

Capítulo 25

Cambio climático y control biológico de insectos: visión y perspectiva de la situación

Chapter 25

Climate change and biological control of insects: current situation and perspectives

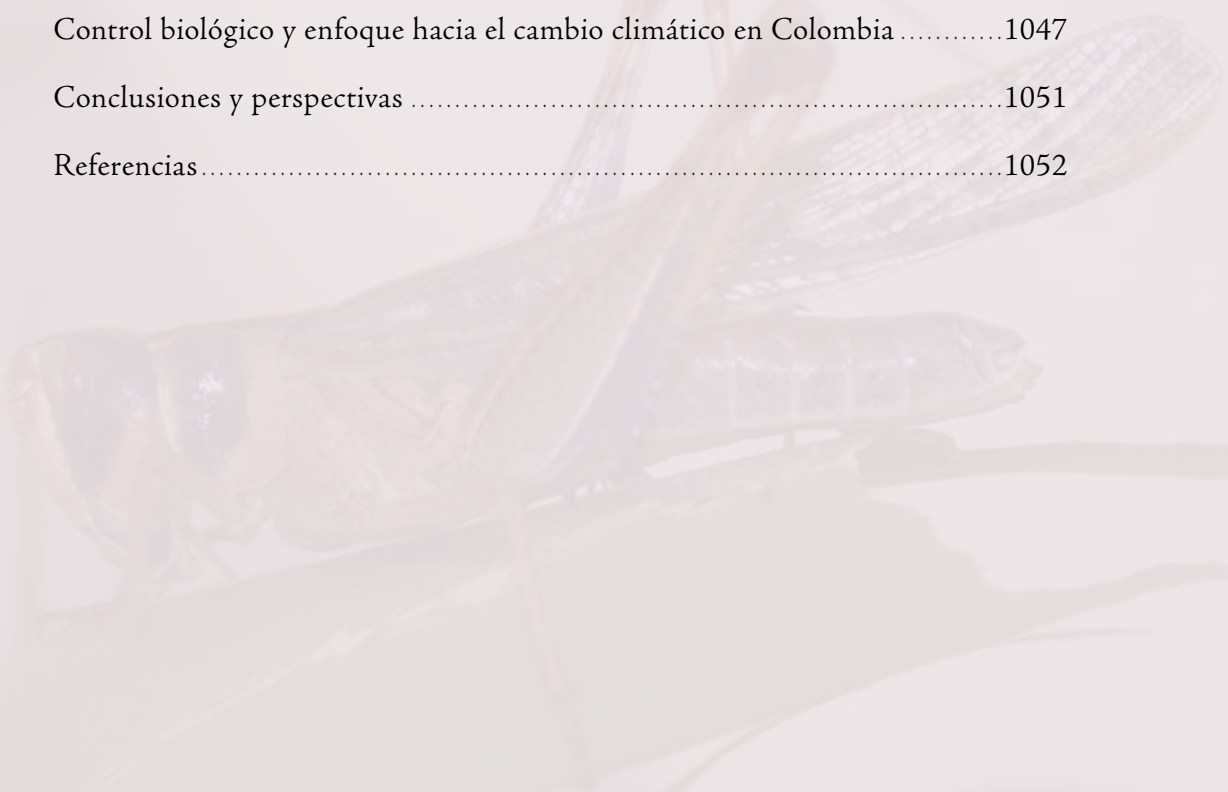
Guillermo León M.,¹ Ángela M. Arcila C.,¹
Luz Astrid Pulido,² Takumasa Kondo¹

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

² Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Colombia

Contenido

Introducción.....	1038
Seguridad alimentaria, plaguicidas y cambio climático	1039
Dinámica de poblaciones de plagas y cambio climático.....	1041
La cochinilla acanalada de Colombia <i>Crypticerya multicatrices</i> Kondo y Unruh (Hemiptera: Monophlebidae): una plaga favorecida por las condiciones urbanas.....	1041
El caso de la langosta llanera <i>Rhammatocerus schistoceroides</i> Rehn	1043
El caso de la broca del café en áreas productoras de Colombia	1044
Control biológico y enfoque hacia el cambio climático en Colombia	1047
Conclusiones y perspectivas	1051
Referencias.....	1052



Resumen

En este capítulo se discuten los efectos de la variabilidad del clima y el cambio climático en la producción de alimentos, la seguridad alimentaria, el uso de pesticidas, las poblaciones de insectos plaga y su control biológico en los sistemas de producción. El análisis se enfoca en los efectos de cambio climático sobre la agricultura, para lo cual se revisan ejemplos recientes y proyecciones futuras. Se presentan estudios de caso realizados con la langosta llanera, la broca del café y la cochinilla acanalada de Colombia. También se discuten algunos ejemplos de sistemas de producción agrícola sostenible en Colombia, así como los efectos que las investigaciones y la aplicación de algunos modelos han significado para la producción de alimentos inocuos en el contexto del cambio climático.

Palabras clave

Calentamiento global, Colombia, insectos plaga, seguridad alimentaria, sostenibilidad

Abstract

In this chapter we discuss the effects of climate variability and climate change on food production, food security, the use of pesticides, insect pest populations and their biological control in production systems. The analysis focuses on the effects of climate change on agriculture, looking at examples from the recent past and forecasts. Examples of research conducted on the South American migratory locust, the coffee berry borer and the Colombian fluted scale are presented as case studies. Some examples of sustainable agricultural production systems in Colombia and the effects that research and these models mean against the production of safe food in the context of climate change are presented and discussed.

Keywords

Colombia, food safety, global warming, insect pests, sustainability

Introducción

El control biológico, como se ha evidenciado en los capítulos anteriores, juega un papel importante para atender la demanda actual de alimentos sanos e ino cuos, gracias a sistemas de producción sostenibles que no interfieran con el equilibrio ambiental. No obstante, las variaciones en el clima podrían modificar la eficacia de dichos sistemas de producción, puesto que afectarían la biología y los hábitats de los enemigos naturales utilizados como agentes de control de plagas. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, la mayor amenaza medioambiental que incide en nuestro planeta actualmente es el cambio climático. Esta problemática se ha visto acelerada e inducida por sistemas de generación de energía basados en la quema de combustibles fósiles, especialmente, petróleo, carbón y gas, los cuales, además de no ser renovables, liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera, aumentan la temperatura global del planeta y provocan distorsiones en el clima (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático, constituido en 1988, es una organización internacional de países miembros de las Naciones Unidas. Su principal tarea es analizar la información científica, técnica y socioeconómica relevante sobre el cambio climático. Esta organización es considerada mundialmente como el ente base para cualquier decisión que se tome sobre el calentamiento global. El Panel ha llegado a la conclusión de que el cambio climático es responsabilidad del hombre y afirma que, aunque la humanidad reduzca las concentraciones de gases efecto invernadero —como dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de gases industriales fluorados como hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6) (Universidad del Rosario, s. f.)—, lo más probable es que ocurra un calentamiento global cercano a los $2\text{ }^\circ\text{C}$ al final del siglo XXI.

Adicionalmente, el Panel y otras organizaciones (Greenpeace Colombia, s. f.) predicen que, si la temperatura global supera los $2\text{ }^\circ\text{C}$, los impactos económicos, sociales, políticos, culturales y ambientales

perjudicarán seriamente a todas las regiones del mundo; sin embargo, se desconoce lo que estos cambios atmosféricos significarían cabalmente para las poblaciones y comunidades biológicas.

El sector agropecuario no es ajeno a esta problemática: la agricultura produce emisiones de gas carbónico (CO_2) —generadas por actividades como la quema de sabanas y de residuos de cosechas agrícolas— y óxido nitroso —derivado del uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados—, entre otras (Saynes-Santillán, Etchevers, Paz, & Alvarado, 2016). Por su parte, la ganadería produce importantes emisiones de metano, especialmente, por el metabolismo anaeróbico de la lignina presente en los pastos (Marín, 2013). Con la búsqueda de nuevas áreas para la producción de alimentos, la expansión de la agricultura y la ganadería afectan diariamente zonas boscosas y selváticas mediante intervención directa y deforestación, que producen cambios en el uso de la tierra (Landa, Ávila, & Hernández, 2010).

Estos procesos de intervención del bosque natural para actividades agrícolas, pecuarias y de silvicultura, además de la deforestación acelerada para la obtención de madera y otros productos del bosque (como la leña), generan emisiones de gases efecto invernadero e inciden en los niveles de las poblaciones de artrópodos (Karuppiah & Sujayanad, 2012). Los cambios en los regímenes de temperatura y precipitación implican alteraciones en las tasas de desarrollo, el voltinismo y la supervivencia de los insectos. Asimismo, actúan posteriormente sobre el tamaño, la densidad y la composición genética de las poblaciones, así como sobre el alcance de la explotación de la planta hospedera (Bale et al., 2002). El calentamiento global creará nuevas inseguridades alimentarias en las próximas décadas, y estas serán más significativas en países con bajos ingresos y con limitada capacidad de adaptación al cambio climático (Führer, 2003; Von Braun, 2007).

El Acuerdo de París, firmado en 2016, tiene como objetivo principal mantener la temperatura global por debajo del umbral crítico de $1,5\text{ }^\circ\text{C}$. Para ello,



comprometió a 195 países a promover un mundo libre de combustibles fósiles y de prácticas perjudiciales para el planeta, así como a detener la deforestación (Greenpeace, 2017), pero esto solo es posible con la ejecución de políticas gubernamentales específicamente orientadas hacia tal fin, estatuidas por los países firmantes.

Aun cuando el primer testimonio sobre control biológico en Colombia data de 1913 y su aplicación surge con la fundación del Servicio de Sanidad Vegetal del Ministerio de Agricultura en 1927 (Valenzuela, 1993), el progreso del control biológico en el sector agrícola colombiano se ha visto desfavorecido. Hasta la década de los setenta, se desarrollaron investigaciones y se trató de fomentar la utilización del control biológico en la agricultura del país, especialmente, en los cultivos de algodón, café, caña de azúcar y maíz, mediante el uso de depredadores, parasitoides, bacterias y hongos entomopatógenos (Valenzuela, 1993). Sin embargo, después de casi cien años, el uso de productos químicos en los cultivos de Colombia

ha venido en aumento; de hecho, para inicios del siglo XXI, al menos una quinta parte de los ingredientes activos usados hoy en día en el país estaba prohibida o restringida en otras partes del mundo por razones ambientales o de salud pública (Nivia, 2004).

Para la producción agropecuaria del país, dicha situación, en términos de sostenibilidad, plantea retos enormes, cuyo manejo implica cambios en los sistemas de producción agropecuaria hacia modelos productivos sostenibles y agroecológicos que conlleven la obtención inocua de alimentos. Se propone, en este sentido, el control biológico como una estrategia clave en programas de manejo integrado de plagas, enfocado hacia el uso de insectos y organismos entomófagos, capaces de controlar las plagas en forma natural.

De esta manera, se aportaría al fortalecimiento de prácticas agrícolas que contribuyen a la producción de alimentos sanos, de calidad y que sustenten la soberanía alimentaria de nuestro país.

Seguridad alimentaria, plaguicidas y cambio climático

Uno de los trabajos de Olesen y Bindi (2002) presenta las consecuencias del cambio climático en los rendimientos de la agricultura en varios escenarios, y concluye que, con el aumento de la temperatura, se presentan disminuciones de los rendimientos, con diferencias contrastantes entre el rendimiento de los países desarrollados y el de los países en desarrollo. A pesar de la tecnología y del potencial de rendimiento de los cultivos, la producción de alimentos permanece altamente dependiente del clima. He aquí algunos ejemplos: durante la década de los treinta, la sequía en las grandes planicies del sur de los Estados Unidos redujo los rendimientos de maíz y de trigo hasta en un 50 %, lo que ocasionó la bancarrota en cerca de 200.000 granjas (Warrick, 1984); las anomalías climáticas causadas por El Niño en 1997 y 1998 afectaron adversamente la agricultura en el nordeste de Brasil e Indonesia (Rosenzweig, Boote, Hollinger, Iglesias, & Phillips, 2001); para la cosecha de 1998, la sequía en Estados Unidos redujo la producción de trigo y de maíz en un 30 % (Rosenzweig & Hillel, 1998); y para las últimas décadas, la persistente sequía en la región

saheliana de África ha causado importantes pérdidas en la producción de alimentos (Houghton et al., 2001; Rosenzweig et al., 2001).

Scherm, Sutherst, Harrington e Ingram (2000) resaltan la importancia de plagas y enfermedades como reductores del rendimiento. Con respecto a esto se han realizado esfuerzos utilizando mapas climáticos para modelar los efectos del cambio climático en la distribución de plagas y patógenos, puesto que la capacidad de predecir impactos reales de plagas y enfermedades en climas futuros tiene un vínculo directo con la seguridad alimentaria. Existen evidencias de que el cambio climático ya ha afectado la situación geográfica y la distribución de algunas plagas y patógenos de cultivos. Se citan a continuación un par de ejemplos: la roya del tallo en trigo (causada por *Puccinia graminis*) y la marchitez bacteriana del clavel (ocasionada por *Dickeya dianthicola*) adelantaron su temporada de aparición en Finlandia, así como los pulgones *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae), en Escocia. Estos últimos, plaga clave de la agricultura en todo



el mundo, son particularmente sensibles al cambio climático debido a su baja temperatura de umbral de desarrollo, su corto tiempo de ciclo de vida y su considerable capacidad de dispersión. De igual manera ocurre con muchos insectos herbívoros que afectan los cultivos (Gregory, Johnson, Newton, & Ingram, 2009). Ingram, Gregory e Izac (2008) señalan que la inclusión de los efectos de plagas y enfermedades en los modelos de predicción sería una inversión fundamental para el futuro, puesto que conduciría a pronósticos más realistas de producción de los cultivos a escala regional, lo cual contribuiría al desarrollo de políticas más sólidas en cuanto a los programas de manejo de plagas y la seguridad alimentaria.

En cuanto a los sistemas de producción de alimentos, existe una alta tendencia al uso de agroquímicos: la FAO calcula que más de 500 mil toneladas de plaguicidas se acumulan en casi todos los países del sur (Nivia, 2004), lo que implica una grave amenaza para el medioambiente y la salud de millones de personas. De acuerdo con esta misma autora, desde la década de los setenta hasta mediados de los noventa, el mercado mundial de los agroquímicos se cuadruplicó y alcanzó ventas cercanas a los 32 billones de dólares. En el año 2002 bajaron a 27,7 billones de dólares. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación [FAO] (2016), el uso de plaguicidas en el mundo se incrementa en cerca de 100.000 toneladas de ingredientes activos cada año, sin embargo, las pérdidas ocasionadas por plagas, enfermedades y malezas se continúan calculando por encima del 30 %.

En Colombia, los sistemas de producción agrícola se basan en el uso de plaguicidas de síntesis química. Según el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (2009), en 1974 existían 770 productos formulados de 186 ingredientes activos. En 1996 esta cifra aumentó a 1.251 productos, y los cultivos con mayor demanda de plaguicidas en el país fueron algodón, arroz, banano, café, caña de azúcar, flores, frutales, hortalizas, maíz, papa, pastos y tomate. Para 2003, Colombia aumentó el número de registros a 1.370 productos químicos, para controlar bacterias, hongos, insectos, malezas y nematodos, entre otros.

A pesar de los grandes esfuerzos para implementar el control biológico en Colombia, para 2003 el ICA contaba con solamente 27 productos biológicos o naturales registrados, los cuales representan el 6 % de

los ingredientes activos totales registrados en Colombia (Álvarez, 2010; Nivia, 2004). De acuerdo con el Banco Mundial (Universidad Nacional de Colombia, 2015), Colombia aumentó el uso y la importación de plaguicidas en un 360 %. El ICA, por su parte, reporta para 2018 un total de 187 empresas productoras o comercializadoras de productos biológicos registrados en el país, entre los cuales se incluyen agentes biológicos, bioquímicos, extractos vegetales, feromonas, inoculantes biológicos y productos microbianos (ICA, 2018).

Respecto a la seguridad alimentaria, según la FAO, cerca de 795 millones de personas en el mundo no tienen suficientes alimentos para llevar una vida saludable, y para 2040 aumentará en un 20 % la cantidad de personas con inseguridad alimentaria en el mundo. De acuerdo con lo evidenciado en el conversatorio *Balance de la seguridad alimentaria en Colombia, un año después de la firma de la paz*, Colombia sigue esa misma ruta debido al conflicto armado, la violencia, los desastres naturales y el cambio climático: 25 millones de colombianos se sumaron a la situación de inseguridad alimentaria y desnutrición en el país entre 2015 y 2016. El mencionado evento concluyó que no hay políticas claras para apoyar al campesino y a los sectores más afectados (la población indígena, los afrocolombianos y los desplazados por el conflicto) en la producción de alimentos y en su comercialización (Colombia 2020, 2017). Las condiciones de seguridad alimentaria en el país continúan, entonces, siendo complejas, y según datos de la Encuesta Nacional de Situación Nutricional ("Rajados" en seguridad alimentaria, 2016), el 42,7 % de nuestra población no tiene suficientes alimentos para llevar una vida saludable y balanceada.

Gregory et al. (2009) afirman que, en términos generales, el aumento de temperatura acelera el desarrollo de las plantas, reduce la eficiencia del uso de nutrientes, aumenta el consumo de agua del cultivo, favorece el desarrollo de algunas plagas y reduce la productividad, con lo cual la seguridad alimentaria se vería amenazada. La agricultura intensiva podría adaptarse más fácilmente a las condiciones cambiantes, en contraste con la agricultura extensiva, por ello, los sistemas de bajo consumo se verían más afectados (Führer, 2003). En la actualidad, el desafío de la investigación agrícola es relacionar la dependencia de las plantas y el rendimiento de los cultivos en un clima cambiante con los problemas de seguridad alimentaria.



Dinámica de poblaciones de plagas y cambio climático

Es difícil predecir los efectos que tendrá el cambio climático sobre las invasiones biológicas en los sistemas agroecológicos desde el punto de vista de las especies de insectos, aunque algunos autores identifican varias consecuencias posibles. Hellman, Byers, Bierwagen y Dukes (2008) mencionan alteraciones en los mecanismos de diseminación e introducción de los insectos, cambios en su distribución, impactos sobre las especies existentes, establecimiento de especies invasoras nuevas y variación en la efectividad de las estrategias de control. Conocer estos comportamientos es fundamental para definir las respuestas de las especies invasoras al cambio climático y aportar sugerencias para planes de control de insectos dañinos.

Entre los factores climáticos que inciden en las dinámicas de la población de insectos, la temperatura es tal vez el más importante, puesto que tiene un impacto directo en la disminución de las tasas de desarrollo, supervivencia, fecundidad y dispersión de algunas especies de insectos dañinos. La alteración en el voltinismo también podría ser el resultado del calentamiento global, que resulta favorable para las especies multivoltinas (aquellas que tienen más de una generación por año) y podría tener como consecuencia cambios en la distribución geográfica de estas (Karuppaiah & Sujayanad, 2012). Por ejemplo, millones de hectáreas de bosque boreal están siendo alteradas por migraciones hacia el polo de escarabajos de la corteza *Dendroctonus* spp. (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), que se han originado a raíz del calentamiento del clima (Björkman & Niemelä, 2015).

En un estudio sobre las plagas del árbol urbano, Kondo (2015) incluye el calentamiento global como una de las muchas causas de las altas poblaciones de insectos plaga fitófagos en árboles urbanos en Colombia. Este autor también sugiere que las temperaturas altas pueden promover el crecimiento de los insectos plaga y causar efectos negativos a sus enemigos naturales, al mismo tiempo que disminuyen la resistencia de las plantas hospederas. Las poblaciones de insectos chupadores que infestan el árbol urbano tienen, por ejemplo, una tendencia a incrementarse en épocas secas, cuando las plantas de las que se alimentan se debilitan. Adicionalmente, debido a diferencias

en las temperaturas óptimas de desarrollo entre el insecto plaga y sus enemigos naturales, las altas temperaturas de las ciudades frecuentemente favorecen el desarrollo de la plaga (Kondo, 2015). Asimismo, altas concentraciones de CO₂ en los cultivos podrían alterar el valor nutricional de las plantas, con impactos sobre la abundancia de las poblaciones de plagas y el aumento en la tasa de consumo de insectos herbívoros (Long, Ainsworth, Leakey, Nosberger, & Ort, 2006).

A continuación, se presentan estudios de caso que ilustran, para Colombia, los efectos del cambio y la variabilidad climática en la dinámica poblacional y la distribución de insectos plaga.

La cochinilla acanalada de Colombia *Crypticerya multicatrices* Kondo y Unruh (Hemiptera: Monophlebidae): una plaga favorecida por las condiciones urbanas

La cochinilla acanalada de Colombia (CAC) *Crypticerya multicatrices* es una especie polífaga de amplia distribución en Colombia. Kondo, Ramos-Portilla, Peronti y Gullan (2016) la reportan en unas 150 especies de plantas hospederas, entre ellas, muchas de importancia económica, como coco, aguacate, árbol del pan, mango y papaya. En Colombia continental, la CAC ha sido reportada en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena, Sucre, Tolima y Valle del Cauca, usualmente asociada a la vegetación de áreas urbanas y periurbanas, y eventualmente como plaga en cultivos de mango. Muestreos realizados por Corpoica (actualmente AGROSAVIA) entre 2013 y 2016 en árboles de mango de los municipios de Santa Marta y Ciénaga (Magdalena) documentan la diferencia en la densidad poblacional de la especie entre áreas urbanas y rurales. En el área urbana del municipio de Santa Marta se muestrearon árboles de mango, en los





Figura 25.1. Adulto de la langosta llanera *Rhammatocerus schistocercoides* Rehn.

cuales se halló una incidencia del 88,5 %, en contraste con el área rural de Santa Marta y Ciénaga, donde solo se halló una incidencia del 16 % de la CAC.

Las diferencias entre ciudades y áreas rurales parecen estar mediadas por dos tipos de factores: ambientales (temperatura, humedad relativa, lluvia y radiación solar) y biológicos (presencia de competidores y enemigos naturales). Las ciudades son conocidas por su efecto de *isla de calor*, pues este último se acumula dentro del área urbana debido a las construcciones y actividades humanas. Este incremento de la temperatura superficial en las ciudades modifica el flujo de materia y energía en los ecosistemas urbanos (Yang, Qian, Song, & Zheng, 2016). Los ciclos biológicos de los insectos plaga del arbolado urbano no son ajenos al efecto de isla de calor de las ciudades. En el caso de la CAC, estudios de ciclo de vida realizados en condiciones semicontroladas a campo abierto (A. M. Arcila, comunicación personal, 2016) revelaron que condiciones de alta radiación solar, baja humedad relativa y poca lluvia favorecen

un desarrollo más rápido y una mayor supervivencia de la CAC, dado que la lluvia es el factor que más afecta la estabilidad, especialmente, de las ninfas. De hecho, una combinación de alta temperatura, baja humedad relativa, baja pluviosidad y alta radiación solar ($T 28,8 \pm 0,42 \text{ }^\circ\text{C}$; HR $79,3 \pm 3,16 \%$; lluvia 69 mm, rad solar/hora $430,6 \pm 19,3 \text{ W/m}^2$) tuvo como consecuencia un ciclo de vida un 20 % más corto ($82,5 \pm 9,5$ días) que el registrado durante el periodo más lluvioso, más húmedo, con menor temperatura y menor radiación solar ($T 27,6 \pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$; HR $86,3 \pm 4,1 \%$, lluvia 249 mm, rad solar/hora $341,9 \pm 17,8$) ($103,2 \pm 9,9$ días).

Hasta el momento no se han realizado estudios sistemáticos para documentar la diferencia entre ciudades y áreas rurales respecto al control biológico de esta especie. Sin embargo, observaciones realizadas durante el seguimiento de la dinámica poblacional de CAC en el arbolado urbano de la ciudad de Santa Marta (A. M. Arcila, comunicación personal, 2016) revelaron que los principales enemigos naturales son



dos coccinélidos: *Anovia punica* y *Rodolia cardinalis*. El primero aparece en gran abundancia en las épocas de lluvia (que corresponden a los periodos mayo-junio y septiembre-noviembre), mientras que el segundo es más abundante en épocas secas. Al parecer, la supervivencia de *A. punica* se ve limitada cuando las condiciones son secas (humedad relativa < 65%), lo cual fue corroborado en cría en condiciones de laboratorio. Por su parte, *R. cardinalis* sobrevive bien en condiciones de sequía y lluvia, pero es desplazada por *A. punica*, por competencia, cuando esta es muy abundante.

El caso de la langosta llanera *Rhammatocerus schistocercoides* Rehn

De 1994 a 1996, se presentaron incrementos poblacionales alarmantes de la langosta llanera *Rhammatocerus schistocercoides* Rehn (Orthoptera: Acrididae) (figura 25.1). Este insecto logró diseminarse en la Orinoquía y afectó las sabanas nativas de la altillanura colombiana hasta el piedemonte llanero, con el consumo de pastos (Poaceae) como el guaratara (*Axonopus* sp.) y el pasto peludo (*Trachypogon* sp.), lo que le causó daños a la ganadería de la región (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], & Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria [Pronatta], 1996).

Montealegre y Boshell (1997) afirman que esta especie es autóctona de la Orinoquía colombo-venezolana y de las sabanas nativas del Mato Grosso brasileiro. Con base en la comparación climática de dos localidades representativas del hábitat de la langosta en Colombia y Brasil, estos autores concluyeron que los vientos alisios bajos provenientes del cuadrante noreste colombo-venezolano favorecieron el desplazamiento poblacional de la plaga hacia los Llanos Orientales de Colombia. El ciclo biológico univoltino (una generación por año) de la especie se sincroniza con la precipitación monomodal de la región, de tal manera que la época seca entre enero y febrero coincide con la madurez de los adultos para su cópula y ovoposición, y el inicio de lluvias durante marzo y abril da lugar a

la eclosión de los huevos para una nueva generación (Corpoica et al., 1996; León, 1996).

La precipitación es un factor abiótico determinante para el desarrollo de *R. schistocercoides*, especialmente, durante la eclosión de los huevos y los primeros estados ninfales del insecto, dado que viven en el suelo de la sabana nativa de la región (figura 25.2). En la altillanura colombiana, las ninfas nacen en abril, viven hasta septiembre y reciben al menos el 64 % del total de lluvias anuales. En 1994, la precipitación fue escasa, lo cual pudo haber provocado la dispersión de la plaga, mientras que para 1996 las poblaciones de la langosta disminuyeron, pues la alta precipitación (1.451 mm de abril a septiembre, durante las etapas ninfales), en especial, durante el mes de abril — un 56 % más lluvioso con respecto a su promedio histórico —, pudo haber afectado la supervivencia de las ninfas recién nacidas del insecto (Corpoica et al., 1996; León, 1996; Montealegre & Boshell, 1997).

Veinte años después (durante 2014 y hasta la fecha), se han reportado algunos brotes de langosta en la Orinoquía colombiana, pero no se han registrado focos de la plaga en las cantidades poblacionales ocurridas entre 1994 y 1996. Las condiciones climáticas de la altillanura no son ideales, pero tampoco limitantes para el insecto, por lo cual este se estableció en dicho ecosistema. No obstante, con la ayuda de los vientos, tiende a desplazarse hacia el piedemonte de la cordillera Oriental, donde las condiciones bióticas y climáticas le son más adversas; por ello, a medida que las poblaciones se acercan al piedemonte, van desapareciendo (Corpoica et al., 1996; León, 1996; Montealegre & Boshell, 1997).

Para afrontar el problema desde el punto de vista del manejo biológico de la plaga, AGROSAVIA estudió y evaluó varias cepas de hongos entomopatógenos, entre ellos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium flavoviride* (utilizado para el control de la langosta migratoria en África) y *Metarhizium anisopliae*. Los resultados de las investigaciones mostraron controles con *M. anisopliae* superiores al 70 % sobre ninfas de la plaga (Ebrath et al., 2000) (figura 25.3). Las cepas más eficaces de esta especie se mantienen almacenadas bajo crioconservación y actualmente se encuentran viables para su reactivación en el Banco de Germoplasma de Microorganismos, administrado por Corpoica en el CI Tibaitatá.



El caso de la broca del café en áreas productoras de Colombia

En un escenario de aumento de la temperatura global, las especies tienen varias opciones para lidiar con las nuevas condiciones: variación genética, selección natural, adaptación, cambios comportamentales y cambios en distribución latitudinal o altitudinal. A continuación, se hace una revisión de los resultados de varios trabajos que abordan, con diferentes metodologías, el tema de la distribución y abundancia de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) bajo los efectos del cambio climático. Se revisarán con mayor detalle los estudios realizados para Colombia.

Jaramillo et al. (2011) modelaron la distribución potencial de la broca del café en escenarios de cambio climático para las regiones productoras del este de África empleando el *software* Climex. Se espera que el área de distribución aumente en algunos lugares y disminuya en otros, pero en general el modelo predice que las poblaciones de la broca aumentarán, pasando de 1,0-4,5 generacio-

nes/año a 5-10 en las partes altas (1.400 a 1.800 m s. n. m.) hasta 11-16 en altitudes medias (900-1.300 m s. n. m.) para el año 2050. Estas proyecciones afectarán negativamente la forma de vida de los productores.

Resultados similares a los anteriores fueron reportados por Ramírez, Daza y Peña (2015) para la misma especie en Colombia, quienes usaron otras técnicas para cuantificar el cambio en condiciones favorables para el desarrollo de la broca. Mediante el empleo de series de datos climáticos (20 > años) diarios de 29 estaciones experimentales de Cenicafé, dispersas por todo el país, se calcularon los acumulados mensuales multianuales de grados día cafeto y grados día broca (método del triángulo sencillo). Se encontró un incremento generalizado en el tiempo térmico (condiciones óptimas) para el cafeto y la broca, especialmente, en las estaciones ubicadas a mayor altura sobre el nivel del mar; sin embargo, en los mismos rangos óptimos altitudinales actuales (1.400 a 1.700 m s. n. m. para el cafeto y < 1.600 m s. n. m. para la broca) se ha incrementado en mayor proporción el número de grados día cafeto y grados día broca. Esto



Fotos: Guillermo León M.

Figura 25.2. Pastos nativos de los llanos orientales invadidos por brotes poblacionales de la langosta llanera *R. schistocercoides*.





Foto: Carlos Espinel

Figura 25.3. Ninfa de *R. schistocercoides* afectada por el entomopatógeno *M. anisopliae*.

implicaría un mayor número de generaciones por año para la broca y una mayor incidencia en el cultivo.

Al comparar estas variables entre años Niño, Niña y neutro, se encontró que el incremento en tiempo térmico para la broca es mayor en años Niño. No solamente el aumento en la temperatura promedio, también el aumento en la variabilidad climática (por ejemplo, la frecuencia de ocurrencia de periodos Niño-Niña) afecta las poblaciones de la broca. Constantino (2010), en un estudio realizado en la región del Eje Cafetero en Colombia, reportó que el porcentaje de infestación por broca se correlacionó positivamente con la temperatura y negativamente con la altitud (1.200-1.700 m s. n. m.) en periodos Niño, Niña y neutro por igual. Sin embargo, durante los periodos Niño, la reproducción de la broca es mayor: por ejemplo, a una altitud de 1.281 m s. n. m., un solo fruto brocado en el suelo infestó 150 frutos en el árbol durante un periodo Niña, 590 en un periodo normal y 959 en un periodo Niño. Durante los periodos

secos prolongados propios del fenómeno de El Niño, la broca se reproduce en grandes cantidades en los frutos que quedan en el árbol y en el suelo.

Finalmente, empleando el enfoque de modelación de nicho ecológico, el proyecto “Investigación sobre los efectos del cambio climático en la distribución altitudinal de insectos plaga del café y sus enemigos naturales en la zona cafetera de Colombia” (ejecutado por Corpoica, Ideam, Cenicafé y el Instituto Alexander von Humboldt, entre 2008 y 2011) buscó identificar los efectos potenciales del cambio climático sobre la distribución altitudinal de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) y generar mapas de riesgo de esta especie en dos áreas cafeteras de Colombia. En este estudio, mediante el *software* MaxEnt como herramienta de modelación, se construyeron mapas de distribución potencial de *H. hampei* actuales y proyectados a 2020, en dos escenarios de cambio climático: cuatro modelos GCM¹ del IPCC²

1 *General circulation model* o modelo de circulación general.

2 Intergovernmental Panel on Climate Change o Panel Intergubernamental de Cambio Climático.



pertenecientes al SRES A2a³ 2020 (CGCM2.0, MK2, HadCM3, NIES99) y cuatro modelos pertenecientes al SRES B2A⁴ 2020.

Los datos de clima actual se obtuvieron de la base de datos mundial WorldClim (Hijmans, Cameron,

Parra, Jones, & Jarvis, 2005), constituida por 19 variables bioclimáticas, en formato *raster/grid* a una resolución de 30 arcosegundos (~1 km en el Ecuador). Para alimentar el modelo, se usaron 75 registros georreferenciados de *H. hampei* asociados a cultivos de café en Colombia. Estos registros

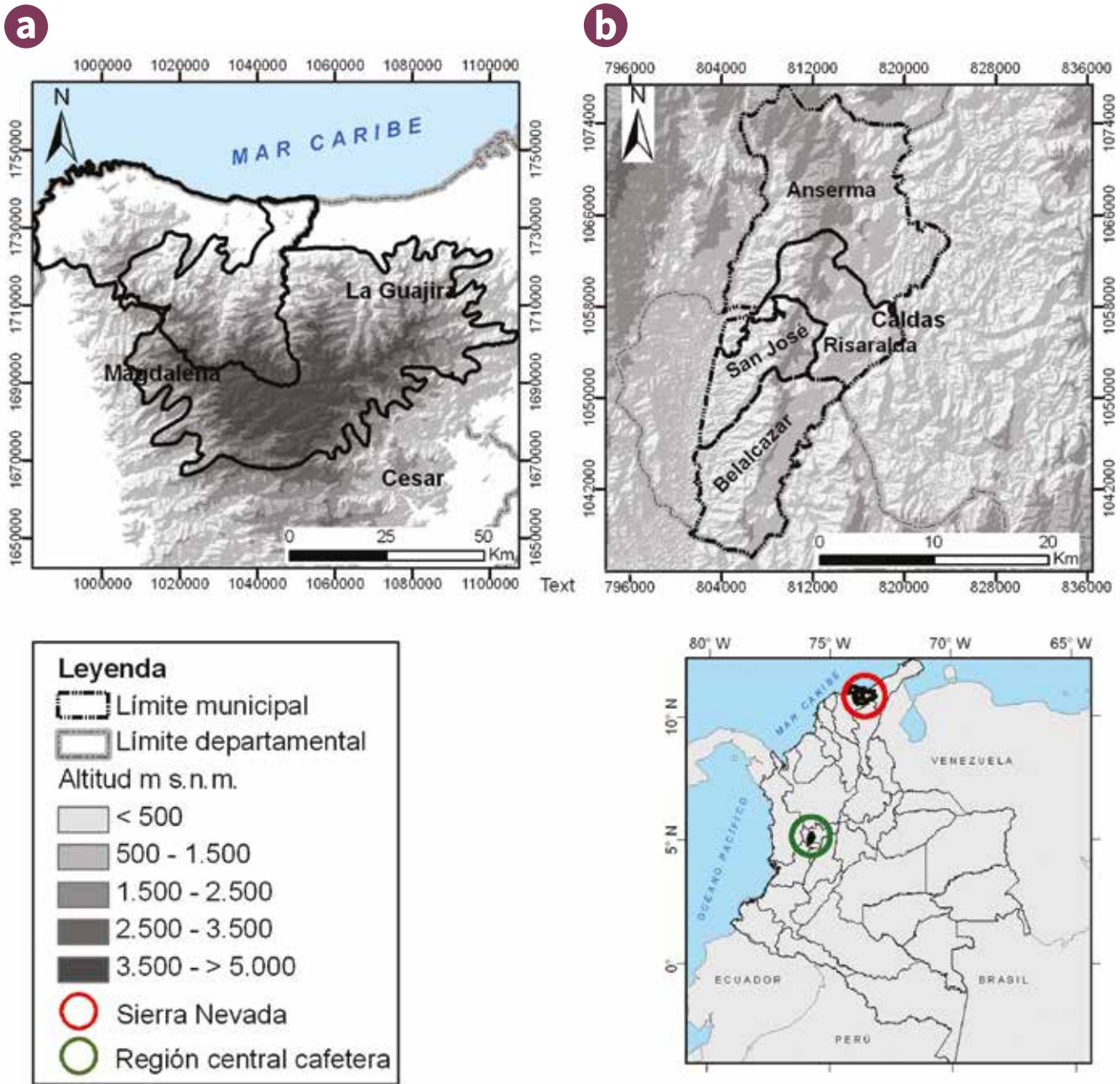


Figura 25.4. Ubicación del área de estudio. a. Sierra nevada de Santa Marta; b. Región central del Eje Cafetero.

Fuente: Elaboración propia

- 3 Escenario de cambio climático tendiente a la regionalización, con enfoque de desarrollo económico de heterogeneidad social, el cual presentó un aumento de temperatura entre 2,0 y 5,4 °C entre 1900 y 2100 (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007).
- 4 Escenario de cambio climático tendiente a nivel local y regional, con prioridad en cuidado del medioambiente e igualdad social, el cual presentó un aumento de temperatura entre 1,4 y 3,8 °C entre 1900 y 2100 (IPCC, 2007).



provenían de tres fuentes principales: museos e institutos; artículos científicos publicados, literatura gris e informes técnicos; y muestreos de campo realizados en las áreas para las cuales se construyó el modelo en el Eje Cafetero y la sierra nevada de Santa Marta (figura 25.4). Dentro de los museos e institutos, vale la pena mencionar los siguientes: Instituto de Ciencias Naturales (ICN), Museo Entomológico Francisco Luis Gallego (MEFLG) de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), Colección Entomológica de la Universidad de Antioquia, Museo de Entomología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), Colección Entomológica de Cenicafé y Colección Entomológica de Corpoica (Tibaitatá).

Para la broca del café, las variables que más aportaron en la construcción del modelo fueron la altitud (con el 56,3%), la isothermalidad (con el 16,8%) y la temperatura del cuatrimestre más caliente (con el 6,9%). El modelo de *H. hampei* reflejó un alto valor de área bajo la curva (AUC, por su sigla en inglés) (0,964), lo que indica un buen ajuste del modelo para la predicción de la distribución. Las áreas óptimas para el establecimiento de la broca (>60% de probabilidad de presencia de esta) incrementaron en ambos escenarios (A2 y B2) para la sierra nevada de Santa Marta (figura 25.5). Para el escenario A2, el porcentaje estimado de incremento fue del 34%, mientras que para el escenario B2 fue del 66%. En contraste, en el Eje Cafetero, las áreas óptimas presentaron una tendencia a mantenerse (figura 25.6): tanto para el escenario actual como para los dos escenarios del 2020, las áreas óptimas se encuentran en altitudes de entre los 1.000 m y los 2.000 m. Esto concuerda con los hallazgos de Ramírez et al. (2015), en el sentido de que las áreas óptimas para la broca del café tienden a conservarse en el mismo rango altitudinal actual.

Los resultados de los trabajos revisados concuerdan en que se esperan cambios en la distribución de la broca del café, con una tendencia al incremento en las áreas óptimas. La tendencia respecto al rango altitudinal no es muy clara aún, pero se espera que, por lo menos en su rango óptimo actual, incremente el número de generaciones por año en respuesta al incremento del tiempo térmico.

Control biológico y enfoque hacia el cambio climático en Colombia

A pesar de la dependencia de los productos agroquímicos en la agricultura, Colombia ha sido un país líder en el uso y aplicación del control biológico en Latinoamérica. En Colombia se ha utilizado una amplia gama de enemigos naturales para el control de plagas de algodón, árboles forestales, caña de azúcar, flores, frutales, hortalizas, palma de aceite, sorgo, maíz y yuca, entre otros (capítulos 5-10). El sistema de control de plagas de caña de azúcar en el Valle del Cauca es el ejemplo clásico de la eficacia del control biológico en Colombia.

Desde los años sesenta, se iniciaron programas de producción y liberación de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) en varios ingenios azucareros. Durante la década de los setenta, se crearon más de 20 laboratorios de producción de *Trichogramma* spp. y otros parasitoides para el control biológico de plagas en caña de azúcar, que fueron usados también en cultivos de algodón y soya (Valenzuela, 1993).

Actualmente, cerca de 225.000 ha sembradas de caña de azúcar en el Valle del Cauca se manejan con un modelo de MIP basado en control biológico, aunque no se conoce el efecto del cambio climático sobre esta estrategia de control. Así mismo, se desconoce lo que pasará en nuevas áreas de siembra de gran extensión, como la Orinoquía colombiana, recientemente incorporadas a la producción de cultivos de caña de azúcar, caucho, maíz, forestales, soya y otros productos. En cultivos de caucho, la combinación del control biológico mediante liberaciones de *Trichogramma exiguum* Pinto & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y aplicaciones del *Baculovirus erinnyis* ha demostrado resultados extraordinarios de control del gusano cachón *Erinnyis ello* (L.) (Lepidoptera: Sphingidae), una de las principales plagas de este cultivo en Colombia. Las liberaciones oportunas de *Trichogramma* permiten un parasitismo sobre huevos del gusano cachón de hasta el 92% y las aplicaciones de *Baculovirus erinnyis* han alcanzado control



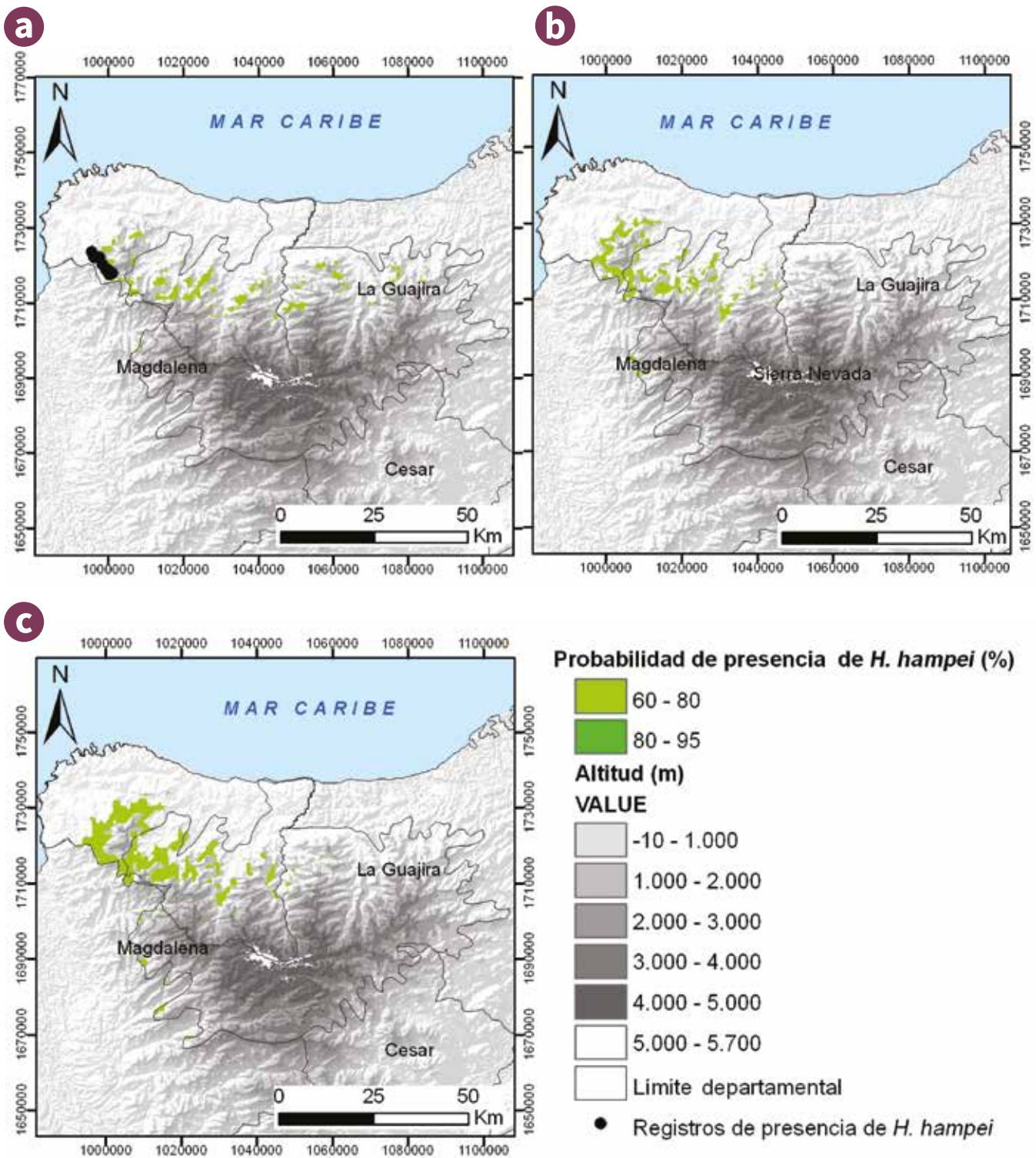


Figura 25.5. Relación de áreas climáticamente adecuadas de *Hypothenemus hampei* en la Sierra Nevada de Santa Marta. a. Escenario actual; b. Escenario A2 2020; c. Escenario B2 2020.

Fuente: Elaboración propia

sobre las larvas de gusano cachón por encima del 90%. Como resultado paralelo, se observa el incremento de una gran cantidad de especies de enemigos naturales, parasitoides, depredadores y entomopatógenos que actúan como controladores

de huevos, larvas, pupas y adultos de gusano cachón *E. ello* y otras plagas del caucho (León, Beltrán, & Campos, 2010), lo cual contribuye a la producción sostenible de este cultivo en las regiones productoras del país.



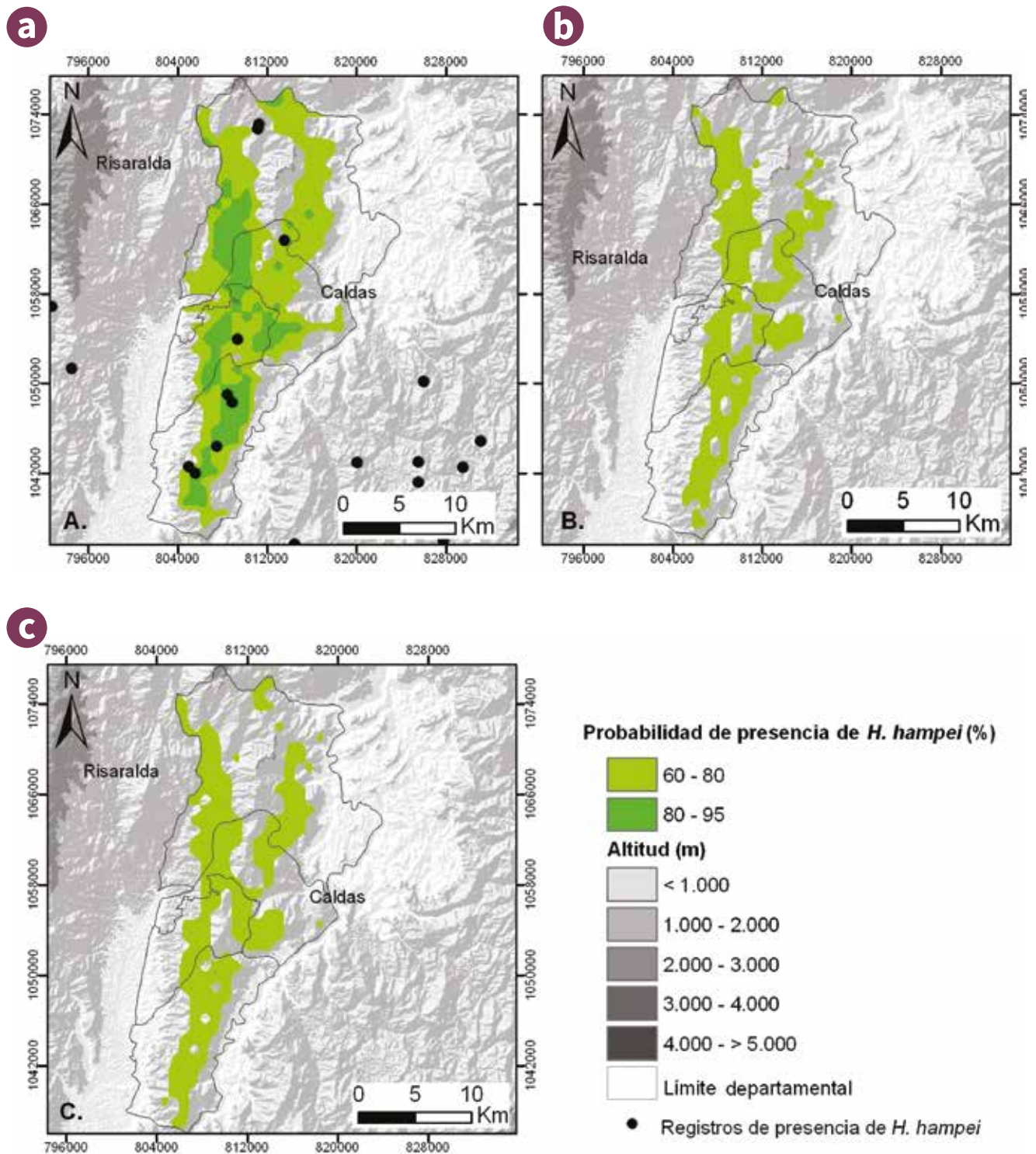


Figura 25.6. Relación de áreas climáticamente adecuadas de *Hypothenemus hampei* en la región central de la zona cafetera. a. Escenario actual; b. Escenario A2 2020; c. Escenario B2 2020.

Fuente: Elaboración propia

El sistema silvopastoril para la producción ganadera propuesto por Corpoica y otras entidades como Fedegán es un claro ejemplo de sistema sostenible que se debe implementar en el país frente al cambio climático. Según el Instituto Geográfico Agustín

Codazzi (IGAC), en 27 departamentos se utiliza más tierra de la que se debería para la ganadería de pastoreo intensivo, semiintensivo o extensivo. En efecto, de los 14 millones de hectáreas que están destinadas a la ganadería, solo 2,7 millones son aptas para tal fin (¿Por



qué es tan grave que la ganadería en Colombia use más tierra de la que debería?, 2017); la deforestación para el uso de la tierra en ganadería de 1990 a 2015 fue del 60%, y solo en 2016 aumentó un 44%. Para minimizar esta situación, se proponen programas de producción ganadera bajo el sistema silvopastoril. Con este sistema, se reconvierten las fincas en corredores de biodiversidad con una mayor cantidad de árboles, lo que implica mayor sostenibilidad. Además, los sistemas silvopastoriles presentan otras ventajas: soportan un 24% más de ganado que los sistemas tradicionales; registran aumentos del 155% en la productividad de leche (Rubiano, 2018); sus árboles generan una mayor captura de CO₂; se aumenta la biodiversidad de los sistemas, puesto que estos sirven de hábitat para especies de aves, mamíferos e insectos; y se favorece la conexión con los bosques nativos que aún se conservan en algunas fincas.

El papel de la investigación en ciencia y tecnología agropecuaria sobre control biológico ha sido fundamental para la generación de programas de manejo de plagas en la agricultura del país. Frente a la realidad del cambio climático, la investigación debe continuar y enfocarse en conocer el efecto de las variaciones del clima sobre las relaciones bióticas de enemigos naturales, sistemas productivos, plagas y técnicas de control de estas; todo ello, desde la

perspectiva de producción agropecuaria sostenible y respetuosa con los agroecosistemas productivos que garantice una alimentación inocua y de calidad.

Como ejemplo de lo anterior, Corpoica generó un programa de manejo integrado de plagas del maracuyá (Varón, Monje, & Santos, 2011) basado en el monitoreo de poblaciones, aplicación de extractos vegetales, manejo cultural y uso de control biológico mediante liberaciones periódicas del depredador *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae).

El programa fue sometido a validación en el departamento del Meta, donde se comprobó la eficacia del depredador liberado. Además, los análisis de toxicidad en la fruta producida en las parcelas con este programa evidenciaron una producción totalmente inocua, sin presencia de residuos tóxicos; las concentraciones de agroquímicos encontradas en la fruta del programa MIP de AGROSAVIA fueron muy bajas con respecto a los altos niveles de toxicidad encontrados en el sistema convencional de los agricultores. Adicionalmente, con el programa de AGROSAVIA, se incrementó la presencia de enemigos naturales de insectos dañinos para el cultivo, así como las poblaciones de abejas y abejorros polinizadores, que se ven fuertemente afectadas con los sistemas de producción dependientes del uso de agroquímicos en el cultivo (León & Miranda, 2018).



Conclusiones y perspectivas

Desde la óptica del manejo fitosanitario, el uso de agroquímicos se incrementó a partir de la Revolución Industrial y, a finales del siglo pasado, se consolidó como la base fundamental para el control de plagas agrícolas en el mundo. Este panorama conlleva la insostenibilidad de los sistemas de producción, dados los costos, los residuos tóxicos, los problemas ambientales y de salud pública que genera este modelo de producción de alimentos. En Colombia, la industria agroquímica para el manejo de plagas y enfermedades de los cultivos se ha fortalecido con políticas que favorecen su desarrollo, lo cual afecta la producción sostenible e inocua. Sin embargo, como se ha documentado extensamente en este libro, Colombia tiene una rica biodiversidad y controladores biológicos que se deben utilizar a su favor para el manejo de las nuevas plagas y enfermedades que afectan la agricultura debido a los efectos del cambio climático. La biodiversidad del país también representa un potencial ilimitado de oportunidades para desarrollar y encontrar nuevos agentes de control, que ayudarían a mitigar el daño causado por las nuevas plagas debido al calentamiento global.

Los ejemplos presentados en este capítulo evidencian situaciones concretas de los sistemas de producción nacionales con dificultades que se deben tratar mediante estrategias basadas en la preservación de la biodiversidad y el uso de las tecnologías disponibles. Frente al desafío de seguridad alimentaria, la producción inocua y el cambio climático en el país, los sistemas óptimos de manejo de plagas implican la utilización del control biológico como herramienta tecnológica sostenible y eficaz. Para ello, se hace necesaria una mirada gubernamental hacia la implementación de los acuerdos de protección del medioambiente frente al cambio climático, así como la voluntad política para fortalecer la investigación y promover programas de producción inocua, sostenible y competitiva que favorezcan el desarrollo del sector agropecuario colombiano.



Referencias

- Álvarez, L. (2010). *La problemática con los pesticidas en Colombia*. Recuperado de http://www.es.lapluma.net/index.php?option=com_content&view=article&catid=89:economia-de-la-naturaleza&id=926:conferencia-la-problemativa-con-los-perticidad-en-colombia&Itemid=420.
- Bale, J., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemers, T. M., Brown, V., ... Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1), 1-16. doi:10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x.
- Björkman, C., & Niemelä, P. (Eds.). (2015). *Climate change and insect pests* (CABI Climate change series 7). Oxford, Reino Unido: CAB International.
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Panel intergubernamental de cambio climático*. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/panel-intergubernamental-de-cambio-climatico-ipcc>.
- Colombia2020. (2017, diciembre 4). ¿Cómo está la seguridad alimentaria en Colombia a un año del acuerdo de paz? *El Espectador*. Recuperado de <https://colombia2020.elespectador.com/pais/como-esta-la-seguridad-alimentaria-en-colombia-un-ano-del-acuerdo-de-paz>.
- Constantino, L. M. (2010). *La broca del café: un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y la altitud*. Recuperado de <http://cafe-noticias.over-blog.com/article-la-broca-del-cafe-un-insecto-que-se-desarrolla-de-acuerdo-con-la-temperatura-y-la-altitud-54492018.html>.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), & Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta). (1996). *Encuentro nacional sobre la langosta llanera *Rhammatocerus schistocercoides* Rehn*. Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6436/1/089.pdf>.
- Ebrath, E. E., Espinel, C., Gómez, M. I., Villamizar, L. F., Cotes, A. M., Gutiérrez, J., ... León, G. (2000). *La langosta llanera en Colombia*. Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6442/1/Control%20biologico%20de%20la%20langosta.pdf>.
- Führer, J. (2003). Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97(1-3), 1-20. doi:10.1016/S0167-8809(03)00125-7.
- Greenpeace. (2017). *Acuerdo de París*. Recuperado de www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/cambio-climatico/Acuerdo-de-Paris/.
- Greenpeace Colombia. (s. f.). *Campanas cambio climático*. Recuperado de <https://www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/cambio-climatico/>.
- Gregory, P., Johnson, N., Newton, A., & Ingram, J. (2009). Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, 60(10), 2827-2838. doi:10.1093/jxb/erp080.
- Hellmann, J., Byers, J., Bierwagen, B., & Dukes, J. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 534-543. doi:10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas international. *Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978. doi:10.1002/joc.1276.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguera, M., Van der Linden, P. J., Dai, X., ... Johnson, C. A. (Eds.). (2001). *Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Ingram, J., Gregory, P., & Izac, A.-M. (2008). The role of agronomic research in climate change and food security policy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(1-2), 4-12. doi:10.1016/j.agee.2008.01.009.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2018). *Empresas registradas plaguicidas marzo de 2018*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Regulacion-y-Control-de-Plaguicidas-Quimicos/>

- Listados/2009/EMPRESAS-PLAGUICIDAS-PQUA-15-04-09.aspx.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Summary for policymakers. En S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, ... H. L. Miller (Eds.), *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Jaramillo, J., Muchugu, E., Vega, F. E., Davis, A., Borgemeister, C., & Chabi-Olaye, A. (2011). Some like it hot: The influence and implications of climate change on coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and coffee production in East Africa. *Plos One*, 6(9), e24528. doi:10.1371/journal.pone.0024528.
- Karuppaiah, V., & Sujayanad, G. (2012). Impact of climate change on population dynamics of insect pests. *World Journal of Agricultural Sciences*, 8(3), 240-246.
- Kondo, T. (2015, julio). *Insectos plaga del árbol urbano con énfasis en los insectos escama (Hemiptera: Coccoidea) en Colombia*. Documento presentado en el Simposio Entomología Forestal. xli Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín, Colombia.
- Kondo, T., Ramos-Portilla, A. A., Peronti, A. L. B. G., & Gullan, P.J. (2016). Known distribution and pest status of fluted scale insects (Hemiptera: Monophlebidae: Iceryini) in South America. *Redia*, xcix, 187-195. doi:10.19263/REDIA-99.16.24.
- Landa, R., Ávila, B., & Hernández, M. (2010). *Cambio climático y desarrollo sustentable para América Latina y el Caribe. Conocer para comunicar*. Recuperado de http://www.ceiba.org.mx/publicaciones/rosalvalanda/CCYDS,_ALyC.pdf.
- León, M. G. (1996). *El grillo de los llanos orientales. Biología, hábitos y recomendaciones para su manejo*. Boletín Técnico. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/270161321_El_Grillo_de_los_Llanos_Orientales_Biologia_Habitos_y_recomendaciones_para_su_manejo.
- León, M. G., Beltrán, J., & Campos, J. (2010). *Enemigos naturales y manejo integrado del gusano cachón (Erinnyis ello) en el cultivo del caucho (Hevea brasiliensis)*. Villavicencio, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- León, M. G., & Miranda, T. (2018). Producción inocua de maracuyá con un programa MIP de Corpoica en el departamento del Meta, Colombia. *Boletín Informativo*, 29, 5.
- Long, S., Ainsworth, E., Leakey, A., Nosberger, J., & Ort, D. (2006). Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science*, 312(5782), 1918-1921. doi:10.1126/science.1114722.
- Marín, A. (2013). *Estimación del inventario de emisiones de metano entérico de ganado lechero en el departamento de Antioquia, Colombia* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11666/1/43979169.2014.pdf>.
- Montealegre, F., & Boshell, F. (1997). Caracterización climática de la langosta brasilera *Rhammatocerus schistocercoides* en la Orinoquia colombiana. *Acta Agronómica*, 47(1), 35-44. doi:10.15446/acag.
- Nivia, E. (2004). Los plaguicidas en Colombia. *Revista Semillas*, 21, 11-16. Recuperado de <http://www.semillas.org.co/es/los-plaguicidas-en-colombia>.
- Olesen, J., & Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16(4), 239-262. doi:10.1016/S1161-0301(02)00004-7.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). (2016). *Faostat. Pesticides use*. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>.
- ¿Por qué es tan grave que la ganadería en Colombia use más tierra de la que debería? (2017). *Semana*. Recuperado de www.semana.com/nacion/articulo/ganaderia-en-colombia-utiliza-mas-tierra-de-la-que-deberia-segun-igac/529191.
- "Rajados" en seguridad alimentaria. (2016). *Dinero*. Recuperado de <https://www.dinero.com/pais/articulo/cifras-de-seguridad-alimentaria-en-colombia-para-el-2016/219321>.
- Ramírez, C., Daza, J., & Peña, A. (2015). Tendencia anual de los grados día cafeto y los grados día broca en la región andina ecuatorial en Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 51-63. doi:10.21930/rcta.vol16_num1_art:379.
- Rosenzweig, C., & Hillel, D. (1998). *Climate change and the global harvest: Potential impacts of the Greenhouse effect on agriculture*. New York, EE. UU.: Oxford University Press.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X., Epstein, P., & Chivian, E. (2001). Climate change and extreme weather events implications for food production, plant diseases, and pests. *Global Change & Human Health*, 2(2), 90-91.
- Rubiano, M. P. (2018, abril 29). 3.000 ganaderos colombianos que frenan el cambio climático. 299 de abril de 2018. *El Espectador*. Recuperado de www.elspectador.com/noticias/medio-ambiente/3000-ganaderos-colombianos-que-frenan-el-cambio-climatico-articulo-752992.
- Saynes-Santillán, V., Etchevers, J. D., Paz, F., & Alvarado, L. O. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34, 83-96.

- Scherm, H., Sutherst, R., Harrington, R., & Ingram, J. (2000). Global networking for assessment of impacts of global change on plant pests. *Environmental Pollution*, 108(3), 333-341. doi:10.1016/S0269-7491(99)00212-2.
- Universidad del Rosario. (s. f.). *El cambio climático en Colombia*. Recuperado de <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/1052/80087794.pdf>.
- Universidad Nacional de Colombia [Agencia de noticias UN]. (2015). *En 20 años Colombia aumentó uso de plaguicidas en un 360 %*. Recuperado de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/en-20-anos-colombia-aumento-uso-de-plaguicidas-en-un-360.html>.
- Valenzuela, G. (1993). Aspectos históricos del control biológico. Itinerario del control biológico de plagas agrícolas en Colombia. En *Control Biológico en Colombia. Historia, Avances, proyecciones* (pp. 1-9). Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia y Celater, Biológicos Perkins.
- Varón, E., Monje, B., & Santos, O. (2011). *Manual técnico de manejo de trips en maracuyá (Passiflora edulis)*. Neiva, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Von Braun, J. (2007). *The world food situation: new driving forces and required actions*. Washington, D. C., EE. UU.: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Warrick, R. A. (1984). The possible impacts on wheat production of a recurrence of the 1930s drought in the U.S. Great Plains. *climatic change*, 6(1), 5-26. doi:10.1007/BF00141665.
- Yang, L., Qian, F., Song, D. X., & Zheng, K. J. (2016). Research on urban Heat-island effect. *Procedia Engineering*, 169, 11-18. doi:10.1016/j.proeng.2016.10.002.

