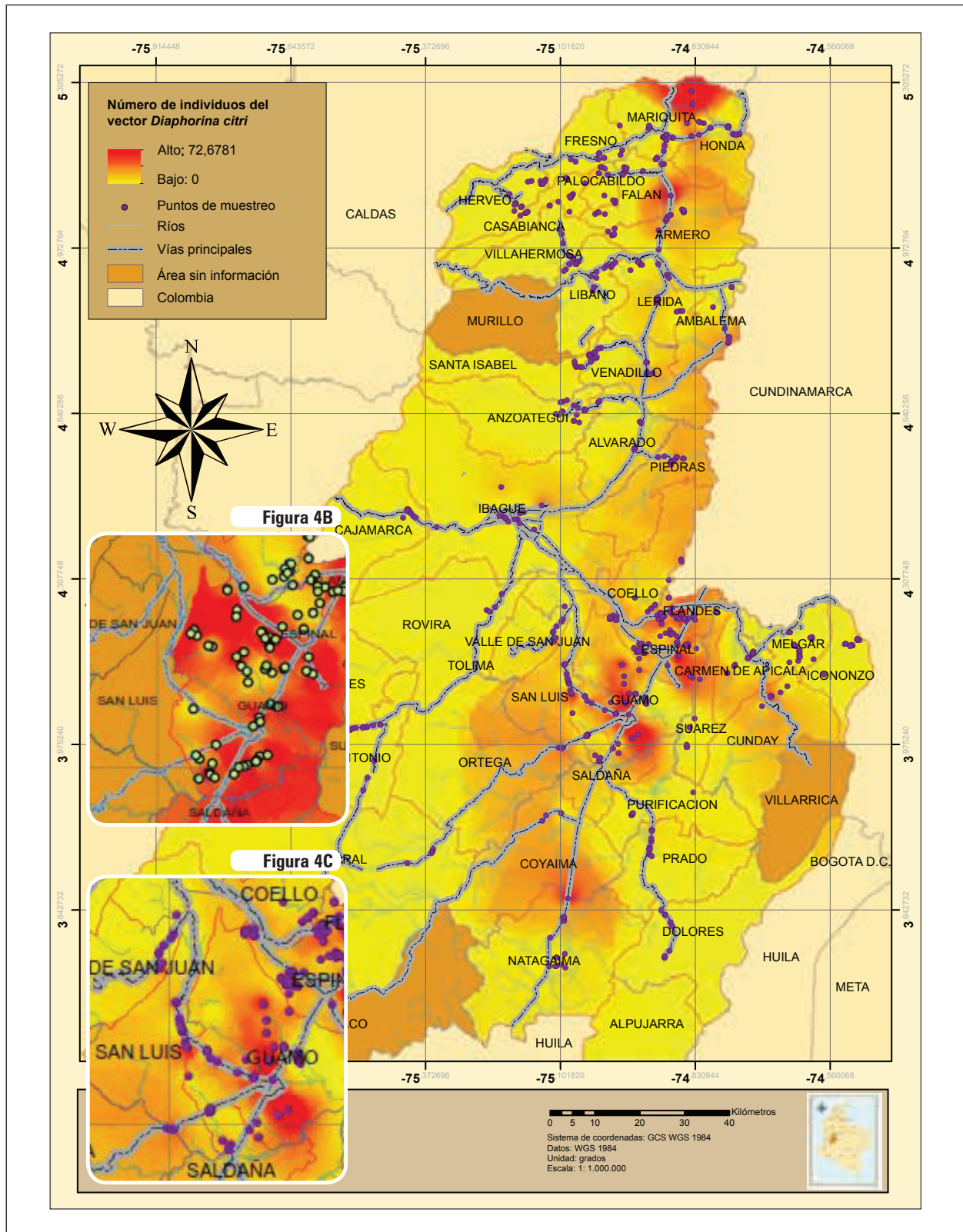


Figura 4. Distribución de *D. citri* en el departamento del Tolima (Colombia) año 2015 (A) y puntos de muestreo en los municipios de Guamo y Espinal para los años 2014 (B) y 2015 (C).

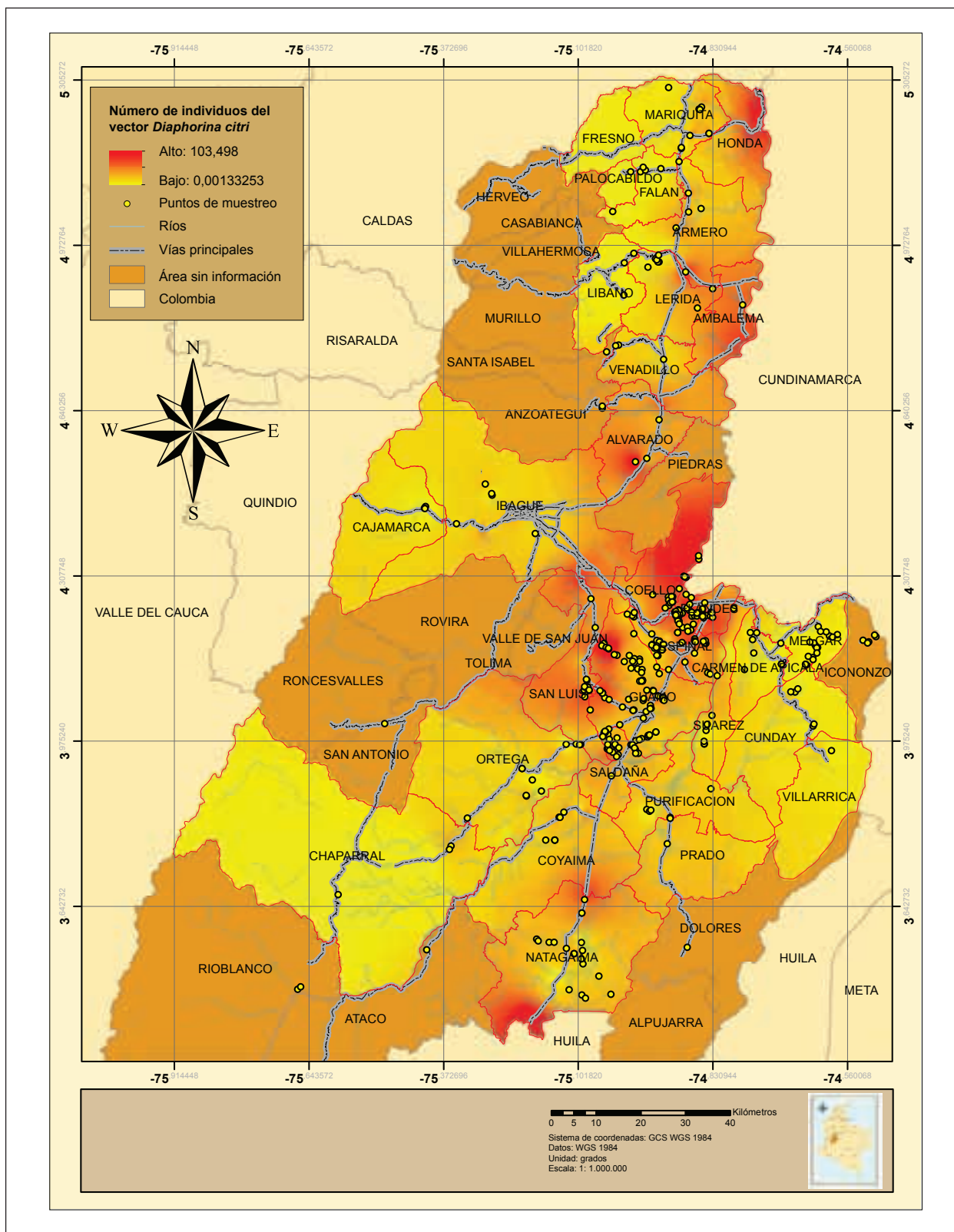


Figura 5. Distribución de *D. citri* en el departamento del Tolima (Colombia) año 2016.

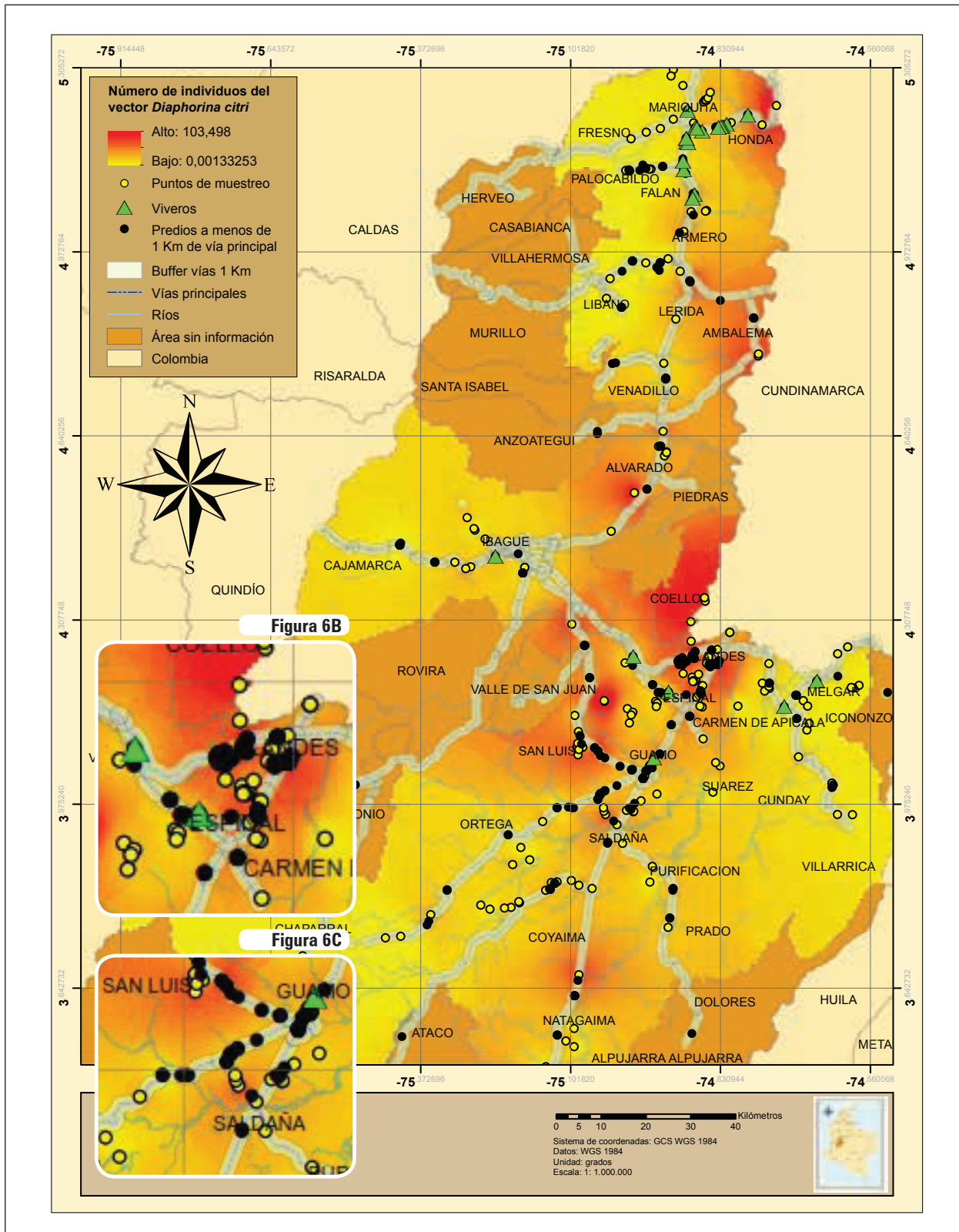


Figura 6. Análisis de riesgo de dispersión al HLB de los cítricos por el vector *D. citri* en el departamento del Tolima (Colombia) (A) y predios cítricos cercanos a menos de 1 Km de la vía principal: Flandes (B) y Saldaña (C).

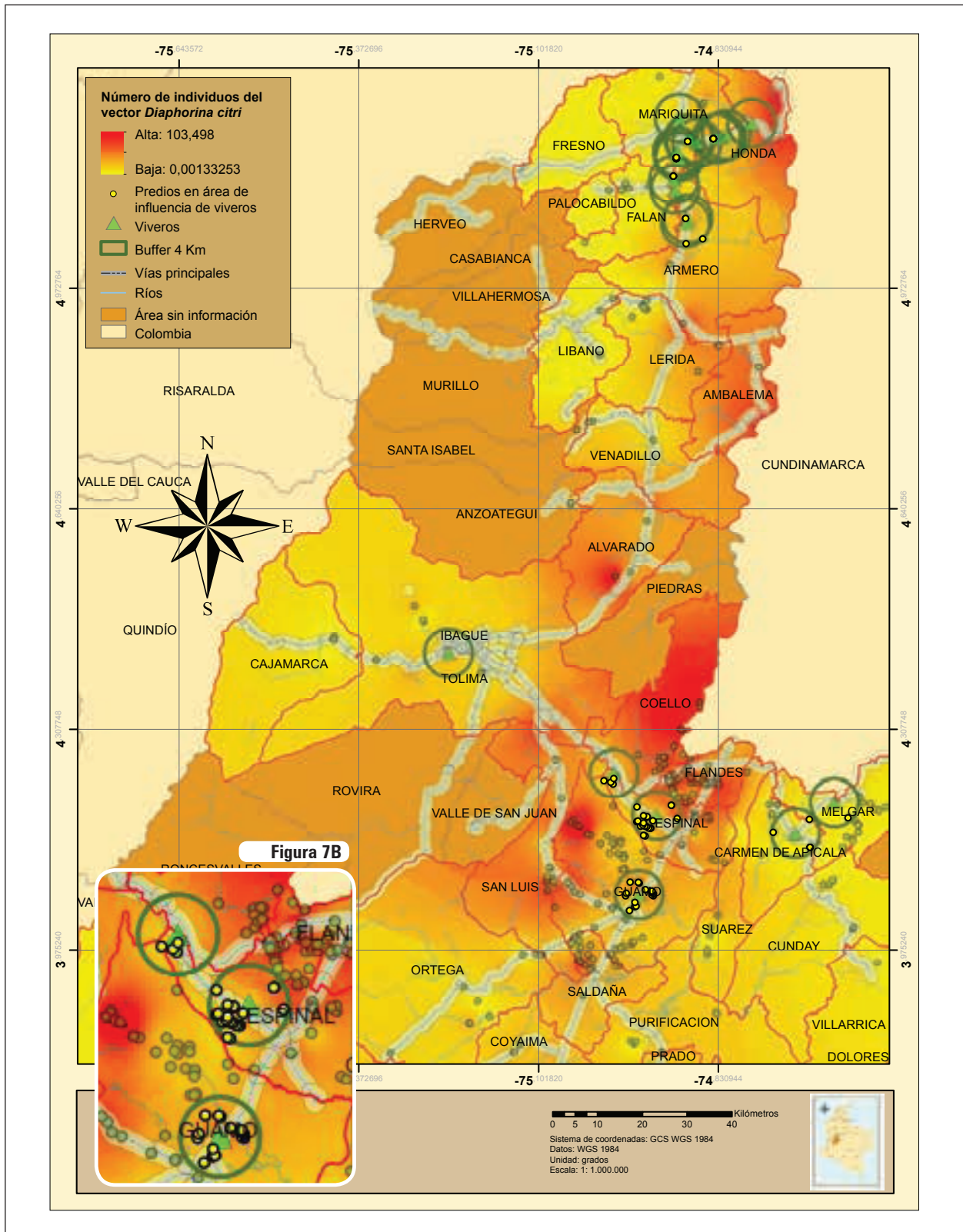


Figura 7. Viveros productores de material de propagación en cítricos (A) y predios cítricos cercanos a los viveros (B) en el departamento del Tolima (Colombia).

como el medio de acceso de la bacteria al departamento del Tolima.

La identificación de los predios contenidos en el área de influencia de las vías principales se realizó sobre la interpolación hecha con los datos de muestreo del año 2016, con el fin de priorizar puntos de monitoreo que estén ubicados sobre áreas de mayor población muestreada (color rojo, Fig. 6A), ya que, en estas áreas debido a las altas poblaciones del vector, la bacteria podría distribuirse con mayor velocidad. De igual manera, se utilizó la salida gráfica para el reconocimiento de predios cítricos con la idea de incluir esta variable en la priorización del monitoreo. Tal es el caso de los municipios de Espinal y Flandes, en donde se observó una gran cantidad de sistemas de producción de cítricos de diferentes áreas y cercanos a predios ubicados en inmediaciones de una vía principal y sobre un área de alta población del vector (Fig. 6B).

Otra zona importante de resaltar es la ubicada en inmediaciones del municipio de Saldaña (Fig. 6C), en donde se encuentran ubicados sistemas de producción de cítricos con diferentes áreas, cercanos a un predio dentro del área de influencia de la vía principal y sobre un área de color del muestreo 2016, se obtuvieron muestras del vector aunque en menor cantidad que la obtenida en los puntos muestreados de Espinal y Flandes (Fig. 6B).

La ubicación de los viveros productores de material de propagación de cítricos (triángulo de color verde, Fig. 7A), es otro elemento clave en la transmisión del HLB (González-Gómez *et al.*, 2014). Además, *D. citri* se alimenta de la savia del floema de los brotes y hojas más jóvenes del árbol (Alemán *et al.*, 2007), lo que implica mayor riesgo de presencia del vector en viveros, debido a la predominancia de brotes y tejidos jóvenes.

A estos viveros se les definió un área de influencia de 4 km, con el propósito de identificar los predios cítricos ubicados dentro de esta área (Fig. 7A). En el detalle (Fig. 7B), se observan los predios (puntos amarillos) que corresponden a predios cítricos dentro del área de influencia de los viveros, identificados por un triángulo. El área de influencia está determinada por el alcance que puede tener un vector al ser desplazado por efecto de los vientos.

Esta área se convierte en puntos de interés para el monitoreo del vector y vigilancia de la enfermedad ya que una vez que ingrese el HLB a una de las áreas del vivero o al predio cítrico circundante, este podría dispersar la enfermedad con un mayor alcance que el

logrado por el vector por efecto del desplazamiento de material de propagación.

Al igual que la intersección realizada con la capa de vías, el área de influencia de viveros se ilustró sobre la interpolación del año 2016 con el propósito de identificar las áreas con mayor posibilidad de dispersión del HLB por efecto de los altos niveles de la población del vector, el caso del vivero ubicado en el municipio de Espinal y seguido del municipio de Guamo, son de gran importancia cítrica tanto por el área sembrada como por el número de productores.

CONCLUSIONES

El principal municipio productor de cítricos en el departamento del Tolima es Guamo por número de productores y área cultivada. Se observó además que la producción cítrica del departamento está conformada por sistemas de diferente tamaño.

La región cítrica del departamento está conformada principalmente por dos zonas, la primera por los municipios de Coello, Espinal, Flandes, Guamo y Saldaña, y la segunda por los municipios de Armero, Mariquita y Venadillo caracterizada por un bajo número de productores.

Por lo tanto se sugiere la implementación de mayores puntos de monitoreo en la zona conformada por los municipios de Coello, Espinal, Flandes, Guamo y Saldaña, y otros en el área conformada por los municipios de Armero, Mariquita y Venadillo.

La distribución de *D. citri* se interpretó como una variable regionalizada por el método IDW, dado que el área de influencia del vector corresponde a una región agroclimática específica en la que se ubican los cultivos de cítricos y otros hospederos. Estas zonas se ubican en altitudes entre los 0 y 1600 msnm, con temperaturas medias entre 23 y 34°C, pluviosidades acumuladas anuales de 900 a 1200 mm y luminosidad mayor a 1900 horas de brillo solar anual (Botero *et al.*, 2014); disminuyendo la población del vector en la medida de que se aleja de dichas condiciones.

A través de la interpolación realizada las poblaciones de *D. citri* aumentaron para el 2016, definiendo un corredor biológico de dispersión para el HLB de los cítricos en los municipios de Coello, Espinal, Flandes, Guamo y Saldaña, en donde se estima una mayor velocidad de dispersión frente a las áreas con menor población del vector.

Debido a la alta presencia de sistemas de producción de lima acida Tahití en los municipios de Espinal, Flandes y Guamo, una alta incidencia del vector del HLB de los cítricos en la zona y la proximidad topológica menor a 1 km entre la vía principal y los predios citrícolas circundantes, se recomienda implementar un área específica de monitoreo, dado el potencial riesgo de dispersión de la enfermedad según se observa en los resultados del presente estudio.

Conflicto de intereses: el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloquen en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achicanoy, L.H. 2000. Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín 53(1), 941-968.
- Alemán, J., H. Baños y J. Ravelo, 2007. *Diaphorina citri* y la enfermedad huanglongbing: una combinación destructiva para la producción citrícola. Rev. Prot. Veg. 22(3), 154-165.
- Arévalo, E., L.A. Castañeda, W. King, O. Fuentes y J.H. Palacino. 2015. Vigilancia de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), insecto vector de la enfermedad Huanglongbing -HLB- de los cítricos. pp. 209-223. En: Jaramillo, J.L. (ed.). Memorias y resúmenes 42º Congreso Sociedad Colombiana de Entomología SOCOLEN, Medellín, Colombia.
- Beattie, G.A. y P. Barkley. 2009. Huanglongbing and its vectors. A pest specific contingency plan for the citrus and nursery and garden industries, version 2. Horticulture Australia, Sídney.
- Botero, V., A. Ochoa, Z.J. Gaston, R.A. Ortiz, T.S.M. Fuel, F.E. Moná, M.L. Marcela, H.J. Guarín, R.J.O. Orduz, Z.H.N. Chaparro y P.E. Arévalo. 2014. Identificación de la dinámica poblacional de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en los cultivos de cítricos de Colombia: una herramienta para implementar un sistema piloto de seguimiento de poblaciones del insecto vector del HLB. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Bové, J.M. 2006. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. J. Plant Pathol. 88(1), 7-37.
- Buzai, G.D. 2013. Sistemas de información geográfica SIG: teoría y aplicación. Universidad Nacional de Luján, Lujan, Argentina.
- CABI, 2019. Citrus huanglongbing (greening) disease (citrus greening) – Datasheet. En: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/16567#toimpactEconomic>; consultado: diciembre de 2018.
- Castro, C., L. Londoño y J. Valdés. 2005. Modelación y simulación computacional usando sistemas de información geográfica con dinámica de sistemas aplicados a fenómenos epidemiológicos. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia 34, 86-100.
- Contreras, C. 2014. Condiciones climáticas asociadas al establecimiento y dispersión del Huanglongbing (HLB) y su vector la *Diaphorina citri* Kuwayama. pp. 101-118. En: Galindo, M.G. y C. Contreras (Coord.). Huanglongbing y psílido asiático de los cítricos: un acercamiento metodológico multidisciplinario. Colección Sanidad Vegetal Tomo 2. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Da Graça, J.V. y L. Korsten. 2004. Citrus huanglongbing: review, present status and future strategies. pp. 229-245. En: Naqvi, S.A.M.H. (ed.) Diseases of fruits and vegetables. Vol. I: diagnosis and management. Springer, Dordrecht, Holanda.
- DANE. 2016. Tercer Censo Nacional Agropecuario: hay campo para todos. Tomo 2: Resultados. Bogotá, Colombia.
- Ebratt R., E.E., L.T. Rubio G., V.A. Costa, E.M. Zambrano G., Á.P. Castro Á. y M.Y. Santamaría G. 2011. Record of *Tamarixia radiata* (Waterston, 1922) (Hymenoptera: Eulophidae) in Colombia. Rev. Fac. Nal. Agron. Medellín 64(2), 6141-6146.
- Ebratt-Ravelo, E.E., L.T. Rubio-González, V.A. Costa, Á.P. Castro-Ávila, E.M. Zambrano-Gómez y J.E. Ángel-Díaz. 2011. *Diaphorina citri* (Kuwayama, 1907) and *Tamarixia radiata* (Waterson, 1922) in citrus crops of Cundinamarca, Colombia. Agron. Colomb. 29(3), 487-493.
- FAOSTAT. 2018. Crops. En: <http://www.fao.org/faostat/en>; consultado: diciembre de 2018.
- Flores-Sánchez, J.L., G. Mora-Aguilera, E. Loeza-Kuk, S. Domínguez-Monge, G. Acevedo-Sánchez, P. Rivas-Valencia, N. Ruíz-García, J.I. López-Arroyo, E. Hernández-Chan, A. Novelo-Cocon, P. Sánchez-Lopez y F. Sánchez-Rebolledo. 2011. Gradientes de dispersión del HLB a partir de focos iniciales de infección en la península de Yucatán. pp. 83-87. En: Memorias, 2o Simposio Nacional sobre Investigación para el Manejo del Psílido Asiático de los Cítricos y el Huanglongbing en México. INIFAP, Montecillo, México.
- Garnier, M. y J. Bové. 2000. Huanglongbing (greening). pp. 46-48. En: S.G.L.W. Timmer (ed.). Compendium of citrus diseases. 2a ed. APS. Press, St. Paul, MN. USA.
- González-Gómez, R., C. Oropeza-Salín, A. Flores-Olivas, P. Robles-García, G. Mora-Aguilera, J. Flores-Sánchez, G. Acevedo-Sánchez y S. Domínguez-Monge. 2014. Vigilancia epidemiológica y estatus actual del amarillamiento letal del cocotero, punta morada de la papa

- y huanglongbing de los cítricos (HLB) en México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 32(2), 120-131.
- Guarín, J.H. 2010. Panorama para el manejo de *Diaphorina citri*, vector del HLB en la citricultura colombiana. En: *Memorias 1er Congreso Latinoamericano de Citricultura*. CORPOICA, Medellín, Colombia.
- Halbert, S.E. y K.L. Manjunath. 2004. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Flo. Entomol.* 87(3), 330-353. Doi: 10.1653/0015-4040(2004)087[0330:ACPSPA]2.0.CO;2
- Halbert, S.E. y C.A. Núñez. 2004. Distribution of the Asian citrus ~ psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Rhynchota: Psyllidae) in the Caribbean basin. *Flo. Entomol.* 87(3), 401-402. Doi: 10.1653/0015-4040(2004)087[0401:DO-TACP]2.0.CO;2
- Hall, D.G., M.G. Hentz y R.C. Adair Jr. 2008. Population ecology and phenology of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in two Florida citrus groves. *Environ. Entomol.* 37(4), 914-924.
- Heith, G., W. Sione y A. Della. 2016. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de HLB en Sudamérica. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.* 2(4), 484-493.
- Hodges, A.W. y T.H. Spreen. 2012. Economic Impacts of Citrus Greening (HLB) in Florida, 2006/07-2010/11. FE903. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL.
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 2012a. Vigilancia fitosanitaria sobre Huanglongbing (HLB) y su vector el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri* kuwayama) en Colombia. *Boletín Epidemiológico Agrícola – Plagas de Control Oficial*, diciembre. En: https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL_HLB_AGO_2012_2.aspx; consultado: octubre de 2018.
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 2012b. Vigilancia del huanglongbing (HLB) de los cítricos y su vector el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en Colombia. *Boletín Epidemiológico* 4. En: http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL_HLB_2012_2014.aspx; consultado: marzo de 2018.
- King, W. 2012. Dispersión de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) en el departamento del Tolima (Colombia). *Rev. Tumbaga* 2(7), 51-60.
- Kondo, T., E.M. Quintero, M. Campuzano, K.A.G. Wyckhys y J. Heraty. 2012. First report of *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) in the department of Valle del Cauca, Colombia. *Bol. Mus. Entomol. Univ. Valle* 13(1), 48-51.
- Kondo, T. y R. Simbaqueba-Cortés. 2014. *Sarucallis kahawaluokalani* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae), a new invasive aphid on San Andres island and mainland Colombia, with notes on other recent invasive species. *Insecta Mundi* 0362, 1-10.
- Lira, E.E. 2010. Uso de sistemas de información geográfica. pp. 159-166. En: Montoya, P., J. Toledo y E. Hernández (eds.), *Moscas de la fruta: fundamentos y procedimientos para su manejo*. S y G Editores, México, DF.
- López-Hernández, D., M. Luis-Pantoja, R. Llauger-Riverón, C. González-Fernández, J. Casín-Fernández, I. Peña, L. Batista-LeRiverend, L. Hernández-Rodríguez, V. Zamora-Rodríguez y D. Hernández-Espinosa. 2014. Diagnóstico y caracterización de la enfermedad huanglongbing de los cítricos para el establecimiento de su manejo en Cuba. *CitriFrut* 31(2), 3-9.
- Monzo, C., H.A. Arévalo, M.M. Jones, P. Vanaclocha, S.D. Croxton, J.A. Qureshi y P.A. Stansly. 2015. Sampling methods for detection and monitoring of the Asian citrus Psyllid (Hemiptera: Psyllidae). *Environ. Entomol.* 44(3), 780-788.
- Mora-Aguilera, G., P. Robles-García, J.I. López-Arroyo, J. Flores-Sánchez, G. Acevedo-Sánchez, S. Domínguez-Monge, A. Gutierrez-Espinosa, E. Loeza-Kuk y R. González-Gómez. 2014. Situación actual y perspectivas del manejo del HLB de los cítricos. *Rev. Mex. Fitopatol.* 32(2), 108-119.
- Olaya, V. 2010. Introducción. ¿Qué es un SIG? En: *Sistemas de Información Geográfica*. Víctor Olaya. pp. 3-24. En: https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf; consultado: octubre de 2018.
- Pacheco, J.J., J.A. Samaniego y A.A. Fontes. 2012. Tecnología para el manejo integrado del psílido *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en cítricos en Sonora. *Folleto Técnico*. Inifap; CIRNO, Obregón, México.
- Robles-González, M.M., J.J. Velázquez-Monreal, M.A. Manzanilla-Ramírez, M. Orozco-Santos, V.M. Medina-Urrutia, J.I. López-Arroyo y R. Flores-Virgen. 2013. Síntomas del Huanglongbing (HLB) en limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle] y su dispersión en el estado de Colima, México. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 19(1), 15-31.
- SENAVE, Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas. 2009. Manual técnico de identificación a campo del Huanglongbing de los cítricos y el insecto vector *Diaphorina citri*. Asunción.
- Tsai, J.H. y Y.H. Liu. 2000. Biology of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on four host plants. *J. Econ. Entomol.* 93, 1721-1725.
- USDA, 2006. Recovery Plan for Huanglongbing (HLB) or Citrus Greening caused by “*Candidatus*” *Liberibacter africanus*, *L. asiaticus*, and *L. americanus*. HSPD-9. En: <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/00000000/opmp/CitrusGreening61017.pdf>; consultado: marzo de 2018.