



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Desarrollo de un método de muestreo
para ninfas de *Haplaxius crudus*
(Hemiptera: Cixiidae) vector de la
marchitez letal (ml) en palma de aceite**

Oscar Mauricio Moya Murillo

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Medellín, Colombia

2018

II

Desarrollo de un método de muestreo para ninfas de *Haplaxius crudus*
(Hemiptera: Cixiidae) vector de la marchitez letal (ml) en palma de aceite

Desarrollo de un método de muestreo para ninfas de *Haplaxius crudus* (Hemiptera: Cixiidae) vector de la marchitez letal (ml) en palma de aceite

Oscar Mauricio Moya Murillo

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Entomología

Directora:

Ph.D., Adelaida María Gaviria Rivera

Codirector:

Ph.D., Alex Enrique Bustillo Pardey

Línea de Investigación:

Manejo integrado de plagas

Grupo de Investigación:

Interacciones biológicas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Medellín, Colombia

2018

Este trabajo está dedicado a Dios, por ser el faro que guía mis pasos, a mi esposa por su compromiso y apoyo incondicional con mi formación profesional y a mi hija, la prueba más grande y pura del amor de Dios.

Agradecimientos

Agradecimiento especial a la profesora y directora de este trabajo, la Dra. Adelaida María Gaviria Rivera, una de las personas más relevantes en mi formación académica, al Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma y en especial al Dr. Alex Enrique Bustillo Pardey, Coordinador del programa plagas y enfermedades, quien con su conocimiento y su espíritu de enseñanza, ha influenciado de manera significativa mi formación como investigador, a la profesora Eloina Mesa Fuquen, por sus orientaciones en el diseño de experimentos y análisis estadísticos, al profesor Oscar Ortega Molina, quien afianzo en mí, las bases mismas de la entomología, a la Gobernación del departamento del Meta, por incentivar la formación de los profesionales de la región con su programa de becas para estudios de posgrado, a Argemiro Vargas, Esnedy Galeano, Jorge Mariño, Laura Graciano y María Fernanda Salas, compañeros y amigos durante el desarrollo de la Maestría, a mi esposa Angela Sofía Silva y a mi hija Ana Sofía Moya, con quienes voy de la mano a cumplir todos nuestros sueños y gracias a todas las personas que de una u otra forma estuvieron conmigo en esta experiencia de formación. A todos muchas gracias y que Dios los bendiga.

Resumen

La marchitez letal (ml) es la enfermedad más limitante para la palmicultura en los llanos orientales, ha causado la muerte de 320.000 palmas aproximadamente. El vector es el adulto de *Haplaxius crudus* (Van Duzee). La reducción poblacional de ninfas de *H. crudus* es complemento del manejo de la ml, por lo que es importante establecer un método de muestreo de ninfas que pueda estimar la densidad y distribución espacial para la toma de decisiones. Se contaron las ninfas presentes en todas las macollas de las especies ciperáceas y gramíneas en 120 unidades de muestreo (UM), de 210,42 m², distanciadas a 46,76 m en el área de estudio, siguiendo una red de muestreo triangular, con el objetivo de determinar el hospedero para contar las ninfas, las características para su identificación y la distancia entre UM para modelar la distribución espacial mediante Kriging. La estimación más precisa de las ninfas de *H. crudus* se obtuvo con la ecuación de regresión teniendo en cuenta el número de ninfas en las macollas de *Paspalum virgatum* (L.) ($R^2=0,8499$). *P. virgatum* fue la especie adecuada para el conteo de ninfas ya que concentraba el 57% de la población en el 1,52% de las macollas y características como la altura (>32 cm) y la densidad (<14 macollas/UM) facilitan el reconocimiento en campo. El resultado de la modelación del semivariograma se ajustó al modelo Stable, donde el valor del rango de correlación espacial sugiere que las UM se pueden distanciar hasta 86,31 m manteniendo el error estándar de la superficie de predicción por debajo de 10 ninfas.

Palabras clave: Palma de aceite. *Haplaxius crudus*. Marchitez letal. Variabilidad espacial. Semivariograma. Kriging.

Abstract

The lethal wilt (ml) is the most limiting disease for palm culture in the eastern plains, has caused the death of 320,000 palms approximately. The vector is the adult of *Haplaxius crudus* (Van Duzee). The population reduction of *H. crudus* nymphs is a complement to the management of ml, so it is important to establishing a nymph sampling method that can estimate density and spatial distribution for making decision. The nymphs present in all the clusters of the cyperaceous and grasses species were counted, in 120 sampling units (UM) of 210.42 m², distanced at 46.76 m in the study area, following a triangular sampling network, in order to determine the host to count of the nymphs, the characteristics for their identification and the distance between UM to model the spatial distribution by means of Kriging. The most accurate estimate of *H. crudus* nymphs was obtained with the regression equation taking into account the number of nymphs in the clusters of *Paspalum virgatum* (L.) ($R^2 = 0.8499$). *P. virgatum* was the appropriate species for the count nymphs since it concentrated 57% of the population in 1.52% of the clusters and characteristics such as height (> 32 cm) and density (<14 clusters / UM) facilitate recognition in the field. The result of the modeling of the semivariogram was adjusted to the Stable model, where the value of the spatial correlation range suggests that the UM can be distanced up to 86.31 m, while maintaining the standard error of the prediction surface below 10 nymphs.

Keywords: Oil palm. *Haplaxius crudus*. Lethal withering. Spatial variability. Semivariogram. Kriging.

.

Contenido

| | Pág. |
|---|-------------|
| Resumen | IX |
| Abstract | X |
| Lista de figuras | XIII |
| Lista de tablas | XV |
| Introducción | 1 |
| 1. Objetivos | 5 |
| 1.1 General..... | 5 |
| 1.2 Específicos | 5 |
| 2. Marco teórico | 6 |
| 2.1 Marchitez Letal (ml) | 7 |
| 2.1.1 Sintomatología | 7 |
| 2.1.2 Agente causal | 8 |
| 2.1.3 <i>Haplaxius crudus</i> Van Duzee | 9 |
| 2.1.4 Epidemiología | 11 |
| 2.1.5 Manejo | 11 |
| 2.2 Conceptos de Muestreo..... | 13 |
| 2.3 Redes de muestreo mediante geoestadística | 14 |
| 2.3.1 Interpolación mediante kriging..... | 15 |
| 2.3.2 Validación cruzada..... | 15 |
| 2.3.3 Redes de muestreo espacial | 16 |
| 3. Metodología | 18 |
| 3.1 Área de estudio..... | 18 |
| 3.2 Recolección de datos en campo del número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> en la Finca Villa Fernanda..... | 18 |
| 3.3 Análisis estadístico de los datos | 21 |
| 3.4 Análisis de correlación y regresión..... | 23 |
| 3.5 Análisis geoestadístico y modelación espacial..... | 23 |
| 4. Resultados | 25 |
| 4.1 Análisis de correlación entre los parámetros de infestación de las macollas y el número total de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> | 26 |
| 4.2 Análisis de correlación entre el número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> y los parámetros de altura y número de tallos de las macollas infestadas | 27 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.3 | Análisis de regresión entre el número total de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> y los parámetros de infestación de las macollas..... | 28 |
| 4.4 | Análisis estadístico de los datos de muestreo | 32 |
| 4.5 | Análisis de variabilidad espacial y modelación del número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> | 34 |
| 5. | Discusión..... | 40 |
| 5.1 | Conteo de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> | 40 |
| 5.2 | Características de las plantas infestadas con ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> | 41 |
| 5.3 | Modelación de la variación espacial de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> | 42 |
| 6. | Conclusiones y recomendaciones | 45 |
| 6.1 | Conclusiones..... | 45 |
| 6.2 | Recomendaciones..... | 47 |
| | Bibliografía | 49 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Localización geográfica de la Finca Villa Fenarda..... | 19 |
| Figura 2. Perímetro del lote seleccionado para el desarrollo de la investigación en la Finca Villa Fernanda (línea azul). Malla con el total de Unidades Muéstrales (UM) que conforman el universo muestral (hexágonos negros). Malla con las unidades de muestreo (UM) que fueron evaluadas (hexágonos verdes)..... | 20 |
| Figura 3. A. Unidad de muestreo (UM) con área de 210,42 m ² dividida en seis áreas de 35,07 m ² numeradas del 1 al 6. B. Subdivisión en 9 áreas triangulares de 3,89 m ² de uno de los seis triángulos en que se dividió la unidad de muestreo (UM) identificados con las letras de la “a” a la “i” en orden alfabético. C. Subdivisión total de la unidad de muestreo UM, en 54 áreas de 3,89 m ² . D. delimitación de las subdivisiones con tres tubos de PVC de tres metros de longitud..... | 22 |
| Figura 4. Diagramas de dispersión y rectas de regresión. A. Entre las macollas de <i>Paspalum virgatum</i> y las macollas de <i>Paspalum virgatum</i> infestadas con ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> . B. Entre las macollas de <i>Digitaria sanguinalis</i> y las macollas de <i>Digitaria sanguinalis</i> infestadas con ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> | 29 |
| Figura 5. Diagramas de dispersión y rectas de regresión. A. Entre las macollas de <i>Paspalum virgatum</i> infestadas y el número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> en las macollas de <i>Paspalum virgatum</i> . B. Entre las macollas de <i>Digitaria sanguinalis</i> infestadas y el número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> en las macollas de <i>Digitaria sanguinalis</i> | 30 |
| Figura 6. Diagramas de dispersión y rectas de regresión. A. Entre el número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> en las macollas de <i>Paspalum virgatum</i> y el número total de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> . B. Entre el número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> en las macollas de <i>Digitaria sanguinalis</i> y el número total de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> | 31 |
| Figura 7. A. Nube de interacciones del semivariograma para la distribución del número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> , B. modelo teórico de semivarianza stable, ajustado para del número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> | 35 |

Figura 8. Tendencia de la distribución espacial del número de ninfas de *Haplaxius crudus* en el área de estudio en cuatro puntos de rotación A. 0° B. 270° C. 180° D. 90°.....36

Figura 9. A. Mapa de predicción para el número de ninfas de *Haplaxius crudus*. **B.** Mapa del error estándar de la predicción. Los hexágonos negros representan la disposición de las 120 unidades de muestreo que se tuvieron en cuenta en la interpolación.....37

Figura 10. A. Mapa de predicción para el número de ninfas de *Haplaxius crudus*. **B.** Mapa del error estándar de la predicción. Los hexágonos negros representan la disposición de las 41 unidades de muestreo (UM) que se tuvieron en cuenta en la interpolación.....38

Lista de tablas

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Número de macollas evaluadas, infestadas y número de ninfas por especie vegetal evaluada..... | 26 |
| Tabla 2. Coeficientes de Correlación de Pearson (r) (diagonal superior) $p < 0,05^*$ y coeficiente de determinación (R^2) (diagonal inferior), entre el número de macollas, número de macollas infestadas y número de ninfas, en las especies <i>Paspalum virgatum</i> y <i>Digitaria sanguinalis</i> y el total de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> | 27 |
| Tabla 3. Coeficientes de Correlación de Pearson (r) (diagonal superior) y coeficiente de determinación (R^2) (diagonal inferior), entre el número de ninfas, tallos y altura de las macollas infestadas de las especies <i>Paspalum virgatum</i> y <i>Digitaria sanguinalis</i> | 28 |
| Tabla 4. Análisis estadístico descriptivo, de los parámetros asociados a las Unidades de Muestreo (UM) para <i>Paspalum virgatum</i> y <i>Digitaria sanguinalis</i> | 32 |
| Tabla 5. Análisis estadístico descriptivo, de los parámetros asociados a las macollas de <i>Paspalum virgatum</i> y <i>Digitaria sanguinalis</i> infestadas con ninfas de <i>H. crudus</i> | 33 |
| Tabla 6. Parámetros de los modelos ajustados para el semivariograma empírico del número de ninfas de <i>Haplaxius crudus</i> y los resultados de validación cruzada..... | 37 |

Introducción

El área cultivada con palma de aceite en los llanos orientales se duplicó en la década del 2005 al 2015, paso de 92.120 a 181.543 hectáreas (ha) (Fedepalma, 2016c) y ahora es la principal agroindustria de la región. En el departamento del Meta la palmicultura es la principal fuente de ingresos para los habitantes de sector rural, genera 17.634 empleos directos y 26.451 empleos indirectos (Fedepalma, 2016b). Sin embargo, el cultivo de la palma de aceite atraviesa serias dificultades desde el punto de vista fitosanitario, insectos defoliadores, barrenadores y vectores de microorganismos causantes de enfermedades como el anillo rojo, la pestalotiopsis y la marchitez letal, así como la pudrición del cogollo, son las limitantes más relevantes para el desarrollo de la agroindustria en la región (Martínez *et al.*, 2013; Aldana *et al.*, 2015; Bustillo y Arango, 2016).

Entre las enfermedades transmitidas por insectos en el cultivo de palma de aceite, la marchitez letal (ml), es la más limitante en las plantaciones de la zona palmera oriental, los primeros casos de ml se reportaron en 1994 en la zona del Bajo Upía, frontera entre Meta y Casanare. En estos departamentos, por esta patología, se han erradicado las palmas equivalentes a 2.200 ha (Bustillo y Arango, 2016), con pérdidas que superan los 250 mil millones de pesos (Fedepalma, 2013).

La ml es causada por un fitoplasma (Bustillo y Arango, 2016) y transmitida por los adultos de *Haplaxius crudus* (Van Duzee, 1907) (Hemiptera: Cixiidae) (Arango *et al.*, 2011b) que adquieren el patógeno al alimentarse de palmas enfermas y luego de un periodo de incubación dentro del insecto, éste puede ser transmitido al alimentarse de palmas sanas, las cuales expresan síntomas evidentes de la enfermedad entre cinco y seis meses más tarde (Arango *et al.*, 2011a). No se descarta que existan otros insectos relacionados con la transmisión del patógeno a las palmas sanas, por lo que las investigaciones continúan alrededor de poder identificar la injerencia de otras especies, vectores de la ml.

Las palmas afectadas por la ml presentan secamiento de los foliolos, pudrición de racimos y raíces, y en casos avanzados pudrición de flechas y mal olor, la enfermedad no tiene cura y causa la muerte de la palma pocas semanas después de expresar síntomas (Duarte y Tovar, 2007).

Estudios epidemiológicos reportan que una palma enferma dentro de un cultivo de palma de aceite representa un foco de infección que, dependiendo del nivel de incidencia, es capaz de afectar hasta 26 palmas en el siguiente ciclo de infección (Arango *et al.*, 2012).

La intervención de las poblaciones de *H. crudus* es la base del manejo de la Marchitez letal en palma de aceite (Arango *et al.*, 2012; Bustillo y Arango, 2016). La siembra de coberturas con especies leguminosas para reducir la población de gramíneas hospederas de los estados inmaduros es la estrategia más recomendada (Arango *et al.*, 2012); sin embargo, no son muchas las plantaciones que la implementan (Rairán *et al.*, 2015). El uso de entomopatógenos está aún en fase de investigación (Rosero *et al.*, 2014; Bustillo, 2014).

El manejo de las poblaciones de adultos y ninfas de *H. crudus* y el control de plantas hospederas con la aplicación de insecticidas y herbicidas representa entre el 40 y el 60% de los costos del manejo recomendado para la ml (Ruiz *et al.*, 2013). Sin embargo, los criterios de toma de decisiones para realizar las aplicaciones no tienen en cuenta información acerca de la densidad o ubicación de las poblaciones del insecto, lo que puede conllevar a aplicaciones innecesarias o inocuas reduciendo la eficacia del manejo (Bustillo, 2014).

Esta investigación pretende proponer un método de muestreo, estadísticamente correcto, de ninfas de *H. crudus*, con base en la distribución espacial y las características de las plantas hospederas, que permita tener información confiable para tomar decisiones técnicas para: I) propiciar el uso racional de las aplicaciones de insecticidas II) evaluar la eficiencia de las intervenciones, III) facilitar el manejo focalizado de las poblaciones de ninfas, IV) disminuir costos de producción y V) aminorar el impacto sobre poblaciones no objeto de control como parasitoides, depredadores y polinizadores, en pro de la sanidad de los cultivos de palma de aceite, la inocuidad del producto, la salud del trabajador y la seguridad del medio ambiente.

1. Objetivos

1.1 General

Proponer un método de muestreo para determinar, de manera eficaz, la densidad poblacional y la distribución espacial de ninfas de *Haplaxius crudus* en áreas sembradas con palma de aceite.

1.2 Específicos

- Establecer una técnica de conteo de ninfas de *H. crudus* que permita estimar la población en áreas sembradas con palma de aceite.
- Establecer la relación entre las características, altura, número de tallos y especie de las plantas infestadas y la densidad poblacional de ninfas de *H. crudus*.
- Determinar los parámetros geoestadísticos que permitan modelar la distribución espacial y establecer la distancia máxima entre puntos de muestreo para ninfas de *H. crudus* en áreas sembradas con palma de aceite.

2. Marco teórico

Elaeis guineensis (Jacq, 1897) (Arecales: Arecaceae), es una especie de palma exótica, introducida en América y establecida extensamente como monocultivo para la producción de aceite (Bustillo, 2014), Llegó a Colombia en 1932 y desde 1945 se ha desarrollado de forma comercial (Reyes y Duran, 1996). Para 1975, el área sembrada en palma de aceite se extendió hasta 24.000 hectáreas (Reyes y Duran, 1996) y en el 2018 se registran cerca de 537.177 hectáreas sembradas en 148 municipios de 22 departamentos (Fedepalma, 2018) y más de 5000 productores de los cuales 4.200 son palmicultores de pequeña escala (Fedepalma, 2016a).

Esta agroindustria ha logrado establecer su producción en zonas rurales donde ningún otro cultivo ha podido llegar, genera inclusión social y bienestar para las regiones, razón por la cual se considera una aliada de la paz en el pos conflicto (Dávila *et al.*, 2016). En la zona palmera oriental, que comprende todos los llanos orientales de Colombia, hay establecidas 215.763 ha, distribuidas en 36 municipios, de los cuales 21 pertenecen al departamento de Meta con aproximadamente el 70% del área cultivada en la zona (Fedepalma, 2018). En la palmicultura del Meta hay cerca de 244 productores que generan alrededor de 45.000 empleos entre directos e indirectos, lo que la convierte en un factor importante dentro de la economía local (Fedepalma, 2016b).

Los aspectos fitosanitarios de la palmicultura en el departamento del Meta y en general en toda la zona oriental, atraviesan serias dificultades, por enfermedades como la marchitez letal (ml), la pudrición de cogollo (PC), anillo rojo (AR) y el ataque de artrópodos defoliadores y barrenadores que han generado pérdidas económicas significativas (Martínez *et al.*, 2013; Aldana *et al.*, 2015; Bustillo y Arango, 2016).

2.1 Marchitez Letal (ml)

En la actualidad, la Marchitez Letal (ml) en palma de aceite es una de las enfermedades más limitantes de la palmicultura en los llanos orientales de Colombia ésta enfermedad afectó aproximadamente 320.000 palmas, en más de 160.000 ha entre 1997 y 2015 (Bustillo y Arango, 2016), con pérdidas económicas que superan los 85 millones de dólares (Fedepalma, 2013).

A nivel nacional, se reportó una enfermedad sintomatológicamente similar en la zona palmera central entre los años 1960 y 1970, en la plantación Oleaginosas Risaralda, que ocasionó la muerte a 288.000 palmas (Mena *et al.*, 1975). En ésta época, la enfermedad fue denominada Marchites Sorpresiva (MS), nombre que años más tarde se asociaría exclusivamente a la marchites por protozoarios flagelados (Martínez, 1985). En los Llanos Orientales, esta enfermedad fue reportada por primera vez en 1994 en la zona del Bajo Upía en la plantación Palmar del Oriente (Duarte y Tovar, 2007).

2.1.1 Sintomatología

Las palmas afectadas por ml presentan características diferentes dependiendo de la edad (Duarte y Tovar, 2007), las condiciones de manejo y el clima (Rocha *et al.*, 2007); sin embargo, existen síntomas propios, tanto externa como internamente, que son utilizados como referencias diagnósticas para la detección de palmas enfermas (Fajardo *et al.*, 2005). Los síntomas más característicos son: Secamiento de las hojas, que inicia con el amarillamiento de los ápices y bordes de los folíolos y a medida que avanza la enfermedad, se tornan de color marrón y se entorchan (Rocha *et al.*, 2007). Pudrición seca y húmeda en las inflorescencias que repercute en la producción de los racimos (Rocha *et al.*, 2007), la pudrición de inflorescencias y racimos inicialmente genera que los frutos se tornen opacos, posteriormente se sequen y se desprendan fácilmente por la pudrición de la base (Rocha *et al.*, 2007). Pudrición de raíces secundarias, terciarias y de pelos absorbentes, las cuales toman una coloración marrón (Duarte y Tovar, 2007), esto se relaciona con alteración en la absorción y translocación del agua en las palmas afectadas por la ml (Cayón *et al.*, 2007). Los síntomas internos difieren entre las plantas adultas y las jóvenes (Rocha *et al.*, 2007). En las palmas adultas se presenta un halo amarillento en la parte alta del estípite, mientras que en las palmas jóvenes se identifica una decoloración interna del bulbo (Rocha *et al.*, 2007). En estados avanzados de la enfermedad, indistintamente de

la edad de la palma, se presenta una pudrición de flechas, con olor fétido y de aspecto gelatinoso (Duarte y Tovar, 2007).

2.1.2 Agente causal

Dada la naturaleza biótica y epidemiológica de la enfermedad, la capacidad de ser transmitida por un vector, la sintomatología de las palmas afectadas y la similitud con enfermedades de referencia como el amarillamiento letal en palmas de coco, se estableció que el agente causal es un fitoplasma (Bustillo y Arango, 2016; Elliot, 2007). Rocha *et al.* (2007) descartaron microorganismos como hongos, bacterias y fitomonas como posibles causales de la enfermedad.

Los fitoplasmas son microorganismos más pequeños que las bacterias, son de formas diversas, procariotas, unicelulares, rodeados por una membrana pero sin pared celular, pueden sintetizar aminoácidos y una de sus características más particulares es que no es posible su aislamiento y multiplicación en medios de cultivo (Mitchell, 2014; Weintraub y Beanland, 2006). Estos microorganismos pueden ser transmitidos por insectos del orden Hemiptera, familias Cicadellidae, Cixiidae y Derbidae, los cuales poseen aparato bucal picador-chupador y su proceso evolutivo está íntimamente relacionado (Weintraub y Beanland, 2006).

Desde que se iniciaron las investigaciones en torno a la ml, el desarrollo de la enfermedad se ha asociado a la presencia de insectos chupadores y de gramíneas en lotes afectados (Martínez, 2010; Morillo *et al.*, 2012). Los primeros trabajos de manejo de la enfermedad se enfocaron en el control de gramíneas y la aplicación de insecticidas (Mena *et al.*, 1975; Arango *et al.*, 2011b). Arango *et al.* (2011b), reprodujeron los síntomas de la ml en palmas de aceite, y transmitieron el fitoplasma patógeno de plantas enfermas a plantas sanas con la manipulación de poblaciones de *H. crudus*; concluyendo que este insecto es vector de la enfermedad, y establecieron los tiempos experimentales de adquisición, incubación y transmisión del patógeno y el tiempo en que la palma expresa síntomas visibles. Aunque no se descarta la participación de otros insectos en la diseminación de la enfermedad, estos resultados generaron un punto de inflexión respecto al direccionamiento de los

trabajos de investigación en pro del manejo de la enfermedad asociado al manejo de las poblaciones de insectos vectores (Rairán *et al.*, 2015).

2.1.3 *Haplaxius crudus* Van Duzee

H. crudus fue identificado inicialmente como *Myndus crudus* (Arango *et al.*, 2011b) y como *Haplaxius pallidus* (Mena *et al.*, 1975), pertenece al suborden Auchenorrhyncha donde se encuentran la mayoría de los vectores de enfermedades relacionadas con fitoplasmas (Tsai, 1979). *H. crudus* está identificado como el principal vector del Amarillamiento Letal (AL) de los cultivos de Cocotero en América y África (Howard y McCoy, 1980).

Los adultos de *H. crudus* son conocidos como chicharritas o salta hojas, son insectos pequeños y se alimentan succionando la savia de las hojas (Gitau *et al.*, 2009), principalmente de palmas (Howard y Gallo, 2006) y se registran más de 35 especies de plantas como hospedantes de esta especie (Howard, 1990). Las hembras son de color verde claro, miden aproximadamente 5 mm desde el vértex de la cabeza hasta el ángulo apical de las alas y su ovipositor es de fácil identificación. Los machos son ligeramente más pequeños que las hembras y presentan un color más claro (Howard y Gallo, 2006). El adulto puede vivir hasta 50 días alimentándose en la palma de cocotero (Tsai y Kirsch, 1978), sin embargo este tiempo varía dependiendo de la especie de palma donde se alimente (Howard y Gallo, 2006).

Los adultos copulan en el follaje de las palmas, posteriormente las hembras bajan y colocan sus huevos en la base de las gramíneas, entre las vainas de las hojas más longevas, en proceso de secamiento (Howard y Wilson, 2001) y cerca de las raíces y estolones en suelo con buena humedad (Reinert, 1977). Pueden poner huevos de forma individual o en grupos de hasta cinco (Howard y Wilson, 2001).

Los huevos son alargados, cilíndricos, con los extremos redondeados (Howard y Wilson, 2001), de aproximadamente 0,52 mm de largo y 0,20 mm de ancho, (Tsai y Kirsch, 1978); son de color crema, traslúcidos al momento de la oviposición y blancos cuando están próximos a eclosionar, en ese momento se puede observar las estructuras de la futura ninfa dentro del corion (Howard y Wilson, 2001); tardan entre 18 y 20 días en eclosionar, a una temperatura de 24 °C y 11 días a 30 °C (Howard *et al.*, 1983).

Una vez emergen las ninfas se ubican en las raíces superficiales, cercanas a los tallos de las gramíneas, donde se alimentan y desarrollan; se pueden encontrar hasta 3 cm de profundidad (Howard y Wilson, 2001). La población de ninfas puede estar influenciada por el tamaño de la gramínea (Howard y Wilson, 2001), el contenido de materia orgánica (Howard y Oropeza, 1998) y la humedad del suelo (Howard, 2012). Las cavidades donde se encuentran las ninfas presentan secreciones cerosas de color blanco producida por los mismos insectos para su protección (Howard, 1987): La presencia de estas secreciones en la base de las macollas es un indicador de poblaciones de ninfas (Arango *et al.*, 2011b). *H. crudus* presenta cinco estados ninfales, con tamaños que van desde los 0,64 mm en su primer instar hasta 2,68 mm antes de emerger como adulto (Howard y Wilson, 2001). Los primeros dos estados ninfales son de color gris pálido, los últimos presentan coloraciones verdosas (Redford *et al.*, 2010). El desarrollo de los estados inmaduros desde la eclosión del huevo hasta el último estado ninfal tarda 61,3 días a 24 °C y de 41,5 días a 30 °C (Howard *et al.*, 1983). Las ninfas no se alimentan de las palmas de coco y no son capaces de transmitir la enfermedad del AL (Howard y McCoy, 1980). En palma de aceite las ninfas de *H. crudus* tampoco se consideran transmisoras de la ml.

Se ha identificado ninfas de *H. crudus* alimentándose en las raíces de más de 20 especies de gramíneas y ciperáceas (Tsai y Kirsch, 1978; Villanueva *et al.*, 1987), muchas de las cuales están asociadas con cultivos de palma de aceite, en la región del Zulia, Norte de Santander (Zenner y López, 1977) y en los llanos orientales de Colombia (Tupaz, 2009). En el Meta, establecieron una mayor presencia de ninfas de *H. crudus* en las especies *Panicum maximum* (Jacq, 1988) (Cyperales: Poaceae), *Paspalum virgatum* (L., 1759) (Poales: Poaceae), *Eleusine indica* (L., 1788) (Poales: Poaceae), y *Digitaria sanguinalis*, (L., 1771) (Poales: Poaceae) (Sierra *et al.* 2014). También se reportó en *Brachiaria humidicola* (Rendle, 1936) (Poales: Poaceae), pasto ampliamente usado como alimento en la producción ganadera asociada a plantaciones de palma (Sierra *et al.*, 2014).

2.1.4 Epidemiología

Una palma enferma por ml representa un foco de infección para las que la rodean y, según la tasa de desarrollo de la enfermedad, una palma puede infectar hasta 22 palmas en el siguiente ciclo de infección (Arango et al. 2011a).

Los adultos de *H. crudus* adquieren el patógeno cuando se alimentan de la savia de plantas enfermas; al interior del insecto, el patógeno se almacena en las glándulas salivales y cumple un proceso de incubación para su transmisión a plantas sanas (Arango et al. 2011a). De manera experimental, los tiempos de adquisición, incubación y transmisión son de 2,7; 5,6 y 2,6 días respectivamente (Arango et al., 2011b).

En los llanos orientales, aunque hay casos de palmas enfermas a lo largo de todo el año; la incidencia más alta de la enfermedad se presenta entre los meses de junio y septiembre (Arango et al., 2011a). Esta situación sería el resultado de la infección generada por altas poblaciones de adultos de *H. crudus* registradas en foliolos de palmas seis meses atrás, en la época seca de diciembre y marzo (Arango et al., 2011a; Sierra et al., 2014). La mayor población de adultos en las palmas durante la época seca está relacionada con el secamiento y disminución de las gramíneas hospederas (Arango et al., 2011a). Estos resultados se ajustan a los tiempos de incubación de la enfermedad dentro de la palma, de 5,6 meses, descritos por Arango et al. (2011a), muy similar a los 5,2 meses reportados por Mena y Martínez (1977).

2.1.5 Manejo

Con la confirmación de *H. crudus* como vector del agente causal de la ml en palma de aceite (Arango et al., 2011b) y los estudios de epidemiología de la enfermedad (Arango et al., 2011a) se establecieron técnicas dentro de un manejo integrado, fundamentado en la eliminación de las palmas enfermas como fuente de inoculo y la reducción de poblaciones del insecto vector (Arango et al., 2011a). Se recomienda realizar censos semanales para detección temprana de palmas con síntomas de la enfermedad y su erradicación química o mecánica en menos de 24 horas, además la eliminación de plantas hospederas de estados inmaduros con la utilización de herbicidas eficientes dirigidos a los parches de gramíneas (Arango et al., 2011c). El establecimiento de coberturas con plantas leguminosas que no hospedan al vector y que cubren la superficie del suelo desplazando e impidiendo el resurgimiento de gramíneas (Arango et al., 2011a). Las coberturas con

leguminosas presentan otros beneficios al cultivo, como la fijación de nitrógeno en el suelo, la retención de agua y la reducción de la erosión, entre otros (Ruiz y Molina, 2014). La aplicación de insecticidas dirigidos al follaje de las palmas para hacer una intervención de choque que reduzca las poblaciones de adultos de *H. crudus* es una labor que se debe realizar en los meses en que hay más insectos en las palmas, es decir en la época seca entre los meses de diciembre y marzo, y se debe hacer de forma periódica teniendo en cuenta los tiempos de residualidad de los insecticidas utilizados (Sierra *et al.*, 2011). Así se protege las palmas durante la época crítica y se reduce la aparición de palmas enfermas 6 meses después (Arango *et al.*, 2012). La aplicación de insecticidas al follaje de las palmas se debe hacer en casos extremos, si las demás medidas no fueron implementadas a tiempo (Arango *et al.*, 2011c y 2011a). Para monitorear la presencia de adultos de *H. crudus* se utilizan trampas pegajosas de color amarillo, que se colocan a 75 cm sobre el nivel del suelo y en el tercio medio del follaje de la palma (Arango *et al.*, 2012). Esta labor brinda información de cómo fluctúa el número de adultos de *H. crudus* que visitan las palmas y ha permitido establecer las épocas del año en que las poblaciones son más elevadas; información relevante para recomendar la aplicación de insecticidas (Arango *et al.*, 2012). Los resultados de implementar en campo las estrategias de control mencionadas anteriormente permitieron manejar exitosamente la enfermedad, en plantaciones del municipio de Cabullaro en el departamento del Meta (Rairán *et al.*, 2015).

Aunque se tiene un plan para manejar la ml en los cultivos de palma de aceite, estructurado por los investigadores de Cenipalma y los palmicultores (Rairán *et al.*, 2015), se ha considerado que este manejo demanda una alta aplicación de insecticidas químicos cuyos efectos inmediatos sobre la población objetivo pueden ser positivos, pero no existen trabajos que cuantifiquen su efecto sobre las poblaciones no objetivo como parasitoides, depredadores y polinizadores (Bustillo, 2014). La regulación de las poblaciones de insectos fitófagos en los agroecosistemas perennes como la palma de aceite y los cultivos forestales se puede dar de manera eficiente y natural por controladores biológicos (Bustillo, 1974, 1979, 2014), además las condiciones de estos cultivos favorecen el establecimiento de estrategias de control biológico clásico y aumentativo y es donde existen los ejemplos más exitosos (Bustillo, 2014). Por lo tanto, el desarrollo de tecnologías para el manejo de los insectos en el cultivo de palma de aceite debe ser amigable con el medio ambiente; esto es preservar la diversidad asociada a los cultivos, permitir el establecimiento de plantas

nativas de las diferentes zonas palmeras como leguminosas y nectaríferas, y la utilización de hongos, nematodos, bacterias y virus entomopatógenos (Bustillo, 2014). Se deben evaluar otros frentes de investigación con el fin de hacer más eficiente el manejo de la ml, como hongos y nematodos biocontroladores para reducir la poblaciones de *H. crudus*, (Rosero *et al.*, 2014). Adicionalmente, el establecimiento de estrategias de muestreo y monitoreo eficientes, que consideren los patrones de distribución, los factores que influyen en dicha distribución y las unidades mínimas de muestreo que brinden la información confiable para la tomo de decisiones, son el fundamento ecológico del manejo integrado de plagas, dentro de cualquier sistema agrícola productivo. Los principales objetivos del monitoreo son la detección de la plaga y la determinación de la densidad poblacional, la distribución y la dinámica (Pedigo y Rice, 2014).

Este trabajo tiene como objetivo, establecer una técnica de muestreo de ninfas de *H. crudus*, identificando las características de las macollas que favorecen las poblaciones, la distribución espacial de la plaga y el distanciamiento adecuado entre puntos de muestreo para la estimación poblacional, cuya implementación permita hacer un monitoreo de las ninfas de *H. crudus* en plantaciones de palma de aceite.

2.2 Conceptos de Muestreo

El establecimiento del tamaño poblacional de una plaga que sea capaz de causar daño económico a la producción, así como la técnica adecuada de muestreo, son fundamentales para el diseño y puesta en marcha de un Manejo Integrado de Plagas (MIP) eficiente (Pedigo y Rice, 2014).

La obtención de datos mediante un muestreo es el primer paso para desarrollar un trabajo de investigación en campo (Badii *et al.*, 2004). Por lo tanto, el muestreo debe estar perfectamente definido para desarrollar o seleccionar el programa adecuado (Badii *et al.*, 1995; Morris, 1955; Cochran, 1977; Kogan y Herzog, 1980; Taylor, 1984).

En MIP, una unidad de muestreo (UM) es una fracción del espacio habitable en la cual se cuentan los insectos, su dimensión es establecida por el evaluador bajo criterios de identificación y no traslape (Pedigo y Rice, 2014). La suma de los insectos en todas las UM equivale a la población del insecto (Pedigo y Rice, 2014). Contar la totalidad de la población de todas las UM es imposible en términos financieros, laborales, temporales y

estructurales (Badii *et al.*, 2004), por ello, para estimar toda la población se selecciona un grupo de estas UM, que se denomina como muestra (Badii *et al.*, 2004). El tamaño de la muestra es el número de UM que componen la muestra (Badii *et al.*, 2004). La dimensión de las unidades de muestreo, como su cantidad, son características determinadas por el plan de muestreo, el cual detalla la técnica de muestreo y los pasos para estimar la población (Pedigo y Rice, 2014; Badii *et al.*, 2004; Badii *et al.*, 2012).

El desarrollo de una técnica de muestreo está asociada al tipo de estimación poblacional, las cuales pueden ser absolutas o relativas (Badii *et al.*, 2004). Las estimaciones absolutas, miden el número real de insectos, cuyos valores se expresan en número de individuos por unidad de área (Badii *et al.*, 2004). Las estimaciones absolutas son menos frecuentes porque el tiempo y costo, limitan su uso práctico en campo, se utilizan con mayor frecuencia en trabajos de investigación (Pedigo y Rice, 2014; Badii *et al.*, 2004; Badii *et al.*, 2012). Las estimaciones relativas, dependen de la técnica de muestreo utilizada y no representan un número real de insectos por área, sino un número de insectos en función de la técnica de muestreo; sin embargo, por su facilidad de implementación y bajo costo, son las más ampliamente utilizadas en el monitoreo de plagas (Pedigo y Rice, 2014; Badii *et al.*, 2004; Badii *et al.*, 2012). Estimaciones absolutas pueden ser obtenidas a partir de estimaciones relativas, pero se requiere de trabajos de investigación donde estimaciones tanto absolutas como relativas se puedan analizar bajo regresiones estadísticas para establecer su asociación (Pedigo y Rice, 2014; Badii *et al.*, 2004; Badii *et al.*, 2012).

2.3 Redes de muestreo mediante geoestadística

La geoestadística es la rama de la estadística espacial que estudia los fenómenos espaciales continuos (Samper y Carrera, 1990). Dentro de las opciones para el muestreo espacial, el Kriging, como técnica de interpolación geoestadística, se adapta bien a los diseños de observación en redes, ya que no depende de la media de la variable y permite determinar la localización de los puntos de muestreo minimizando la varianza (Samper y Carrera, 1990).

Las técnicas de interpolación estadístico-probabilísticas como el Kriging usan el semivariograma como una herramienta de apoyo que cuantifica la variación en el espacio de un fenómeno regionalizado (Clark, 2001; Cressie, 1993). En él se definen parámetros

como: I) el rango, que es la distancia máxima en la que se correlacionan espacialmente las observaciones, II) la meseta, que es el valor del semivariograma a la distancia del rango y, III) el nugget, que indica la discontinuidad del semivariograma en distancias menores a la separación mínima de las observaciones (Gerbi *et al.* 2004).

Generalmente se asume que la correlación es igual en todas las direcciones (isotrópica); sin embargo, cuando en la determinación experimental del semivariograma se tiene en cuenta la distancia entre unidades de muestreo (UM) y también la dirección relativa entre ellas, puede haber anisotropía, que indica que la auto correlación puede no ser igual en todas direcciones (Gerbi *et al.*, 2004). Como resultado de la anisotropía se generan dos rangos, uno menor y uno mayor; para efectos del distanciamiento de la UM se tiene en cuenta el rango menor, ya que todos los puntos dentro de este rango están correlacionados.

De acuerdo con los valores obtenidos para el semivariograma experimental, éste se debe ajustar a un modelo teórico, con el fin de que el modelo ajustado represente mejor la tendencia entre los valores estimados y los valores reales y de este modo obtener predicciones más precisas a través de la interpolación con kriging (Chauvet, 1993; Gilardi, 2002).

2.3.1 Interpolación mediante kriging

El kriging es un procedimiento de interpolación con el que se puede estimar variables en puntos donde no se tomó información (Felgueiras, 1999). En este método, las predicciones son determinadas teniendo en cuenta el análisis espacial basado en el semivariograma (Felgueiras, 1999). En el Kriging, la diferencia promedio entre los valores calculados y observados debe ser nula y con varianza mínima (Samper y Carrera, 1990). Uno de los métodos de Kriging más robustos y empleados es el Kriging ordinario, que asume que el valor promedio de la variable regionalizada es desconocido, generalizando el uso de esta técnica en los casos donde la media no es constante en el espacio (Webster y Oliver, 2007).

2.3.2 Validación cruzada

Con el fin de probar si el modelo de semivarianza ajustado es válido, se utiliza una técnica denominada validación cruzada (Clark, 1986), la cual consiste en eliminar del análisis una

de las observaciones y, con los valores restantes y el modelo de semivarianza seleccionado, predecir mediante kriging el valor de la variable en el punto donde se eliminó la observación (Clark, 1986). La diferencia entre el valor observado y el valor predicho debe ser pequeña para poder afirmar que el modelo seleccionado es el adecuado (Clark, 1986). El procedimiento de validación cruzada se realiza secuencialmente con cada una de los puntos o unidades de muestreo, para obtener un conjunto de errores de predicción (Clark, 1986).

El modelo de semivarianza que mejor se ajuste debe presentar: I) una raíz media estandarizada del cuadrado del error de predicción (RMSS) cercana a uno (1), II) una media estandarizada de los errores de predicción (MS) cercana a cero (0), III) la raíz media del cuadrado de los errores de predicción (RMS) cercana al valor del error estándar promedio (ASE) y IV) una media de los errores de predicción (M), cercana a cero (0) (Clark, 1986).

En la selección del modelo, los criterios con mayor peso son la RMSS y la MS. Adicional a los criterios estadísticos, el análisis del investigador teniendo en cuenta el comportamiento de la variable, el área de estudio y las observaciones de campo, es importante para seleccionar el modelo más acertado (Clark, 1986).

2.3.3 Redes de muestreo espacial

Usualmente no es posible obtener datos en todas las unidades de muestreo del área de estudio, ya sea por factores financieros u operativos, lo que realza la importancia del tamaño de la muestra (Pedigo y Rice, 2014). En geoestadística se ha establecido que para estimar un semivariograma aceptable se requiere la información de 100 a 150 muestras (Webster y Oliver, 1992). Para seleccionar el tamaño y la ubicación espacial de los puntos de muestreo se debe tener en cuenta la heterogeneidad del proceso y la variabilidad espacial del fenómeno así como los objetivos de la investigación (Banjevic, 2004). El ajuste de modelos de varianza para la predicción de valores mediante kriging es un factor importante en el diseño espacial de la red y de la ubicación de los puntos de muestreo (Van Groenigen, 2000; Lloyd y Atkinson, 1999). Teniendo en cuenta la media del error de

predicción en los puntos no muestreados, los criterios a optimizar son la mínima varianza de estimación, la máxima varianza condicional y la máxima entropía (Banjevic, 2004).

Para seleccionar los sitios a evaluar dentro del área de estudio se debe establecer el método de muestreo (Pedigo y Rice, 2014). El muestreo aleatorio simple, aleatorio estratificado, aleatorio en cluster, aleatorio regular y regular no aleatorio, son los métodos más utilizados (Pedigo y Rice, 2014). Uno de los muestreos más fácil de implementar es el aleatorio regular, el cual provee clases direccionales precisas que permiten estimar semivariogramas confiables (Cressie, 1993).

Las mallas regulares de muestreo más utilizadas son las rectangulares, triangulares y hexagonales, sin embargo, la malla triangular equilátera permite un análisis más amplio de la dependencia espacial (Cressie, 1993). Los diseños regulares de las mallas de muestreo, suelen ser analizados más eficientemente que los diseños aleatorios, una de las ventajas es que reduce el número de intervalos evaluados con los estimadores del semivariograma y, según los resultados, es posible reducir el número de puntos que se necesitan para resolver las ecuaciones de Kriging (Cressie, 1993).

3. Metodología

3.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en la finca Villa Fernanda ubicada en el Km 40, vía Acacias-San Carlos de Guaroa, Vereda Barro Blanco, municipio de Castilla la Nueva (Fig. 1), con 300 msnm en promedio, clima tropical, 25,6°C de temperatura media, precipitación anual de 3175 mm, con tiempo seco de diciembre a marzo y lluvias durante el resto del año.

La plantación de palma seleccionada tiene un área de 29,5 ha, sembradas en el 2008. En este cultivo se identificó previamente la presencia de ninfas de *H. crudus*, así como de especies de gramíneas y ciperáceas descritas como plantas hospederas.

3.2 Recolección de datos en campo del número de ninfas de *Haplaxius crudus* en la Finca Villa Fernanda

La georeferenciación del lote seleccionado para el desarrollo de la investigación se realizó con ayuda de un GPS garmin referencia 62S, con precisión de 2 m. Se ubicaron todas las palmas y los espacios vacíos, resultado de la eliminación de algunas plantas. Se georeferenciaron 3.209 puntos en total, con los cuales se conformaron 1.120 unidades de muestreo (UM), las cuales representaron el universo muestral. Esta información fue la base para establecer el tamaño y el muestreo más adecuado para alcanzar los objetivos de esta investigación. Las UM constaron de un área de 210,42 m², área que abarca el hexágono formado por las seis palmas que rodean una palma central (Fig. 3A). El sistema de coordenadas de referencia de la información geográfica corresponde al sistema MAGNA_Villavicencio_Meta_2011, WKID: 6274 Autoridad: EPSG.

Teniendo en cuenta los recursos económicos y el tiempo estimado para el desarrollo de la investigación, se estableció la evaluación de 120 UM, correspondiente al 10,7% del universo muestral, con base en la recomendación de Webster y Oliver (1992) de 100 a 150 muestras para obtener un análisis geoestadístico y una estimación de semivariograma adecuada. Se constituyó una malla triangular equidistante a 46,76 m con la cantidad de UM a evaluar siguiendo la geometría de siembra de las palmas (Fig. 2).

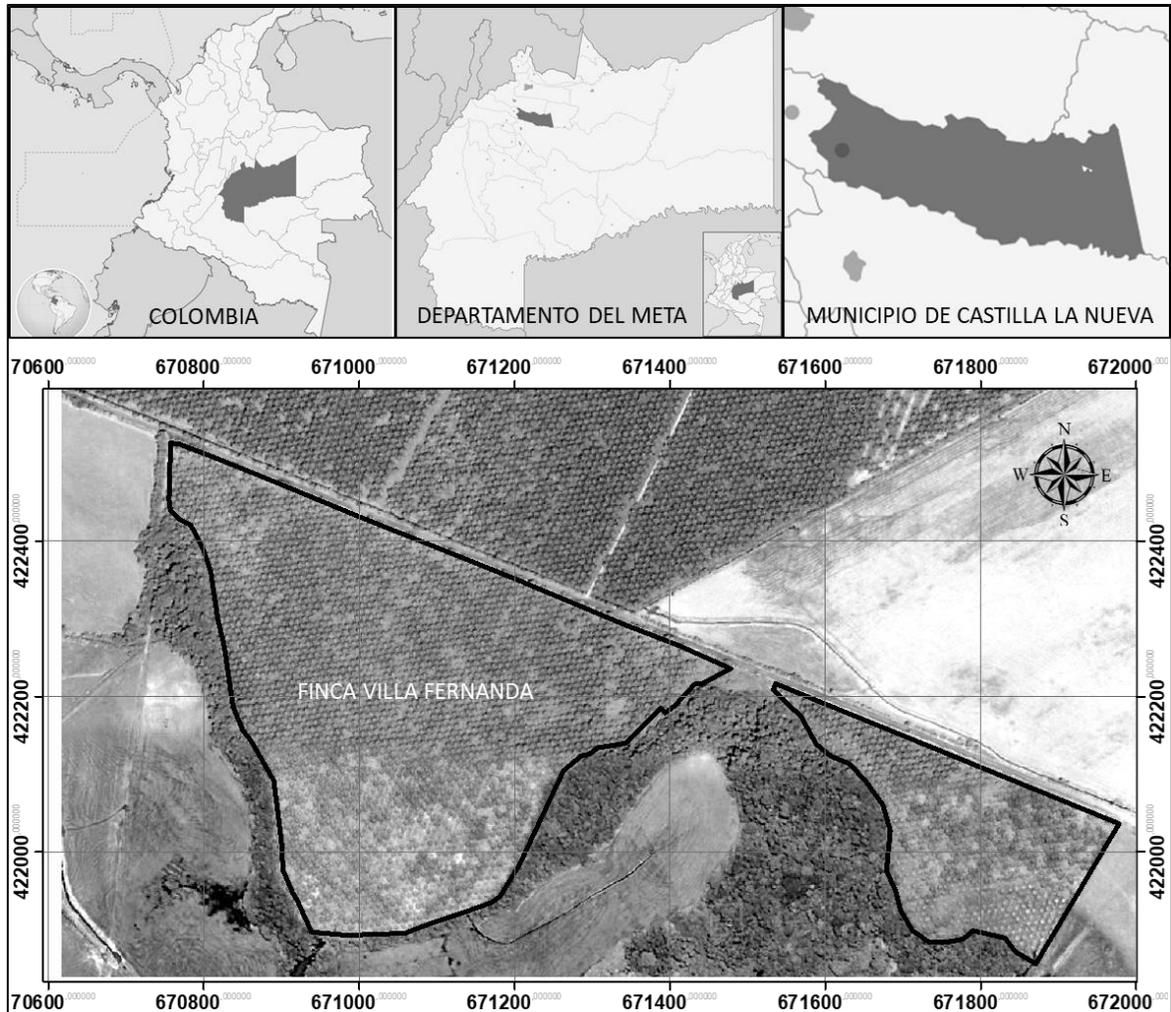


Figura 1. Localización geográfica de la Finca Villa Fenarda¹

En el trabajo de campo se procedió a localizar y marcar las UM, con el fin de facilitar su ubicación durante el desarrollo de las evaluaciones. Esta marcación se realizó pintando con color fluorescente el estípite de la palma central de cada UM. Se realizaron dos tipos de evaluación por UM, una con el objetivo de establecer el número total de macollas hospedera de ninfas de *H. crudus* y el número de estas macollas que efectivamente

presentaban infestación, y la segunda con el objetivo de establecer las características de las macollas infestadas

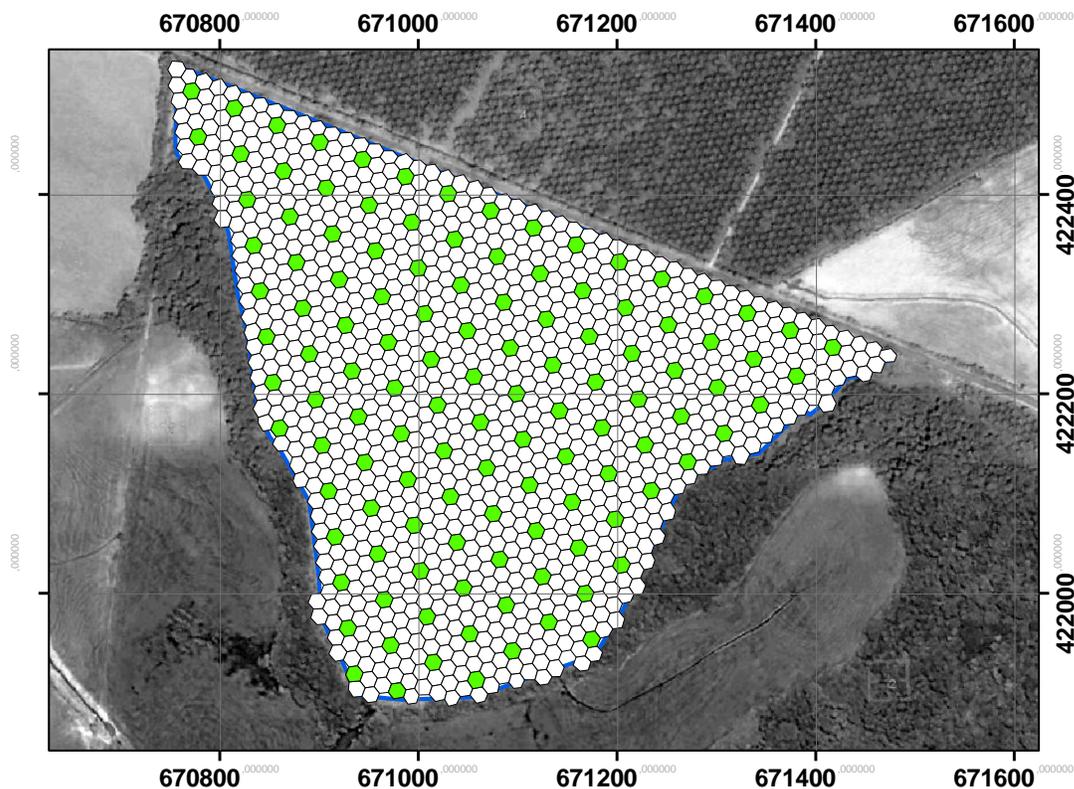


Figura 2. Perímetro del lote seleccionado para el desarrollo de la investigación en la Finca Villa Fernanda (línea azul). Malla con el total de Unidades Muéstrales (UM) que conforman el universo muestral (hexágonos negros). Malla con las unidades de muestreo (UM) que fueron evaluadas (hexágonos verdes).

Para la evaluación de la UM, se seleccionaron seis especies de plantas hospederas, tres gramíneas (*Paspalum virgatum*, *Digitaria sanguinalis*, *Brachiaria decumbens*) y tres ciperáceas (*Rhynchospora nervosa*, *Cyperus luzulae*, *Cyperus corymbosus*). Estas plantas fueron escogidas por ser las más recurrentes en la plantación y por investigaciones previas de ser hospederas. Durante el desarrollo del trabajo se evaluaron otras especies sospechosas de hospedar ninfas de *H. crudus*; sin embargo, los resultados siempre fueron negativos.

Las plantas infestadas fueron reconocidas en campo, previa capacitación e identificación de las características morfológicas de las especies clasificadas taxonómicamente en

trabajos realizados por Cenipalma (Tupaz, 2009). Se registró su altura en centímetros (cm), medida desde el suelo hasta donde doblaba su hoja más apical. Se contó el número de tallos que la conformaban y el número de ninfas que presentaba; el muestreo fue destructivo, tanto de las ninfas como de las plantas desintegrando las macollas sobre una tela de color negro que contrastaba con el color de las ninfas, para facilitar su observación.

Para facilitar la valoración de las UM en el área que abarcaba, se estableció un método sistemático de evaluación. El área total de la UM se dividió en áreas más pequeñas para facilitar su delimitación y evaluación. El hexágono de 210,42 m² que comprendía el área de la UM se dividió en seis áreas triangulares de 35,07 m² que se numeraban del 1 al 6 (Fig. 3B) y éstas, a su vez, se subdividieron en 9 áreas triangulares de 3,89 m² que se identificaban con las letras de la "a" a la "i" en orden alfabético (Fig. 3C). De esta forma, toda la UM quedaba dividida en 54 áreas, que durante la evaluación eran delimitadas fácilmente con tres tubos de PVC de 3 m de largo formando un triángulo equilátero (Fig. 3D)

La evaluación de una UM requería entre uno y dos días dependiendo del número de macollas. Las evaluaciones iniciaron el 12 de junio y culminaron el 19 de diciembre de 2017. Toda la información se registró en formularios que se digitalizaron y anexaron al libro de campo.

3.3 Análisis estadístico de los datos

Para la definición de cuáles plantas hospederas estaban en mayor número y cuáles presentaron la mayor cantidad de ninfas de *H. crudus* se empleó análisis de estadística descriptiva. Estos análisis proporcionaron información sobre las especies con porcentajes bajos de infestación y permitieron centrar los análisis en las especies más representativas en cuanto a la presencia de ninfas.

Para establecer los parámetros que facilitarían la identificación en campo de las macollas con presencia de ninfas de *H. crudus*, se realizó un análisis mediante estadística descriptiva teniendo en cuenta las particularidades de las macollas infestadas tales como la altura y el número de tallos y, los parámetros asociados a las unidades de muestro (UM) como la cantidad de macollas, de macollas infestadas y el número de ninfas. Estos análisis

se realizaron con el paquete estadístico SPSS 22 (Statistical Package for the Social Sciences).

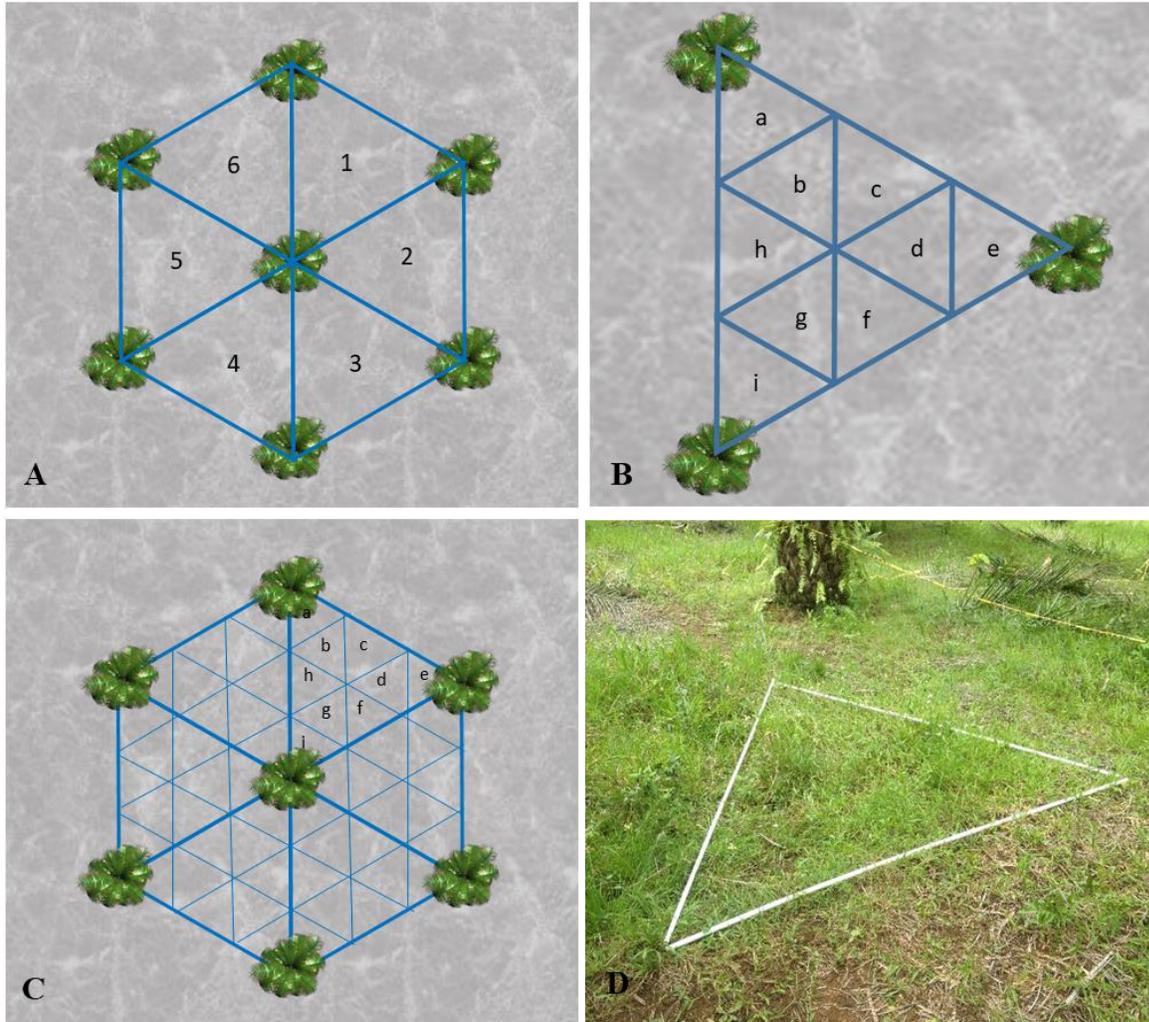


Figura 3. **A.** Unidad de muestreo (UM) con área de 210,42 m² dividida en seis áreas de 35,07 m² numeradas del 1 al 6. **B.** Subdivisión en 9 áreas triangulares de 3,89 m² de uno de los seis triángulos en que se dividió la unidad de muestreo (UM) identificados con las letras de la “a” a la “i” en orden alfabético. **C.** Subdivisión total de la unidad de muestreo UM, en 54 áreas de 3,89 m². **D.** delimitación de las subdivisiones con tres tubos de PVC de tres metros de longitud.

3.4 Análisis de correlación y regresión

La determinación de la técnica de conteo de ninfas de *H. crudus* que permita estimar la población en áreas sembradas con palma de aceite, se realizó mediante el índice de correlación lineal de Pearson y la Regresión correspondiente a las relaciones entre el número de macollas, número de macollas infestadas, número de ninfas y el total de ninfas, en las especies hospederas que más individuos registraron.

La relación entre la altura y el número de tallos que conformaban las macollas respecto al número de ninfas de *H. crudus* se determinó mediante el uso del paquete estadístico SPSS 22 (Statistical Package for the Social Sciences).

3.5 Análisis geoestadístico y modelación espacial

Se realizó una transformación de tipo $\text{Log}(x+1)$ para verificar la normalidad de los datos puesto que la prueba inicial resultó negativa. Se graficó la nube de puntos del semivariograma con los datos transformados y, se identificaron pares de datos con valores altos respecto a la mayoría de puntos en la nube. Se generaron diferentes semivariogramas empíricos modificando el tamaño y número de rezagos y se evaluó el ajuste a modelos teóricos de semivarianza mediante validación cruzada. Estos análisis se hicieron con la extensión Geostatistical Wizard del software ArcGIS 10.4.1.

Los modelos obtenidos se analizaron teniendo en cuenta los parámetros de los semivariogramas y los resultados de la validación cruzada, también se tuvo en cuenta las observaciones del trabajo en campo. Se seleccionó el modelo de predicción que presentaba mejor ajuste a la distribución de ninfas de *H. crudus* en el área de estudio mediante la interpolación por kriging ordinario,

Dentro de los parámetros del modelo de semivariograma seleccionado, el rango representa la distancia máxima en la que los valores analizados presentan correlación, por lo tanto, esta es la distancia a la que se deberán ubicar dos puntos consecutivos de muestreo de ninfas de *H. crudus* dentro del área de estudio, de este modo y conservando la distribución en forma de malla triangular, se establece el número de puntos de muestreo por unidad de área.

Se realizó una modelación con los datos que se encontraban a la mayor distancia posible dentro del rango de correlación y los resultados de esta modelación se compararon con el modelo original para verificar el ajuste teniendo en cuenta el error estándar de las predicciones.

4. Resultados

En el desarrollo de las evaluaciones en esta investigación, se diligenciaron debidamente 720 formularios con la fecha y responsable de la evaluación, la información de las plantas hospederas de ninfas de *H. crudus* y observaciones en cada una de las UM, como tipo de vegetación, número de palmas o puntos sin palma, huella de tránsito, montón de hojas de poda o cosecha, ente otras, que pudieran ser de interés durante el análisis de la información.

Se evaluaron 99.662 macollas de seis especies vegetales: tres gramíneas (Poaceae), *Paspalum virgatum*, *Digitaria sanguinalis* y *Brachiaria decumbens* y tres ciperáceas (Cyperaceae): *Rhynchospora nervosa*, *Cyperus luzulae* y *Cyperus corymbosus* (Tabla 1). Las especies de gramíneas representaron el 63,3% del total de macollas evaluadas y éstas albergaron el 99,8% del total de ninfas encontradas. Dentro de las gramíneas, la especie *B. decumbens* presentó una macolla infestada de 14.647 evaluadas (0,02%). Por esta razón, se descartaron las especies ciperáceas y la gramínea *B. decumbens* como plantas de interés para el muestreo de ninfas de *Haplaxius crudus* (Tabla 1). La especie *D. sanguinalis* fue la gramínea con el mayor número de plantas evaluadas con 46.916, el 47,08% del total de macollas, de las cuales el 1,25%, estaban infestadas con ninfas de *H. crudus*, para un total de 2.483 ninfas en 595 macollas.

La especie *P. virgatum*, fue la que registro menor número de plantas con 1.516 correspondientes al 1,52% del total de macollas evaluadas; sin embargo, presentó el mayor porcentaje de macollas infestadas, con un 26,72% y con 3.309 ninfas en 405 macollas (Tabla 1). Las especies que albergaron las poblaciones más altas de ninfas de *H. crudus* fueron *Paspalum virgatum* y *Digitaria sanguinalis* con el 99,4% del total de ninfas contabilizadas (Tabla 1), por lo que fueron seleccionadas como las especies con más probabilidades de ser muestreadas para la estimación de la población de ninfas de *Haplaxius crudus*.

Tabla 1. Número de macollas evaluadas, infestadas y número de ninfas por especie vegetal evaluada.

| Especie | Macollas Evaluadas* | Macollas Infestadas* | Total Ninfas* |
|------------------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| <i>Paspalum virgatum</i> | 1.516 | 405 | 3.309 |
| <i>Digitaria sanguinalis</i> | 46.916 | 595 | 2.483 |
| <i>Brachiaria decumbens</i> | 14.647 | 1 | 1 |
| <i>Rhynchospora nervosa</i> | 16.933 | 3 | 7 |
| <i>Cyperus luzulae</i> | 741 | 0 | 0 |
| <i>Cyperus corymbosus</i> | 18.909 | 2 | 6 |
| Total | 99.662 | 1.006 | 5.806 |

Unidad del parámetro: *Número

4.1 Análisis de correlación entre los parámetros de infestación de las macollas y el número total de ninfas de *Haplaxius crudus*

Los coeficientes de correlación de Pearson (r) mostraron correlaciones significativas ($P < 0,05$) y positivas, con coeficiente de determinación (R^2) superiores a 0,80, entre el número de macollas de *P. virgatum*, y el número de macollas de *P. virgatum* infestadas, entre el número de macollas de *P. virgatum* infestadas y el número de ninfas en las macollas de *P. virgatum*, y por último entre el número de ninfas en las macollas de *P. virgatum* y el número de ninfas total, es decir, las ninfas presentes en todas las macollas de las distintas especies evaluadas (Tabla 2).

Los coeficientes de correlación obtenidos entre el número de macollas de *D. sanguinalis* y el número de macollas de *D. sanguinalis* infestadas y entre el número de ninfas en las macollas de *D. sanguinalis* y el total de ninfas, fueron significativas ($P < 0,05$) y positivas; sin embargo, presentaron coeficientes de determinación (R^2) inferiores a 0,80, correlaciones menos fuertes que las obtenidas para las macollas de *P. virgatum*. En este

análisis se observó una fuerte relación entre el número de macollas infestadas de *D. sanguinalis* y el número de ninfas en estas macollas, con coeficiente de correlación de Pearson (r) y de determinación (R^2) superiores al 0,90 (Tabla 2). Estos resultados indican que, independiente de la especie, un mayor número de plantas infestadas está directamente relacionado con un mayor número de ninfas en las plantas de la misma especie.

Tabla 2. Coeficientes de Correlación de Pearson (r) (diagonal superior) $p < 0,05^*$ y coeficiente de determinación (R^2) (diagonal inferior), entre el número de macollas, número de macollas infestadas y número de ninfas, en las especies *Paspalum virgatum* y *Digitaria sanguinalis* y el total de ninfas de *Haplaxius crudus*.

| | Macollas <i>P.</i> <i>virgatum</i> | Macollas infestadas <i>P. virgatum</i> | Ninfas <i>P. virgatum</i> | Macollas <i>D. sanguinalis</i> | Macollas infestadas <i>D. sanguinalis</i> | Ninfas <i>D. sanguinalis</i> | Total Ninfas |
|---|--|--|------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|-----------------|
| Macollas <i>P. virgatum</i> | ~ | 0,9014* | 0,8160 | 0,6144 | 0,1464 | 0,1997 | 0,6595 |
| Macollas infestadas <i>P. virgatum</i> | 0,8126 | ~ | 0,9277* | 0,5675 | 0,2653 | 0,2976 | 0,7815 |
| Ninfas <i>P. virgatum</i> | 0,6659 | 0,8606 | ~ | 0,6034 | 0,4931 | 0,4984 | 0,9219* |
| Macollas <i>D. sanguinalis</i> | 0,3774 | 0,3220 | 0,3641 | ~ | 0,5338 | 0,5796 | 0,6809 |
| Macollas infestadas <i>D. sanguinalis</i> | 0,0214 | 0,0704 | 0,2431 | 0,2849 | ~ | 0,9601* | 0,7735 |
| Ninfas <i>D. sanguinalis</i> | 0,0399 | 0,0886 | 0,2484 | 0,3360 | 0,9218 | ~ | 0,7952 |
| Total Ninfas | 0,4349 | 0,6108 | 0,8499 | 0,4636 | 0,5983 | 0,6324 | ~ |

4.2 Análisis de correlación entre el número de ninfas de *Haplaxius crudus* y los parámetros de altura y número de tallos de las macollas infestadas

Los coeficientes de correlación de Pearson (r) evidenciaron relaciones débiles entre el número de ninfas de *H. crudus* por macolla con respecto a la altura y al número de tallos, con bajos coeficiente de determinación (R^2) (Tabla 3). Por lo tanto, con esta evidencia no

se puede afirmar que las macollas más altas o con más tallos presenten un mayor número de ninfas o viceversa. Tampoco se pudo establecer relación entre la altura de las macollas con el número de tallos que la conforman (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficientes de Correlación de Pearson (r) (diagonal superior) y coeficiente de determinación (R^2) (diagonal inferior), entre el número de ninfas, tallos y altura de las macollas infestadas de las especies *Paspalum virgatum* y *Digitaria sanguinalis*.

| | <i>Paspalum virgatum</i> | | | <i>Digitaria sanguinalis</i> | | |
|--------|--------------------------|--------|--------|------------------------------|--------|--------|
| | Ninfas | Tallos | Altura | Ninfas | Tallos | Altura |
| Ninfas | ~ | 0,372 | 0,171 | ~ | 0,184 | 0,137 |
| Tallos | 0,138 | ~ | 0,004 | 0,034 | ~ | 0,489 |
| Altura | 0,029 | 0,000 | ~ | 0,019 | 0,239 | ~ |

4.3 Análisis de regresión entre el número total de ninfas de *Haplaxius crudus* y los parámetros de infestación de las macollas

Los análisis de regresión se realizaron entre los parámetros con correlaciones significativas ($P < 0,05$) y coeficiente de determinación (R^2) superiores a 0,80 obtenidos en el análisis de correlación, para las macollas de *P. virgatum* y su contraparte en las macollas de *D. sanguinalis*.

El número de macollas de *P. virgatum* estuvo directamente relacionada con el número de macollas infestadas con ninfas de *H. crudus*; según la ecuación de regresión, aproximadamente una de cada cuatro macollas de *P. virgatum* en campo, tiene presencia de, al menos, una ninfa de *H. crudus* (Fig. 4A). Por el contrario, un mayor número de macollas de *D. sanguinalis* no está directamente relacionado con un mayor número de macollas de esta especie infestadas con ninfas de *H. crudus* (Fig. 4B).

Un resultado interesante con la información del número de macollas infestadas de *P. virgatum* es la regresión que permite estimar el número de ninfas presentes en estas macollas (Fig. 5A). En la práctica, es más fácil y rápido cuantificar el número de macollas infestadas que cuantificar el número de ninfas en las macollas infestadas; sin embargo, esto dependerá del nivel de detalle con que se desea hacer el muestreo de las ninfas de

H. crudus. Esta ecuación no estima el total de ninfas, solo estima las ninfas en las macollas de *P. virgatum*.

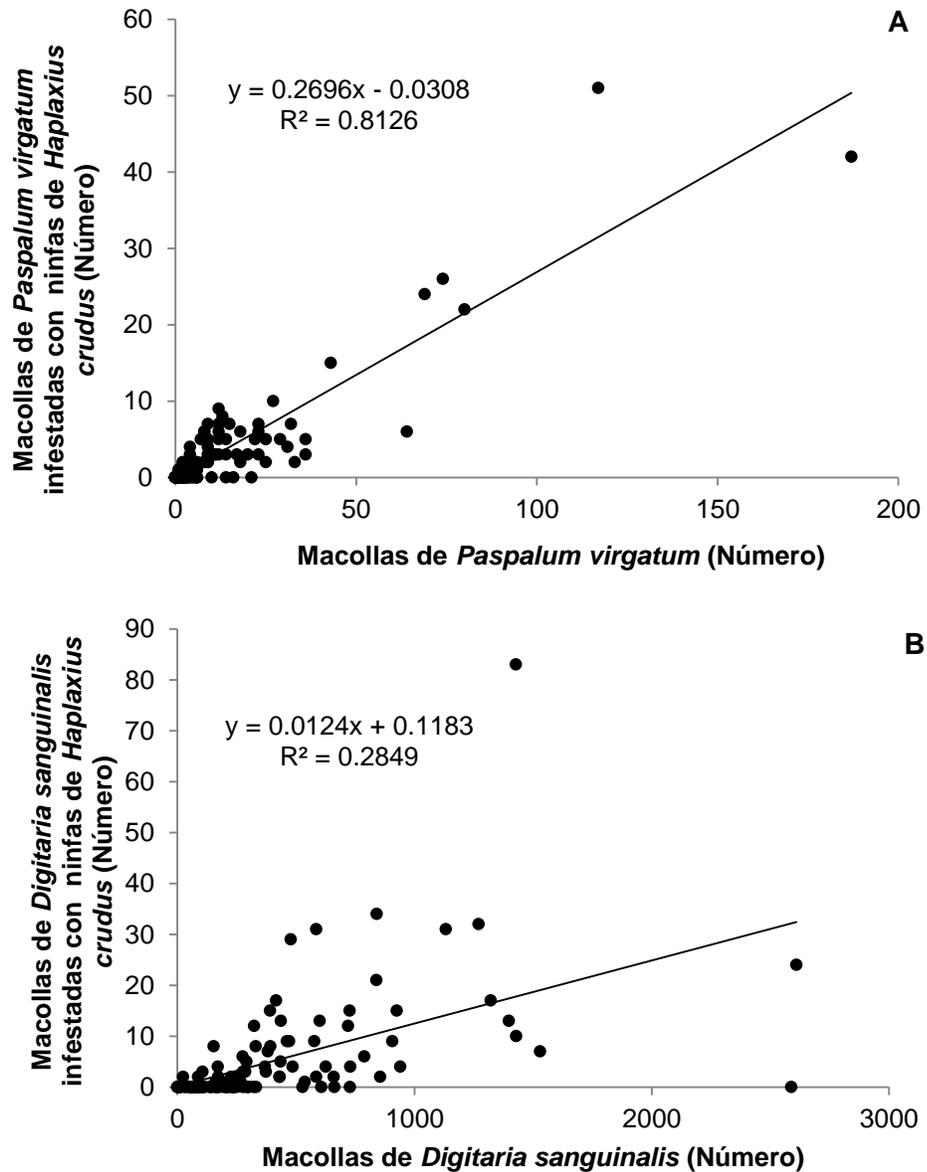


Figura 4. Diagramas de dispersión y rectas de regresión. **A.** Entre las macollas de *Paspalum virgatum* y las macollas de *Paspalum virgatum* infestadas con ninfas de *Haplaxius crudus*. **B.** Entre las macollas de *Digitaria sanguinalis* y las macollas de *Digitaria sanguinalis* infestadas con ninfas de *Haplaxius crudus*.

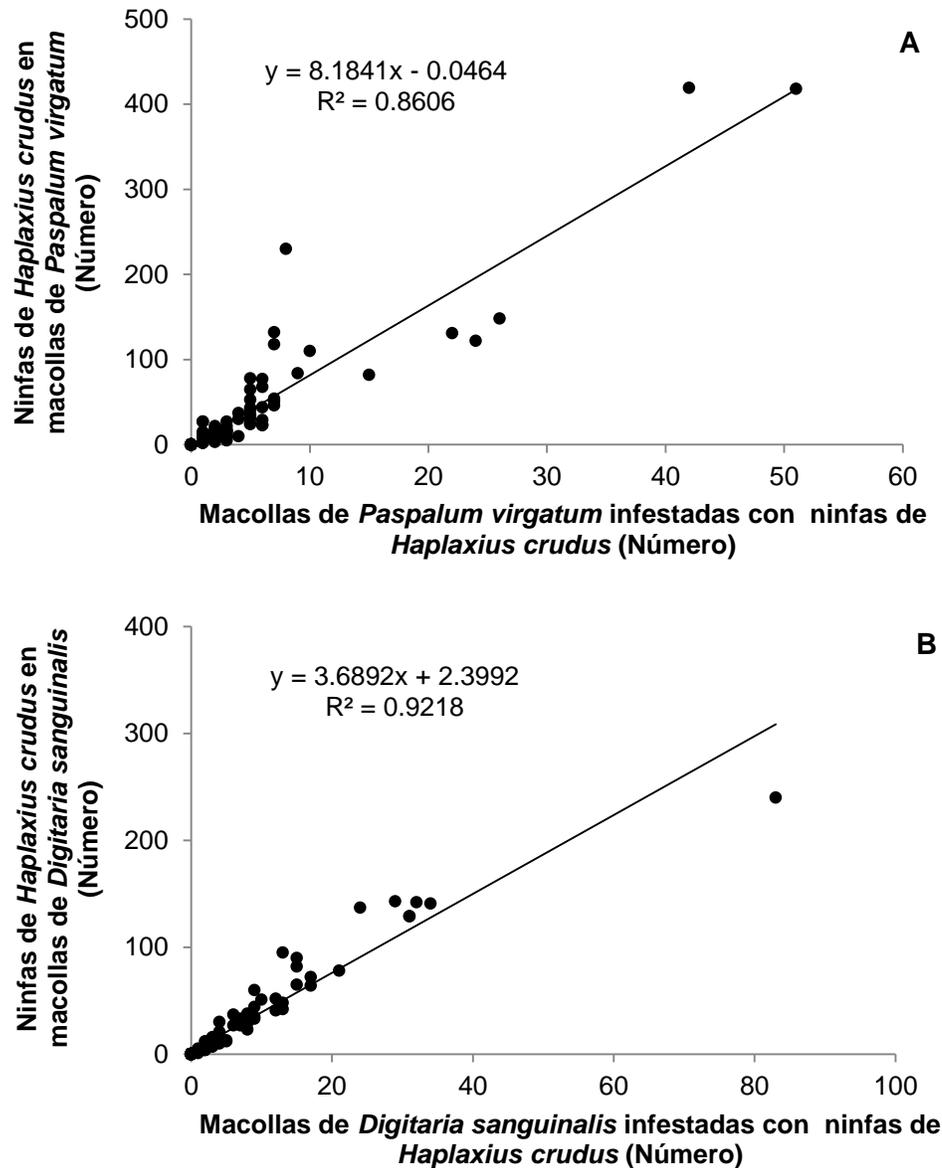


Figura 5. Diagramas de dispersión y rectas de regresión. **A.** Entre las macollas de *Paspalum virgatum* infestadas y el número de ninfas de *Haplaxius crudus* en las macollas de *Paspalum virgatum*. **B.** Entre las macollas de *Digitaria sanguinalis* infestadas y el número de ninfas de *Haplaxius crudus* en las macollas de *Digitaria sanguinalis*.

La ecuación de regresión que estima el número de ninfas en las macollas de *D. sanguinalis* a partir del número de macollas infestadas de esta especie, presenta altos índices de correlación y determinación (Fig. 5B). Sin embargo, establecer el parámetro del número de macollas infestadas de *D. sanguinalis* en campo es una labor demorada y no sería recomendable debido al alto número de macollas que se deben evaluar.

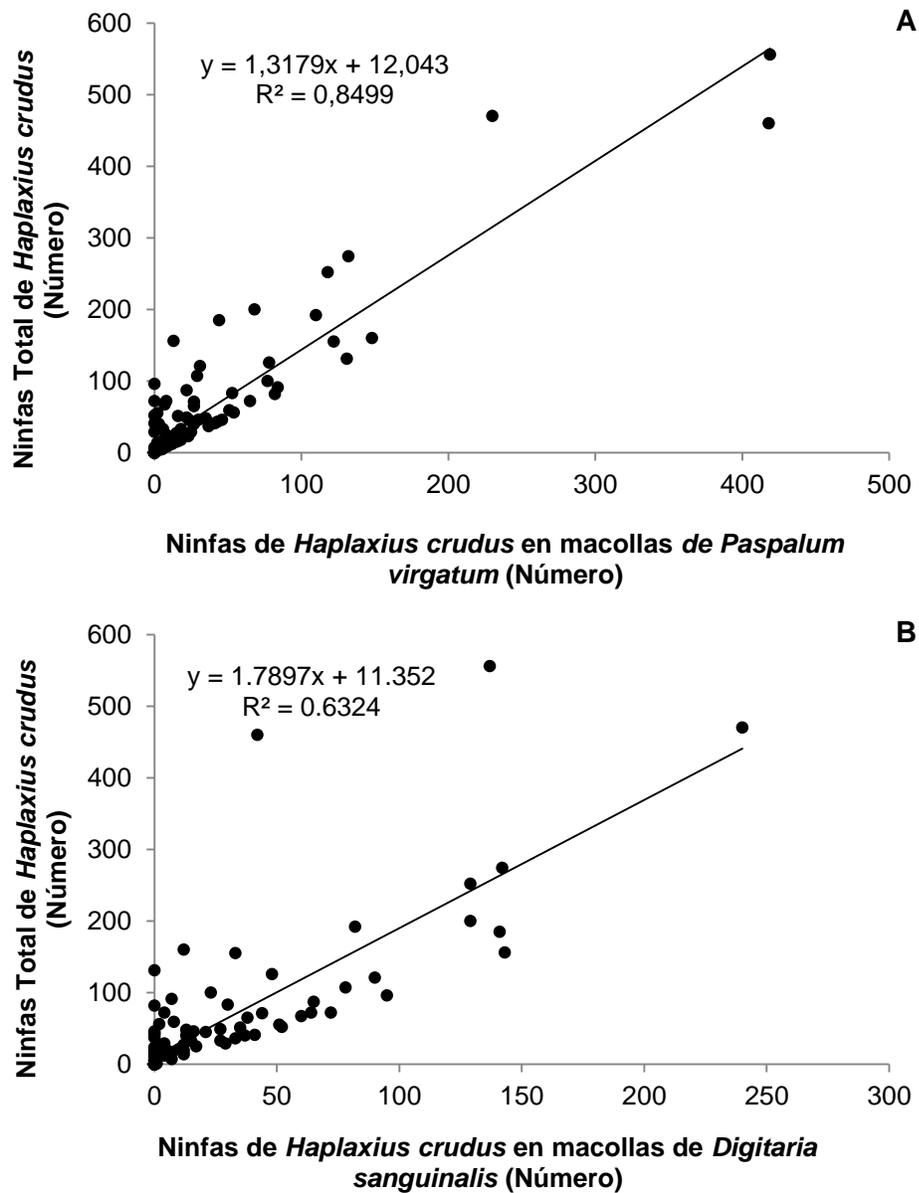


Figura 6. Diagramas de dispersión y rectas de regresión. **A.** Entre el número de ninfas de *Haplaxius crudus* en las macollas de *Paspalum virgatum* y el número total de ninfas de *Haplaxius crudus*. **B.** Entre el número de ninfas de *Haplaxius crudus* en las macollas de *Digitaria sanguinalis* y el número total de ninfas de *Haplaxius crudus*.

La estimación más precisa del total de ninfas de *H. crudus* en áreas sembradas con palma de aceite, se logró con la ecuación de regresión teniendo en cuenta el número de ninfas en las macollas de *P. virgatum* y el total de ninfas (Fig. 6A), lo que nos indica que con la cuantificación en campo del número de ninfas en las macollas de *P. virgatum* se puede

estimar el número total de ninfas; es decir, las ninfas presentes en todas las macollas de las distintas especies evaluadas.

4.4 Análisis estadístico de los datos de muestreo

Se analizaron los parámetros de las macollas tanto de *P. virgatum* como de *D. sanguinalis* con el fin de establecer características que faciliten la identificación en campo de las macollas infestadas

Fueron identificadas 46.916 macollas de *D. sanguinalis* de las cuales el 1,25% estaban infestadas; pero en las mismas UM se contabilizaron 1.516 macollas de *P. virgatum*, 34 veces menos macollas que las registradas para *D. sanguinalis*, de las cuales el 26,72% estaban infestadas (Tabla 1). Esta información sugiere que, para estimar el número de ninfas teniendo en cuenta las ecuaciones del análisis de regresión (Fig. 6), el número de macollas de *P. virgatum* a evaluar en campo es significativamente menor en comparación con el número de macollas de *D. sanguinalis*.

Tabla 4. Análisis estadístico descriptivo de los parámetros asociados a las Unidades de Muestreo (UM) para *Paspalum virgatum* y *Digitaria sanguinalis*

| | <i>Paspalum virgatum</i> | | | <i>Digitaria sanguinalis</i> | | |
|-----------------------|--------------------------|---------------------|--------|------------------------------|---------------------|--------|
| | Macollas | Macollas infestadas | Ninfas | Macollas | Macollas infestadas | Ninfas |
| N | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Media | 12,63 | 3,38 | 27,58 | 390,97 | 4,96 | 20,69 |
| Error estándar | 2,18 | 0,65 | 5,76 | 41,08 | 0,95 | 3,66 |
| Mínimo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Máximo | 187 | 51 | 419 | 2609 | 83 | 240 |
| Suma | 1516 | 405 | 3309 | 46916 | 595 | 2483 |
| | 10 | 0,00 | 0,00 | 53,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 25 | 1,00 | 0,00 | 92,50 | 0,00 | 0,00 |
| Percentiles | 50 | 4,50 | 1,00 | 238,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 75 | 13,75 | 4,00 | 516,75 | 5,75 | 26,00 |
| | 90 | 30,80 | 7,00 | 900,90 | 15,00 | 71,30 |

Unidad del parámetro: *Número

En el 90% de las UM hubo menos de 31 macollas de *P. virgatum* y en el 75% se registraron menos de 14 macollas, las cuales pueden ser fácilmente evaluadas en su totalidad para

establecer el número de aquellas infestadas y el número de ninfas de *H. crudus*. Por el contrario, en el 75% de las UM se registró entre 90 y 900 macollas de *D. sanguinalis* y en el 50% hubo más de 238 macollas, una cantidad tan alta que su evaluación no sería pertinente dentro de un plan de muestreo (Tabla 4).

Otro factor importante para la eficiencia de las evaluaciones en campo es la identificación visual de las plantas; por lo tanto, la altura de las macollas juega un papel importante. La altura promedio de las macollas de *P. virgatum* infestadas con ninfas de *H. crudus* fue de 72,18cm; sin embargo, el 90% de las macollas presentaron alturas superiores a 32cm, lo que indica que por su altura, estas plantas son fácilmente identificables en campo, además de las características propias de la especie. Las macollas de *D. sanguinalis* presentaron un menor tamaño, con una altura promedio de 20,69 cm y el 90% de las macollas no superaban los 27 cm, esto sugiere que son plantas que por su tamaño pueden pasar desapercibidas (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis estadístico descriptivo, de los parámetros asociados a las macollas de *Paspalum virgatum* y *Digitaria sanguinalis* infestadas con ninfas de *H. crudus*.

| | <i>Paspalum virgatum</i> | | | <i>Digitaria sanguinalis</i> | | |
|-----------------------|--------------------------|--------|--------|------------------------------|--------|--------|
| | Altura | Tallos | Ninfas | Altura | Tallos | Ninfas |
| N | 405 | 405 | 405 | 595 | 595 | 595 |
| Media | 72,18 | 8,58 | 8,17 | 19,90 | 10,53 | 4,17 |
| Error estándar | 1,246 | 0,309 | 0,360 | 0,239 | 0,191 | 0,120 |
| Mínimo | 15 | 1 | 1 | 6 | 3 | 1 |
| Máximo | 124 | 45 | 65 | 48 | 28 | 21 |
| Suma | 29233 | 3474 | 3309 | 11841 | 6263 | 2483 |
| | 10 | 35,60 | 3,00 | 2,00 | 12,00 | 5,00 |
| | 25 | 52,00 | 4,00 | 3,00 | 16,00 | 7,00 |
| Percentiles | 50 | 75,00 | 7,00 | 6,00 | 20,00 | 10,00 |
| | 75 | 93,00 | 10,00 | 11,00 | 24,00 | 13,00 |
| | 90 | 103,00 | 17,00 | 17,00 | 27,00 | 17,00 |

Unidad del parámetro: *cm, **Número

El número de tallos, como un indicador de la longevidad de las macollas, en donde naturalmente a más tallos más tiempo de desarrollo tienen las macollas, no presentó una correlación significativa con el número de ninfas que se registraron en ellas (Tabla 3); sin embargo, en las macollas con más tallos se dificultó hacer el conteo de las ninfas que se encontraban al interior de la misma. Las plantas infestadas tanto de *P. virgatum* como de

D. sanguinalis presentaron aproximadamente 10 tallos por macolla (Tabla 5), por lo que este factor no diferencia entre una u otra especie y el número de macollas a evaluar se vuelve un factor determinante ya que un mayor número de macollas representa un mayor número de tallos a revisar.

Los resultados sugieren que para hacer un monitoreo de las ninfas de *H. crudus* dentro de áreas cultivadas con palma de aceite, se deben tener en cuenta las macollas de *P. virgatum*, ya que más del 55% de la población de ninfas se encuentra en estas macollas y la información del número de macollas, macollas infestadas y de ninfas presentes en esta gramínea puede ser utilizada para estimar el número de ninfas presentes en las demás plantas hospederas. Adicionalmente, las macollas de *P. virgatum* son identificables fácilmente en campo, debido al número de macollas y a la altura de las mismas, lo que permite evaluar todas las macollas de esta especie en la UM seleccionada.

4.5 Análisis de variabilidad espacial y modelación del número de ninfas de *Haplaxius crudus*

Teniendo en cuenta el patrón general de distribución, se observan puntos con valores de semivarianza atípicos; sin embargo, no hay razones particulares para considerar la eliminación de alguno de estos puntos ya que se asume que la medición del número de ninfas de *H. crudus* en los puntos fue bien realizada.

Para la modelación del semivariograma se tuvo en cuenta la tendencia de distribución espacial de los datos. Esta tendencia es proyectada sobre un gráfico tridimensional donde se ajusta una curva que nos muestra el orden del polinomio. En el caso del número de ninfas de *H. crudus*, los datos presentaron tendencia en “U”, que indica que los datos presentaron valores altos hacia los extremos y bajos en la parte central y la intensidad varió con la dirección reflejando anisotropía de los datos y el polinomio de segundo orden (Fig. 8).

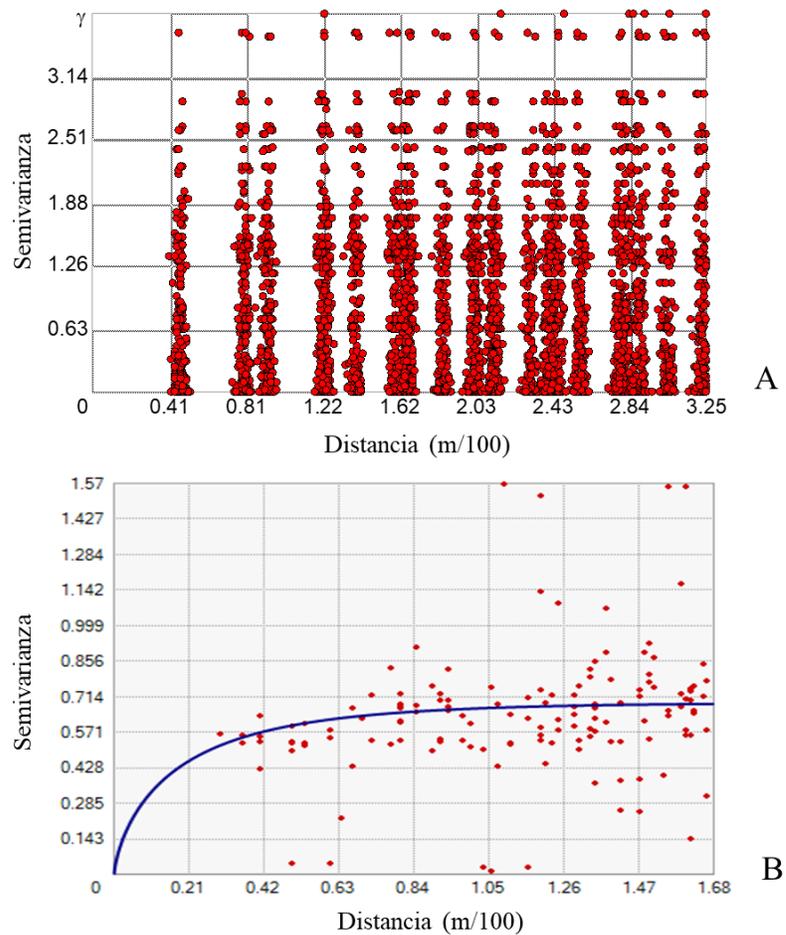


Figura 7. A. Nube de interacciones del semivariograma para la distribución del número de ninfas de *Haplaxius crudus*, **B.** Modelo teórico de semivarianza stable, ajustado para el número de ninfas de *Haplaxius crudus*.

Para analizar el efecto de la variación en el tamaño y el número de rezagos. Con la información obtenida del análisis de la nube de interacciones del semivariograma y la tendencia de la distribución espacial de los datos, el semivariograma empírico se ajustó a modelos teóricos de semivarianza (Tabla 6).

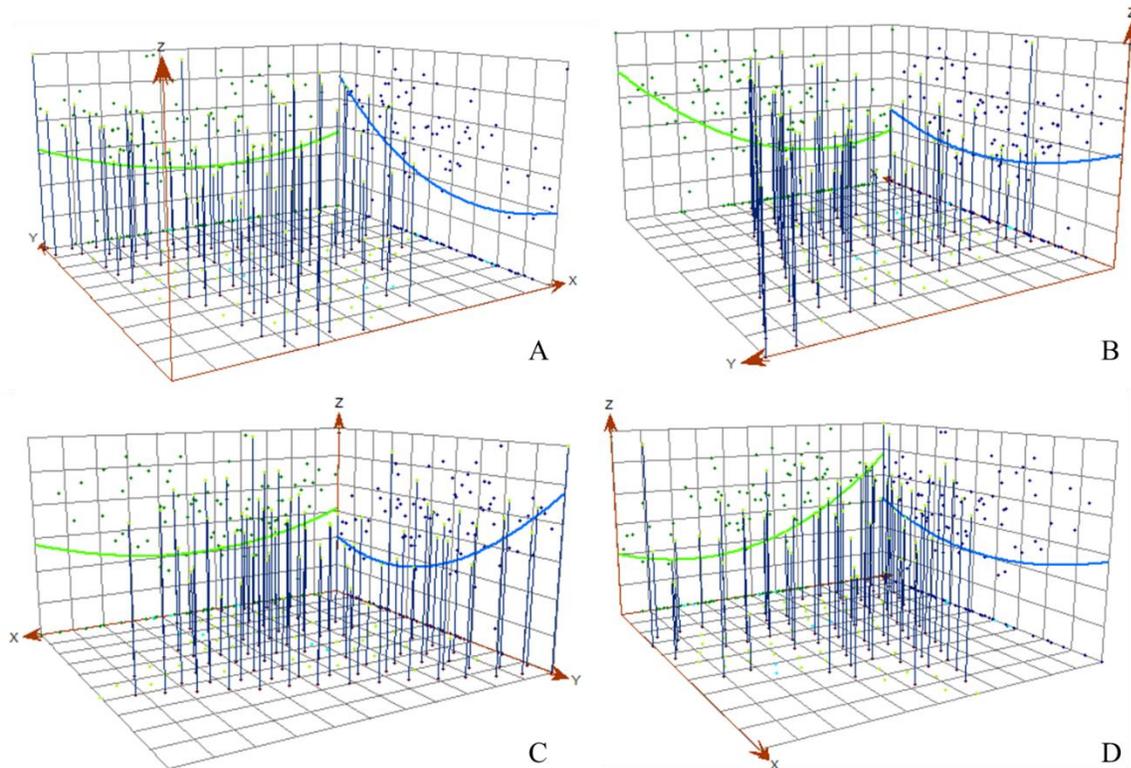


Figura 8. Tendencia de la distribución espacial del número de ninfas de *Haploxius crudus* en el área de estudio en cuatro puntos de rotación A. 0° B. 270° C. 180° D. 90°

El mejor ajuste se obtuvo con el modelo stable (Fig. 7B) con un valor de nugget igual a cero (0), rango mínimo de 86,31m, un tamaño de rezago de 14m, una raíz media estandarizada del cuadrado del error de predicción (RMSS) cercano a uno (1) y una diferencia mínima entre la raíz media del cuadrado de los errores de predicción (RMS) y el error estándar promedio (AVE) (Tabla 6), parámetros de selección en la validación cruzada.

Tabla 6. Parámetros de los modelos ajustados para el semivariograma empírico del número de ninfas de *Haplaxius crudus* y los resultados de validación cruzada.

| Parámetro | Modelo | | | | |
|-------------------|----------|----------|-------------|-----------|--------|
| | Circular | Esférico | Exponencial | Gaussiano | Stable |
| Tamaño del rezago | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Número de rezagos | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Nugget | 0,41 | 0,38 | 0,21 | 0,45 | 0,00 |
| Meseta parcial | 0,26 | 0,29 | 0,47 | 0,23 | 0,69 |
| Rango menor | 89,97 | 92,83 | 86,31 | 89,97 | 86,31 |
| Rango mayor | 168 | 168 | 168 | 168 | 168 |
| M | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,02 |
| RMS | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |
| MS | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,02 |
| RMSS | 1,03 | 1,03 | 1,04 | 1,03 | 1,03 |
| ASE | 0,76 | 0,77 | 0,76 | 0,76 | 0,77 |

Con los resultados de la modelación del semivariograma se realizó la interpolación mediante Kriging ordinario, seleccionando la superficie de predicción que se obtuvo con el modelo stable (Fig. 9A), la cual está acorde con lo visto en campo y lo esperado para la distribución del número de ninfas en el área de estudio. El error estándar de la predicción del número de ninfas de *H. crudus* en toda el área de estudio, no superó los 10 individuos (Fig. 9B).

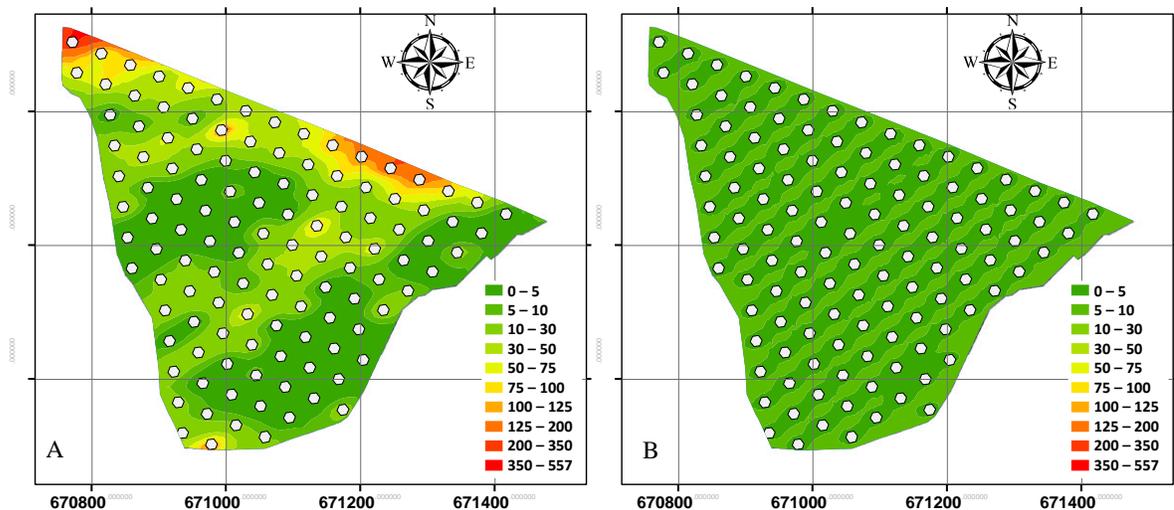


Figura 9. A. Mapa de predicción para el número de ninfas de *Haplaxius crudus*. **B.** Mapa del error estándar de la predicción. Los hexágonos negros representan la disposición de las 120 unidades de muestreo que se tuvieron en cuenta en la interpolación.

Dentro de los parámetros del semivariograma, el rango es la distancia en la que los valores de la variable dejan de correlacionarse espacialmente, por lo tanto para efectos de muestreo de ninfas de *H. crudus* esta distancia se consideró como la distancia máxima a la que se deben distanciar las UM dentro de un programa de seguimiento a la plaga.

Debido a la anisotropía de los datos, en los resultados derivados de la modelación del semivariograma se obtuvo dos rangos, uno mayor y uno menor (Tabla 6). Se tuvo en cuenta el valor del rango menor ya que, independiente de la dirección, todos los puntos dentro de este rango estaban correlacionados. El valor de este rango según la modelación de semivariograma fue de 86,31 m y la distancia entre las UM que se fue de 46,76 m. Lo anterior indica que es posible reducir a una tercera parte el número de UM sin afectar significativamente la predicción.

Se seleccionaron 41 UM, las cuales estaban equidistantemente distanciadas a 81m una de la otra, distancia que no superaba el rango menor establecido por el semivariograma. Con la información de estas UM y teniendo en cuenta los parámetros de la modelación del semivariograma, se obtuvo un mapa de predicción (Fig. 10A) que se comparó con el mapa de predicción inicial (Fig. 9A).

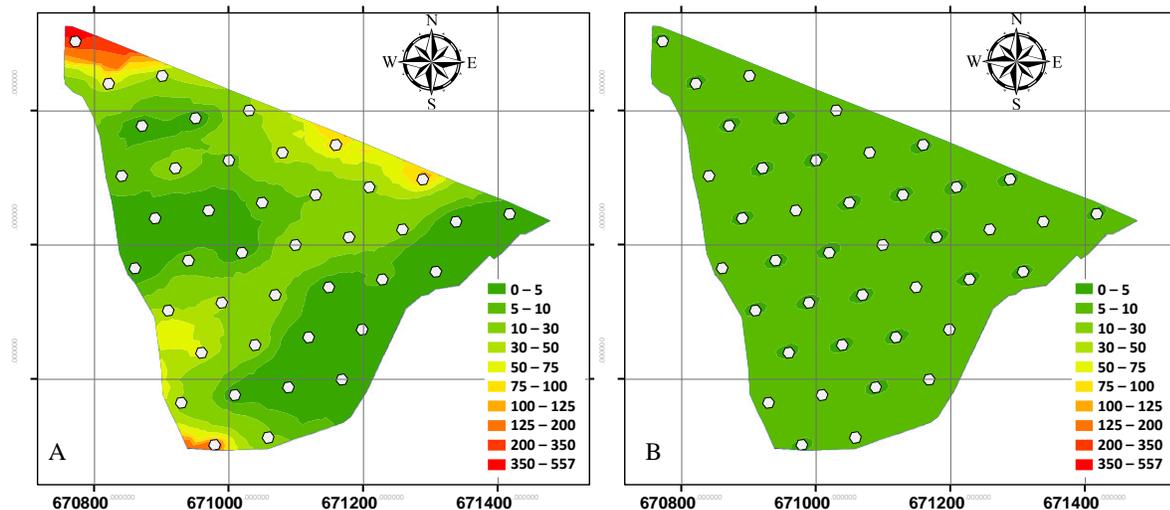


Figura 10. A. Mapa de predicción para el número de ninfas de *Haploxius crudus*. **B.** Mapa del error estándar de la predicción. Los hexágonos negros representan la disposición de las 41 unidades de muestreo (UM) que se tuvieron en cuenta en la interpolación.

El resultado gráfico de la estimación poblacional de las ninfas de *H. crudus*, según el menor rango de correlación espacial (Fig. 10A), presentó similar distribución a la estimación obtenida con la totalidad de las UM (Fig. 9A), con un error estándar de la predicción inferior a 10 ninfas (Fig. 10B). En los dos mapas de predicción se observa que las poblaciones más altas se encuentran a lo largo del borde nororiental, donde está la vía de tránsito de maquinaria para las labores de plantación y hacia el extremo sur, donde está el paso hacia otros lotes de con ganadería. Las poblaciones disminuyen a medida que se ingresa al lote, en sentido suroccidental y suroriental, hacia áreas colindantes con un bosque secundario. Esta información sobre la distribución espacial de las poblaciones de ninfas de *H. crudus* en áreas sembradas con palma de aceite es fundamental para la toma de decisiones de monitoreo y manejo integrado de la plaga.

5. Discusión

5.1 Conteo de ninfas de *Haplaxius crudus*

La estimación de la población es un factor determinante del programa de manejo integrado de plagas y un método de muestreo eficaz debe suministrar datos representativos de la población, con alta precisión y un error aceptable, además económicamente factible (Pedigo y Rice, 2014; Badii *et al.*, 2012). Esta investigación sugiere que el número de ninfas de *H. crudus* presentes en las macollas de *P. virgatum* brinda la información necesaria para poder estimar la población en un área determinada, esto se logró establecer mediante análisis de regresión lineal entre el número de ninfas en todas las plantas infestadas y el número de ninfas en las macollas de *P. virgatum*.

El conteo del número total de insectos por unidad de área se denomina muestreo absoluto (Pedigo y Rice, 2014; Badii *et al.*, 2004; Badii *et al.*, 2012), por ejemplo el número de ninfas por hectárea; sin embargo contar una a una todas las ninfas en la hectárea sería una tarea complicada, por tiempo y recursos, por lo tanto se implementa con frecuencia en el conteo de insectos, es el muestreo relativo, el cual como su nombre lo indica, es relativo a la técnica de conteo, por ejemplo, número de ninfas por macolla, el número de larvas por hoja, el número de insectos por trampa, etc. Estimaciones de la población por unidad de área, se pueden hacer a partir de un muestreo relativo, sin embargo, para establecer esta relación mediante análisis de regresión, se requiere un gran trabajo de campo, ya que es necesario realizar paralelamente los dos tipos de muestreo (Pedigo y Rice, 2014; Badii *et al.*, 2004; Badii *et al.*, 2012). En este trabajo, en cada unidad de muestreo (UM), se evaluaron todas las macollas de las especies de gramíneas y ciperáceas (muestreo absoluto) y se pudo establecer una correlación de todas las ninfas presentes en la UM, con el número de ninfas presentes en una sola especie, *P. virgatum* (muestreo relativo).

Estimar poblaciones a partir de muestreos relativos es frecuente en programas de MIP. Magalhaes *et al.*, (1988) evaluaron cuatro técnicas de muestreo, tres relativas y una absoluta, para estimar la población de tres plagas defoliadoras en plantaciones de frijol, todas las técnicas de muestreo relativas se correlacionaron significativamente con la técnica absoluta.

En esta investigación el número de ninfas presentes en cada una de las especies de macollas hospederas se consideró como un muestreo relativo a la especie evaluada, de las seis especies que presentaron ninfas de *H. crudus*; solo el número de presentes en las macollas de *P. virgatum* se correlaciono significativamente con el total de ninfas en toda el área de la UM. Un trabajo realizado en el cultivo de palma de aceite, bajo el mismo criterio de correlación entre muestreos absolutos y relativos por Rhainds *et al.* (1996), estableció una correlación significativa entre el número de larvas del gusano canasta *Oiketicus kirbyi* de primer instar en 160 foliolos de la hoja 17, con el total de la población de larvas en toda la palma. Trabajos como este, pueden ser desarrollados para poder determinar poblaciones de distintas plagas en el cultivo de palma de aceite, como defoliadores cuyos estados inmaduros puedan ser de fácil identificación y conteo.

5.2 Características de las plantas infestadas con ninfas de *Haplaxius crudus*

Poder establecer características fácilmente identificables en campo de las plantas que albergan poblaciones de insectos considerados plagas o potenciales plagas en los cultivos, es una información relevante para la implementación del muestreo y el manejo (Pedigo y Rice, 2014). En el caso de las ninfas de *H. crudus* en el cultivo de palma de aceite y de cocotero, una de las generalidades es que las gramíneas y ciperáceas son las plantas hospederas de la población (Zenner y López, 1977; Tsai y Kirsch, 1978; Villanueva *et al.*, 1987; Carrillo y Piña, 1990; Sierra *et al.*, 2014). Howard y Wilson (2001), reportaron que las poblaciones de las ninfas de *H. crudus*, pueden estar influenciadas por el tamaño de su planta hospedera, sin embargo, los resultados de este trabajo, sugieren que las poblaciones registradas tanto en macollas altas como en macollas con muchos tallos, no están directamente relacionadas con una mayor población de ninfas.

Esta información permite descartar una gran cantidad de especies como plantas problema, principalmente las arvenses de hoja ancha, que son por lo general plantas aliadas en el control biológico y la protección de los suelos, como las coberturas (Ruiz y Molina, 2014)

y las nectaríferas (Aldana *et al.*, 1997; Chinchilla, 2003; Bustillo, 2014). Sin embargo, características más específicas dentro de las plantas hospederas, como la forma de las hojas, la altura, la conformación o el número de plantas por área, se pueden establecer para facilitar el direccionamiento y efectividad de los muestreos (Pedigo y Rice, 2014). En esta investigación se estableció que las gramíneas albergan más del 99% de la población de ninfas de *H. crudus* y entre las gramíneas las macollas de *P. virgatum*, presentaron el 57% de todos los individuos contabilizados, a pesar de que es la especie con menos número de macollas por UM, lo que nos indica que es una especie que concentra las ninfas lo que facilita su conteo. Además, *P. virgatum* presenta características morfológicas fácilmente identificables en campo, una de ellas es la altura, el 90% de las macollas de *P. virgatum* presentaron alturas por encima de los 32cm, superior a la media de altura de las demás especies hospederas. Estos resultados concuerdan con los trabajos realizados por Sierra *et al.* (2014), que muestrearon todas las arvenses asociadas al cultivo de palma de aceite en tres plantaciones de la zona palmera oriental y establecieron que más del 90% de la población de ninfas de *H. crudus* se encontraba en las gramíneas y en un porcentaje inferior al 10% en especies ciperáceas; también determinaron que *P. virgatum* concentraba el mayor número de plantas infestadas, con un valor superior al 40% en dos de las tres plantaciones donde se realizaron los trabajos. Investigaciones realizadas en plantaciones de coco (*Cocos nucifera*), también hallaron la preferencia de las ninfas de *H. crudus* por las especies gramíneas (Villanueva *et al.*, 1987; Carrillo y Piña, 1990). En el cultivo de palma de aceite, el manejo de la vegetación asociada es muy importante dada la naturaleza perenne de la palma, por lo tanto, las prácticas de manejo de choque características de cultivos semestrales, que eliminan por completo otro tipo de especies diferentes al cultivo, no son pertinentes ni sustentables en el tiempo. La determinación de las plantas asociadas al cultivo que realmente representan un problema desde el punto de vista sanitario, es importante para puntualizar las intervenciones y promover el establecimiento de aquellas especies que favorecen la interacción con insectos benéficos para el cultivo como parasitoides, depredadores y polinizadores.

5.3 Modelación de la variación espacial de ninfas de *Haplaxius crudus*

En el estudio de la variación espacial, establecer los puntos adecuados para hacer los muestreos es uno de los objetivos y se denomina muestreo espacial o bidimensional, el

cual se ha implementado en áreas de estudio como la minería, la ecología, la geología, las telecomunicaciones, entre otras. Uno de los factores determinantes en la eficiencia del muestreo espacial es el esquema de muestreo, evaluaciones muy detalladas pueden generar modelaciones más precisas de la variabilidad espacial, generalmente con mayores costos y más tiempo, por el contrario, un muestreo deficiente puede ser más económico y rápido, pero con el riesgo de ignorar información que puede ser relevante en el establecimiento de la variabilidad espacial (Delmelle, 2005; Van Groenigen *et al.*, 1999). Dada la imposibilidad de obtener información en todas las ubicaciones potenciales, los investigadores se ven en la necesidad de hacer modelaciones del fenómeno con la información de un número acotado de muestras, por lo tanto se debe establecer una conformación de puntos de muestreo para obtener la mayor cantidad de datos con un presupuesto establecido, la distribución de los puntos de muestreo dependerá de la distribución de la variable, con el objetivo de no hacer muestreos deficientes en algunas áreas ni sobremuestrear otras (Van Groenigen *et al.*, 1999). Por lo general como resultado de la interpolación se puede predecir el valor de la variable en áreas no muestreadas, los cuales pueden presentar variaciones significativas, obligando a tomar información adicional en áreas que no habían sido muestreadas antes, lo que se denomina como segunda fase de muestreo, la cual tiene el fin de optimizar las predicciones de la modelación inicial (Van Groenigen *et al.*, 1999). La función del semivariograma que modela la dependencia espacial a diferentes distancias, es necesaria para optimizar el muestreo espacial (Van Groenigen *et al.*, 1999), los nuevos puntos de muestreo se establecen, utilizando el modelo ajustado, reduciendo el error en la predicción (Van Groenigen, 2000; Lloyd y Atkinson, 1999). La configuración del muestreo espacial ha sido objeto de investigación para poder obtener la mayor cantidad de información posible; las configuraciones regulares de muestreo tipo mallas ya sean triangulares, cuadradas o hexagonales se han utilizado para predecir en un área de estudio el valor medio de la variable, siendo el arreglo triangular el más eficiente (Matérn, 1960; Delmelle, 2005). Una distribución de los puntos de muestreo siguiendo un diseño triangular, minimiza la varianza ya que disminuye la distancia máxima entre los puntos de muestreo y los puntos no muestreados (McBratney *et al.*, 1981a, 1981b). El muestreo sistemático siguiendo una distribución homogénea de los puntos de evaluación, es el más conveniente cuando uno de los objetivos es tener una buena distribución de todos los puntos de muestreo en el área de estudio, permitiendo modelar y ajustar el semivariograma más adecuado y registrar las características de la variabilidad (Van Groenigen *et al.*, 1999).

Para determinar la variabilidad espacial de las ninfas de *H. crudus* en la finca Villa Fernanda, se estableció una distribución de las unidades de muestreo (UM) en forma de red triangular, 120 UM, número máximo que los recursos económicos y tiempo permitieron evaluar. Las UM se distanciaron homogéneamente una de la otra a 46,76 m, teniendo en cuenta la geometría de siembra de las palmas. Como resultado de la modelación del semivariograma empírico y el posterior ajuste al modelo teórico stable, el valor del rango, que es la distancia máxima a la que se correlacionan espacialmente los datos, fue mayor a la distancia de separación entre las UM, lo que permitió, a diferencia de la mayoría de trabajos de modelación de la variabilidad espacial, disminuir el número de UM, sin aumentar significativamente el error estándar de la predicción. Los resultados de la modelación de la distribución espacial de las ninfas de *H. crudus*, teniendo la información de una tercera parte de las UM evaluadas inicialmente, no difieren significativamente de la modelación resultado del análisis de las 120 UM y el error estándar de la predicción se mantuvo por debajo de los diez individuos en toda el área de investigación.

Los resultados de esta investigación sugieren que las unidades de muestreo, para estimar la distribución de las poblaciones de *H. crudus* en áreas sembradas con palma de aceite, deben estar ubicadas en forma de red triangular, distanciadas a 81 m, aproximadamente 2 UM por hectárea. En la UM las macollas de *P. virgatum* son las adecuadas para muestrear la población de ninfas de *H. crudus*, ya que es la especie que alberga la mayor cantidad de ninfas en un menor número de macollas; también sus características morfológicas, facilitan el reconocimiento en campo y con la información del número de ninfas en las macollas de *P. virgatum*, es posible estimar el número de ninfas presentes en las demás especies hospederas. Con esta información y con los parámetros de modelación es posible elaborar mapas de predicción de la distribución de las poblaciones de ninfas de *H. crudus* en áreas donde no se realizaron evaluaciones, con un bajo error estándar en la estimación.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Se estableció que las macollas de *Paspalum virgatum*, son las adecuadas para realizar los conteos de ninfas de *Haplaxius crudus*, ya que concentran más del 50% de la población en menos del 2% del total de macollas de las especies hospederas y con el número de ninfas en las macollas de *P. virgatum* se puede estimar el número de ninfas en toda la unidad de muestreo (UM).
- Características como la altura y la densidad de las macollas de *P. virgatum*, facilitan su identificación en campo; más del 90% de las macollas presentan alturas superiores a 32 cm, por encima de la media de las otras especies hospederas, y en el 75% de las UM se encontraron menos de 14 macollas de *P. virgatum* lo que permite realizar el conteo de ninfas en todas las macollas.
- Teniendo en cuenta el método de muestreo triangular de ninfas de *H. crudus* y los parámetros de modelación del semivariograma, las UM se pueden distanciar hasta los 81 m, sin aumentar el error estándar de la predicción por encima de 10 ninfas. Esto representa aproximadamente 2 UM por hectárea.
- El conteo del número de ninfas presentes en las macollas de *P. virgatum* dentro de las UM, distanciadas equidistantemente a 81 m siguiendo una distribución en red triangular de muestreo y teniendo en cuenta la geometría de siembra de las palmas, permite estimar los parámetros de densidad y distribución espacial de las ninfas de *H. crudus*, información relevante para la toma de decisiones de manejo integrado de la plaga.

6.2 Recomendaciones

- Aunque esta investigación se desarrolló en una plantación con una composición florística común para muchas plantaciones de palma de aceite en la zona, se recomienda realizar trabajos complementarios a este, en plantaciones cuya composición florística esté conformada por especies hospederas que no se presentaron en este trabajo.
- Se recomienda realizar un análisis de tiempos y movimientos, para poder establecer la asignación de recursos económicos y físicos, facilitando la implementación del método de muestreo para ninfas de *H. crudus* en las plantaciones de palma de aceite
- Los resultados de esta investigación, pueden servir de punto de partida para estudios de dinámica poblacional de ninfas de *H. crudus* en plantaciones de palma de aceite, con evaluaciones en el tiempo, determinando con mayor precisión las épocas críticas de poblaciones de ninfas, para establecer planes de manejo.
- Se recomienda la capacitación del personal de sanidad, con respecto a los conceptos básicos de la problemática de la marchitez letal y la biología y comportamiento de *H. crudus*, con el fin de facilitar la apropiación de nuevas tecnologías relacionadas como la implementación de un método de muestreo para ninfas.

Bibliografía

ALDANA, J.; CALVACHE, H.; ESCOBAR, B.; CASTRO, H. 1997. Las plantas arvenses benéficas dentro de un programa de manejo integrado de *Stenoma cecropia* Meyrick, en palma de aceite. *Palmas* 18 (1): 11- 21.

ALDANA, R.; ALDANA, J.; MOYA, O.; BUSTILLO, A. 2015. El Anillo rojo en palma de aceite. *Boletines Técnicos Cenipalma* 36, Bogotá, Colombia. 51 p.

ARANGO, M.; OSPINA, C.; MARTÍNEZ, G. 2011a. Uso de herramientas epidemiológicas para establecer el manejo integrado de la Marchitez letal de la palma de aceite. *Palmas* 32 (4): 17-27.

ARANGO, M.; OSPINA, M.; SIERRA, L. J.; MARTÍNEZ, G. 2011b. *Myndus crudus*: vector del agente causante de la Marchitez letal en palma de aceite en Colombia. *Palmas* 32(2):13-26.

ARANGO, M.; SIERRA, L. J.; ALDANA, R.; MARTÍNEZ, G. 2011c. Efecto de la aplicación de insecticidas y herbicidas en el desarrollo de la Marchitez letal (ML) de la palma de aceite en el Bajo Upía, Casanare, Colombia. *Palmas* 32 (1):11-24.

ARANGO, M.; SAAVEDRA, C.; MARTÍNEZ, G. 2012. Efecto del color de las Trampas en el monitoreo de adultos de *Myndus crudus*. *Palmas* 33 (4):53 -61.

BADII, M.; FLORES, A.; FORUGHBAKHCH, R.; QUIROZ, H. 1995. Análisis conceptual de muestreo. In: VI Curso Nacional de Control Biológico. SMCB, W. Rosa, Tapachula. 123-136.

BADII, M.; LÓPEZ, P.; QUIRÓZ, H.; PAZHAKH, A. 2004. Muestreo como un requisito fundamental en las ciencias experimentales. (Sampling as a basic requirement in experimental sciences). *Innovaciones de Negocios* 1: 33–53.

BADII, M.; GUILLEN, A.; ABREU, L.; CERNA, J.; LANDEROS, J. 2012. Métodos Absolutos y Relativos de Muestreo (Absolute and Relative Sampling Methods). *International Journal of Good Conscience*. 7(1): 78-84.

BANJEVIC, M. 2004. Optimal network designs in spatial statistics. Ph.D. Thesis. Stanford University. Stanford, USA. 119 p.

BUSTILLO, A.; ARANGO, M. 2016. Las mejores prácticas para detener el avance de la Marchitez letal (ML) en plantaciones de palma de aceite en Colombia. *Palmas*. 37 (4): 75-90.

BUSTILLO, A. 1974. Natural control factors affecting the larch shoot moth, *Argyresthia laricella* Kic., in Wisconsin with particular reference to parasitoids. M. Sc.Thesis. University of Wisconsin, Madison, 72 p.

BUSTILLO, A. 1979. ¿Qué causa los brotes de *Glena bisulca*? Recomendaciones sobre su manejo. En: Seminario sobre plagas forestales en Colombia. SOCOLEN, Seccional Antioquia, Medellín, septiembre 6-7.

BUSTILLO, A. 2014. Manejo de insectos-plaga de la palma de aceite con énfasis en el control biológico y su relación con el cambio climático. *Palmas* 35 (4): 68-79.

CARRILLO, H.; PIÑA, J.1990. Situación actual del amarillamiento letal en el sureste de México. En: Robert, M. y Zizumbo, D.V. (eds.). La problemática del amarillamiento letal del cocotero en México. Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC, Mérida, México. p. 69–93.

CAYÓN, G.; AVELLANEDA, C.; RODRÍGUEZ, F. 2007. Aspectos fisiológicos asociados a la marchitez letal de la palma de aceite. *Palmas*. 28 (1): 373–382.

CHAUVET, P. 1993. Processing data with a spatial support: geostatistics and its methods. Cahiers de Géostatistique. Fascicule 4. Ecole des Mines de Paris, Paris. 44 p.

CHINCHILLA, C. 2003. Manejo integrado de problemas fitosanitarios en palma aceitera *Elaeis guineensis* en América Central. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) 67: 69-82.

CLARK, I. 2001. Practical Geostatistics. Geostokos Limited, Central Scotland, UK. 120 p.

CLARK, I. 1986. The art of cross validation in geostatistical applications. *En*: Ramani, R. (Ed.) 19th International APCOM (Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry) Symposium, Pennsylvania State University. Society of Mining Engineers, Inc., Littleton, Colorado. pp. 211-220.

COCHRAN, W. G. 1977. Sampling techniques. Second Ed. Wiley, New York.

CRESSIE, N. 1993. Statistics for spatial data. John Wiley & Sons, New York. 900 p.

DÁVILA, M.; CORREDOR, C.; HERRERA, L.; SARMIENTO, M. 2016. Panel: visión de la agroindustria palmera – Perspectiva Empresarial. Palmas. 37 (3): 107-118.

DELMELLE, E. 2005. Optimization of second-phase spatial sampling using auxiliary information. Ph.D. Thesis. State University of New York. Buffalo, USA. 127 p.

DUARTE, S.; TOVAR, J. 2007. Pruebas de patogenicidad *in vitro* con microorganismos aislados de palmas afectadas por marchitez letal. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá (Colombia).

ELLIOTT, M. 2007. Oil palm diseases in the Llanos (Eastern Zone) and Tumaco (Western Zone): Cogollo rot, lethal wilt and bud rot. Report on a visit with Cenipalma, 19-24 November 2007. 3 p.

FAJARDO, G.; TOVAR, J.; HERNÁNDEZ, M. 2005. Determinación de síntomas de la marchitez letal de la palma de aceite. Informe final de tesis de pregrado presentado a Cenipalma. 83p.

FEDEPLMA. 2013. Coordinadora de manejo sanitario, Reunión del subcomité agronómico de la Zona Oriental. Enero 27 de 2013. Cumaral (Metal), Colombia.

FEDEPALMA. 2016a. La palma de aceite en Colombia. Federación de cultivadores de palma de aceite. 1 p. Recuperado el 30 de octubre de 2016. <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Infografi%CC%81a%20General%20de%20COLOMBIA.pdf>

FEDEPALMA. 2016b. La palma de aceite en el departamento del Meta. Federación de cultivadores de palma de aceite. 1 p. Recuperado el 30 de octubre de 2016. [http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/infografia_meta\(2\).pdf](http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/infografia_meta(2).pdf)

FEDEPLMA. 2016c. Sistema de información estadística del sector palmero SISPA. Recuperado el 28 de mayo de 2016. <http://sispaweb.fedepalma.org/SitePages/areas.aspx>

FEDEPLMA. 2018. Sistema de información estadística del sector palmero SISPA. Recuperado el 14 de mayo de 2018. [http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control= Pages/areas](http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/areas)

FELGUEIRAS, C. 1999. Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: O paradigma geoestatístico por indicação. Tese de Doutorado. INPE, São José dos Campos, Brasil. 198 p.

GERBI, E., DRUCK, S., CÂMARA, G. 2004. Análise espacial de superfícies. En: Druck, S., Carvalho, M., Câmara, G., Monteiro, A., (Eds). Análise espacial de dados geográficos. EMBRAPA, Brasília.

GILARDI, N. 2002. Machine learning for spatial data analysis. Ph.D. Thesis. Université de Lausanne, Suisse. 76 p.

GITAU, C.; GURR, G.; DEWHURST, F.; FLETCHER, M.; MITCHELL, A. 2009. Insect pests and insect-vectored disease of palms. *Australian Journal of Entomology* 48: 328-342.

HOWARD, F.; NORRIS, R.; THOMAS, D. 1983. Evidence of transmission of palm lethal yellowing agent by a planthopper, *Myndus crudus* (Homoptera: Cixiidae). *Tropical Agriculture* 60: 168-171.

HOWARD, F.; GALLO, S. 2006. El cixiido Americano de las palmas, *Myndus crudus* Van Duzee (Insecta: Hemiptera: Auchenorrhyncha: Fulgoroidea: Cixiidae). University of Florida IFAS Extension. Document EENY-396. Available at <http://creatures.ifas.ufl.edu>.

HOWARD, F.; McCOY, R. 1980. Reduction in spread in mycoplasma-like organism associated lethal decline of the palm *Veitchia merrillii* by the use of insecticides. *J Econ Entomol.* 73: 268-270.

HOWARD, F.; OROPEZA, C. 1998. Organic mulch as a factor in the nymphal habitat of *Myndus crudus* (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cixiidae). *Florida Entomologist* 81(1): 92-97.

HOWARD, F.; WILSON, M. 2001. Hemiptera: Auchenorrhyncha. In F. W. Howard, D. Moore, R. M. Giblin-Davis, and R. G. Abad (eds.). *Insects on Palms* London, CAB International Institute of Entomology: 128–160.

HOWARD, F. 1987. *Myndus crudus* (Homoptera: Cixiidae), a vector of lethal yellowing of palms. In M. R. Wilson and L. R. Nault (eds.) *Proc. 2nd Int. Workshop on Leafhoppers and Planthoppers of Economic Importance*. Provo, Utah. July 28-August 1, 1986. pp. 117-129.

HOWARD, F. 1990. Evaluation of grasses for cultural control of *Myndus crudus*, a vector of lethal yellowing of palms. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 56, 131-137

HOWARD, F. 2012. Featured Creatures, American Palm Cixiid, *Myndus crudus* Van Duzee (Insecta: Hemiptera: Auchenorrhyncha: Fulgoroidea: Cixiidae). University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences and Florida Department of Agriculture and Consumer Services. EENY-389.

KOGAN, M.; HERZOG, D. 1980. Sampling methods on soybean entomology. Springer-Verlag, N. Y.

LLOYD, C., ATKINSON, P. 1999. Designing optimal sampling configurations with ordinary and indicator kriging. Proceedings of the 4th International Conference on GeoComputation, GeoComputation 99, Fredericksburg, USA, 25-28 July 1999. Leeds, UK, University of Leeds.

MAGALHAES, P.; YOKOYAMA, M.; ZIMMERMANN, F. 1988. Metodos de amostragem e flutuacao populacional de *Empoasca kraemeri* Ross & Moore, 1957 (Homoptera: Cicadellidae), *Cerotoma arcuata* (Olivier, 1791) e *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) no feijoeiro, em Goias. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil. 17(1):81-95.

MARTÍNEZ, G.; ARANGO, M.; TORRES, G.; SIERRA, G.; VÉLEZ, D.; RODRÍGUEZ, J.; MESTIZO, Y.; AYA, H.; NOREÑA, C.; VARÓN, F.; DRENTH, A.; GUEST, D. 2013. Avances en la investigación sobre las dos enfermedades más importantes en la palma de aceite en Colombia: la Pudrición del cogollo y la Marchitez letal. Palmas 34 (1): 39-47.

MARTÍNEZ, G. 1985. Observaciones sobre distintos casos de marchitez de la palma africana en Colombia. Palmas 6 (3): 65-67.

MARTÍNEZ, G. 2010. Insectos como vectores de enfermedades en palma de aceite. Palmas. 31 (1): 383-387.

MATÉRN, B. 1960. Spatial variation. Springer-Verlag. Berlin, Germany, 151p.

MCBRATNEY, A., WEBSTER, R. 1981a. The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables: II. Program and examples. *Computers and Geosciences* 7, 331-334.

MCBRATNEY, A., WEBSTER R., BURGESS, T. 1981b. The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables: I. Theory and method. *Computers and Geosciences* 7, 335-365.

MENA, E.; CARDONA, C.; MARTÍNEZ, G.; JIMÉNEZ, O. D. 1975. Efecto del uso de insecticidas y control de malezas en la incidencia de la marchitez sorpresiva de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Colombiana de Entomología*. 1(1): 9-14.

MENA, E.; MARTÍNEZ, G. 1977. Identificación del insecto vector de la marchitez sorpresiva de la palma africana *Elaeis guineensis*, Jacq. *Revista Fitopatología Colombiana*. 6(1):2-14.

MITCHELL, P. L. (2004). Heteroptera as vectors of plant pathogens. *Neotropical Entomology* 33 (5): 519-545.

MORILLO, F.; SALAZAR, C.; TUPAZ, A.; OLIVEROS, M. 2012. Reconocimiento de insectos posiblemente asociados a la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) con presencia de Marchitez Letal. *Revista de Ciencias Agrícolas* 29 (1): 42-56.

MORRIS, R. 1955. The development of sampling techniques for forest insect defoliators, with particular reference to the spruce budworm. *Canadian Journal of Zoology* 33: 225-294.

PEDIGO, LARRY P.; RICE, MARLIN E. *Entomology and pest management*. Waveland Press, 2014.

RAIRÁN, N.; BELTRÁN, J.; ARANGO, M. 2015. Tecnologías para el manejo de la Marchitez letal de la palma de aceite validadas en la Zona Oriental de Colombia. *Palmas*, 36 (1). 55-62.

REDFORD, A.; WALTERS, T.; HODGES, A.; HOWARD, F.; TRICE, M. 2010. Screening Aid to Pests. In A Resource for Pests and Diseases of Cultivated Palms. USDA-APHIS-PPQ-CPHST, Identification Technology Program. Fort Collins, CO. Accessed May 25, 2012 from: http://itp.lucidcentral.org/id/palms/sap/American_Palm_Cixiid.htm.

REINERT, J. 1977. Field biology and control of *Haplaxius crudus* on St. Augustine grass and Christmas palm. *Journal of Economic Entomology* 70(1): 54-56.

REYES, A.; DURAN, C. 1996. Renovación de Plantaciones de Palma de Aceite. Memorias, Primer Curso Internacional de Palma de Aceite. 271 – 293.

RHAINDS, M.; GRIES, G.; CHINCHILLA, C. 1996. Development of a samplinii method for first instar *Oiketicus kirbyi* (Lepidoptera: Psychidae) in oil palm plantations. *Journal Economic Entomology*. 89 (2): 396-401.

ROCHA, P.; TOVAR, J.; GUTIÉRREZ, D.; MOSQUERA, M. 2007. Marchitez letal en palma de aceite. *Boletín Técnico Bogotá (Colombia)* No. 21.

ROSETO, M.; MATABANCHOY, J.; BUSTILLO A. 2014. Evaluación de hongos y nematodos para el control de *Haplaxius crudus*, vector de la Marchitez letal (ML) de la palma de aceite en Colombia. *Ceniavances Cenipalma* N° 179. ISSN 0123-8353. 4 p.

RUIZ, E.; RAIIRÁN, N.; MOSQUERA, M.; ZAMBRANO, J. 2013. Estimación de costos asociados al manejo de la Marchitez letal (ML) en parcelas de validación. *Palmas*, 34 (4). 23-32.

RUIZ, E.; MOLINA, D. 2014. Beneficios asociados al uso de coberturas leguminosas en palma de aceite y otros cultivos permanentes: una revisión de literatura. *Palmas*, 35 (1). 53-64

SAMPER, F., CARRERA, J. 1990. Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología subterránea. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona. 484 p.

SIERRA, J.; ARANGO, M.; ALDANA, R.; MARTÍNEZ, G. 2011. Evaluación de insecticidas para el control de adultos de *Myndus crudus* (Hemiptera: Cixiidae). Palmas 32 (1). 25 - 32.

SIERRA, J.; BUSTILLO, A.; ROSERO, G.; GUTIÉRREZ, H.; MARTÍNEZ, J. 2014. Plantas hospederas del vector de la Marchitez letal, *Haplaxius crudus*, en plantaciones de palma de aceite. Ceniavances Cenipalma N°. 177. ISSN 0123-8353. 4 p.

TAYLOR, L. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect population. Ann. Rev. Entomol. 29: 321-357.

TSAI, J.; KIRSCH, O. 1978. Bionomics of *Haplaxius crudus* (Homoptera: Cixiidae). Environmental Entomology 7(2): 305-308.

TSAI, J. 1979. Vector transmission of mycoplasmal agents of plant diseases. In: RF Whitcomb and JG Tully (Eds.). The mycoplasmas (3). Academic Press, New York (EE.UU.): 266-307.

TUPAZ, A. 2009. Caracterización estructural de las poblaciones de arvenses que crecen en el cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) y su asociación con palmas sanas y enfermas de marchitez letal. Tesis de pregrado Universidad de Nariño.

VAN GROENIGEN, J., SIDERIUS, W., STEIN, A. 1999. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. Geoderma 87, 239-259.

VAN GROENIGEN, J. 2000. The influence of variogram parameters on optimal sampling schemes for mapping by kriging. Geoderma 97, 223-236.

VILLANUEVA, B.; PIÑA, R.; CARRILLO, R. 1987. Avances sobre el control y la investigación del amarillamiento letal del cocotero en México. Folleto Téc. No. 1, SARH-Ver. p. 19.

WEBSTER, R., OLIVER, M. 1992. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. European Journal of Soil Science 43 (1), 177-192.

WEBSTER, R., OLIVER, M. 2007. Geostatistics for environmental scientists. 2a. Ed. John Wiley & Sons, Inglaterra. 332 p.

WEINTRAUB, P.; BEANLAND, L. 2006. Insect vectors of phytoplasmas. Annual Review of Entomology, 51, 91-111.

ZENNER, I.; A, LOPEZ. 1977. Apuntes sobre la biología y hábitos del *Haplaxius pallidus* transmisor de la marchitez sorpresiva en palma africana. Revista Colombiana de Entomología. 3(1-2): 49-62.