

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG EN LA VIGILANCIA DEL HLB DE LOS  
CITRICOS Y SU VECTOR**

**WILSON A. ARAQUE ECHEVERRY**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2016**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG EN LA VIGILANCIA DEL HLB DE LOS  
CITRICOS Y SU VECTOR**

**WILSON A. ARAQUE ECHEVERRY**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar  
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Doctor Emilio Arévalo Peñaranda, Director Técnico de Epidemiología Agrícola y Vigilancia Fitosanitaria del ICA, al Ingeniero Jorge Hernán Palacino Córdoba, Líder Nacional del componente de vigilancia del HLB de los cítricos y su vector *Diaphorina citri* (Hemíptera: Psyllidae), y Al Doctor Humberto Orjuela Rozo, por su interés y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

## Contenido

<b>LISTA DE MAPAS.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE IMÁGENES.....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>1. ÁREA PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 DESCRIPCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 DELIMITACIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>4. MARCO TEORICO.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 EL HLB DE LOS CITRICOS Y SU VECTOR <i>DIAPHORINA CITRI</i> (HEMIPTERA: PSYLLIDAE). .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA.....</b>	<b>19</b>
4.2.1 DEFINICIÓN.....	19
4.2.2 COMPONENTES DE UN SIG.....	20
4.2.3 COMPONENTES DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	20
4.2.4. CAPAS O <i>LAYERS</i> .....	21
4.2.5 MODELOS PARA LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	21
4.2.6 MODELO CARTOGRAFICO DIGITAL.....	22
4.2.7 ANÁLISIS ESPACIAL.....	23
4.2.7. CONSULTAS DENTRO DE UN SIG.....	26
<b>4.3 MAPAS EPIDEMIOLOGICOS.....</b>	<b>27</b>
<b>4.4 ANTECEDENTES.....</b>	<b>30</b>
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>38</b>
<b>5.1 TIPO DE TRABAJO.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2. PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>38</b>
5.2.1 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	38
5.2.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	39

• DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.....	39
• DEFINICIÓN DEL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL VECTOR.....	40
• ANÁLISIS DE RIESGO DE DISPERSIÓN DEL HLB DE LOS CÍTRICOS .....	41
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
<b>6.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CITRICOS EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA.....</b>	<b>42</b>
<b>6.2 DISTRIBUCIÓN DE D. CITRI EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA MEDIANTE LA INTERPOLACIÓN DE DATOS DE MUESTREO .....</b>	<b>46</b>
6.2.1 INTERPOLACIÓN POR EL MÉTODO DE KRIGING. ....	52
6.2.2 INTERPOLACIÓN POR EL MÉTODO INVERSO A LA DISTANCIA PONDERADA (IDW) .....	54
<b>6.3 ANALISIS DE RIESGO DE DISPERSIÓN DEL HLB DE LOS CITRICOS A TRAVES DEL VECTOR <i>DIAPHORINA CITRI</i> .....</b>	<b>61</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>74</b>

## LISTA DE MAPAS

<b>Mapa No. 1.</b> Departamento del Tolima.....	13
<b>Mapa No. 2.</b> Distribución geográfica del psílido asiático de los cítricos en el departamento del Tolima.....	31
<b>Mapa 3.</b> Plan Nacional de prevención del HLB, Resolución SAGPYA.....	33
<b>Mapa No. 4.</b> Sitios monitoreados con muestra y sin muestra del psílido vector....	34
<b>Mapa No. 5.</b> Distribución del HLB en el estado de SaoPablo.....	35
<b>Mapa No. 6.</b> Área de Chile donde se ha realizado actividades de prospección y trampeo agrícola. ....	36
<b>Mapa No. 7.</b> Departamentos bajo vigilancia del HLB de los cítricos y el psílido vector en Paraguay, SENAVE.....	36
<b>Mapa No. 8.</b> Área donde se realizaron las primeras prospecciones de detección de HLB en Uruguay. Figura B. Ubicación de la citricultura en Uruguay.....	37
<b>Mapa No. 9.</b> Área de Producción citrícola, Departamento del Tolima.....	43
<b>Mapa No. 10.</b> Número de productores de cítricos por municipio, Departamento del Tolima.....	45
<b>Mapa No. 11.</b> Interpolación por el método de Kriging, Departamento del Tolima. Año 2014.....	49
<b>Mapa No. 12.</b> Interpolación por el método de Kriging, Departamento del Tolima. Año 2015.....	50
<b>Mapa No. 13.</b> Interpolación por el método de Kriging, Departamento del Tolima. Año 2016.....	51
<b>Mapa No. 14.</b> Interpolación por el método de Inverso a la distancia ponderada, Departamento del Tolima. Año 2014.....	56
<b>Mapa No. 15.</b> Interpolación por el método de Inverso a la distancia ponderada, Departamento del Tolima. Año 2015.....	58
<b>Mapa No. 16.</b> Interpolación por el método de Inverso a la distancia ponderada, Departamento del Tolima. Año 2016.....	60
<b>Mapa No. 17.</b> Mapa para el análisis de riesgo de dispersión del HLB de los cítricos a través del vector D. citri, Departamento del Tolima.....	62
<b>Mapa No. 18.</b> Área de influencia del vector D. citri en viveros de cítricos, Departamento del Tolima.....	66
<b>Mapa No. 19.</b> Analisis y toma de decisiones en la vigilancia del HLB de los cítricos y su vector D. citri.....	73

## LISTA DE IMÁGENES

<b>Imagen No. 1</b> Cartas catastrales georeferenciadas para la prospección y vigilancia del HLB en Uruguay.....	37
<b>Imagen No. 2</b> Comparación del error cuadrado medio (RMS) entre los métodos de interpolación IDW y Kriging Para obtener la distribución de D. citri en el departamento del Tolima, años 2014, 2015 y 2016.....	47 – 48
<b>Imagen No.3.</b> Consulta por atributo número de la población muestreada, en ArcGis 10.2.2. Año 2014.....	52
<b>Imagen No.4.</b> Consulta por atributo número de la población muestreada, en ArcGis 10.2.2. Año 2015.....	53
<b>Imagen No.5.</b> Consulta por atributo número de la población muestreada, en ArcGis 10.2.2. Año 2016.....	54
<b>Imagen No.6.</b> Detalle de puntos de muestreo realizados para el año 2014 y no realizados para el año 2015.....	57
<b>Imagen No.7.</b> Detalle del municipio de Flandes: predios cercanos a menos de 1 Km de vía principal, así como predios con diferentes áreas ubicados en área de población alta del vector del HLB.....	63
<b>Imagen No.8.</b> Detalle del municipio de Saldaña: predios cercanos a menos de 1 Km de vía principal, así como predios con diferentes áreas ubicados en área de población alta y media del vector del HLB.....	64
<b>Imagen No.9.</b> Detalle del área de influencia del vector D. citri en viveros de cítricos, Departamento del Tolima.....	65
<b>Imagen No.10.</b> Detalle del área 1 del mapa No. 19.....	69
<b>Imagen No.11.</b> Detalle del área 2 del mapa No. 19.....	70
<b>Imagen No.12.</b> Detalle del área 3 del mapa No. 19.....	70
<b>Imagen No.13.</b> Detalle del área 4 del mapa No. 19.....	71
<b>Imagen No.14.</b> Detalle del área 5 del mapa No. 19.....	72

## **RESUMEN**

Con la implementación tecnológica de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la vigilancia de la enfermedad conocida como el HLB de los cítricos y su vector *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) en el departamento del Tolima, este trabajo aporta elementos de apoyo en el uso y consulta de la información tales como la ubicación discriminada de los sistemas de producción de cítricos, viveros y huertos traspatio, distribución geográfica e identificación de áreas de mayor y menor prevalencia del vector mediante la interpolación por el método de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) y el análisis multitemporal de la distribución del vector en los años 2014, 2015 y 2016; permitiendo el análisis de riesgo de dispersión del HLB y la formulación de mecanismos de vigilancia a través del monitoreo del vector en sitios de interés.

**PALABRAS CLAVES:** SIG, HLB, epidemiología, interpolación, cítricos, *Diaphorina citri*.

## **ABSTRACT**

With the technological implementation of the Geographic Information Systems (GIS) in the surveillance of the disease known as the citrus HLB and its vector *Dipahorina citri* in the department of Tolima, elements of support were provided in the use and consultation Of information such as the discriminated location of citrus production systems, nurseries and backyard gardens, geographical distribution and identification of areas of greater and lesser prevalence of the vector by

interpolation by the Weighted Inverse Distance (IDW) method and the Multitemporal analysis of vector distribution in the years 2014, 2015 and 2016; Allowing the analysis of the risk of HLB dispersion and the formulation of surveillance mechanisms through the monitoring of the vector in sites of interest.

**KEY WORDS:** GIS, HLB, Epidemiology, interpolation, citrus, *Diaphorina citri*.

## **INTRODUCCIÓN**

La Epidemiología Agrícola, es la ciencia que estudia los diversos factores que afectan el proceso y diseminación de las enfermedades en poblaciones de plantas cultivadas (Achicanoy, 2000), es por lo tanto, una disciplina de la ciencia que involucra fenómenos espaciales y sistémicos que vincula hospederos, agentes infecciosos, vectores, geografía, infraestructura, equipamientos y actividad humana.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) mediante la prevención, vigilancia y control de los riesgos sanitarios, formula y desarrolla políticas, planes, programas, proyectos, medidas y procedimientos dirigidos a la protección de la sanidad vegetal, entre los que ejecuta y supervisa las actividades de vigilancia epidemiológica del HLB de los cítricos, la cual es una enfermedad que se encuentra asociada a la 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 *Diaphorina citri* (ICA, 2012),

El HLB de los cítricos aún no ha sido detectado en el departamento del Tolima, sin embargo el ICA ha declarado emergencia fitosanitaria en el territorio nacional por la presencia de adultos de *Diaphorina citri* infectados con la bacteria causante de la enfermedad del HLB. En vista del riesgo que tiene la presencia del vector en el departamento y la bacteria en el territorio nacional, 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 (Guarín, 2010).

Este trabajo pretende implementar un Sistema de Información Geográfica en la acción estratégica de vigilancia epidemiológica de la enfermedad del Huanglongbing (HLB) de los cítricos y su vector *Diaphorina citri*, con el fin de mantener un sistema actualizado y oportuno para la toma de decisiones y análisis del riesgo a partir del uso de cartografía para el análisis epidemiológico.

## **1. ÁREA PROBLEMÁTICA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN**

El Instituto Colombiano Agropecuario ICA, tiene por objeto contribuir al desarrollo sostenido del sector agropecuario, pesquero y acuícola, mediante la prevención, vigilancia y control de los riesgos sanitarios, teniendo entre sus funciones la planificación y ejecución de acciones para proteger la producción agropecuaria de

plagas y enfermedades que afecten o puedan afectar las especies animales o vegetales del país.

Para este fin el ICA formula, prepara y desarrolla políticas, planes, programas, proyectos, medidas y procedimientos dirigidos a la protección de la sanidad vegetal, entre los que ejecuta y supervisa las actividades de vigilancia epidemiológica, con el fin de mantener un sistema actualizado y oportuno para la toma de decisiones, a través de un sistema de información de la condición fitosanitaria del país, de manera que el Instituto pueda emitir oportunamente medidas y procedimientos para conservar o mejorar el estatus sanitario.

En el marco de dicha vigilancia, el ICA lleva a cabo la acción estratégica de vigilancia de la enfermedad conocida como el Huanglongbing (HLB) de los cítricos y su vector *Diaphorina citri* K, el cual fue detectado por primera vez por el ICA en el año 2007 sobre material de propagación de limón Tahití y en limón Swinglea en el departamento del Tolima (ICA, 2012). El objetivo de la vigilancia ha sido determinar la distribución geográfica y nivel de prevalencia del psílido vector *Diaphorina citri* en las diferentes regiones citrícolas de Colombia y determinar la condición fitosanitaria con respecto a la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus*.

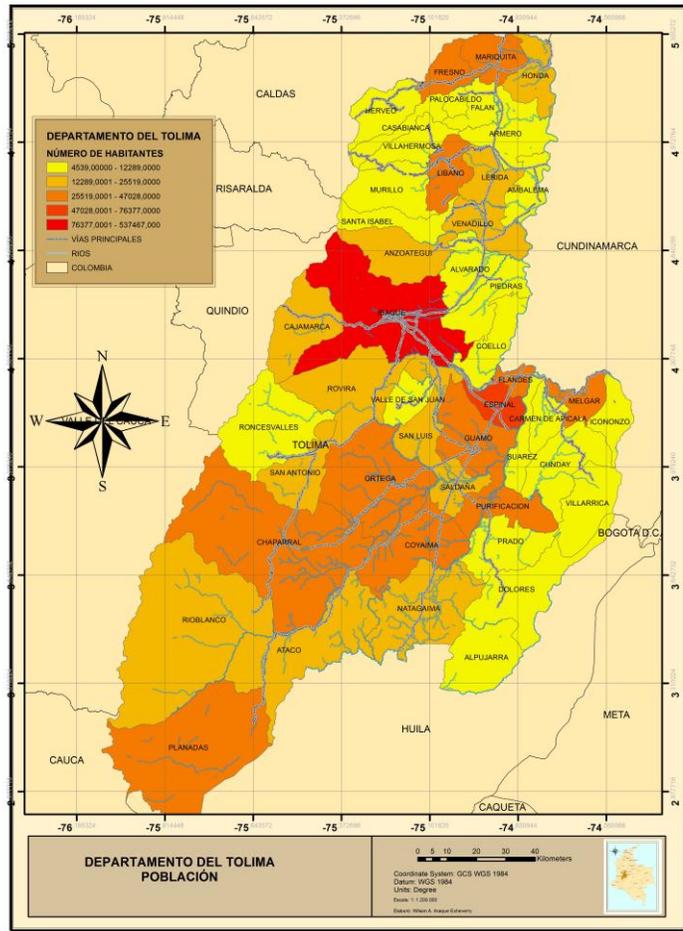
En vista del riesgo que tiene la presencia del vector en el departamento y la bacteria en el territorio nacional, Se requiere de investigación en la epidemiología de la enfermedad y tácticas de control del vector, para lo que es necesario el apoyo de Mapas epidemiológicos (Guarín, 2010). De igual manera sugiere que un

programa de manejo del vector debe determinar zonas agroecológicas potencialmente libres o de baja prevalencia del vector, así como épocas de mayor ocurrencia.

## **1.2 DELIMITACIÓN**

La implementación de un Sistema de Información Geográfica en el proceso de vigilancia del HLB de los cítricos y su vector *Diaphorina citri*, se desarrolla para el departamento del Tolima, Colombia (Mapa No. 1), verificando la presencia y distribución del psílido vector.

El departamento del Tolima se ubica sobre la parte centro – occidente del país, ocupando un área de 23.325 Km<sup>2</sup>. Comprende altitudes desde los 200 m.s.n.m. en la llanura aluvial del Magdalena, hasta 5200 m.s.n.m. sobre el flanco oriental de la cordillera central. Limita al Norte con el departamento de Caldas, al sur con el departamento del Huila, al oriente con los departamentos de Cundinamarca y Huila, y al Occidente con los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío, Valle del Cauca, y Cauca. Está conformado por 47 municipios entre los que se encuentra Ibagué, la ciudad capital (IGAC, 2004). Con una población proyectada para el año 2015 de 1.408.272 habitantes, con un 68,46 % en cabecera municipal y 31,54% en la zona rural de los municipios, según datos de Tolima en cifras año 2014 (Secretaría de Planeación y TIC, 2014) (Mapa No. 1).



Mapa No. 1. Departamento del Tolima

Elaboración propia

El área citrícola del departamento del Tolima se ubica sobre un rango altitudinal que va de los 280 m.s.n.m. hasta los 439 m.s.n.m. En esta zona el relieve se encuentra constituido por suelos planos a ligeramente planos, la temperatura media anual es de 57% y la evaporación anual 1.665 mm en promedio. El clima en

el área de estudio corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical, según el esquema de Holdridge, con precipitación media anual que presenta un rango entre 1.000 y 1500 mm anuales, con distribución bimodal, siendo Julio el mes más seco y Noviembre el mes más lluvioso (CORPOICA, 2005).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un Sistema de información Geográfica en la acción estratégica de vigilancia epidemiológica de la enfermedad del Huanglongbing (HLB) de los cítricos y su vector *Diaphorina citri* en el departamento del Tolima.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar espacialmente el área citrícola del departamento del Tolima.
- Definir gráficamente la distribución de los sistemas de producción de cítricos en el departamento del Tolima.
- Identificar un método de interpolación como modelo de la distribución del vector del HLB de los cítricos.
- Realizar un análisis multi temporal de la distribución del vector
- Caracterizar la distribución del vector del HLB de los cítricos definiendo áreas priorizadas de monitoreo y control.

- Realizar un análisis de riesgo de dispersión del HLB de los cítricos a través del vector.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La Epidemiología Agrícola, es la ciencia que estudia los diversos factores que afectan el proceso y diseminación de las enfermedades en poblaciones de plantas cultivadas (Achicanoy, 2000), es por lo tanto, una disciplina de la ciencia que involucra fenómenos espaciales y sistémicos que vincula hospederos, agentes infecciosos, vectores, geografía, infraestructura, equipamientos y actividad humana.

En Colombia la entidad responsable de la vigilancia epidémica en la producción agropecuaria, es el Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, a través de programas, planes, proyectos y acciones estratégicas a especies priorizadas por su importancia económica y social. Dentro de estas se encuentran las especies cítricas entre las que se incluyen la naranja, tangelos, limas, pomelos y Mandarina.

El huanglongbing o HLB, también conocida como enverdecimiento o greening de los cítricos, es considerada 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). 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*, presente en el departamento del Tolima (ICA, 2012). Monzo *et al.* (2015) sugiere que la detección temprana del psílido permite el establecimiento de medidas de contingencia en regiones donde aún no está presente la enfermedad y que en áreas en donde se encuentra la enfermedad establecida el monitoreo del insecto es necesario para un manejo más eficiente basado en las fluctuaciones de la densidad de población.

La implementación de Sistemas de Información Geográfica en el proceso de vigilancia sanitaria del HLB de los cítricos, servirá de apoyo estratégico en la modelación de escenarios de riesgo en la dispersión de la enfermedad y toma de decisiones en el manejo del vector, indicando la distribución del psílido, áreas de influencia múltiple alrededor de objetos geográficos e identificación de zonas con mayor prevalencia, además de la ubicación discriminada de los sistemas de producción e identificación de áreas prioritarias de control, con la posibilidad de realizar consultas específicas a la base de datos con la generación de una salida gráfica cartográfica y del análisis multitemporal.

Al integrar las variables obtenidas en el proceso de vigilancia sanitaria del HLB de los cítricos y su vector *Diaphorina citri* (K) en un Sistema de Información Geográfica, será posible identificar la zona cítrica del departamento, conformar la distribución de corredores de movilidad de la bacteria causante del HLB, revisar

distribuciones constantes del vector en los años 2014, 2015 y 2016, identificar áreas priorizadas de monitoreo y control.

#### **4. MARCO TEORICO**

##### **4.1 EL HLB DE LOS CITRICOS Y SU VECTOR *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae).**

El Huanglongbing (HLB) es el nombre común reconocido y adoptado por la Organization of Citrus Virologists (Da Graca y Korsten, 2004) y la sociedad de fitopatología Americana (Timmer et al., 2000) (Tomado de USDA, 2006). 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 citrícola en la India, Asia Sudoriental, la Península Arábiga y África reduciendo el ciclo del cultivo entre 5 y 8 años (USDA, 2006). En el estado de la Florida la enfermedad fue reportada en el año 2005 reduciendo para el año 2011 la producción citrícola en un 23% (Hodges & Spreen, 2011).

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, México (2009), Honduras (2008), Belice (2009), Guatemala (2010), Nicaragua (2010) Costa Rica (2011) y Jamaica (2011) (ICA, 2012). Robles-González *et al.* (2013) reportan que el HLB fue introducido a

México en el año 2009 ocasionando impactos socio – económicos y productivos con pérdidas de 17,3% al 60%.

Los síntomas de la enfermedad varían con la variedad y la edad de la planta siendo afectados por la temperatura. Inicialmente los síntomas suelen aparecer en una sola rama del árbol en la que se observan brotes amarillos. Las hojas presentan manchas cloróticas o de un verde más claro, de bordes difusos y con asimetría respecto a la nervadura central de la hoja, lo que se conoce como un moteado asimétrico. Las flores son pequeñas y con frecuencia estériles, por lo que suelen caer. Los frutos de las ramas afectadas son pequeños, asimétricos y con inversión de color o manchas redondeadas de bordes difusos (IIFT, Cuba, 2010), por lo que carecen de valor comercial, pues es una fruta desprovista de características organolépticas atractivas para el consumidor.

La enfermedad se encuentra asociada a la 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 *Diaphorina citri* (ICA, 2012), el cual para el caso de Colombia se encontró reportado en el año 2010 para los departamentos de Antioquia, Córdoba, Cundinamarca, Caldas, Tolima, Risaralda, Quindío, Valle del Cauca, Norte de Santander, Casanare, Atlántico, Meta (ICA, 2010). Otra forma de transmisión del HLB es la vegetativa siendo particularmente importante a nivel de vivero (González-Gómez, R.; Oropeza- Salin, C.; Flores-Olivas, A.; Robles-García, P.;

Mora-Aguilera, G.; Flores-Sánchez, J.; Acevedo-Sánchez, G.; Domínguez-Monge, S. 2014).

## **4.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA**

### **4.2.1 definición.**

Los SIG se definen como el “conjunto de métodos, herramientas y actividades que actúan de manera coordinada para recolectar, almacenar, validar, actualizar, manipular, integrar, analizar y extraer y desplegar información, tanto grafica como descriptiva de los elementos considerados, con el fin de satisfacer múltiples propósitos” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, 1995). Oyala (2010) define los SIG como “una herramienta para trabajar con información georreferenciada”, que permite su lectura, edición, almacenamiento, gestión de datos espaciales y análisis de dichos datos [...] como elemento integrador que engloba a un conjunto de datos interrelacionados a partir del concepto de “sistema”.

Los SIG tienen como finalidad en un sentido amplio, combinar las bases de datos graficas 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)

#### **4.2.2 componentes de un SIG.**

Oyala (2010) propone el sistema SIG formado por una serie de subsistemas con funciones particulares, entre los que distingue tres fundamentales:

- Subsistema de datos: encargado de la entrada y salida de datos, así como su gestión dentro del SIG. Posibilita a los otros subsistemas para que tengan acceso a los datos y realizar sus funciones en base a estos.
- Subsistema de visualización y creación cartográfica: es el que crea salidas graficas a partir de los datos (Mapas, leyendas), facilitando la interacción con ellos.
- Subsistema de análisis: contiene métodos y procesos para el análisis de los datos geográficos.

Entre los componentes de un SIG se encuentran: el recurso humano, recurso técnico (software, Hardware) y organización (datos, procedimientos) (IGAC, 1995), lo que para Oyala (2010) son los datos, métodos y software, Hardware y personas.

#### **4.2.3 componentes de la información geográfica.**

La información geográfica está compuesta por un componente espacial y un componente temático. El componente espacial hace referencia a la posición dentro de un sistema de referencia establecido y el componente temático hace referencia al proceso o el fenómeno dado que sucede en un lugar determinado (Oyala, 2010).

El componente espacial se define por un valor numérico que expresa una posición concreta en referencia a un marco dado, el componente temático puede ser numérico (Nominal, Ordinal, Intervalos, Razones) o alfanumérico (Oyala, 2010).

#### **4.2.4. Capas o *layers*.**

Consiste en los distintos tipos de información que pueden combinarse a distintos niveles de tal forma que pese a coincidir sobre un mismo emplazamiento la información se encuentra recogida de forma independiente (Oyala, 2010).

El concepto de capa es de gran importancia, pues constituye el marco básico sobre el que se van a llevar a cabo las operaciones dentro del software, combinando elementos o representándolos de manera aislada, algo que no sería posible si los datos de los que se dispone no se pudieran separar como es el caso de la cartografía impresa.

#### **4.2.5 modelos para la información geográfica.**

“La realidad de los eventos geográficos deben recogerse en un formato que pueda ser entendido por el ordenador así susceptible de emplearse dentro de un SIG” (Oyala, 2010).

Debido a que en la realidad el detalle de los objetos geográficos es prácticamente infinito y a que su representación y almacenamiento de dicha realidad es infinita, el proceso de convertir la realidad en una capa que la contenga de la forma más precisa posible y pueda ser contenida en un SIG, implica la construcción de un modelo que represente la realidad y pueda servir para conocerla en profundidad a través de su análisis (Oyala, 2010).

Este proceso de modelamiento de la realidad hasta un conjunto de valores numéricos pasa por tres niveles: establecimiento de un modelo geográfico (modelo conceptual de la realidad geográfica y su comportamiento, establecimiento de un modelo de representación (forma de recoger el anterior modelo conceptual y sus características propias, reduciéndolo a una serie finita de elementos), y el establecimiento de un modelo de almacenamiento (esquema de como almacenar los distintos datos del modelo de representación) (Oyala, 2010).

#### **4.2.6 modelo cartográfico digital.**

Este modelo busca la construcción cartográfica con los símbolos apropiados de los elementos topográficos y temáticos, en acuerdo con la escala y la geometría (IGAC, 1995). Un modelo cartográfico puede ser almacenado en el computador mediante dos tipos de estructuras: Vector y Raster:

- **Estructura vector.** En este modelo se recoge la variabilidad y características del espacio geográfico, mediante entidades geométricas (punto, línea, polígono) para cada una de las cuales dichas características son constantes. Modeliza el espacio mediante una serie de primitivas geométricas que contienen los elementos más destacados de dicho espacio (Oyala, 2010). La estructura vectorial proporciona información de la forma, tamaño, localización y las relaciones espaciales de un objeto (IGAC, 1995).
- **Estructura raster.** Este modelo divide de forma sistemática la zona de estudio en unidades mínimas o celdas, para cada una de las cuales se recoge la información pertinente que le describe. La división del espacio en

unidades mínimas es llevada a cabo de forma sistemática de acuerdo con algún patrón, de tal modo que existe una relación implícita entre las celdas debido a que estas son contiguas entre sí, cubriendo todo el espacio y sin solaparse; por lo tanto la posición de una celda depende de las restante, formando de esta manera en conjunto toda la malla regular (Oyala, 2010).

Los elementos principales que se deben incluir en la definición de capa raster son: la localización geográfica exacta de alguna celda y la distancia entre celdas, y un conjunto de valores correspondientes a las celdas (Oyala, 2010).

Dicho de otro modo, la estructura raster se describe con una o varias celdas encadenadas que no se superponen ni tienen espacio vacío entre ellas, describiendo la geometría de un objeto por medio de celdas que tengan el mismo atributo (IGAC, 1995).

En esta estructura cada celda está definida por una fila, una columna y un valor que representa al atributo que se trata (IGAC, 1995).

#### **4.2.7 Análisis espacial.**

El proceso de análisis se refiere a la capacidad de producir nueva información como resultado de operaciones efectuadas en la Base de Datos gráfica y alfanumérica (IGAC, 1995). El análisis implica la importancia fundamental de la posición, la superficie, la distancia y la interacción de las entidades en el espacio (Oyala, 2010).

En el desarrollo de todo SIG existe la necesidad de contar con herramientas que permitan el análisis de la información almacenada, de manera que esa no sea solamente una serie de datos con carácter descriptivo sino que permita la formulación de respuestas concretas para los problemas planteados (IGAC, 1995).

Oyala (2010) agrupa en familias principales los procedimientos de análisis como elementos teóricos:

**Consulta espacial:** consulta directa de la información que contiene los datos espaciales, proporcionando información inmediata a partir de la simple observación de los datos. Esta consulta permite además hacer consultas sobre los valores o atributos no necesariamente relacionadas con el componente espacial.

**Análisis topológico:** las consultas hechas a las capas de datos espaciales pueden tener relación no solo con su posición sino con relación con otros elementos de la misma capa.

**Medición:** esta consulta permite cuantificar parámetros espaciales, tales como área, perímetro, longitud; a partir de la existencia de una referencia espacial para cada uno de los elementos con que trabajamos.

**Combinación:** permite la consulta por combinación de varias capas de información, integrando información en formas muy distintas y generando nuevas capas.

**Transformaciones:** consiste en una serie de procedimientos que modifican los datos de entrada de diversas formas, entre las que se encuentra la transformación geométrica al crear áreas de influencia a partir de elementos geográficos que reflejan la influencia de dicho elemento en base a parámetros definidos.

Entre los procesos de transformación geométrica puede ubicarse la interpolación, por medio de la cual es posible predecir valores a partir de datos conocidos en las vecindades, o los *buffer* o corredores, el cual representa un área de influencia con una distancia predeterminada alrededor de un punto, una línea o un polígono (IGAC, 1995).

Otras transformaciones son de tipo cartográfico, tales como la conversión entre sistemas de coordenadas; transformaciones relativas a los modelos de datos y las transformaciones basadas en los valores de las variables de estudio.

**Análisis de superficie:** este tipo de análisis permite el estudio de parámetros básicos como la pendiente o la orientación, hasta parámetros morfo métricos específicos.

**Estadística descriptiva:** permite calificar cuantitativamente los datos con los que se trabaja, incluye descriptores de centralidad y dispersión, de dependencia espacial o el estudio de patrones espaciales, entre otros.

**Inferencia:** Permite inferir comportamientos de las distintas variables a estudiar, por ejemplo la forma en que estas evolucionan en el tiempo.

**Modelización:** se trata de la creación de modelos espaciales en el marco de un SIG.

Se refiere a la utilización de funciones de análisis de un SIG bajo una secuencia lógica de tal manera que se puedan resolver problemas espaciales complejos. Pueden ser modelos de simulación (muestran un escenario), modelos de predicción (relacionan variables dependientes e independientes) y modelos de decisión (permiten plantear alternativas óptimas que conduzcan hacia la óptima solución de un problema) (IGAC, 1995).

#### **4.2.7. Consultas dentro de un SIG.**

Oyala (2010) define la consulta como una llamada al sistema gestor de la información, el cual devuelve como respuesta una serie de elementos tomados de la información contenida en la base de datos. El resultado de una consulta en un SIG es lo que se conoce como selección, es decir qua a partir de todos los

registros de la tabla de datos la respuesta a la consulta está dada por aquellos datos que cumplen el criterio indicado para que posteriormente puedan utilizarse estos como base de otro análisis o simplemente para su visualización. La consulta puede hacerse sobre la componente temática de los datos, sobre la espacial o sobre ambas.

### **4.3 MAPAS EPIDEMIOLOGICOS**

La epidemiología viene desarrollando modelos matemáticos de epidemias potenciales de algunas enfermedades comunes e importantes con el fin de mejorar la capacidad de prever y comprender el desarrollo de una epidemia (Achicanoy, 2000). Los modelos son herramientas, mapas o métodos de trabajo usados para representar lo que sucede en una población bajo ciertas circunstancias y con la característica de la jerarquización de las variables y de los factores. Entre los modelos epidemiológicos Achicanoy (2000) distingue los modelos cuantitativos, descriptivos, predictivos y conceptuales.

López-Arroyo, J. I.; González-Gómez, R.; Gutiérrez-Espinosa, A.; Loeza-Kuk, E.; Domínguez-Monge, S.; Mora-Aguilera, G.; Flores-Sánchez, J.; Acevedo-Sánchez, G.; Robles-García, P.; (2014), establecen que el manejo del HLB con base epidemiológica debe considerar la variación de intensidad epidémica basada en la susceptibilidad de las especies cítricas prevalentes, compactación cítrica y

carga de inóculo en la región, la cual tiene implicación en la velocidad y distancia de dispersión de la epidemia, determinando umbrales de acción a través de la erradicación y control del vector. Bové (2012) señala la importancia de localizar áreas compactas de manejo regional de por lo menos 500 (Ha), en donde se realice el control del vector como una estrategia con enfoque regional aplicada principalmente a pequeños productores. En el departamento del Tolima la estrategia debe tener en cuenta que la citricultura está conformada por diferentes tipos de sistemas de producción caracterizados por su área y la forma en que se organizan social y económicamente, y que se encuentran localizados espacialmente: a) sistemas de producción tipo empresarial, b) modelo de empresa familiar, c) modelo de explotación familiar de subsistencia y d) modelo de explotación familiar moderna (Araque & Corrales, 2015).

López *et al.*(2014) proponen para el establecimiento de unidades regionales denominadas Áreas Regionales de Control (ARCO), un modelo epidemiológico como criterio de establecimiento basado en el concepto asimétrico de gradientes de dispersión, definido mediante la ecuación:

$$\text{Área} = ((3.15 * (\text{tasadisp} * \text{Factpond})^2 * t) + 100)$$

Dónde:

Área = Tamaño del área de riesgo a definir por región. La unidad básica es el municipio

Citrícola y el área total es la entidad federativa.

3.15=Valor constante para cálculo de área.

tasadisp= Distancia de dispersión del HLB por mes a partir de un foco inicial en una región de reciente ingreso con dispersión activa.

Factpond= Producto de las variables de ponderación seleccionadas (Superficie citrícola, Índice de Susceptibilidad y Carga de Inóculo).

t= Tiempo para determinar el tamaño de un área de riesgo.

López *et al.*(2014) proponen la implementación de áreas regionales de control del psilido, sobre todo con la presencia del HLB de los cítricos, dado que estas permiten retrasar la epidemia, reducir la infección de manera efectiva al disminuir la población de psilidos, reduciendo la incidencia de la enfermedad hasta en un 90% y la tasa de progreso del HLB hasta en un 75%, permite además el uso de un programa menos intensivo de control local del vector y reduce los costos de manejo del HLB pues las aplicaciones son menos intensivas y más eficientes (Bassanezi, 2010). Estas áreas de control regional deben conformarse con base a los criterios biológicos y epidemiológicos, tales como: a) abundancia de hospedantes, b) susceptibilidad de los hospedantes, c) cantidad y distancia entre focos, d) carga de inóculo, y e) dirección del viento dominante (López *et al.* ,2014).

Flores, Mora, Loeza, Domínguez, Acevedo, Rivas, Ruíz, López, Hernández, Novelo, Sánchez,& Sánchez (2011), indican, que este tipo de enfermedades en las que el agente causal es transmitido por un vector es común encontrar tasas

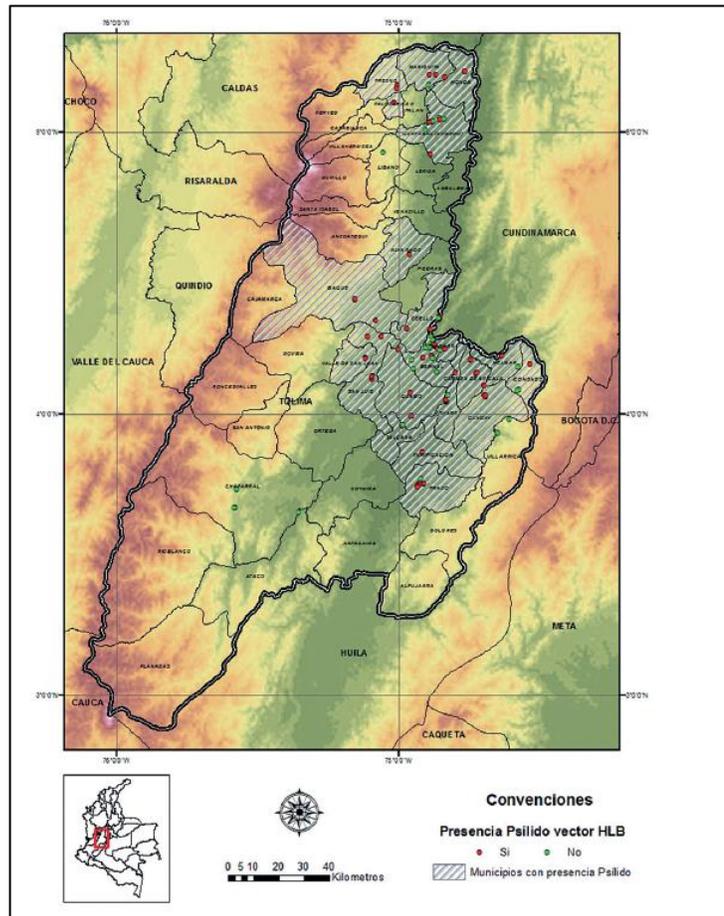
de dispersión elevadas, las cuales espacialmente tienen un confinamiento inicial definido unidireccionalmente y conforme avanzan en el tiempo, pierden este arreglo adquiriendo una distribución multidireccional; sin embargo es determinante el factor del inóculo inicial ya que puede determinar la magnitud de la dispersión puesto que un inóculo con un elevado número de árboles enfermos induce mayor dispersión de la enfermedad que un foco de menor intensidad.

#### **4.4 ANTECEDENTES**

Durante el año 2012 se llevó a cabo el primer rastreo en Colombia del psílido vector *Diaphorina citri* y se visitaron 74 municipios localizados en 15 diferentes departamentos, entre los que se reportó presencia del vector en Antioquia, Caldas, Casanare, Cauca, Cundinamarca, Córdoba, Huila, Meta, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima y Valle (ICA, 2012). El vector del HLB tiene aparentemente una capacidad agroclimática amplia y comportamientos migratorios a medianas y grandes distancias, lo que explica su distribución regional (López-Arroyo & Cortez, 2013) y a nivel continental (Salcedo *et al.*, 2010, tomado de Gonzales *et. al.* 2014).

King (2012), reportó la presencia de *Diaphorina citri* en 20 municipios del departamento del Tolima, registrando al psílido entre los 256 y 1458 m.s.n.m., sobre las especies: lima Tahití, *Citrus latifolia* Tanaka; la mandarina arrayana y

oneco, *Citrus reticulata* Blanco; la naranja valencia, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck; el limón volcameriano, *Citrus volkameriana* Ten. & Pasq.; el mirto, *Murraya paniculata* (L.) Jack y el limón swinglea, *Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr (Mapa No. 2). Peñaranda *et al.* (2015), reportan presencia del vector en un rango altitudinal desde el nivel del mar hasta los 1710 m.s.n.m. registrados en el departamento de Cundinamarca; y mayor presencia del vector hacia altitudes menores a los 500 m.s.n.m., indicando altas poblaciones encontradas hacia las zonas cálidas del país.



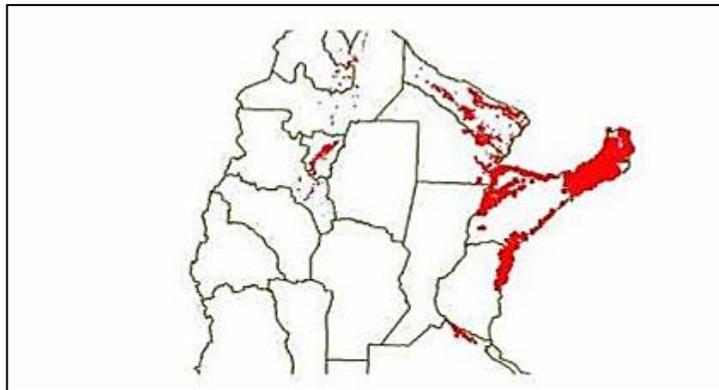
Mapa No. 2. Distribución geográfica del psílido asiático de los cítricos en el departamento del Tolima.  
(Fuente: King, 2012)

El HLB de los cítricos aún no ha sido detectado en el departamento del Tolima, sin embargo el ICA ha declarado emergencia fitosanitaria en el territorio nacional por la presencia de adultos de *Dlaphorina citri* infectados con la bacteria causante de la enfermedad del HLB (Resolución 2390, 2015) y mediante la Resolución 4713 del 2016 se ha declarado en cuarentena fitosanitaria al departamento de la Guajira por la presencia de la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* en tejido vegetal, en los municipios de Distracción y Fonseca.

Se encontró que Montoya, Toledo & Hernández (2010) implementaron un modelo espacial a partir del método de interpolación ponderación inversa a la distancia (IDW) para los datos de muestreo obtenidos a través de un sistema de trampeo con el propósito de obtener una estimación de la presencia de la mosca del Mediterraneo a nivel de zonas, los lugares alrededor de las trampas y no en lugares puntuales como las trampas. Este estudio sirve de referencia en la selección del método de interpolación que describe la distribución de *Diaphorina citri* en el departamento del Tolima.

En Argentina las áreas geográficas de monitoreo de *Diaphorina citri* se determinaron a partir de la ubicación georreferenciada de las unidades de producción inscritos en los protocolos especiales de exportación de cítricos, las bases de datos geográficos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y gobiernos provinciales, Interpretación de imágenes satelitales por parte

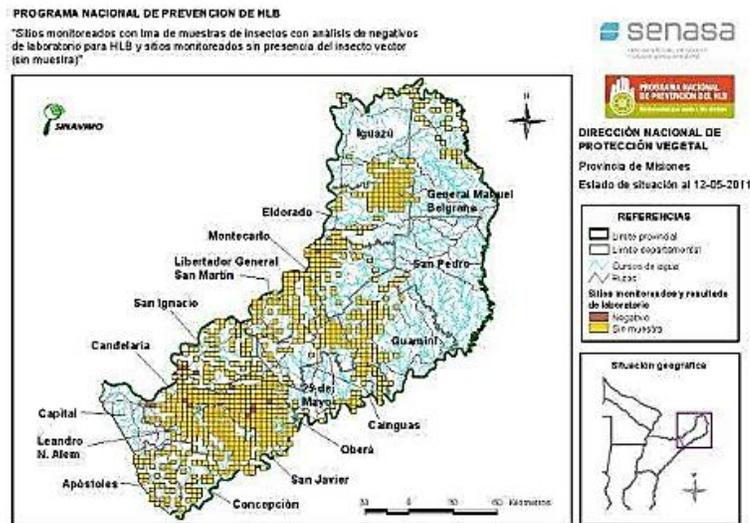
de personal especializado del área de Sistemas de Información Geográfica de la Dirección de Vigilancia y Monitoreo del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y Reuniones con los referentes de la actividad citrícola de las diferentes regiones para determinar sobre mapas las aéreas productoras y centros urbanos que representan riesgo (COSAVE, 2012). A partir de esta información se generaron grillas sobre el plano con el fin de determinar la superficie a monitorear (Mapa No. 3).



Mapa 3. Plan Nacional de prevención del HLB, Resolución SAGPYA.

Fuente: COSAVE, 2012

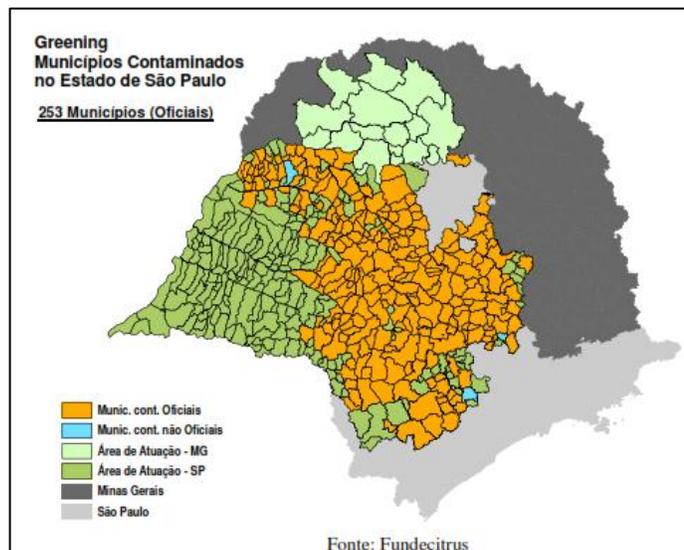
Con base a este tipo de información, en Argentina se ha desarrollado una cartografía base de presencia y ausencia del vector (Mapa No. 4).



Mapa No. 4. Sitios monitoreados con muestra y sin muestra del psílido vector.

Fuente: COSAVE, 2012

En Brasil se implementó una legislación que establece acciones contra el HLB de los cítricos: (IN) nº 53/2008, la cual se basa en dos medidas fitosanitarias recomendadas Internacionalmente: la eliminación de plantas infectadas y el control de la producción y tránsito del material de propagación de cítricos. En Brasil se encuentra presente el HLB, por lo que el desarrollo de la cartografía con propósitos epidémicos se ha basado en la localización de áreas con presencia de la enfermedad (Mapa No. 5) y el análisis de dispersión de la enfermedad a partir de dos procesos espaciales simultáneos: una diseminación primaria resultante de psílicos infectivos que emigran de fuentes de inóculo de HLB fuera de la parcela, y una diseminación secundaria, a cortas distancias (COSAVE, 2012).



Mapa No. 5. Distribución del HLB en el estado de Sao Pablo.

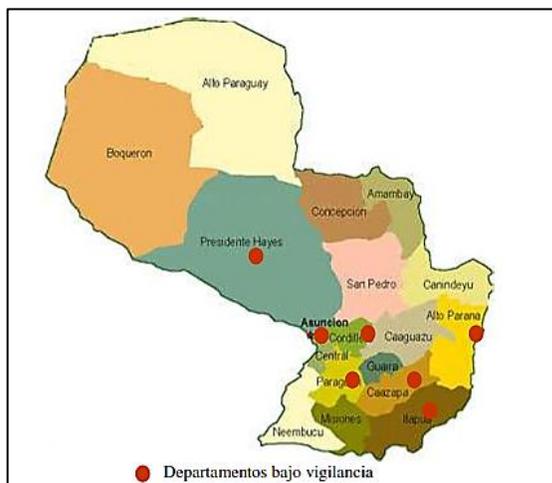
Fuente: COSAVE, 2012

En Chile el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), que tiene por objeto determinar en forma oportuna la presencia de plagas cuarentenarias o exóticas y conocer la distribución e incidencia de plagas presentes relevantes; ha implementado en los últimos años la realización de prospecciones específicas entre las que se encuentra la realizada para los vectores de la plaga *Diaphorina citri*, mediante un trampeo agrícola específico (Mapa No. 6).



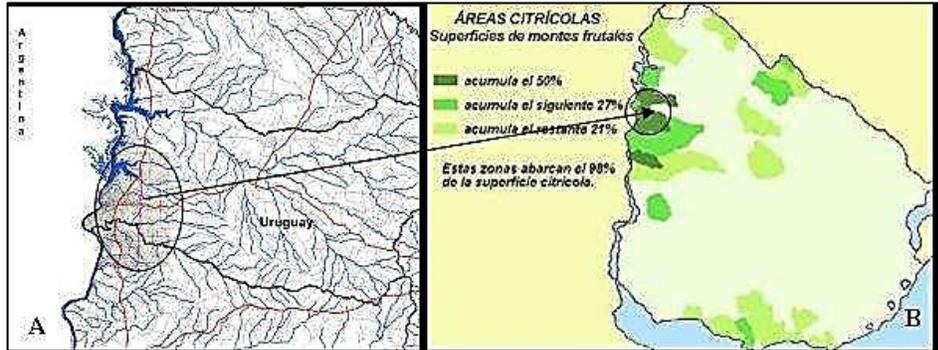
Mapa No. 6. Área de Chile donde se ha realizado actividades de prospección y trapeo agrícola. Fuente: COSAVE, 2012

En Paraguay se viene desarrollando por parte de Las acciones que desarrolla el Servicio Nacional de Calidad, Sanidad Vegetal y de Semillas (SENAVE), un programa de Prospección y monitoreo de la enfermedad y del vector en las zonas cítricas (Mapa No. 7).



Mapa No. 7. Departamentos bajo vigilancia del HLB de los cítricos y el psílido vector en Paraguay, SENAVE. Fuente: COSAVE, 2012

En Uruguay en el año 2010, se iniciaron las actividades de prospección de detección a nivel de plantaciones comerciales en la principal zona citrícola del norte de Uruguay (Departamentos de Salto y Paysandú) (Mapa No. 8).



Mapa No. 8. Área donde se realizaron las primeras prospecciones de detección de HLB en Uruguay. Figura B. Ubicación de la citricultura en Uruguay.  
Fuente: COSAVE, 2012

Para las distintas actividades de Vigilancia y Control, en Uruguay se ha tomado como criterio las Cartas Catastrales georeferenciadas, elaboradas en base a fotografías aéreas conformando una cuadrícula que abarca a todo el territorio nacional (Imagen No. 1), para la prospección de áreas.

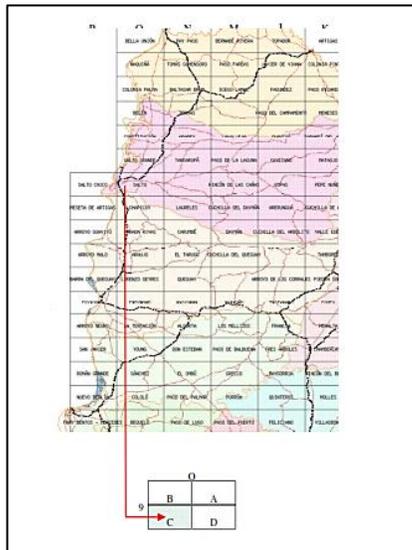


Imagen No. 1 Cartas catastrales georeferenciadas para la prospección y vigilancia del HLB en Uruguay. Tomado de COSAVE.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 TIPO DE TRABAJO**

Este trabajo propone la implementación tecnológica de un Sistema de Información Geográfica al proceso de vigilancia sanitaria del HLB de los cítricos y su vector *Diaphorina citri* adelantado por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA en el departamento del Tolima.

Involucra los Sistemas de Información Geográfica, la epidemiología agrícola, la entomología y la vigilancia fitosanitaria.

### **5.2. PROCEDIMIENTO**

#### **5.2.1 obtención de la información.**

Se obtuvo información del muestreo realizado por el ICA en los años 2014, 2015 y 2016 en el departamento del Tolima y consolidado en hoja electrónica de Excel.

El proceso de muestreo consistió en la captura de adultos del género *Diaphorina citri* rodeando los árboles con ayuda de una jama entomológica, haciendo movimientos de arriba hacia abajo rozando las hojas de las plantas de cítricos para capturar los insectos en estado adulto, vaciando el contenido completamente en un tubo eppendorf con alcohol al 70% para envío de muestra al laboratorio de diagnóstico sanitario del ICA. Este proceso se realizó para 20 árboles por punto de muestreo.

La información obtenida fue consignada en formatos de campo diseñados bajo los lineamientos de la Dirección Técnica de Epidemiología Agrícola y Vigilancia Fitosanitaria del ICA, en los que se registró fecha, departamento, municipio, nombre de predio, latitud, longitud, altitud, área en cítricos, nombre sitio, propietario, especie, edad, síntomas observados, estado fenológico, presencia de *Diaphorina citri*, muestra para diagnóstico y observaciones.

### **5.2.2 procesamiento de la información.**

- **Distribución de los sistemas de producción.**

A partir de la información de vigilancia se caracterizó la producción de cítricos en el departamento del Tolima utilizando el software ArcGis 10.2.2 (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 *shape*. Se implementó un *join* de la tabla de atributos del formato *shape* municipios del Tolima con el registro en formato CSV (delimitado por comas) del número de predios registrados por municipio y 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 reportados.

- **Definición del método de interpolación para la distribución del vector**

A partir de la información de los consolidados de vigilancia en los años 2014, 2015 y 2016 se realizó interpolaciones por los métodos de Kriging simple e inverso a la distancia ponderada (IDW), con el propósito de identificar cual método es el apropiado para el análisis de distribución de la población de *Diaphorina citri*. Para la determinación del método de interpolación se evaluaron las metodologías entendiendo por Kriging, el conjunto de métodos que generan superficies que incorporan las propiedades estadísticas de los datos muestrales proporcionando una medida de error en las mismas; y por IDW la predicción implícita que se genera por la continuidad de una variable a partir del principio “valores obtenidos en muestras cercanas tienen mayor probabilidad de parecerse que aquellos valores obtenidos de muestras lejanas”.

El criterio de análisis del error de los dos métodos de interpolación se basó en la comparación de metodologías evaluando el RMS o error del cuadrado medio, el cual es un parámetro que se utiliza como indicador de la precisión del análisis espacial en el que se concluye que el óptimo es el de menor valor.

- **Análisis de riesgo de dispersión del HLB de los cítricos**

Sobre la base cartográfica obtenida en la interpolación por el método de IDW para el año 2016, se implementó la herramienta *buffer* al *shape* de principales vías de comunicación terrestre del departamento, generando un área 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 el *shape* 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), relacionados 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 *buffer* de 4 Km con el fin de identificar los predios cercanos, ubicados en esta área de influencia del vector por medio de la herramienta *intersect*, según el aporte de Hall (2008), quien determinó que *Diaphorina citri* puede ser arrastrada por corrientes de aire y trasladado a distancias de 0,5 a 4 Km.

Se elaboró un mapa de análisis de riesgo y toma de decisiones en la vigilancia del HLB de los cítricos y su vector *Diaphorina citri* en el departamento del Tolima, en el que se registraron sobre la base de la interpolación por IDW realizada para el año 2016, las capas de predios productores de cítricos, viveros productores de material de propagación de cítricos, *buffer* de viveros a 4 Km, predios en área de

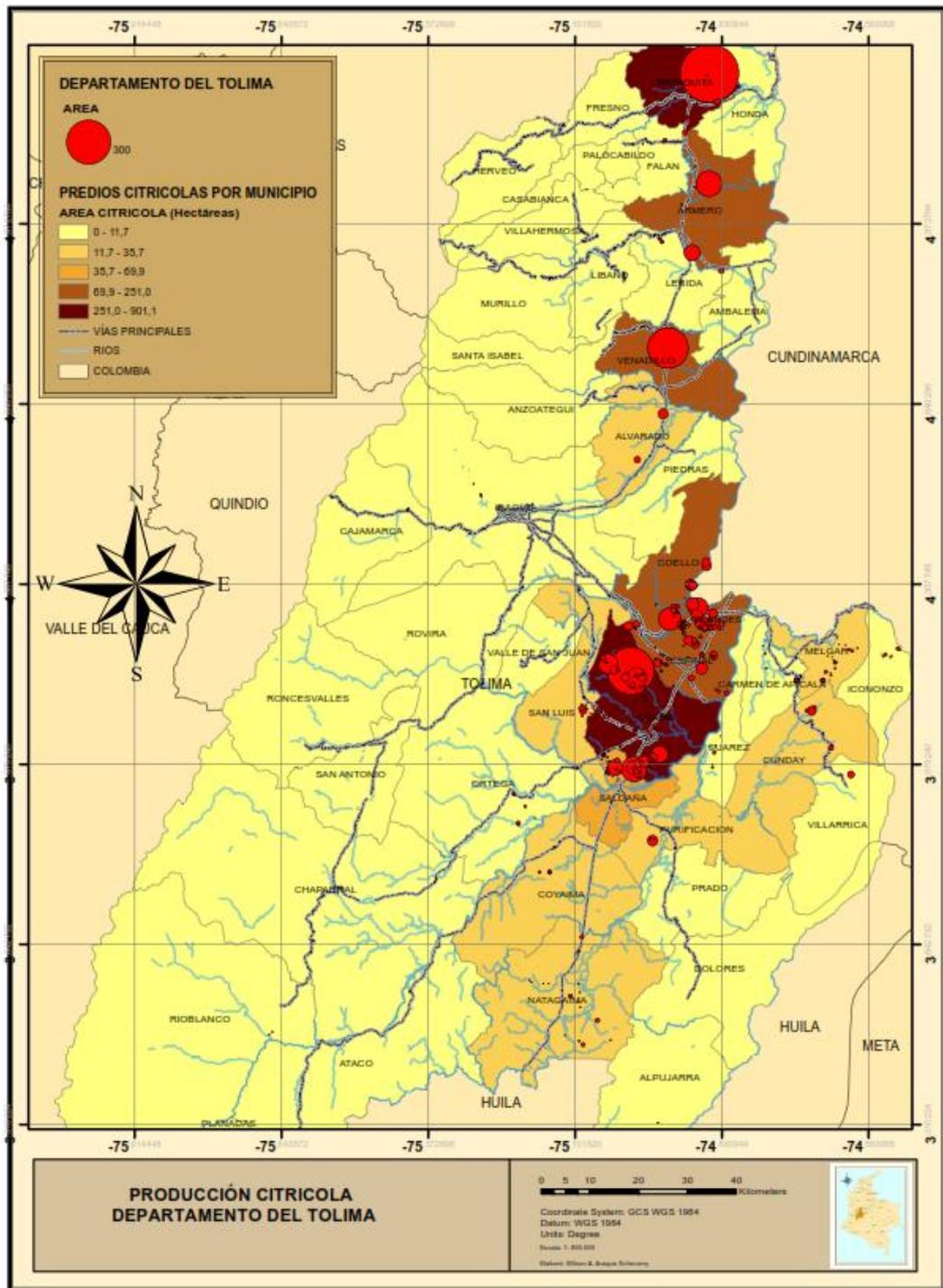
influencia de viveros, predios ubicados dentro del área *buffer* a 1 Km de vías principales y otros hospederos entre los que se encuentra el mirto, *Murraya paniculata* (L.) Jack y el limón swinglea, *Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CITRICOS EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA**

Mediante material cartográfico se caracterizó la producción citrícola del departamento del Tolima identificando gráficamente los municipios con mayor área citrícola y la ubicación geográfica de los predios, distinguiendo proporcionalmente el área entre estos (Mapa No.9)

Según esta información cartográfica se observa que los municipios con mayor área citrícola son los municipios de Mariquita y Guamo, seguidos de los municipios de Espinal, Coello, Flandes, Venadillo y Armero. Sin embargo se observa también que existe un gran número de predios en el municipio de Guamo que adicionan al atributo de área citrícola 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 citrícola.



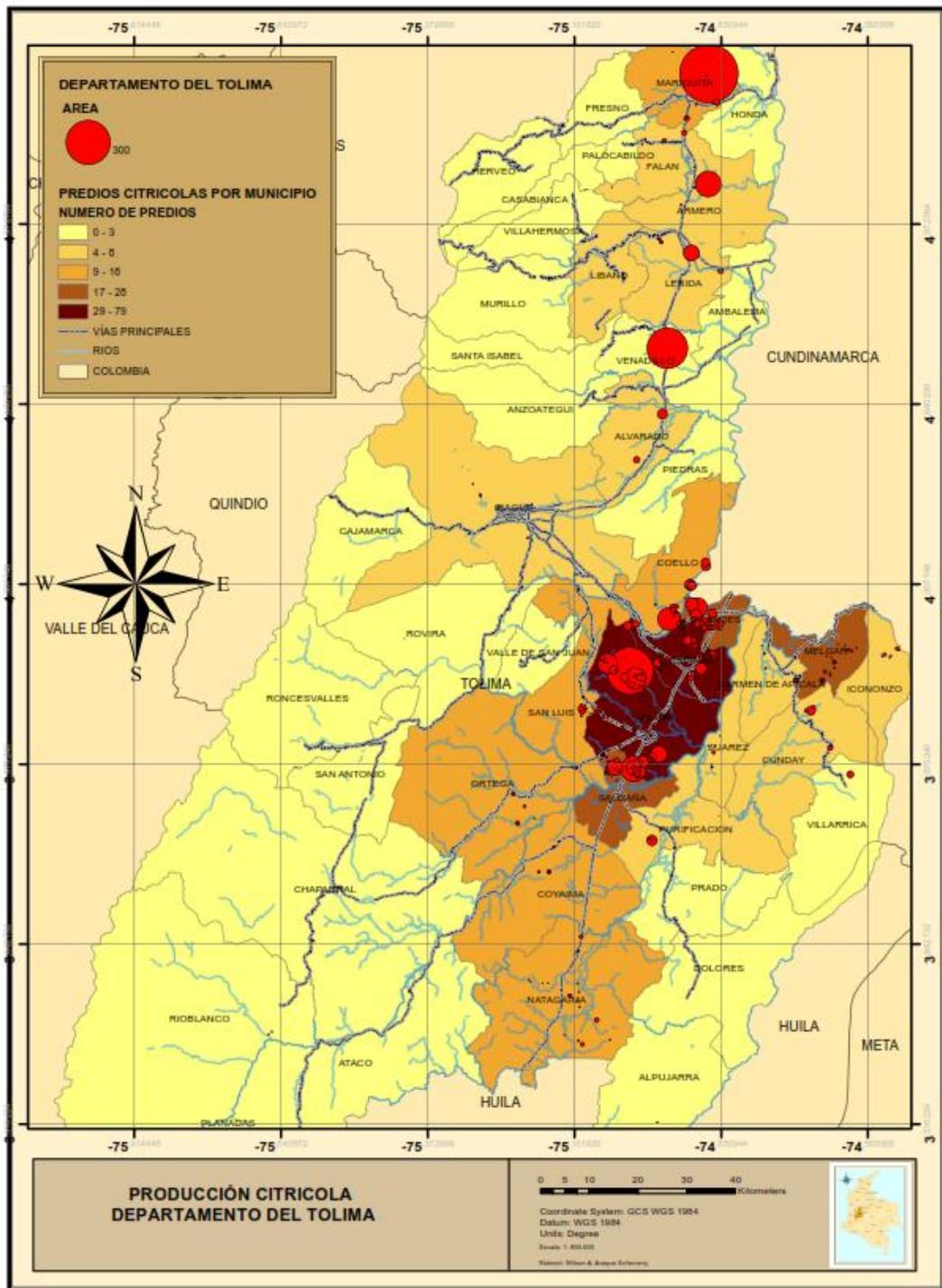
Mapa No. 9. Área de Producción cítrica, Departamento del Tolima.

Elaboración propia

En el mapa No. 10 se observa que son los municipios de Guamo y Espinal los que tienen un mayor número de predios citrícolas y que se trata de predios de diferente extensión, con presencia de cultivos de mayor área en el municipio de Guamo que en el de Espinal, destacándose además los municipios de Saldaña y Melgar, los cuales presentaron un nivel bajo de área citrícola según se observa en el mapa No. 9.

Esta es una información de base que sirve para la identificación, caracterización y priorización de municipios que deben atender problemas sanitarios como el HLB de los cítricos, a partir de iniciativas locales tanto de los productores citrícolas como de los entes territoriales y otros actores de la cadena citrícola.

En este caso se observa que el municipio de Guamo presenta la mayor área citrícola del departamento del Tolima, así como el mayor número de productores citrícolas, seguido del municipio del Espinal, en donde hay 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.



Mapa No. 10. Número de productores de cítricos por municipio, Departamento del Tolima.

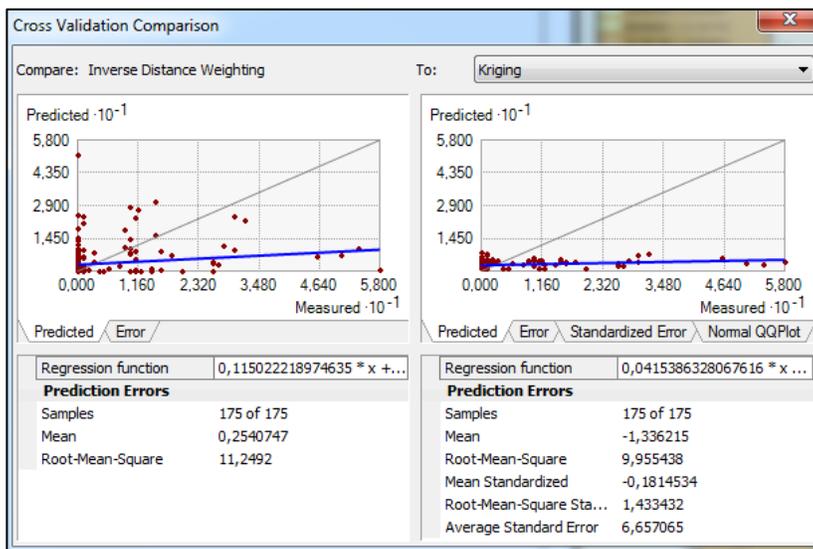
Elaboración propia

## **6.2 DISTRIBUCIÓN DE D. CITRI EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA MEDIANTE LA INTERPOLACIÓN DE DATOS DE MUESTREO**

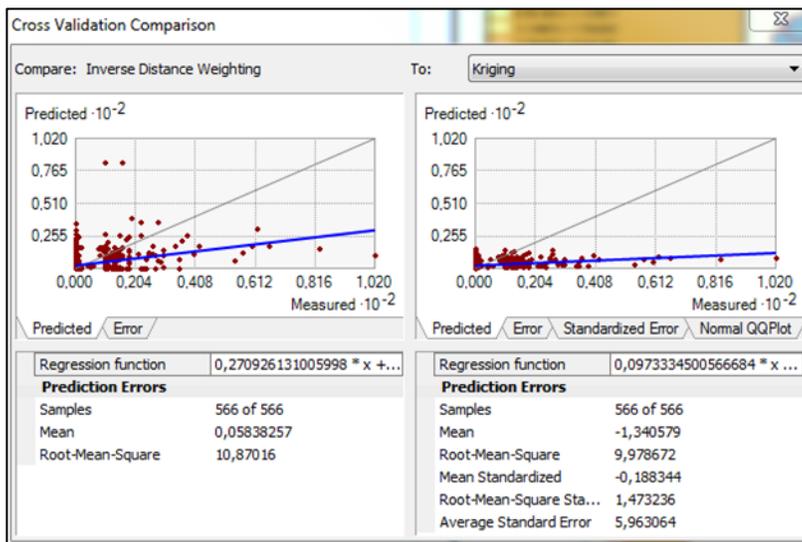
Teniendo en cuenta que el HLB de los cítricos puede transmitirse a través de material de propagación y por el vector *Diaphorina citri* (Tsai & Liu; 2000), el cual es el principal mecanismo de dispersión de la bacteria en un área geográfica (Garnier et al., 2000; Meyer et al., 2007; Hall, 2008), en este estudio se pretende predecir la ruta biológica de la bacteria a través del vector a partir de la distribución de la población, teniendo en cuenta que la distribución espacial del vector y la densidad de población del mismo, serán determinantes en la forma y velocidad en que se distribuya la enfermedad del HLB una vez ingrese al departamento del Tolima. Para este fin se llevó a cabo la interpolación de la variable densidad de población del individuo vector por unidad de muestreo, entendiendo por interpolación el procedimiento que permite calcular una variable en una posición del espacio a partir del valor obtenido de esta variable en otras posiciones del espacio mediante un valor real de la muestra.

El criterio de análisis del error de los dos métodos de interpolación se basó en la comparación de metodologías evaluando el RMS o error del cuadrado medio. Al realizar las comparaciones se observó que el error de cuadrado medio (RMS) para el método de IDW en los años 2014, 2015 y 2016 es mayor que para el método de

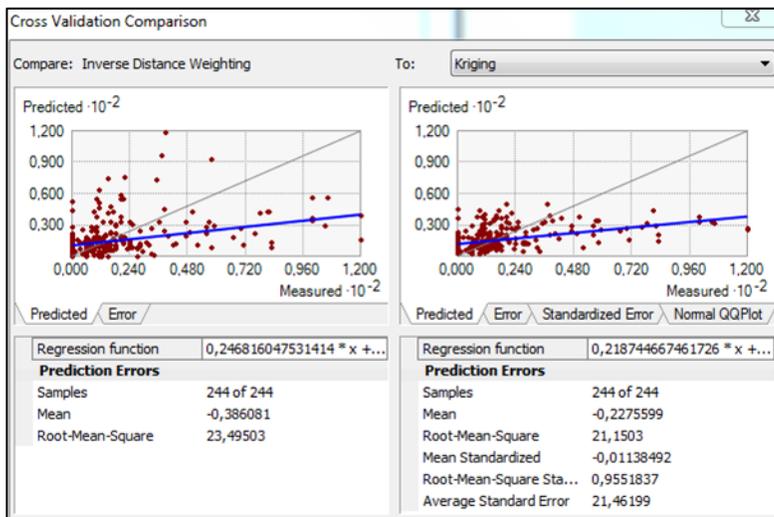
Kriging. (Imagen No. 2), lo cual sugiere que el método de interpolación para este caso debería corresponder a Kriging, sin embargo al observar las salidas gráficas y compararlas (Mapa No. 11, 12 y 13) observamos que los datos extremos no son observables para Kriging.



Comparación de los métodos de Interpolación IDW y Kriging, año 2014



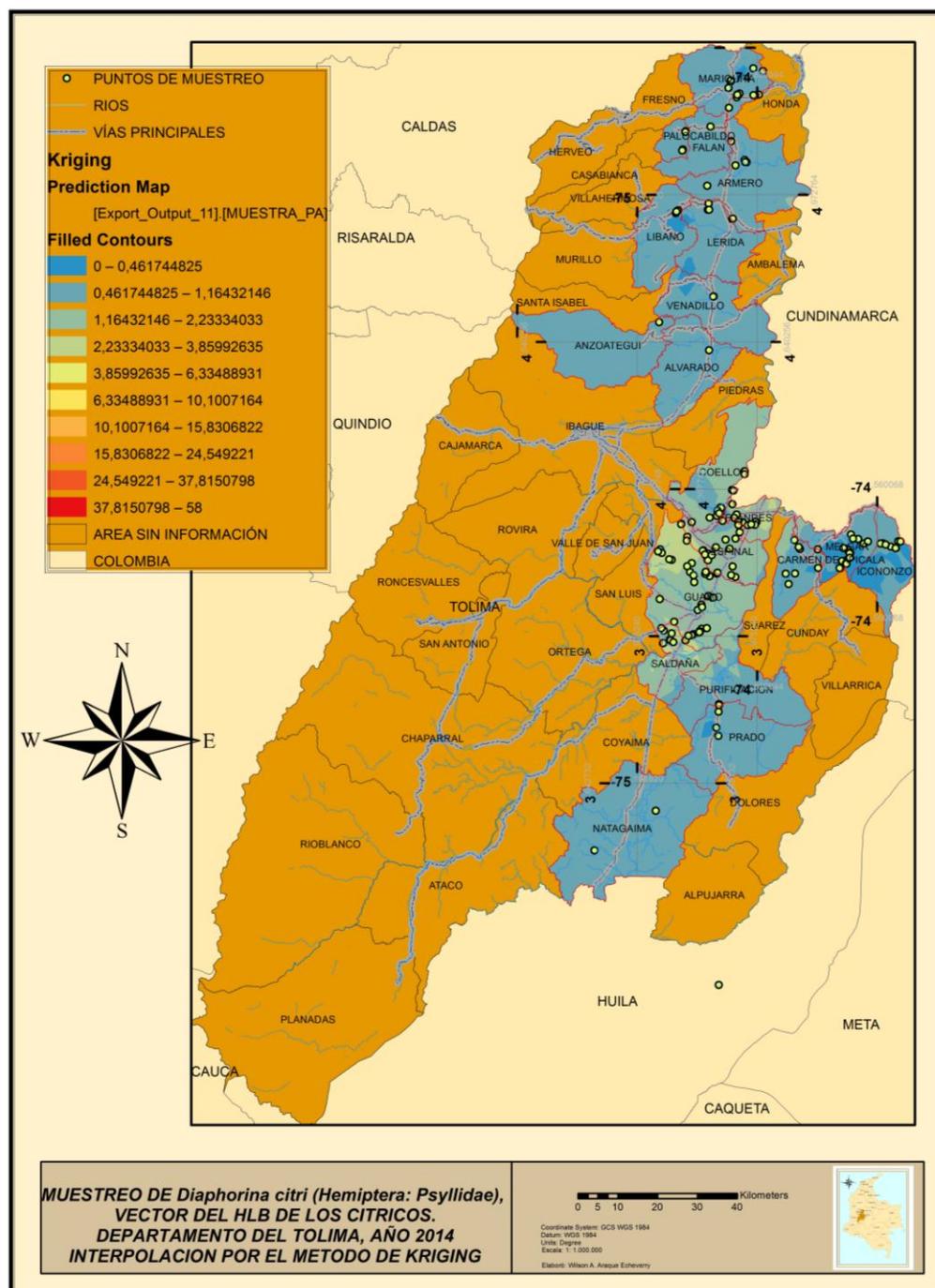
Comparación de los métodos de Interpolación IDW y Kriging, año 2015



Comparación de los métodos de Interpolación IDW y Kriging, año 2016.

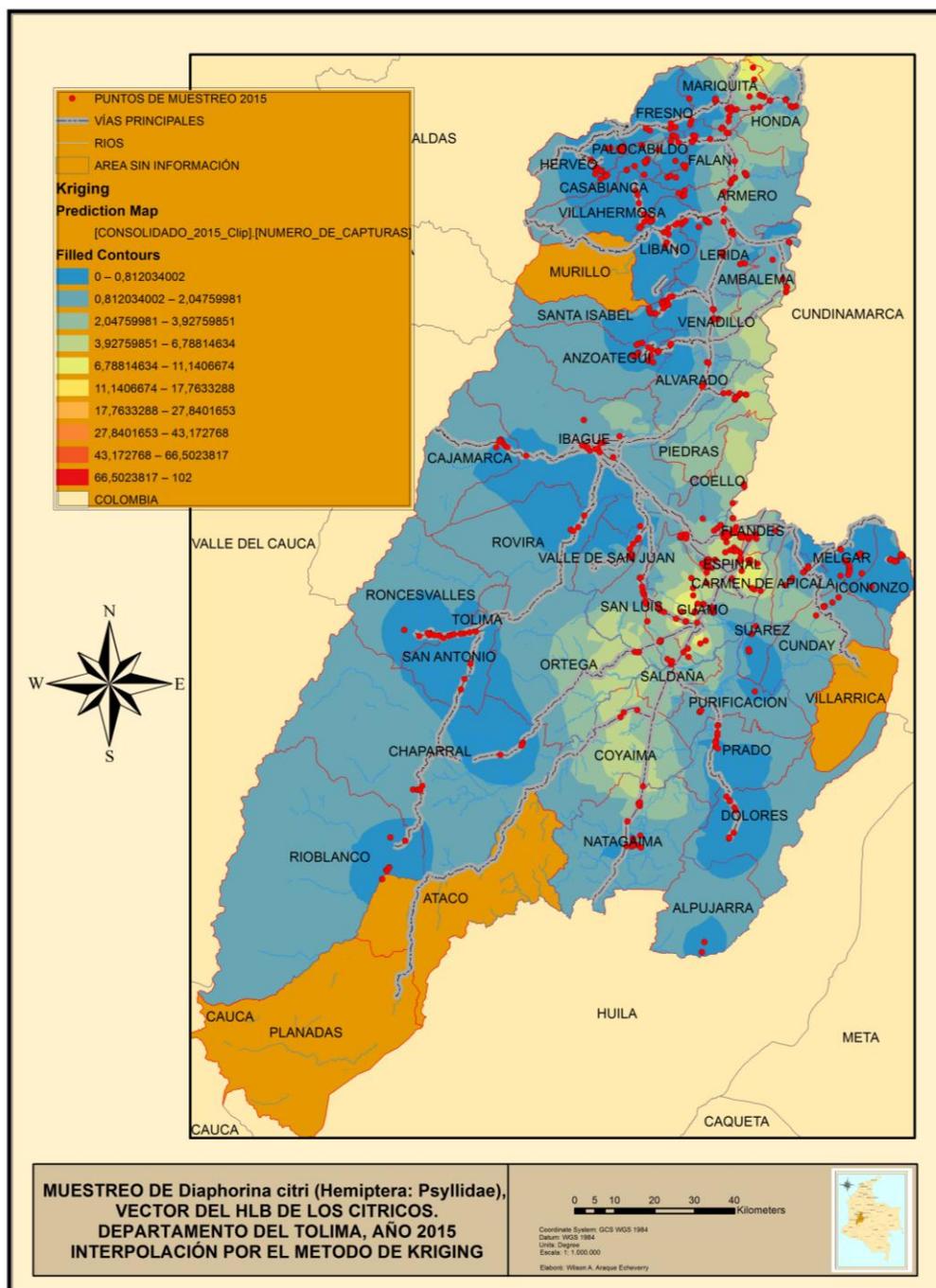
Imagen No. 2 Comparación del error cuadrado medio (RMS) entre los métodos de interpolación IDW y Kriging Para obtener la distribución de *D. citri* en el departamento del Tolima, años 2014, 2015 y 2016. Fuente: Elaboración propia

Esta diferencia en los mapas de interpolación, sugiere que el método de Kriging asume estrictamente a la variable como regionalizada continua y recalcula datos atípicos con el fin de conformar una base estadística confiable, sin embargo para este caso es posible encontrar puntos cercanos con valores extremos de población del individuo, incluso puntos cercanos con un valor máximo junto a un punto con valor de cero, debido a que existe por parte de los agricultores la posibilidad de controlar las poblaciones del vector mediante aplicación de plaguicidas, lo que no genera según criterio agronómico gran diferencia a nivel del área de influencia del vector en una escala regional; por lo que el análisis de la información se realizó con base al proceso de interpolación por el método de IDW, el cual arroja gráficamente dichos valores extremos y además hace cálculos entre puntos y no con base a medias estadísticas.



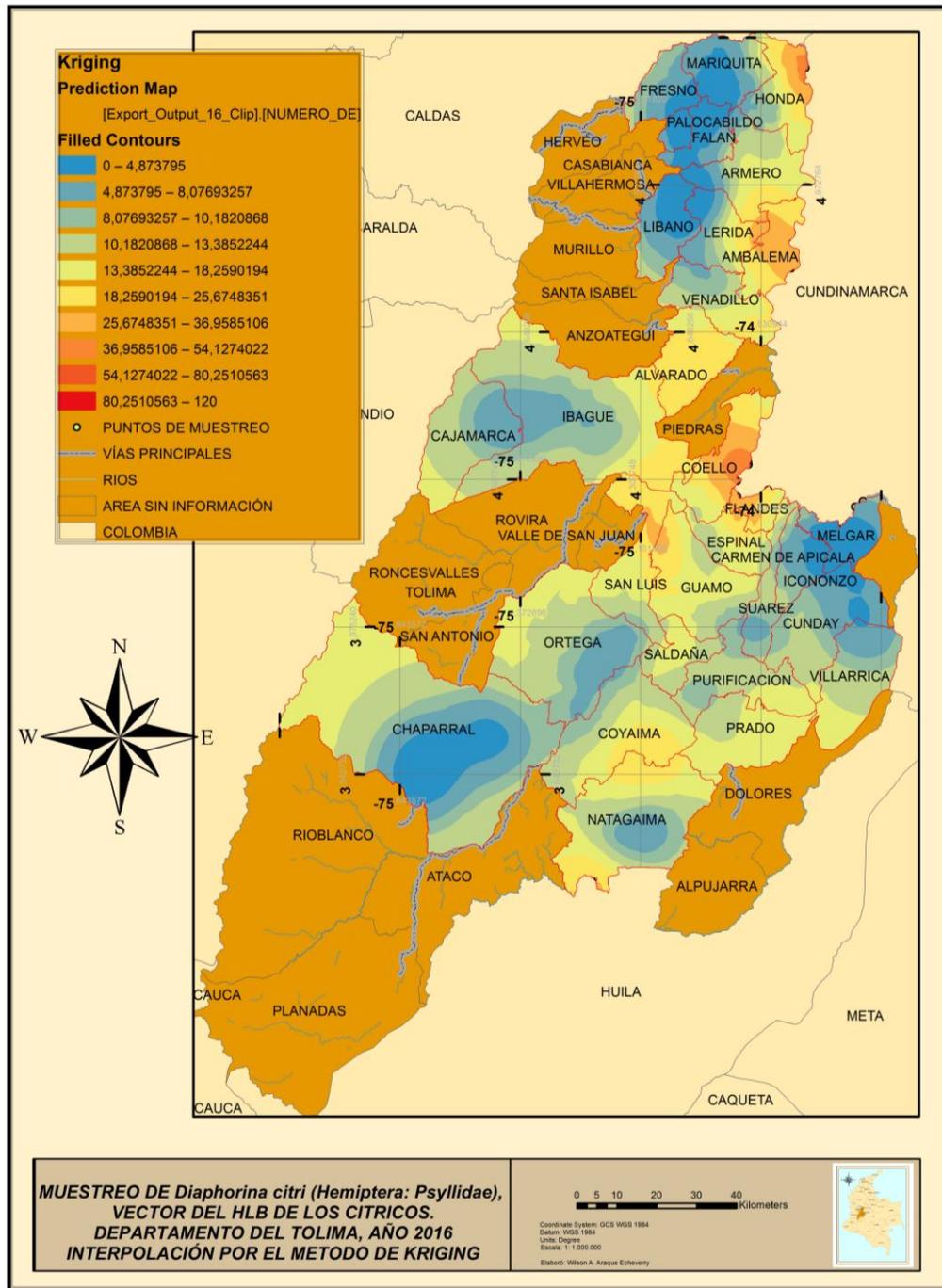
Mapa No. 11. Interpolación por el método de Kriging, Departamento del Tolima. Año 2014

Elaboración propia



Mapa No. 12. Interpolación por el método de Kriging, Departamento del Tolima. Año 2015

Elaboración propia



Mapa No. 13. Interpolación por el método de Kriging, Departamento del Tolima. Año 2016

Elaboración propia

### 6.2.1 interpolación por el método de kriging.

Se observa para la interpolación de los años 2014, 2015 y 2016 (Mapas No. 11, 12 y 13) que no hay representación gráfica de las poblaciones altas de *Diaphorina citri* (área en color rojo), y que hay una proyección de áreas con niveles bajos de la población (color azul) extendida, es decir que este método asume los valores bajos y los proyecta sin tener en cuenta muestreos con numero alto de captura.

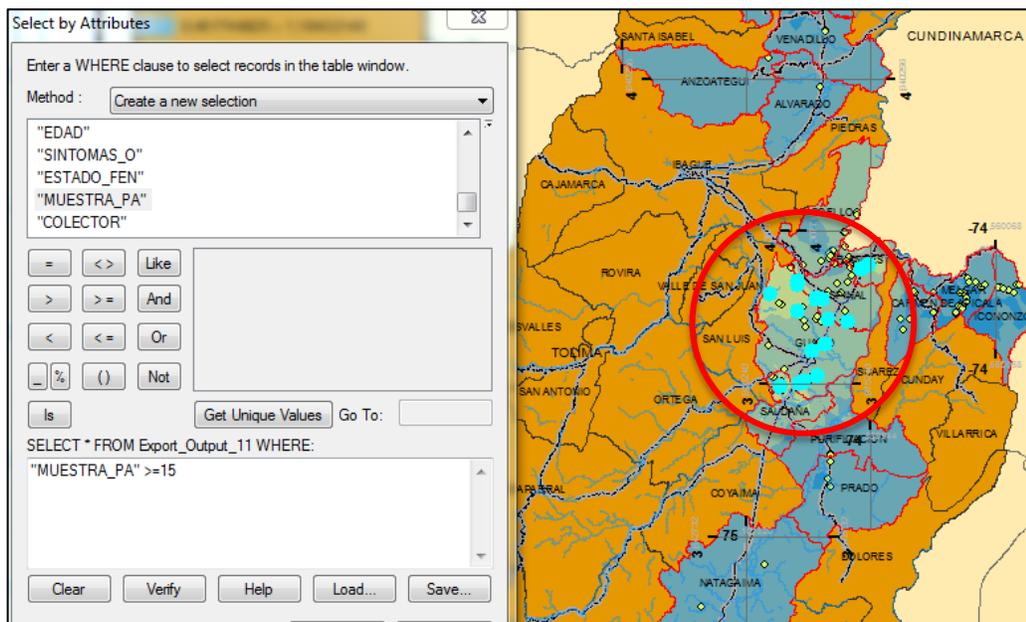


Imagen No.3. Consulta por atributo número de la población muestreada, en ArcGis 10.2.2. Año 2014  
Fuente: Elaboración propia

Al utilizar la herramienta de selección por atributos se observa que en el año 2014 (Imagen No. 3) la consulta por atributo número de población muestreada, definida por la convención de color naranja a rojo está representada en un área de color

azul, el cual correspondería a la convención entre 0 y 6,3 individuos (Ver Mapa No. 11), lo que significa que no hay una salida grafica para los valores altos del atributo.

De igual manera, al hacer la consulta por atributo número de población muestreada en el año 2015 (Imagen No. 4) mayor o igual a 27 individuos, lo que correspondería según la tabla de convenciones a los colores naranja y rojo, estos valores son ubicados en áreas de color amarillo y azul, las cuales corresponden a un rango que va de 0 a 17,76 individuos (Ver Mapa No. 12), por lo que se genera una información gráfica no acorde con lo que se observa en la realidad.

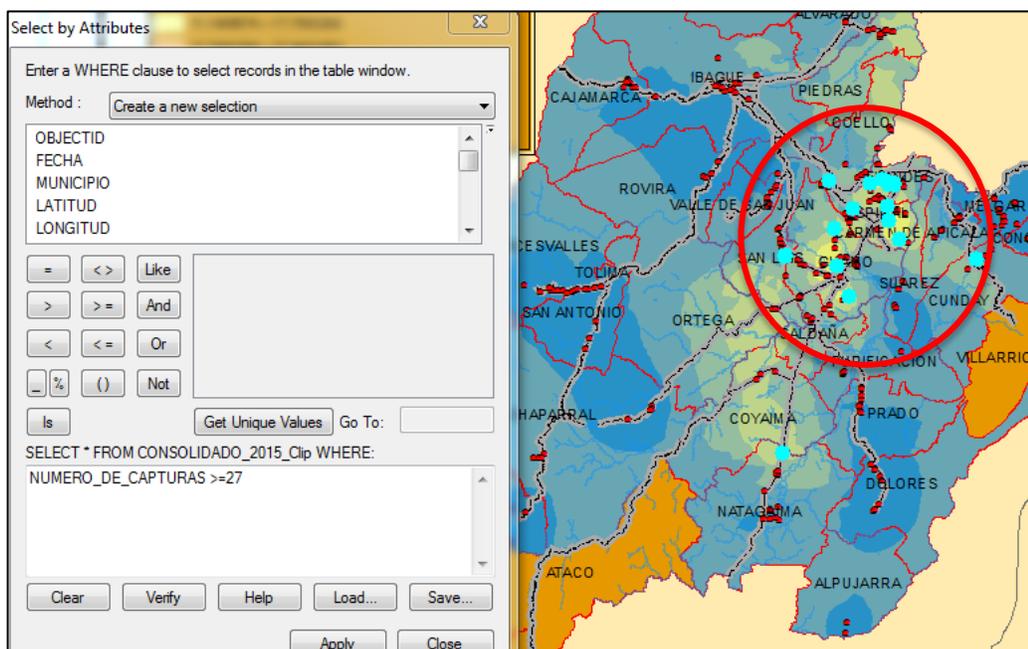


Imagen No.4. Consulta por atributo número de la población muestreada, en ArcGis 10.2.2. Año 2015  
Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo al revisar la información de muestreo obtenida para el año 2016 e implementar la herramienta de selección por atributos y hacer una consulta seleccionando número de capturas mayor o igual a 36 individuos (Imagen No. 5), se esperaría que dichos puntos de muestreo correspondieran a un área de color naranja a rojo, sin embargo dichos puntos de muestreo se ubican en áreas de color amarillo, las cuales según la tabla de convenciones corresponden a muestras de 13,38 a 25,67 (Ver Mapa No. 13),

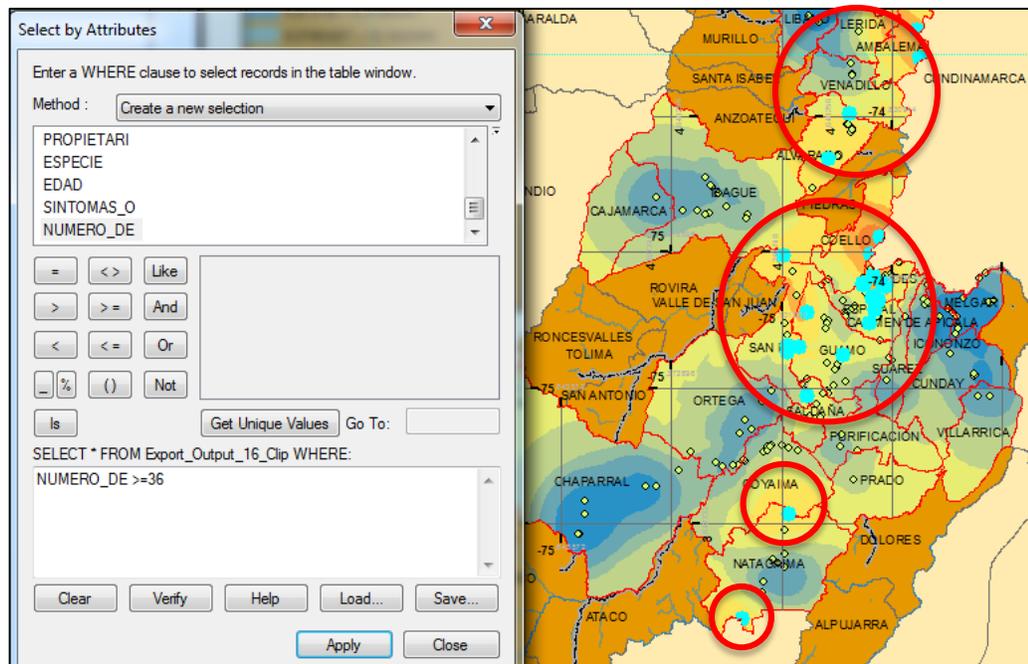


Imagen No.5. Consulta por atributo número de la población muestreada, en ArcGis 10.2.2. Año 2016  
Fuente: Elaboración propia

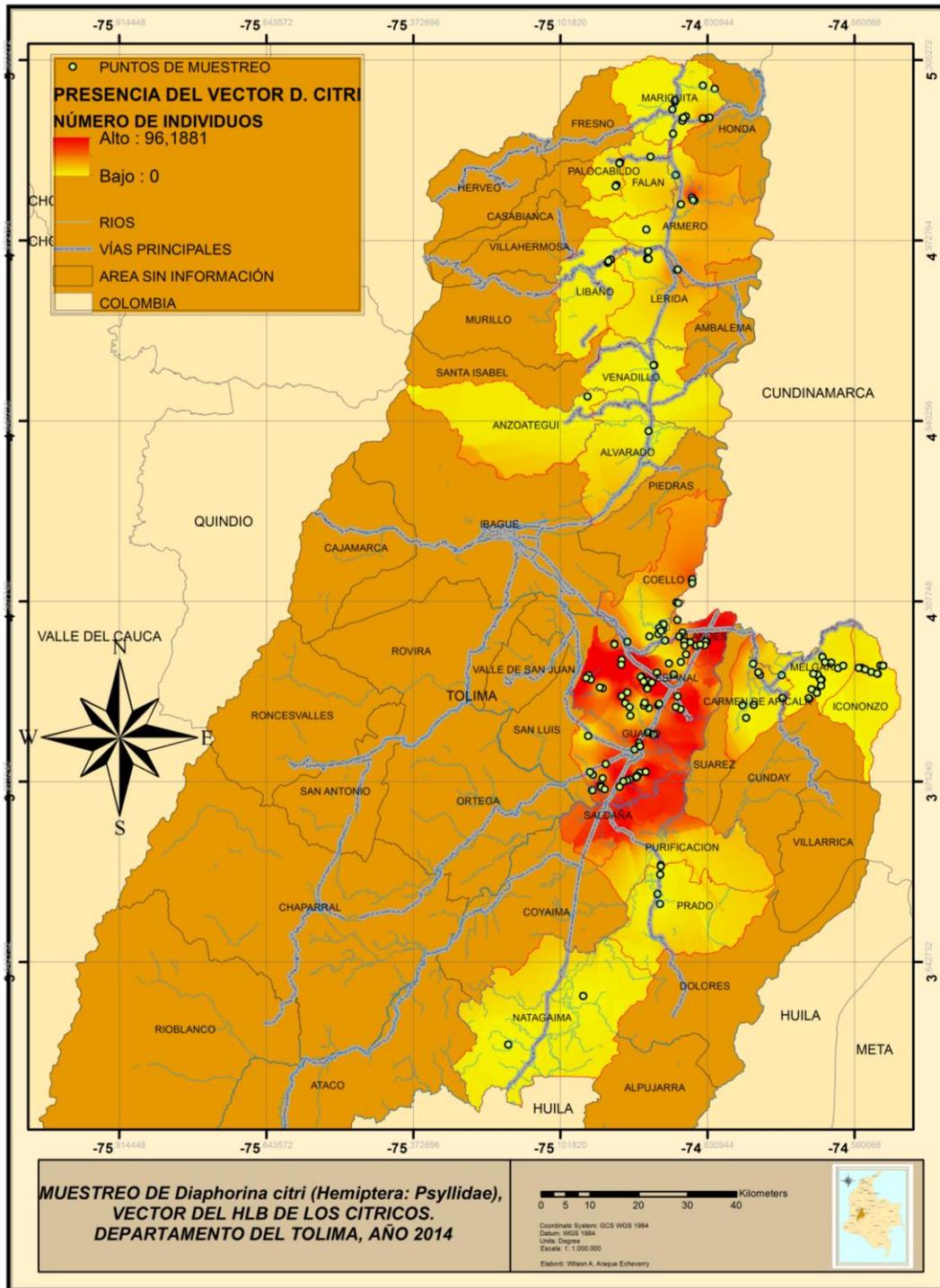
## 6.2.2 interpolación por el método inverso a la distancia ponderada (IDW)

A pesar de que el error del cuadrado medio RMS sugirió la implementación del método de interpolación por Kriging, su normalización mediante métodos geoestadísticos oculta la salida gráfica de valores altos de la población del vector

por lo que se optó por el método IDW para el muestreo realizado durante los años 2014, 2015 y 2016, en razón a la importancia de incluir en la salida grafica los valores extremos de captura de individuos, asociados con mayor velocidad de dispersión de la bacteria que causa el HLB.

En el año 2014 (Mapa No. 14) se observa un muestreo principalmente hacia los municipios ubicados sobre el valle del Magdalena, entre los que se excluyen el municipio de Piedras, Ambalema, Honda y Suarez. Se observa además, una alta concentración de la población de *Diaphorina citri* en los municipios de Saldaña, Guamo; Espinal y Flandes con algunas excepciones en área en el municipio de Guamo (Area de color amarillo) con registros bajos de la población de *Diaphorina citri*.

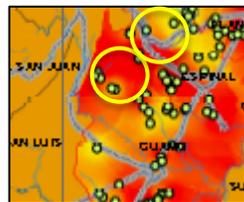
Se observa de igual manera en el municipio de Armero un punto ubicado en área de color rojo, lo que significa que aunque los puntos alrededor no generaron la captura o una baja captura de individuos, en este punto específico se presentó una alta población del mismo, reportando la alta presencia y la alta probabilidad de otros hospederos vecinos con igual población.



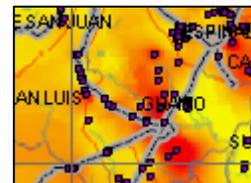
Mapa No. 14. Interpolación por el método de Inverso a la distancia ponderada, Departamento del Tolima. Año 2014

Elaboración propia

Para el año 2015 (Mapa No. 15) se observa que hay una disminución en el número de individuos (nivel alto: 72,6781) obtenidos por muestreo con respecto al año anterior (96,1881). Por otra parte hay mayor cobertura por municipio en la vigilancia de *Diaphorina citri*, al igual que la aparición de nuevos puntos con niveles altos de la población, tales como los que se observan en el municipio de Mariquita, Falan, Coyaima y Carmen de Apicalá, así como niveles medios en los municipios de Piedras y Ambalema, los cuales no fueron muestreados para el año 2014. De igual forma se observa que los niveles de captura por unidad de muestreo en los municipios de Guamo y Saldaña, continúan siendo altos al igual que en el año 2014 y que no se realizó muestreo en el año 2015 en puntos que para el año 2014 arrojaron valores altos de población capturada (Imagen No. 6).



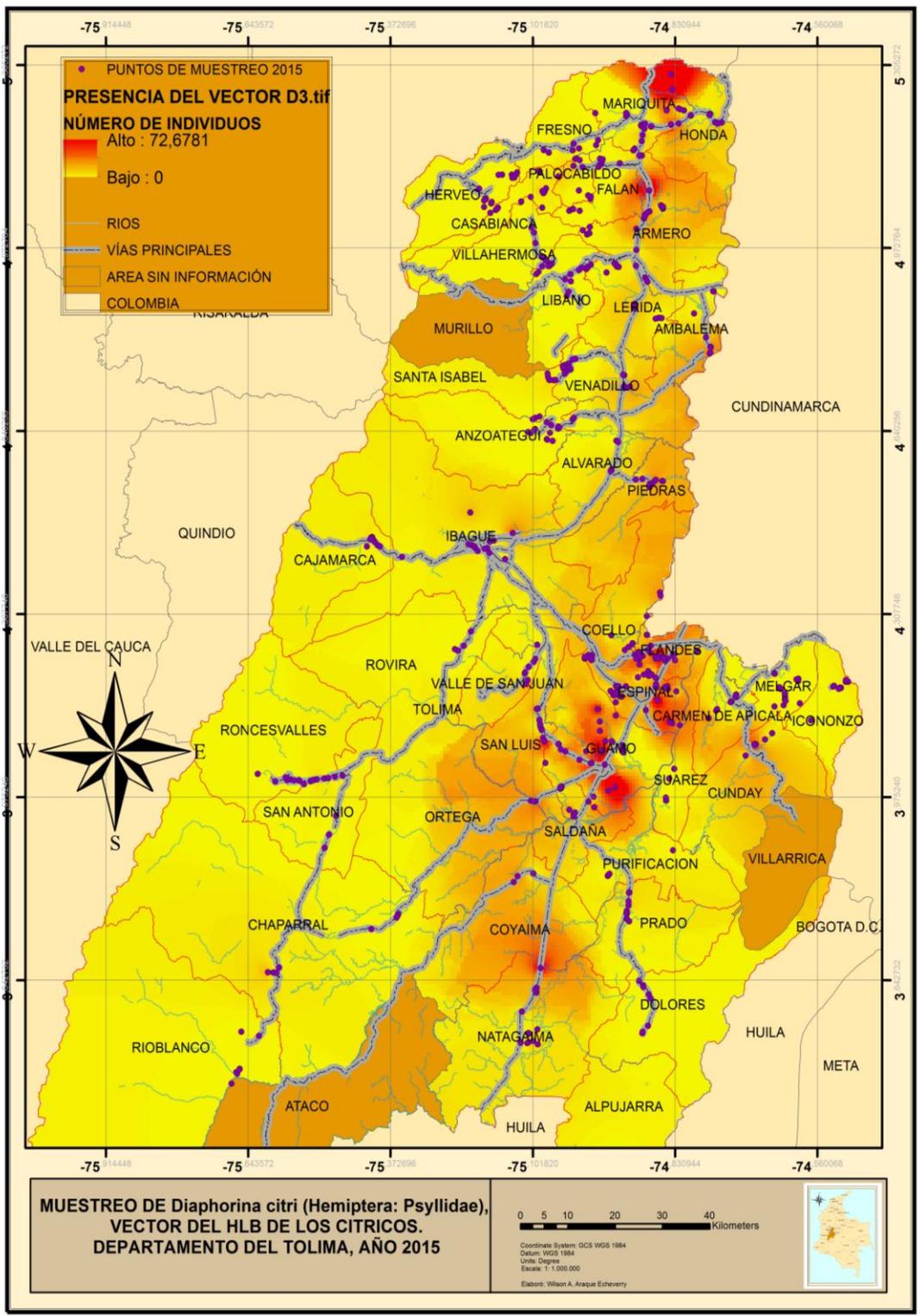
MUESTREO AÑO 2014



MUESTREO AÑO 2015

Imagen No.6. Detalle de puntos de muestreo realizados para el año 2014 y no realizados para el año 2015  
Fuente: Elaboración propia

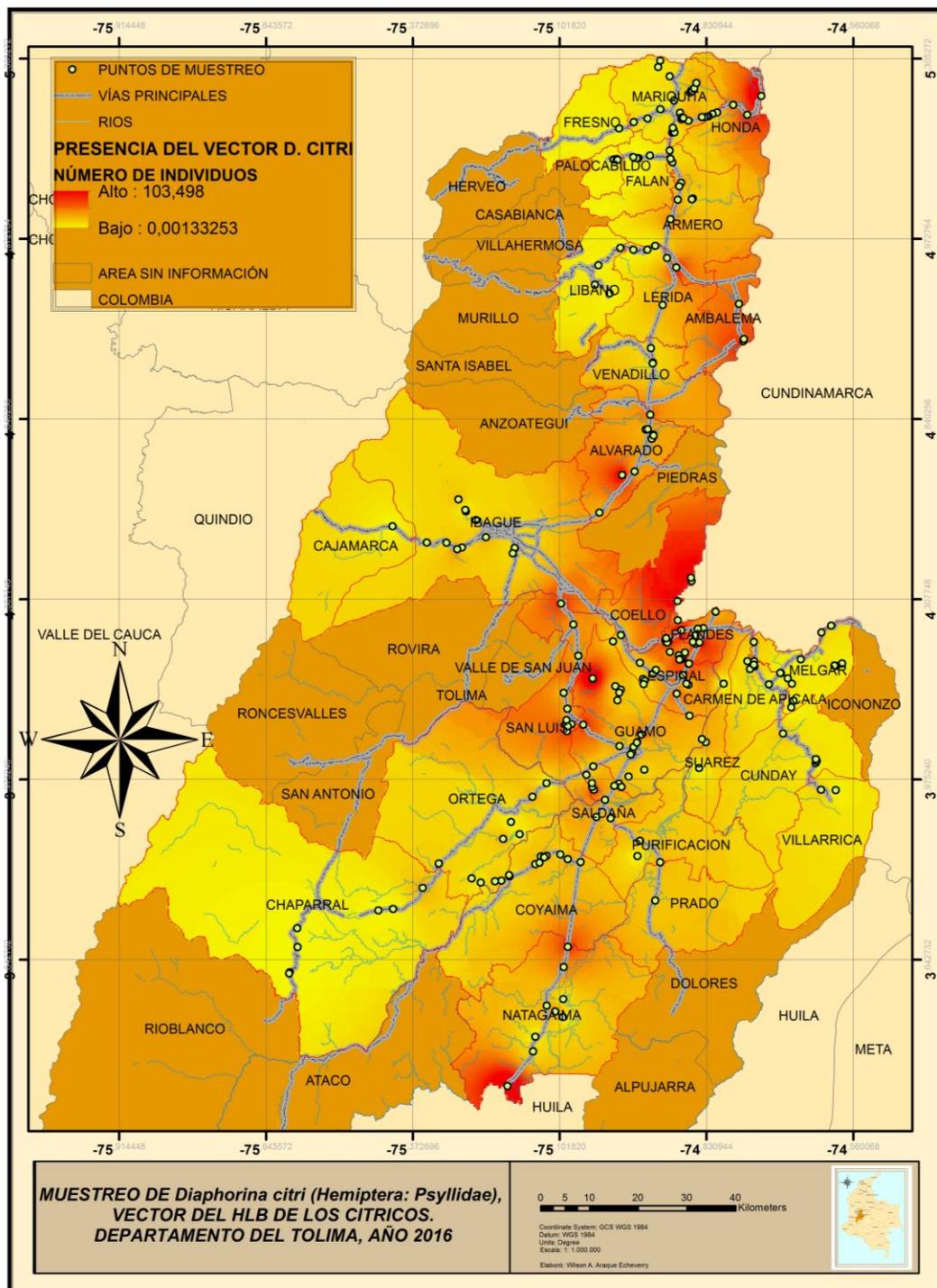
También se observa que hay una distribución de *Diaphorina citri* a lo largo de los municipios de Coyaima, Ortega, Saldaña, San Luis, Carmen de Apicalá, Espinal, Flandes, Coello, Piedras, Venadillo, Ambalema, Lerida, Armero, Falan y Mariquita, municipios con presencia de cultivos citrícolas de diferentes áreas (Ver Mapa No. 10).



Mapa No. 15. Interpolación por el método de Inverso a la distancia ponderada, Departamento del Tolima. Año 2015  
 Elaboración propia

En el año 2016 (Mapa No. 16) se observa 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 observa 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. Se observa también una disminución de la población muestreada en el municipio de Mariquita y la aparición de poblaciones altas en el municipio de Natagaima, Honda y Ambalema, es importante resaltar que en estos dos últimos no hay registro de predios productores de cítricos (Ver Mapa No. 10), por lo que la muestra puede provenir de hospederos como el Limon swinglea, árbol de Mirto o especies cítricas de traspatio.

Con base a la interpolación de los años 2014, 2015 y 2016 se tiene que las poblaciones de *Diaphorina citri* aumentaron para el 2016 y que hay un corredor biológico de dispersión del HLB de los cítricos en el que predominan los municipios de Guamo, Saldaña, Espinal, Flandes y Coello, en donde la velocidad de dispersión del HLB será mayor debido a que se requiere un alto número de insectos para lograr una buena transmisión de la enfermedad (Martínez & Wallace, 1968).



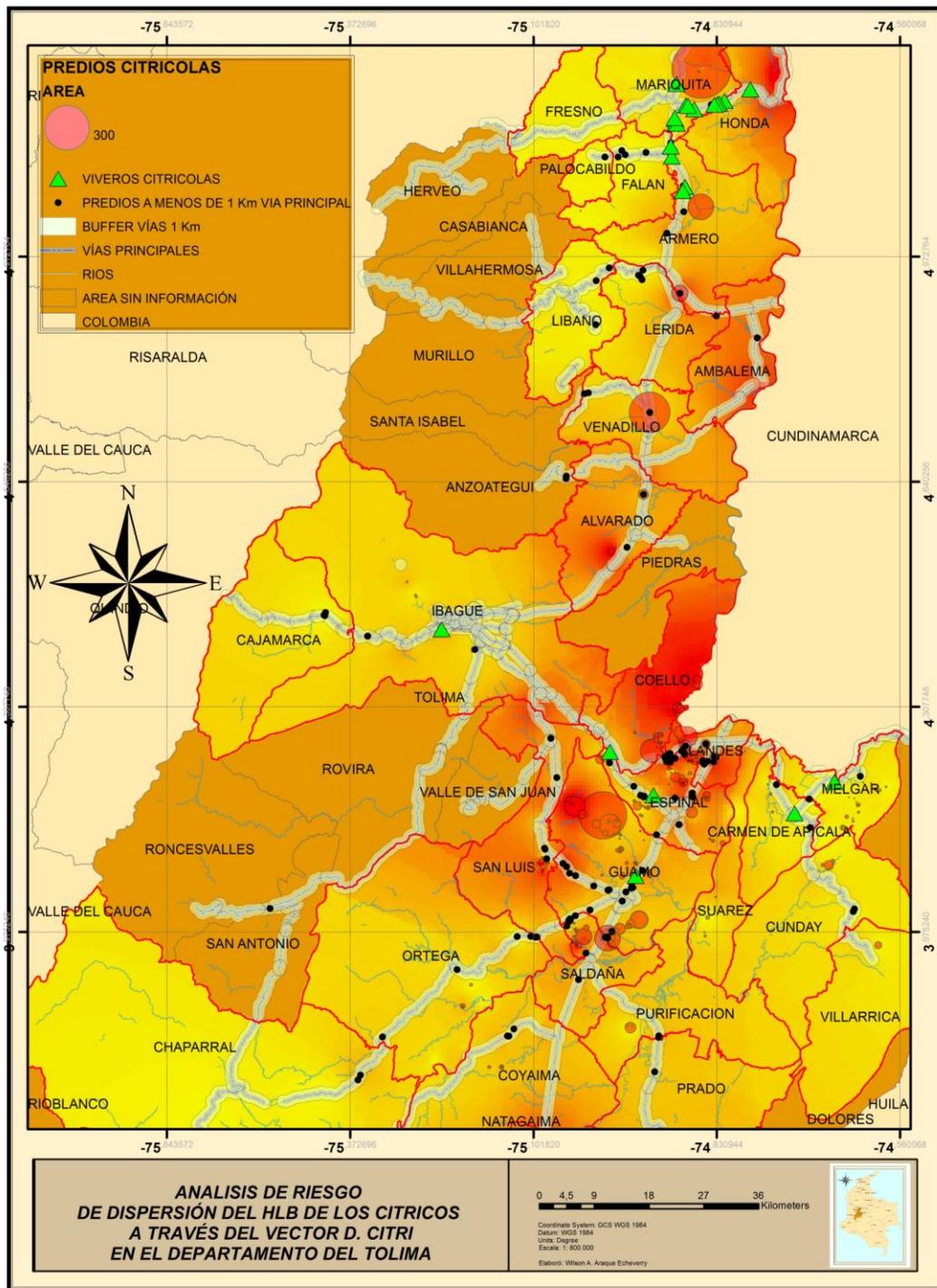
Mapa No. 16. Interpolación por el método de Inverso a la distancia ponderada, Departamento del Tolima. Año 2016

Elaboración propia

### **6.3 ANALISIS DE RIESGO DE DISPERSIÓN DEL HLB DE LOS CITRICOS A TRAVES DEL VECTOR *Diaphorina citri*.**

Sobre la base de que una importante fuente de dispersión de *Diaphorina citri* es el transporte pasivo de adultos, los cuales son altamente atraídos por la luz de los vehículos (Beattie y Barkley, 2009) y que el vector del HLB, *Diaphorina citri* puede ser arrastrado por corrientes de aire y trasladado a distancias de 0,5 a 4 Km (Hall, 2008), presentando el riesgo de diseminación de la bacteria causante de HLB dentro de una plantación y entre plantaciones; se realizó un *buffer* de 1 Km a las principales vías de comunicación y un *buffer* de 4 Km a viveros productores de material de propagación de cítricos, sobre la interpolación del año 2016, con el fin de implementar la herramienta de intersección y definir los predios citrícolas que se encuentran a 1 Km o menos de una vía principal (Mapa No. 17) y los predios cercanos a viveros de cítricos (Mapa No. 18).

Con la implementación de la herramienta *intersect* se identificaron los predios que al estar a menos de 1 Km podrían ser afectados por el transporte pasivo de adultos de *Diaphorina citri* que contengan la bacteria que causa el HLB. Su identificación servirá de base para la definición de un sistema de monitoreo periódico y continuo de estos predios, ya que las carreteras pueden constituirse como el acceso de la bacteria que causa la enfermedad a los predios citrícolas del departamento del Tolima.



Mapa No. 17. Mapa para el análisis de riesgo de dispersión del HLB de los cítricos a través del vector *D. citri*,

Departamento del Tolima

Elaboración propia

La identificación de los predios contenidos en el *buffer* hecho a 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 para el año 2017, que estén ubicados sobre áreas de mayor población muestreada (color rojo), ya que en estas áreas debido a las altas poblaciones del vector, la bacteria podrá distribuirse con mayor velocidad. De igual manera se utilizó la salida grafica para el reconocimiento de predios citrícolas con la idea de incluir esta variable en la priorización del monitoreo. Tal es el caso observado en los municipios de Espinal y Flandes, en donde se observa 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 (Imagen No. 7)

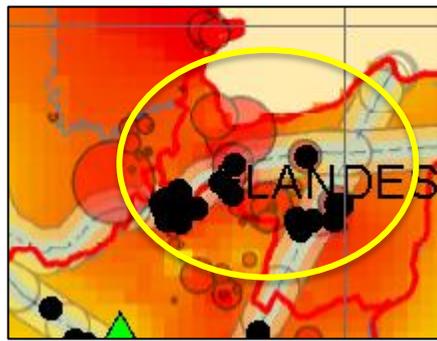


Imagen No.7. Detalle del municipio de Flandes: predios cercanos a menos de 1 Km de vía principal, así como predios con diferentes áreas ubicados en área de población alta del vector del HLB  
Fuente: Elaboración propia

De igual manera se observó una zona ubicada en inmediaciones del municipio de Saldaña (Imagen No. 8) en donde se encuentran ubicados sistemas de producción de cítricos con diferentes áreas, cercanos a un predio ubicado dentro del *buffer* hecho a la vía principal y sobre un área de color naranja, es decir que en el muestreo realizado durante el año 2016 se obtuvo muestra del vector aunque en menor cantidad que la obtenida en los puntos muestreados en los municipios de Espinal y Flandes.

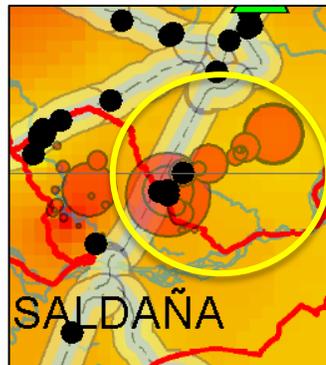


Imagen No.8. Detalle del municipio de Saldaña: predios cercanos a menos de 1 Km de vía principal, así como predios con diferentes áreas ubicados en área de población alta y media del vector del HLB  
Fuente: Elaboración propia

También se incluyó en el análisis cartográfico la ubicación de viveros productores de material de propagación de cítricos (triángulo de color verde), teniendo en cuenta que otra forma de transmisión del HLB es la vegetativa siendo particularmente importante a nivel de vivero (González-Gómez, R.; Oropeza- Salín, C.; Flores-Olivas, A.; Robles-García, P.; Mora-Aguilera, G.; Flores-Sánchez, J.; Acevedo-Sánchez, G.; Domínguez-Monge, S. 2014).

A estos viveros se les implementó la herramienta *buffer* teniendo en cuenta el alcance que puede tener el desplazamiento del vector por efecto de los vientos de hasta 4 Km, con el propósito de identificar los predios ubicados dentro de esta área de influencia a través de la herramienta *intersect*. (Mapa No. 18)

Se observan los predios (puntos amarillos) que se encuentran ubicados dentro del área de influencia de *los* viveros, identificados por un triángulo de color verde (Imagen No. 9). El área de influencia está determinada por el alcance que puede tener un vector al ser desplazado por efecto de los vientos y cuya dirección no fue precisada para este estudio.

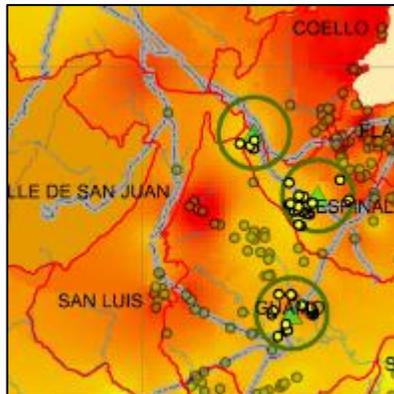
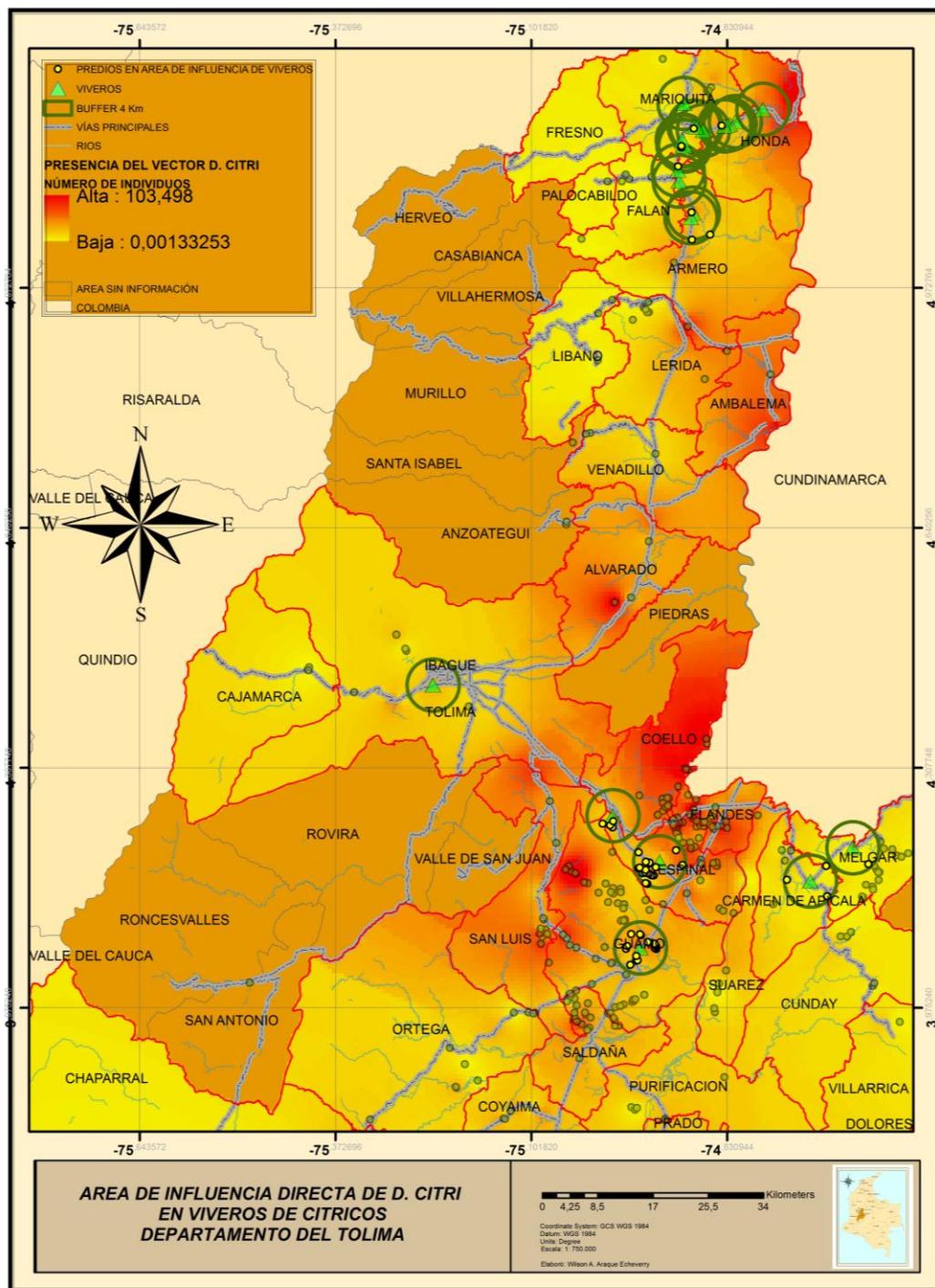


Imagen No.9. Detalle del área de influencia del vector *D. citri* en viveros de cítricos, Departamento del Tolima  
Fuente: Elaboración propia

Sin embargo se asume que hay flujo de vectores dentro de esta área por efecto del mismo y que en el caso de tratarse de un vector que sea portador de la bacteria causante del HLB de los cítricos tiene un potencial de afectar dicha área dentro de la que se encuentran ubicados uno o más viveros. 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, este podría dispersar la enfermedad con un mayor alcance que el logrado por el vector.



Mapa No. 18. Área de influencia del vector *D. citri* en viveros de cítricos, Departamento del Tolima

Elaboración propia

Al igual que en la intersección realizada para el *buffer* de vías, el *buffer* de viveros se diseñó sobre la interpolación del año 2016 con el propósito de tomar decisiones en áreas de mayor velocidad de dispersión del HLB por efecto de la presencia de mayor población del vector, como se observa principalmente en el caso del vivero ubicado en el municipio de Espinal seguido del vivero observado en el municipio de Guamo, municipios de gran importancia cítrica tanto por el área sembrada como por el número de productores.

## **7. CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se identificó como principal productor de cítricos del departamento del Tolima al municipio de Guamo teniendo en cuenta el número de productores y el área cultivada. Se observó además que la producción cítrica del departamento del Tolima está conformada por sistemas de producción que varían en tamaño, lo que podría tener implicaciones en los aspectos socioeconómicos de los productores como lo señalan los estudios realizados por Araque & Corrales, 2015.

Se estableció mediante el apoyo de mapas que hay una región cítrica conformada principalmente por los municipios de Saldaña, Guamo, Espinal, Flandes y Coello; aunque existen áreas destacadas de producción en los municipios de Venadillo, Armero y Mariquita, pero asociadas a un bajo número de productores.

A pesar de que el error del cuadrado medio RMS sugirió la implementación del método de interpolación por Kriging, su normalización mediante métodos geoestadísticos oculta la salida gráfica de valores altos de la población del vector, por lo que se optó por el método IDW, ya que se basa directamente en los valores medidos circundantes, mientras que el Kriging al basarse en métodos geoestadísticos normaliza datos extremos ocultándolos en la salida gráfica.

La distribución de *Diaphorina citri* presentó un comportamiento regionalizado 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, correspondiente a zonas específicas con altitudes entre los 0 m. y los 1600 m.s.n.m., con temperaturas medias de 23 °C a 34 °C, pluviosidades acumuladas anuales de 900 mm a 1200 mm y luminosidad mayor a 1900 horas de brillo solar anual (Botero, Ochoa & Moná; E.; 2014) ; disminuyendo la población del vector en la medida de que se aleja de dichas condiciones.

Con base a la interpolación de los años 2014, 2015 y 2016 se observó que las poblaciones de *Diaphorina citri* aumentaron para el 2016 definiendo un corredor biológico de dispersión del HLB de los cítricos con poblaciones altas en los municipios de Guamo, Saldaña, Espinal, Flandes y Coello, en donde la velocidad de dispersión del HLB será mayor debido a que se requiere un alto número de insectos para lograr una buena transmisión de la enfermedad (Martínez & Wallace, 1968).

## **8. RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones se formularon a partir de un mapa de análisis de riesgo y toma de decisiones (Mapa No. 19), el cual reúne los elementos de análisis en un único producto cartográfico, para concluir sobre este describiendo 5 áreas de interés:

Area 1. consiste en una zona con un gran número de viveros productores de material de propagación de cítricos ubicados sobre área de interpolación color naranja, es decir con poblaciones medias muestreadas. Además, estos viveros se encuentran ubicados sobre una vía principal y existen predios ubicados en área de influencia de estos (color amarillo).

Por lo tanto se sugiere ubicar ente 1 y 3 puntos de monitoreo a lo largo de esta área e incluir alguno de los hospederos ubicados hacia el municipio de Fresno y Palocabildo (Imagen No. 10).

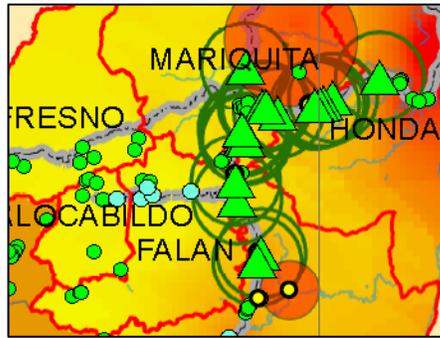


Imagen No.10. Detalle del área 1 del mapa No. 19  
Fuente: Elaboración propia

Área 2. Se trata de una zona con un predio de gran extensión y otros hospederos cercanos, que se encuentran ubicados en el área de influencia calculada para las vías principales. Se sugiere implementar el monitoreo en este punto (Imagen No. 11).

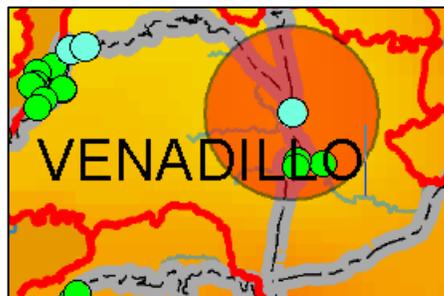


Imagen No.11. Detalle del área 2 del mapa No. 19  
Fuente: Elaboración propia

Área 3. Se recomienda ubicar en esta zona (Imagen No. 12) entre 3 y 10 puntos de monitoreo puesto que en esta área se presenta una alta población del vector *Diaphorina citri* además de un gran número de predios citrícolas con diferentes extensiones. Se sugiere además, realizar actividades de fortalecimiento regional para el control del vector.

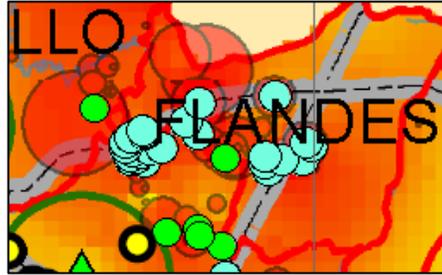


Imagen No.12. Detalle del área 3 del mapa No. 19  
Fuente: Elaboración propia

Área 4. Se recomienda implementar puntos de monitoreo dentro del área de influencia de cada vivero (triángulo verde). Además se sugiere que en esta área se ubique un predio sensor conforme al resultado obtenido al consultar el centro mediano (estrella azul) de la información de distribución de predios en el departamento del Tolima (Imagen No. 13).

De igual forma se sugiere ubicar entre 2 y 3 puntos de monitoreo en el área donde se observa confluencia de diferentes sistemas de producción y realizar además actividades de fortalecimiento regional para el control del vector.



Imagen No.13. Detalle del área 4 del mapa No. 19  
Fuente: Elaboración propia

Área 5. Se sugiere en este punto la implementación de entre 3 y 5 puntos de monitoreo además de actividades de fortalecimiento regional para el control del vector (Imagen No. 14)

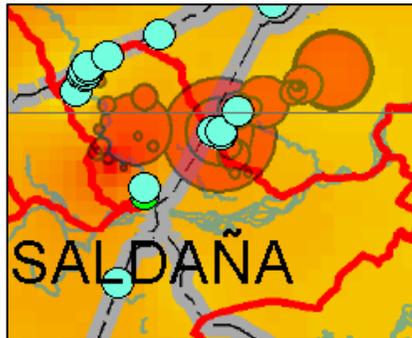
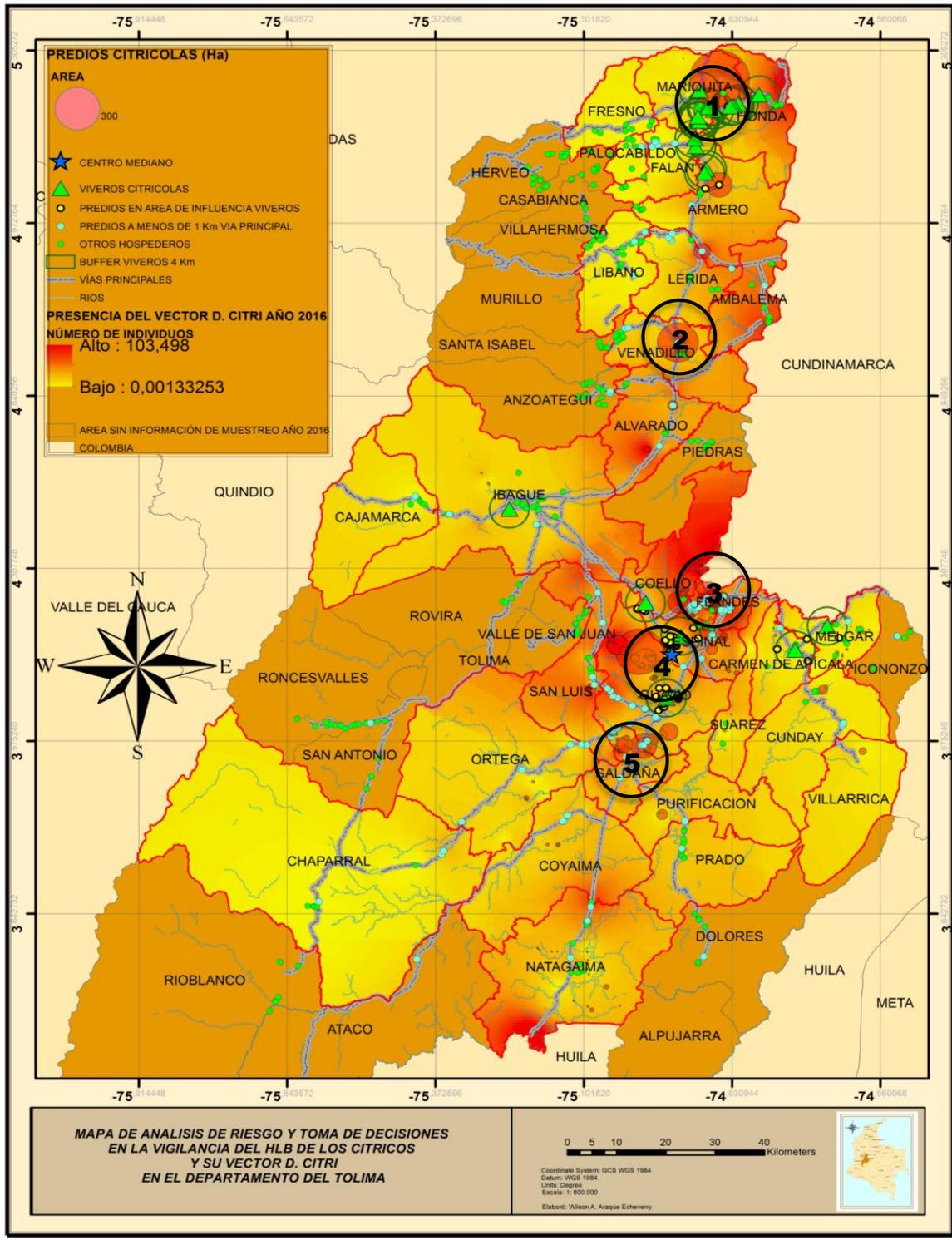


Imagen No.14. Detalle del área 5 del mapa No. 19  
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se recomienda la implementación de rutas de monitoreo Ibagué – Mariquita, Ibagué – Natagaima e Ibagué – Melgar y realizar muestreos de las vías ubicadas en el área de importancia citrícola.



Mapa No. 19. Analisis y toma de decisiones en la vigilancia del HLB de los cítricos y su vector *D. citri*

Elaboración propia

## BIBLIOGRAFÍA

Araque, W. & Corrales E. 2015. Análisis comparativo del balance energético en cuatro modelos de Sistemas de Producción de Limón Tahití en el Departamento del Tolima. *Agroforestería neotropical*, N° 5. Pp 60 – 76

Bassanezi, R. 2010. Epidemiología del HLB y sus implicaciones para el manejo de la enfermedad (presentación). Taller de enfermedades de alto impacto-cuarentenadas en el cultivo de los cítricos. III Simposio Internacional de Fruticultura tropical y subtropical. La Habana, Cuba. 26 al 30 de octubre de 2010.

Beattie, G.A.C., Barkley, P., 2009. Huanglongbing and its Vectors. A Pest Specific Contingency Plan for the Citrus and Nursery and Garden Industries (Version 2), February 2009. Horticulture Australia Ltd., Sydney.

Botero, V.; Ochoa, A. & Moná, E. 2014. Distribución espacio temporal de *Diaphorina citri*. *Diaphorina citri* 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, ICA, CORPOICA, Asohofrucol, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola.

Buzai, G. 2013. Sistemas de información geográfica SIG: teoría y aplicación. 1 ed. Luján: Universidad Nacional de Luján. 312 p.

Bové J.M., 2006. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology* 88, 7–37.

CORPOICA. (2005). Zonificación agroecológica, evaluación económica y organización socio empresarial de sistemas de producción prioritarios en el área de desarrollo rural sur oriente del Tolima. Mosquera, Colombia: CORPOICA.

Garnier, M., & Bové, J. (2000). Huanglongbing (Greening). En S. G. L.W. Timmer, *Compendium of citrus diseases* (Segunda edición ed., págs. 46-48). St. Paul, Minnesota: APS. Press.

González-Gómez, R.; Oropeza- Salin, C.; Flores-Olivas, A.; Robles-García, P.; Mora-Aguilera, G.; Flores-Sánchez, J.; Acevedo-Sánchez, G.; Domínguez-Monge, S.; (2014). Vigilancia Epidemiológica y Estatus Actual del Amarillamiento Letal del Cocotero, Punta Morada de la Papa y Huanglongbing de los Cítricos (HLB) en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 120-131.

Hall, D. G., M. G. Hentz and R. C. Adair, Jr. 2008a. Population ecology and phenology of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in two Florida citrus groves. *Environ. Entomol.* (in press).

Instituto Geográfico Austin Codazzi IGAC. 1995. Conceptos básicos sobre sistemas de información geográfica y aplicaciones en Latinoamérica. Ministerio de Hacienda y Crédito Público – Colombia. 100 p.

IGAC, Instituto Geográfico Austin Codazzi. 2004. Estudio General de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Tolima. República de Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

IIFT. Enfermedades bacterianas y fungosas en viveros de cítricos: Características y control. Taller regional sobre viveros de cítricos. La Habana., Cuba. Febrero de 2010

López-Arroyo, J. I. y Cortez-Mondaca, E. (2013). Uso Racional de Insecticidas en las ARCOS. En: Memorias de la Reunión Nacional de Sanidad Vegetal. México, D.F. 16-19

Abril.

López-Arroyo, J. I.; González-Gómez, R.; Gutiérrez-Espinosa, A.; Loeza-Kuk, E.; Domínguez-Monge, S.; Mora-Aguilera, G.; Flores-Sánchez, J.; Acevedo-Sánchez,

G.; Robles-García, P.; (2014). Situación Actual y Perspectivas del Manejo del HLB de los Cítricos. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 108-119.

Montoya, P.; Toledo, J. & Hernández, E. (2010). Moscas de la fruta: Fundamentos y procedimientos para su manejo. Programa MOSCAMED. S y G editores, México, D.F. pp 159 – 166.

Monzo, C., Arévalo, H., Jones, M., Vanaclocha, P., Croxton, S., Qureshi, J., & Stansly, P. 2015. Sampling methods for detection and monitoring of the Asian citrus Psyllid (Hemiptera: Psyllidae). *Environmental Entomology*, nvv 032.

Olaya, V. 2010. *Sistemas de Información Geográfica. Versión 1.0*. 883 p.

Robles G, M. M., Velázquez, M. J. J., Manzanilla, R. M. A., Orozco, S. M., Medina, U. V. M., López-Arroyo, J. I. y Flores-Virgen, R. 2013. Síntomas del Huanglongbing (HLB) en Limón Mexicano (*Citrus aurantifolia*) y su Dispersión en el Estado de Colima, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 19(1): 15-31.

Tsai, J. H. y Liu, Y. H. (2000). Biology of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on Four Host Plants. *Journal of Economic Entomology*, 93, 1721-1725.

**PDF**

Achicanoy, H. 2000. Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín. Vol.53,No.1,p.941-968. 2000. [Archivo PDF]. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/26473/1/24069-84222-1-PB.pdf>

COSAVE, Comité de Sanidad Vegetal. Sin fecha. PLAN REGIONAL DE CONTENCIÓN DEL HUANGLONGBING DE LOS CITRICOS (HLB). [Archivo PDF]. Recuperado de:

[http://www.cosave.org/sites/default/files/AnexoR115\\_PRHLB.pdf](http://www.cosave.org/sites/default/files/AnexoR115_PRHLB.pdf)

Flores, J.; Mora, G.; Loeza, E.; Domínguez, S.; Acevedo, G.; Rivas, P.; Ruíz, N.; López, J.; Hernández, E.; Novelo, A.; Sánchez, P.; & Sánchez, F. 2011. GRADIENTES DE DISPERSIÓN DEL HLB A PARTIR DE FOCOS INICIALES DE INFECCIÓN EN LA PENINSULA DE YUCATÁN. 2<sup>o</sup> Simposio Nacional sobre investigación para el manejo del psílido Asiático de los cítricos y el Hunglongbing en México. [Archivo PDF]. Recuperado de:

<file:///C:/Users/HP%20MINI/Downloads/Dispersion%20Gradients%20of%20HLB.pdf>

ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 2010. Boletín Epidemiológico: Vigilancia fitosanitaria sobre HLB (Huanglongbing) y su vector el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama en Colombia. [Archivo PDF]. Recuperado de: [http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/BOLETINES/Nacionales/2010/BN\\_Diaphorina\\_2010\\_Dic.aspx](http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/BOLETINES/Nacionales/2010/BN_Diaphorina_2010_Dic.aspx)

Guarín, 2010. Panorama para el manejo de *Diaphorina citri*, vector del HLB en la citricultura colombiana. Primer congreso Latinoamericano de citricultura. CORPOICA. [Archivo PDF]. Recuperado de:

[http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca\\_70\\_Panorama%20para%20el%20manejo%20de%20Diaphorina%20citri,%20vector%20del%20HLB,%200en%20la%20citricultura%20colombiana.pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_70_Panorama%20para%20el%20manejo%20de%20Diaphorina%20citri,%20vector%20del%20HLB,%200en%20la%20citricultura%20colombiana.pdf)

ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. (2012). Boletín epidemiológico Vigilancia fitosanitaria sobre Huanglongbing (HLB) y su vector el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri* kuwayama) en Colombia Agosto de 2012 Subgerencia de Protección Vegetal Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria. [Archivo PDF]. Recuperado de:

[http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL\\_HLB\\_AGO\\_2012\\_2.aspx](http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL_HLB_AGO_2012_2.aspx)

ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. (2012) VIGILANCIA DEL HUANGLONGBING (HLB) DE LOS CÍTRICOS Y SU VECTOR EL PSÍLIDO ASIÁTICO DE LOS CÍTRICOS *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) EN COLOMBIA. Boletín epidemiológico. [Archivo PDF]. Recuperado de:

[http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL\\_HLB\\_2012\\_2014.aspx](http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/HUANGLONGBING/BOL_HLB_2012_2014.aspx)

USDA, 2006. Recovery Plan for Huanglongbing (HLB) or Citrus Greening caused by “Candidatus” Liberibacter africanus, L. asiaticus, and L. americanus October 17, 2006. [Archivo PDF]. Recuperado de:

<https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/00000000/opmp/CitrusGreening61017.pdf>

Peñaranda, E.; Castañeda, A.; King, W.; Fuentes, O.; Palacino, J. (2015). VIGILANCIA DE Diaphorina citri (HEMIPTERA: LIVIIDAE), INSECTO VECTOR DE LA ENFERMEDAD HUANGLONGBING HLB- DE LOS CÍTRICOS. [Archivo PDF].

Recuperado de:

[http://www.imok.ufl.edu/hlb/database/pdf/14\\_Pe%C3%B1aranda\\_15.pdf](http://www.imok.ufl.edu/hlb/database/pdf/14_Pe%C3%B1aranda_15.pdf)

Secretaria de Planeación y TIC (SPT), 2014. Tolima en cifras. Gobernación del Tolima. [Archivo PDF]. Recuperado de:

[www.tolima.gov.co/descargar.php?idFile=2104](http://www.tolima.gov.co/descargar.php?idFile=2104)

Resolución 2390. “Por medio de la cual se declara el estado de emergencia fitosanitaria en el territorio nacional por la presencia de adultos de Diaphorina citri infectados con la bacteria de la enfermedad del HLB de los cítricos. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Diciembre 10 2015

Resolución No. 000047143. “Por medio de la cual se declara en cuarentena fitosanitaria el Departamento de la Guajira, por la presencia de la plaga

denominada HUNGLONGBING (HLB) de los cítricos” Instituto Colombiano Agropecuario ICA. 28 de abril del 2016.