UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Desarrollo de un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los pastos, *Collaria scenica*, en la sabana de Bogotá

Andrea Onelia Rodríguez Roa

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ciencias, Departamento de Geociencias
Maestría en ciencias - Meteorología
Bogotá D.C. Colombia
2011

Desarrollo de un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los pastos, *Collaria scenica*, en la sabana de Bogotá

Andrea Onelia Rodríguez Roa
Cod. 01194133

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al Título de
Magíster en Meteorología

Director:
M.sc. JOSE FRANCISCO BOSHELL

Codirectora
Ph.D. BLANCA ARCE

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ciencias, Departamento de Geociencias
Maestría en ciencias - Meteorología
Bogotá D.C. Colombia
2011

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

Director de tesis

_____

Jurado

_____

Jurado

Bogotá D. C., Agosto de 2011

A mis padres, mis primeros maestros

A la vida por permitir disfrutar de este momento tan especial

y a todos aquellos que ha creído siempre en mi

Agradecimientos

Al departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, por el suministro de las herramientas y personal indicado para el desarrollo de esta investigación.

A conservación Internacional, por impulsar y apoyar la investigación en cambio climático y variabilidad climática.

Al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, que asigno recurso por el suministro de la información.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica por el suministro de la información y el personal de apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Al profesor Francisco Boshell, quien con su conocimiento y experiencia apoyó el desarrollo de este trabajo.

A la profesora Gloria León por su disposición y apoyo durante la maestría, al grupo de investigadores de Corpoica: Blanca Arce, Edwin Rojas, Nancy Barreto y Jenifer Garza, por su acompañamiento en la realización del trabajo.

A Nicolás cuadros por sus sugerencias, colaboración, paciencia y cariño durante todo el proceso de este investigación, Guillermo Armenta por su amistad y disposición, Mónica Cuadros por su asistencia y apoyo.

En general, a las personas que me han acompañado y apoyado durante la construcción de esta investigación.

Resumen

Se desarrolló un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los pastos, *Collaria scenica*, en la sabana de Bogotá a partir del análisis del comportamiento de su población, con los escenarios de cambio climático para los años 2020 y 2030 generados por el modelo global HadCM3 y el modelo regional PRECIS, bajo los escenarios de tipo B2, A2 y A1B, según estudios del IDEAM, y para condiciones de variabilidad climática predominantes cuando se presenta un fenómeno de El Niño-Oscilación sur (ENSO). Usando datos de campo tomados semanalmente desde mayo 2009 a noviembre 2010 en Funza y datos de la estación meteorológica Tibaitatá en Mosquera, se estimó las variables agroclimáticas significativas en la presencia de ninfas y adultos de la chinche a través de un modelo de regresión lineal múltiple. La temperatura máxima y mínima, precipitación y evapotranspiración mostraron mayor significancia. Así, se analizó la respuesta de estas variables a los cambios de sus promedios en escenarios futuros y a las fluctuaciones de la temperatura superficial del mar y su impacto en el aumento o disminución de la plaga.

Palabras clave: Chinche de los Pastos, *collaria scenica,* Sistema de Alerta Temprana, cambio climático, El Niño Oscilación del Sur.

Abstract

An early warning agroclimatic system was developed for grass bug, *Collaria scenica*, from studying the behavior of the population, related with climate change scenarios for 2020 and 2030, generated by the HadCM3 global model and the model PRECIS regional under scenarios B2, A2 and A1B, according to studies by IDEAM, and the conditions determined by the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon. Using field data weekly from May 2009 to November 2010 in Funza and weather station data Tibaitatá in Mosquera, agro-climatic variables were considered significant the presence of nymphs and adults of the bug through a multiple linear regression model. The temperature minimum and maximum rainfall and evapotranspiration showed more significant. Thus, it was analyzed the response of these variables to changes in their future scenarios averages and fluctuations Sea surface temperature and its impact on increase or decrease of the plague.

Keywords: Grass bug, *collaria scenica,* Early Warning System, climate change, El Niño Southern Oscillation.

Contenido

1. Antecedentes y Justificación 3

1.1. Justificación 3

1.2. Antecedentes 4

1.2.1. Sector Agropecuario de leche en Colombia 4

1.2.2. Sistemas de Alerta Temprana (SAT) utilizados a escala internacional 5

1.2.3. Presencia e importancia de a Chinche de los Pastos, *Collaria scenica*, en el altiplano Cundiboyacense 8

2. Marco Teórico 11

2.1. La chinche de los pastos 11

2.1.1. Generalidades del genero *Collaria* 11

2.2. Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) 14

2.3. Variabilidad climática 14

2.3.1. Variabilidad interanual 15

2.4. Cambio climático 18

2.4.1. Escenarios de Cambio Climático 18

2.4.2. Modelos Climáticos Globales 20

2.5. Sistemas de Alerta Temprana (SAT) 21

3. Área de Estudio 23

4. Planteamiento del problema 27

5. Objetivos 29

5.1. Objetivo general 29

5.2. Objetivos específicos 29
6. Metodología 31
6.1. Obtención de información 31
6.1.1. Obtención de información de la plaga 31
6.1.2. Información Meteorológica 32
6.1.3. Índice ONI 33
6.2. Control de calidad de la información 33
6.2.1. Análisis de homogeneidad 35
6.2.2. Estimación de datos faltantes 36
6.3. Índices agroclimáticos 37
6.3.1. Grados día (GD) 37
6.3.2. Evapotranspiración de referencia (ETo) 40
6.3.3. Índice Hídrico 43
6.4. Modelos 44
6.4.1. Modelos estadísticos 44
6.4.2. Modelo de regresión múltiple 45
6.5. Determinación de trimestres agroclimáticos 48
6.6. Análisis de la información 49
6.6.1. Diagramas de caja (Box Plot) 49
6.6.2. Análisis de Tendencias 50
6.6.3. Escenarios de Cambio Climático 52
6.6.4. Estimación de la población del insecto para los años 2020 y 2030 53
6.6.5. Análisis de variabilidad climática interanual 53
6.6.6. Estimación de población del insecto en ciclos ENSO 57
6.6.7. Método geoestadístico de interpolación 58
6.6.8. Definición de Alertas 59
7. Presentación y discusión de resultados 61

7.1. Determinación del modelo de población 61

7.1.1. Validación del modelo 63

7.2. Distribución Temporal de las Variables Climáticas incluidas en el modelo agroclimático de simulación de la población del insecto 69

7.2.1. Temperatura Máxima 69

7.2.2. Temperatura Mínima 71

7.2.3. Precipitación 73

7.2.4. Evapotranspiración de referencia 75

7.3. Relación entre población del insecto y las variables agroclimáticas definidas en el modelo77

7.4. Estimación de la población para los años 2020 y 2030 84

7.5. Análisis de variabilidad climática inter anual, en relación con las poblaciones del insecto 111

7.5.1. Análisis Espectral 111

7.5.2. Estimación de la población en el ciclo ENSO 120

7.6. Definición de guías agroclimáticas de Alertas sobre la presencia del insecto plaga 129

8. Conclusiones y recomendaciones 131

Lista de Figuras

Figura 2-1. Regiones para la vigilancia de la variabilidad de la TSM en la zona tropical. Fuente: (CPC) 17

Figura 2-2. Esquema de uso de Modelos climáticos globales GCMs en Modelos climáticos regionales RCMs. Fuente: (Viner, 2000) 21

Figura 2-3. Fases en que se puede organizar un SAT. Fuente: Esta investigación 22

Figura 3-1. Ubicación de la Sabana de Bogotá. Fuente: (ICANH, 2009) 23

Figura 6-1. Relación de tiempo de desarrollo y tasa de desarrollo frente a la temperatura. 39

Figura 6-2. Representación simplificada de la resistencia superficial (total) y de la resistencia aerodinámica al flujo de vapor de agua. Fuente: (FAO, 2006) 41

Figura 6-3. Descripción de los diagramas de caja 49

Figura 7-1. Comparación de las observaciones y las estimaciones de la fluctuación poblacional para ninfas y adultos en el periodo mayo de 2009 a noviembre de 2010. 65

Figura 7-2. Comparación de las observaciones y las estimaciones de la fluctuación poblacional para ninfas y adultos en el periodo diciembre de 2010 a marzo de 2011. 66

Figura 7-3. Comparación de las observaciones y las estimaciones de la fluctuación poblacional para ninfas y adultos en la finca Santa Isabel para el periodo junio de 2009 a Mayo de 2010 68

Figura 7-4. Diagramas de caja para la temperatura máxima con su rango inter cuartil para la Sabana de Bogotá por estaciones. 70

Figura 7-5. Diagramas de caja para la temperatura máxima con su rango inter cuartil por trimestres agroclimáticos para la Sabana de Bogotá en las diferentes estaciones. 71

Figura 7-6. Diagramas de caja para la temperatura mínima con su rango inter cuartil para la Sabana de Bogotá por estaciones. 72

Figura 7-7. Diagramas de caja para la temperatura máxima con su rango inter cuartil por trimestres agroclimáticos para la Sabana de Bogotá en las diferentes estaciones 73

Figura 7-8. Diagramas de caja para la precipitación con su rango inter cuartil para la Sabana de Bogotá por estaciones. 74

Figura 7-9. Diagramas de caja para la precipitación con su rango inter cuartil por trimestres agroclimáticos para la Sabana de Bogotá en las diferentes estaciones 75

Figura 7-10. Diagramas de caja para la evapotranspiración con su rango inter cuartil para la Sabana de Bogotá por estaciones. 76

Figura 7-11. Diagramas de caja para la evapotranspiración con su rango inter cuartil por trimestres agroclimáticos para la Sabana de Bogotá en las diferentes estaciones 77

Figura 7-12. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la temperatura máxima en °C para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010 78

Figura 7-13. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la temperatura mínima en °C para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010 79

Figura 7-14. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la diferencia entre la temperatura máxima y mínima en °C para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010 79

Figura 7-15. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y el índice hídrico para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010 80

Figura 7-16. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la precipitación en mm para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010 81

Figura 7-17. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la evapotranspiración en mm para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010 81

Figura 7-18. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y el índice hídrico para el periodo marzo de 2010 a mayo de 2010 82

Figura 7-19. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la precipitación en mm para el periodo marzo de 2010 a mayo de 2010 83

Figura 7-20. Relación entre la población observada de ninfas y adultos y las variables climáticas para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010 84

Figura 7-21. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Mosquera. 90

Figura 7-22. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Guasca. 92

Figura 7-23. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Chocontá. 94

Figura 7-24. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Fúquene. 95

Figura 7-25.Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones actuales en los trimestres agroclimáticos. 97

Figura 7-26. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 mediante el análisis de tendencias. 98

Figura 7-27. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 en el escenario A1B. 100

Figura 7-28. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 en el escenarioA2. 102

Figura 7-29. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 en el escenario B2. 103

Figura 7-30. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a del 2030 en los escenarios A1B, A2 y B2 para la estación de Tibaitata. 104

Figura 7-31. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del 2030 en los escenarios A1B, A2 y B2 para la estación de Guasca 105

Figura 7-32. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del 2030 en los escenarios A1B, A2 y B2 para la estación de Chocontá 106

Figura 7-33. . Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del 2030 en los escenarios A1B, A2 y B2 para la estación de Fúquene. 107

Figura 7-34. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2030 en el escenario A1B. 108

Figura 7-35. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2030 en el escenarioA2 110

Figura 7-36. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 en el escenario B2. 111

Figura 7-37. Espectros de temperatura máxima para la Sabana de Bogotá 113

Figura 7-38. Espectros de temperatura Mínima para la Sabana de Bogotá 114

Figura 7-39. Espectros de la precipitación para la Sabana de Bogotá 116

Figura 7-40. Espectros de la evapotranspiración para la Sabana de Bogotá 118

Figura 7-41. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Mosquera. 121

Figura 7-42. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Guasca.....121

Figura 7-43. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Chocontá 121

Figura 7-44. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Fúquene.....122

Figura 7-45. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para un año El Niño.....123

Figura 7-46. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Mosquera.....124

Figura 7-47. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Guasca.....124

Figura 7-48. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Chocontá 125

Figura 7-49. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Fúquene.....125

Figura 7-50. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para un año La Nina. 126

Figura 7-51. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones de un año Neutro para la estación de Mosquera. 127

Figura 7-52. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones de un año Neutro para la estación de Guasca. 127

Figura 7-53. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones de un año Neutro para la estación de Chocontá.....128

Figura 7-54. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para un año Neutro. 129

Lista de Tablas

Tabla 2-1. Promedio de duración en días, de cada estado biológico de Collaria scenica en dos condiciones de estudio. Fuente: (Martinez, et al., 1998) 12

Tabla 2-2. Escenarios SRES. Fuente: (IPCC, 2007) 19

Tabla 6-1. Valores del Índice Oceánico de El Niño ONI para el periodo en que se realizó el muestreo. 32

Tabla 6-2 Información de Estaciones Meteorológicas utilizadas en el trabajo 33

Tabla 7-1. Valores de correlación entre la población (ninfas y adultos)y las variables climáticas y agroclimáticas. 61

Tabla 7-2. Valores de correlación entre la población estimada y los valores observados para el periodo mayo de 2009 a noviembre de 2010 65

Tabla 7-3. Valores de correlación entre la población estimada y los valores observados para el periodo mayo de 2009 a noviembre de 2010 67

Tabla 7-4. Valores de correlación entre la población estimada y los valores observados para la finca Santa Isabel para el periodo junio de 2009 a Mayo de 2010 68

Tabla 7-5. Condiciones de las variables climáticas que generan variaciones en la población del insecto 84

Tabla 7-6. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Tibaitatá. 85

Tabla 7-7. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de El Dorado. 86

Tabla 7-8. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Gja. Providencia.... 86

Tabla 7-9. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Gja. San Jorge. 86

Tabla 7-10. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Guasca. 87

Tabla 7-11. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Silos. 87

Tabla 7-12. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Isla Santuario.....88

Tabla 7-13. Resultados de las transformadas de Fourier para la serie de temperatura máxima en la Sabana de Bogotá 113

Tabla 7-14. Resultados de las transformadas de Fourier para la serie de temperatura mínima en la Sabana de Bogotá 115

Tabla 7-15. Resultados de las transformadas de Fourier para la serie de precipitación en la Sabana de Bogotá 117

Tabla 7-16. Resultados de las transformadas de Fourier para la serie de Evapotranspiración en la Sabana de Bogotá 119

Tabla 7-17. Coeficientes de correlación y su p-valor entre el Índice Oceánico ONI y las anomalías de variables de precipitación, evapotranspiración y temperaturas máximas y mínimas 120

Marco de Referencia del Proyecto

Esta investigación hace parte del programa de Maestría en Ciencias–Meteorología del Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia, financiada con los recursos del proyecto Integrated National Adaptation Pilot (INAP) convenio entre el Gobierno de Colombia y el Banco Mundial dirigido por la Universidad Nacional y la organización Conservación Internacional bajo la orientación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales –IDEAM, y se desarrolló bajo el marco del proyecto "Desarrollo de un sistema de manejo y alerta temprana para la chinche de los pastos *Collaria scenica* en relación con la variabilidad y el cambio climático en el altiplano Cundiboyacense" de la Corporación Colombina de Investigación Agropecuaria Corpoica,

Introducción

Una de las actividades económicas principales de la Sabana de Bogotá son los sistemas de producción de lechería especializada, ya que la región cuenta con condiciones ambientales apropiadas para el desarrollo de esta actividad. El ambiente favorable reside en sus particulares condiciones climáticas (temperatura promedio de 13°C, altitud entre 2500 y 3000 m.s.n.m., humedad relativa del 70% y precipitación bimodal), sus condiciones edáficas, su disposición de pasto, como el Kikuyo y el Raygrass, utilizados para el pastoreo de vacas de razas lecheras especializadas (Duarte, et al., 1998). En este sistema se ha venido estimando una reducción en la producción de leche, como consecuencia de la presencia de la plaga chinche de los pastos (*Collaria scenica*), un insecto chupador que se alimenta de la savia que extrae de las hojas de las gramíneas causando ciertos grados de daño hasta generar la muerte de los tejidos, originando una reducción de la disponibilidad de la biomasa y la calidad del forraje, destinado a la alimentación de los bovinos.

El desarrollo y comportamiento de los insectos se ven afectados por la interacción con el ambiente, en lo que se destaca las condiciones climáticas, como la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, el viento entre otros. Diversos hechos evidencian un cambio vertiginoso del rango de distribución geográfica de la chinche de los pastos cuyo incremento se asocia con las fluctuaciones del clima y el aumento de la temperatura (Barreto, et al., 1996). Considerando este hecho y teniendo presente la importancia de la chinche en las praderas dedicadas a la producción de lechería especializada en la Sabana de Bogotá, es importante valorar la relación que puede existir entre clima y la abundancia y distribución de esta especie. Partiendo de esta idea, la presente investigación tiene como propósito estudiar el efecto de las variables agroclimáticas sobre de la población de la chinche, con lo cual se pueda generar, mediante la predicción climática para escenarios futuros y de variabilidad interanual (eventos ENOS), alertas tempranas que reduzcan los impactos que esta plaga genera.

En la determinación de la relación de las condiciones climáticas sobre la población de la chinche de los pastos, se utilizan datos de campo semanales de individuos capturados en estados de ninfa de cuarto y quinto instar y total adultos, desde mayo 2009 a noviembre de 2010 de una finca

ubicada Funza y datos diarios de la estación meteorológica Tibaiatatá en Mosquera, a partir de los cuales se estiman las variables agroclimáticas significativas en la presencia de ninfas y adultos de la chinche, a través de análisis de correlación y de regresión múltiple. Las variables climáticas consideradas son: precipitación (mm), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), brillo solar (horas) y los índices agroclimáticos de grados día (GD) e índice hídrico (IH).

Las predicciones climáticas y las estimaciones de la población de la chinche para escenarios futuros y de variabilidad interanual se realizan por trimestres agroclimáticos, correspondientes a las dos temporadas secas y las dos de lluvia que caracteriza el comportamiento bimodal de la sabana de Bogotá. La simulación de la fluctuación de la plaga se efectúa con la implementación del modelo de regresión, donde las predicciones climáticas se realizan mediante el análisis de tendencias a partir del test de Mann-Kendall y el estimador de la pendiente de Sen, y los promedios de los escenarios de cambio climático para los años 2020 y 2030 generados por el modelo global HadCM3 y el modelo regional PRECIS, para los escenarios de tipo B2, A2 y A1B, según estudios del IDEAM. La estimación de la población en presencia de eventos ENOS se ejecutan analizando el comportamiento de los datos climáticos, seleccionando y agrupando por trimestres y eventos El Niño, La Niña y años neutros.

A partir de los resultados obtenidos en la estimación de la población del insecto para los años 2020 y 2030, y para las temporadas El Niño y La Niña, se realiza una interpolación de los resultantes en la zona de la Sabana de Bogotá obtenido una función empírica de distribución de la plaga en esta región, y se definen las alertas tempranas pertinentes.

1. Antecedentes y Justificación

1.1. Justificación

La economía en la sabana de Bogotá está relacionada con el sector agrícola. La principal actividad, fuera de la ciudad, se centraliza en la acción agropecuaria entre las que se destaca los cultivos de papa, maíz, hortalizas, flores en invernadero y la ganadería. Los sistemas de producción bovina representan una de las actividades más importantes de la sabana; de acuerdo con datos de Fedegan y Corpoica (2005) el área en pasturas dedicadas a la producción de leche en la sabana de Bogotá; los valles de Ubaté y Chiquinquirá y el Alto de Chicamocha es de alrededor de 817.000 ha de las cuales un 56% corresponde a pastos naturalizados con relativo buen manejo, en los cuales, se sostienen cerca de 1.140.000 bovinos para la producción de leche. La gramínea predominante en un 90 % de las pasturas es el pasto Kikuyo.

La praderas de gramíneas dedicadas a la explotación lechera, ubicadas en la Sabana de Bogotá, son atacadas por la chinche de los pastos *Collaria scenica*, (Martinez, et al., 1998) convirtiéndose en una de las mayores limitaciones en este sistema productivo. Según (Duarte, et al., 1998) la chinche de los pastos *Collaria scenica*, es el principal problema tecnológico de las explotaciones lecheras de la Sabana de Bogotá. El 95% de las fincas presentan alta incidencia y daño de la plaga; las pérdidas ocasionadas están relacionadas con la reducción en la carga animal entre 0,2 a 2 unidades animal/fanegada y reducción en producción de leche que va desde 0.5 a 5 litros/vaca/día.

Es evidente la importancia de la determinación de la incidencia de la chinche y sus efectos sobre las pasturas, más aun cuando la información existente es escasa y con poco seguimiento y cuantificación. No se ha establecido una relación específica que indique la ocurrencia de las poblaciones de esta plaga con la variación de las condiciones climáticas y/o agroclimáticas, las cuales serán favorables o desfavorables para su desarrollo. Y aún más sobre la base de que se trata de una especie de insecto cuya adaptación a condiciones climáticas cambiantes lo ha llevado a convertirse en plaga para la producción de pastos de clima frío. Esta falta de conocimiento

alrededor el insecto impide analizar consecuencias futuras en las pasturas o sobre la misma producción de la leche

Con el desarrollo de una investigación basada en la información climática y el seguimiento y monitoreo del ciclo la plaga, se esperaría la identificación de un conjunto de recomendaciones e indicadores de alerta, que permita que mejoren o por lo menos no disminuyan, los rendimientos de las pasturas utilizadas en la alimentación ganadera para la producción de leche en la Sabana de Bogotá.

Con el propósito de indicar oportunas alertas futuras, en el contexto del análisis de los efectos del clima sobre la chinche es de gran importancia considerar los efectos de la variabilidad y el cambio climático y de esta manera minimizar los impactos negativos por parte del subsector productivo involucrado. Por ello se plantea como una importante medida de adaptación ante la variabilidad y cambio climático, el desarrollo de un sistema de alertas agroclimáticas en las zonas de producción bovina de la sabana de Bogotá para la chinche de los Pastos *Collaria scenica.*

1.2. Antecedentes

1.2.1. Sector Agropecuario de leche en Colombia

La ganadería representa una de las actividades más importantes en Colombia, no sólo por sus aportes directos en la alimentación, sino además por todas aquellas actividades derivadas a partir de la transformación de sus productos. Esto demuestra que la actividad ganadera no sólo realiza aportes directos a la economía, a través de la generación de empleo y utilidades al sector rural, sino aportes indirectos a través de la producción industrial (Perez, 2004). El sector lechero colombiano en su conjunto se ha vuelto más productivo y competitivo, según cifras del Ministerio de Agricultura el total de la producción para el año 2003 fue de 6.500 millones de litros de leche, de los cuales cerca de un 88% fue absorbido por la industria láctea y el restante 12% destinado al sostenimiento de novillos en sistemas de producción de doble propósito (carne y leche) (Espinal, et al., 2005). Comparando la evolución del sector lechero con estudios 12 años atrás, se apreció que la productividad de leche por hectárea aumentó 44% en los sistemas de doble propósito y 14% en las lecherías especializadas. Sin embargo la demanda de leche cada vez es mayor por lo que se hace necesaria la adopción de tecnologías eficientes para la producción (Espinal, et al., 2005).

Diversas regiones en Colombia están dedicadas a la producción de pastos para el sostenimiento del ganado de la industria lechera. Zonas como la Sabana de Bogotá, Valles de Ubaté y Chiquinquirá, el Alto Chicamocha y el Nororiente Antioqueño, ya que conforman la zona lechera del Trópico Alto, con una extensión aproximada de 800.000 hectáreas, de las cuales el 80% están establecidas con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y el resto en pastos introducidos como Raygras (*Lolium spp.*) y falsa poa (*Holcus lanatus*) (Benavides, 1997) (Duarte, et al., 1998) (Martinez, et al., 1998).

1.2.2. Sistemas de Alerta Temprana (SAT) utilizados a escala internacional

Dentro de los proyectos nacionales para mejorar la capacidad de mitigar los efectos próximos de los eventos de variabilidad climática y la adaptación al cambio climático se han venido proponiendo diversos sistemas de alertas climáticas con el fin de permitir a los productores y en general a los diferentes sectores planificar medidas apropiadas para reducir la vulnerabilidad generada por los impactos causados por estos fenómenos climáticos. A pesar de las propuestas para el adelanto de este tema, en el sector agropecuario de la Sabana de Bogotá dedicado a la producción lechera no se ha abordado un estudio que permita evaluar los factores climáticos que amenazan la calidad y la cantidad de recursos alimentarios para el ganado, de aquí la importancia de analizar las estrategias mas pertinentes para generar nuevas oportunidades que permitan una mayor competitividad del sector lácteo colombiano (Holman, et al., 2003)

En diferentes lugares del mundo se han venido proponiendo y efectuando sistemas de alertas tempranas (SAT) para reducir la vulnerabilidad del sector agropecuario a causa de condiciones climáticas extremas, especialmente a las condiciones generadas (como las sequias) por eventos como el fenómeno “El Niño”.

En muchos países, por ejemplo en África, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) ha ayudado a los gobiernos a establecer unidades especializadas, “Alertas Tempranas y Sistemas de Información sobre la Alimentación” (Early Warning and Food Information System, EWFIS), para la vigilancia de la seguridad alimentaria. Estas unidades cumplen funciones de coordinación dentro de los gobiernos para recopilar, procesar y comunicar información sobre todas las variables clave de la seguridad alimentaria. El EWFIS utiliza una metodología establecida de evaluación de la seguridad alimentaria, que se basa en la

vigilancia de la condición de los cultivos a nivel regional y nacional y el monitoreo de la seguridad alimentaria a nivel mundial, nacional y subnacional.

El monitoreo remoto de las condiciones de los cultivos se fundamenta en modelos agrometeorológicos, alimentados por datos de redes meteorológicas, y complementados con productos de imágenes de satélite, como la duración de nubes particularmente frías (cold cloud duration, CCD), que permite realizar una aproximación a la precipitación, y se obtiene del satélite Meteosat, y el índice de vegetación de las diferencias normalizadas (NDVI), como indicador de la etapa y el estado del cultivo, obtenido en fuentes como la NOAA.

El primer gran impulso para establecer un Sistema de Alerta Temprana en África se produjo después de las hambrunas de la década de 1970 en El Sahel, evento que la comunidad internacional no pudo detectar a tiempo. Buchanan-Smith y Davies (1995) señalan que los SAT surgieron principalmente por acción de donantes e instituciones de ayuda alimentaria de la ONU. Este sigue el propósito principal de muchos SAT. Por ejemplo uno de los SAT más modernos e influenciables, el sistema de alerta temprana e información global (GIEWS) de la FAO es orientada al suministro de alimentos. La mayoría de los Sistemas de Alerta Temprana se centra en la vigilancia de las precipitaciones y la producción agrícola (Sommer, 1998).

El Servicio de Hidrometeorología de la República de Serbia (RHMS) desarrolló un sistema de supervisión y de alertas tempranas que comprende un componente básico del plan nacional para la protección y la mitigación de los efectos de las sequias que pone en peligro la región entera del sudeste de Europa. De acuerdo a esto el RHMS ha utilizado los siguientes índices agroclimáticos: Índice de precipitación estandarizado (SPI), los valores estimados de almacenaje de humedad en el suelo hasta la profundidad de un metro; el índice de sequía de Palmer (PDSI); la cantidad de precipitación expresada en el porcentaje de promedio a largo plazo durante el mes, y el período agrícola.

Liu W. del Departamento de Ciencias Atmosféricas del Instituto de Astronomía y Geofísica de la Universidad de Sao Paulo en Brasil (Liu, 2000), sugiere la implementación de un sistema de alerta temprana de sequía en Brasil para la producción agrícola, similar a el sistema desarrollado por la NOAA/ NESDIS. La propuesta del sistema de alerta temprana de sequía se basa en tres subsistemas: Índice agroclimático, evaluación por satélite y pronóstico de rendimiento de los cultivos. Cada subsistema contiene varias herramientas de evaluación bien desarrolladas, derivados de varias fuentes de datos. Las herramientas de evaluación producidas por el sistema de alerta temprana de sequía incluye: productos de satélite de la NOAA como el índice de vegetación y

mapas de índices de condición de vegetación, series de tiempo de índices de vegetación e imágenes de códigos de colores, índices agroclimáticos como mapas de uso del agua, tablas de índice de riesgo del cultivo, y modelos de pronóstico de rendimiento de los cultivo incluyendo modelos agroclimáticos, modelos de crecimiento de los cultivos y modelos de índices de vegetación. La información de las predicciones a corto y largo plazo debe ser incorporada en la producción de un informe de evaluación. Un sistema de información geográfica, que analiza diversas fuentes de datos mediante la superposición, la integración y la verificación entre diferentes herramientas de evaluación de consistencia y la convergencia de la información, es utilizado para producir un informe cuantitativo resumido.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de El Salvador desde 1997 creó el Comité Ministerial del Fenómeno El Niño (COMIFEN), conformado por representantes de la División de Meteorología e Hidrológica (SMHN), el Centro de Desarrollo Pesquero (CENDEPESCA), la Dirección de Economía Agropecuaria (DGEA), El Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA) y la Oficina de Análisis de Políticas Agropecuarias (OAPA), todas dependencias del MAG, con el objetivo fundamental de la Prevención y Reducción de los efectos del Fenómeno, para canalizar la información sobre EL ENOS y la toma de decisiones de una forma más ágil. El COMIFEN, publicó en los diferentes boletines, recomendaciones técnicas y productivas para disminuir los impactos en la producción agropecuaria, pesquera y forestales, también el resumen climático del monitoreo a la evolución del Fenómeno de El Niño 1997/1998, se utilizó información del SMHN, la Administración Nacional Oceanográfica y Atmósfera de los EUA (NOAA), El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica de Perú (SENAMHI), el Comité Regional de Recursos Hidráulicos de Costa Rica (CRRH) y el Servicio Regional de Información Oceanográfica (SERIO), también de Costa Rica y el CEPREDENAC de Panamá.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) pone a disposición a la comunidad una serie de informes y alertas basados en la predicción climática, el comportamiento hidrológico, incendios, deslizamientos, e informes especiales de los fenómenos de El Niño y La Niña. En cuanto a las alertas agroclimáticas se genera un boletín semanal donde se resume las condiciones agrometeorológicas de la semana en curso para las regiones naturales del país y realiza algunas recomendaciones en cuantas crecientes subidas y deslizamientos de tierras y prevención de incendios forestales.

1.2.3. Presencia e importancia de a Chinche de los Pastos, *Collaria scenica*, en el altiplano Cundiboyacense

En Colombia se han referenciado tres especies de género *Collaria*, atacando gramíneas: *C. oleosa*, *C. columbiensis* y *C. scenica*. La primera se reportó por primera vez en Antioquia en 1953 y luego en el Valle del Cauca, en 1981; la segunda en la sabana de Bogotá en 1988. Sin embargo la *C. scenica*, reportada en Colombia en 1988 en el occidente de la Sabana de Bogotá y posteriormente en otras regiones productoras de leche de Cundinamarca y Boyacá, se considera desde 1996 la plaga de mayor importancia en la producción de praderas para consumo bovino del altiplano Cundiboyacense, y es considerada entre los problema fitosanitarios más importantes para la producción especializada de leche de la zona (Duarte, et al., 1998) (Bernal, et al., 1997).

(Martinez, et al., 1998) con el fin de proponer un manejo adecuado de la chinche *Collaria scenica Stal.*, plaga que ocasiona daño en el follaje, lo que a su vez reduce la disponibilidad de forraje y disminuye la productividad lechera, realizaron diferentes estudios, en fincas, y laboratorio, que permitieron avanzar en el conocimiento de aspectos biológicos, dinámica poblacional y enemigos naturales. En este trabajo se determinó que el ciclo biológico dura entre 65 y 84 días la población del insecto varía durante el año, y se encuentra tanto en épocas de lluvia como secas. Las máximas poblaciones se observaron a los 30-40 días después del pastoreo y como resultado de la investigación se recomienda mantener bajas poblaciones de la plaga en los periodos de descanso de la pradera.

(Duarte, et al., 1998) analizaron 293 fincas ubicadas en las tres principales áreas lecheras del Altiplano Cundiboyacense de Colombia, con el fin de determinar a nivel predial el grado de conocimiento sobre la chinche de los pastos, la presencia y dispersión de la plaga y de algunos de sus enemigos naturales, el daño causado a los potreros, los cambios en el valor nutritivo del pasto como consecuencia del ataque, las medidas de control y las estrategias de alimentación utilizadas por los ganaderos para disminuir sus efectos. En esta investigación se encontró que en el 95% de las fincas evaluadas se encontró la presencia de la plaga y se concluyó que los efectos que típicamente ocasionan en las praderas, son de gran magnitud. La intensidad del ataque en las pasturas observadas se calificó entre leve y severa, con una disminución de la producción de la leche entre el 0,5 y 5 litros/vaca/día. De la misma manera, se observó la expansión territorial de la

plaga en dirección norte desde la Sabana de Bogotá hacia el Altiplano Cundiboyacense.

Según (Ramirez, et al., 2002) en los meses de febrero, marzo y abril de 1996 se realizó un estudio de campo en praderas pertenecientes a la Sabana de Bogotá y los valles de Ubaté y Chiquinquirá, con el fin de conocer dispersión y dinámica de avance de la plaga, los focos de contagio mas predominantes y las condiciones climáticas y topográficas más favorables que determinaran el desarrollo de los pastos *Collaria scenica*. Los resultados obtenidos indicaron que las regiones más afectadas eran la Sabana occidente I (Albán, La Vega, San Francisco, Madrid, Facatativá, Bojacá), Sabana norte I (Cota, Chía, Cajicá, Cigua, Tocancipá, Zipaquirá, Nemocón), y Sabana occidente II (Funza, Tenjo, Subachoque, Tabio), regularmente afectadas las regiones de la Sabana Sur (Sibaté, Soacha, Mosquera) y Sabana Centro (La Calera, Sopó, Guasca, Gautavita) y menos afectadas Sabana norte II (Gachancipá, Sesquilé, Suesca, Chocontá, Villapinzón), Chiquinquirá y Valle de Ubaté. Los principales focos de la plaga se encontraron en los municipios de Facatativá, Albán, Zipaquirá y Tocancipá. Además se determinó que existe una relación directa entre altura y temperatura del lugar y densidad de *Collaria*. Las densidades mayores se encuentran en alturas que oscilan entre 2000 y 2400 metros sobre el nivel del mar, las intermedias entre 2400 y 2700; por encima de los 2700 las poblaciones del chinche son muy bajas y en las zonas más frías es prácticamente nula su presencia. La temperatura que más favorece a la plaga está entre los 14 y 20 grados centígrados, presenta resistencia a heladas, pero no a temperaturas constantes bajas, especialmente por encima de los 2700 m de altura. En zonas húmedas o donde la lluvia es más abundante, la población de chinche tiende a aumentar.

En la actualidad en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Corpoica se desarrolla una línea de investigación sobre cambio climático global y plagas de importancia agrícola, al cual pertenece el proyecto en el que se elabora ésta investigación, y cuyo objetivo es determinar la relación de los factores climáticos y la incidencia de la chinche de los pastos *Collaria.*

2. Marco Teórico

2.1. La chinche de los pastos

2.1.1. Generalidades del genero *Collaria*

El género *Collaria* hace parte de la familia Miridae del orden Hemiptera. Algunas de sus especies son plagas que tienen amplia distribución geográfica en Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, Paraguay, Argentina, Uruguay, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Panamá, México y Estados Unidos (Carvalho, et al., 1981). Se encuentra en una amplia gama de hospederos de importancia económica como arroz, trigo, maíz, y diferentes forrajes (Vargas, et al., 1980) (Kalvelage, 1987) (De Menezes, 1990).

En Colombia se han referenciado tres especies del genero *Collaria*, atacando gramíneas: *C. oleosa*, *C. columbiensis* y *C. scenica Stal*. La primera se encontró en Antioquia en 1953 (Posada, 1991) y posteriormente en el Valle del Cauca, en 1981; la segunda, en la Sabana de Bogotá, en 1988 (Zenner, 1992), luego en 1998 se encontraron ejemplares de la chinche en la Sabana de Bogotá y Antioquia correspondientes a *Collaria scenica Stal.* (Martinez, et al., 1998).

Este insecto es considerada la mayor plaga limitante de los potreros de producción especializada de la región, Según (Duarte, et al., 1998) para el año 1997 la chinche de los pastos se encontraba en el 95% de las fincas ganaderas estudiadas en la Sabana de Bogotá y posiblemente se estaba presentando un avance territorial en dirección norte, mostrando infestaciones del 40% en los valles de Ubaté y Chiquinquirá. Este movimiento de las poblaciones del insecto hacia las zonas productoras se asoció a las fluctuaciones del clima y a la falta de un sistema de manejo sostenible de los potreros de Cundinamarca y Boyacá (Martinez, et al., 1998) (Bernal, et al., 1997).

▪ La Chinche de los pastos, *Collaria scenica*

La chinche de los pastos *Collaria scenica* es una especie fitófaga de gramíneas y es de los insectos con mayor extensión dentro del orden de las chinches terrestres. De acuerdo con (Profitécnicas, 2005) la chinche *Collaria scenica* es considerada la principal plaga de los pastos en las regiones de clima frío.

▪ Ciclo de Vida

El insecto presenta metamorfosis incompleta (Heminetábola); pasando por los estados de huevo, ninfa y adulto; el estado ninfal pasa por cinco instares que son determinados por las mudas y la presencia de exuvias.

De acuerdo al estudio de (Martinez, et al., 1998) el ciclo biológico promedio de la chinche de los pastos *Collaria scenica* en laboratorio y en campo, se puede observar con aproximación en la siguiente tabla:

Tabla 2-1. Promedio de duración en días, de cada estado biológico de Collaria scenica en dos condiciones de estudio. Fuente: (Martinez, et al., 1998)

Estado Biológico	Duración Laboratorio (días)	Duración Campo (días)
Huevo	15.5 – 30.5	30.5
Ninfa Instar I	5.5	3.5
Ninfa Instar II	5.0	5.0
Ninfa Instar III	6.0	7.5
Ninfa Instar IV	5.5	8.0
Ninfa Instar V	6.5	11
SUBTOTAL	28.5	35
Adultos		
Hembras	26	16
Machos	16.5	10
Total Ciclo Hembras	70	81.5
Total Ciclo Machos	60.5	75.5
Total Promedio Ciclo	65.2	78.5

Según los resultados de (Barreto, 1996), los adultos de la chinche poseen un pico de actividad diaria hacia las 15 horas, y su daño aumenta en las épocas secas del año. Este fenómeno no fue relacionado con la interacción clima-población, sino que se atribuyó al efecto que tienen factores

climáticos como las bajas temperaturas (heladas) y la sequía sobre la pradera de kikuyo, la cual es altamente susceptible a estos fenómenos climáticos (Marais, 2001).

(Martinez, et al., 1998), determinaron tres fases de desarrollo de la población, en relación al crecimiento de la misma después del pastoreo.

Fase de colonización: Fase de las primeras semanas después del pastoreo, en la cual los adultos sobrevivientes a la presión del ganado y los que migran de zonas aledañas, empiezan a formar nuevos focos de alimentación.

Fase de explosión: es la fase de la emergencia y crecimiento de los huevos que quedaron de la población que se encontraba antes del pastoreo. Estos individuos, sumados a los que llegan en la fase de colonización, forman la primera generación nativa del lote, indicando el comienzo del aumento de la población.

Fase de transición: Es la fase intermedia entre la fase de colonización y la Fase de emergencia.

- **Daños que ocasiona la Plaga**

El daño a las pasturas es generado por altas poblaciones de la plaga en estados de ninfas y adultos, extrayendo el contenido celular de las hojas por medio de su estilete, ya que es un insecto chupador. Inicialmente el ataque se manifiesta por la presencia de puntos blancos característicos que coinciden a los sitios de alimentación, luego estos puntos se van uniendo hasta formar manchas que al expandirse provocan clorosis del borde foliar, luego mueren los tejidos afectados y por último se entorcha el tercio superior de la hoja (Barreto, 1996).

La chinche se presenta durante todo el año, por lo cual tolera condiciones secas y lluviosas, siendo aparentemente mayor su daño durante épocas secas (Ramirez, et al., 2002). El insecto inicia atacando en sitios preferiblemente soleados y húmedos, como bordes, canales o drenajes.

Las mayores poblaciones reportadas en diferentes trabajos, se ubican entre los 30 y 45 días después de la salida del ganado (ddsg), dependiendo las características de manejo y condiciones ambientales en cada caso (Profitécnicas, 2005).

2.2. Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

El *Pennisetum clandestinum* o bien conocido como pasto kikuyo, kikuyu o Grama gruesa, corresponde a una gramínea perenne rastrera originaria de África que presenta un crecimiento rápido y muy agresivo. Se reproduce mediante sus semillas y vegetativamente a través de rizomas y estolones. Las semillas de la planta pueden permanecer viables en el suelo por más de 10 años. Los rizomas y estolones producen raíces fibrosas en sus nudos, lo que crea densas esteras (García, et al., 1975). Los rizomas pueden penetrar en el suelo hasta una profundidad de 20-30 cm. Los estolones generalmente producen tallos erectos de 10-60 cm de altura. Las láminas foliares son alternas, suavemente velludas y estrechas, de 8-15 mm de ancho y 24 cm de largo. Las espiguillas están compuestas de sólo 3-4 florecillas encerradas y medio encubiertas por la vaina foliar, de ahí el nombre *clandestinum*. El fruto es una cariópside oscura, de 2.8 por 1.5 mm de tamaño, que posee una sola semilla (Labrada, et al., 1996).

El kikuyo proviene de las áreas de pastizales de las alturas del África Oriental, que fue introducida como cultivo forrajero en varias zonas tropicales y subtropicales durante el siglo pasado, principalmente en países localizados entre los 35° al norte y al sur del ecuador geográfico. Es utilizada como pastura de ganadería, con baja calidad pero rica en proteína y por su crecimiento abundante le permite dominar las demás especies que se siembra con ésta.

El pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) ha sido el forraje de más amplio uso dentro del trópico alto andino, luego de su introducción en 1927. Está adaptado a altitudes que varían entre 1700 y 2800 msnm; con excelentes rendimientos en forraje de aceptable calidad, moderada exigencia en agua y fertilizantes. Sin embargo, ha visto limitada su persistencia y su alta producción de biomasa, debido a su susceptibilidad a heladas, las cuales se presentan comúnmente en esta ecorregión principalmente durante los meses de diciembre, enero y febrero. Asimismo tiene alta susceptibilidad a plagas como la chinche de los pastos (*Collaria scenica*) la cual se ha desbordado durante la última década (Cárdenas, 2008).

2.3. Variabilidad climática

La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo relativamente cortos. Durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal. La normal climatológica o valor normal, se utiliza para definir y comparar el

clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años. A la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio se le conoce como Anomalía (Pabón, et al., 2000).

En diferentes años, los valores de las variables climatológicas (temperatura, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de lo normal. La secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías (Pabón, et al., 2000)

2.3.1. Variabilidad interanual

El clima varía naturalmente en diferentes escalas de tiempo y espacio. Dentro de sus fluctuaciones temporales se encuentra la interanual, que corresponde a una de las escalas de mayor trascendencia en la determinación y modulación de los procesos atmosféricos.

La variabilidad interanual hace referencia a las alteraciones que se presentan en las variables climatológicas de año a año. Normalmente percibimos que la precipitación de la estación lluviosa en un determinado lugar, no siempre es la misma de un año a otro, sino que fluctúa por encima o por debajo de lo normal. La variabilidad climática, enmarcada dentro de esta escala, podría estar relacionada con alteraciones en el balance global de radiación. Un ejemplo típico de la variabilidad climática interanual corresponde a los fenómenos enmarcados dentro del ciclo El Niño - La Niña-Oscilación del Sur o ENSO (Pabón, et al., 2000).

- **Los eventos ENOS: El Niño- La Niña**

La Organización Meteorológica Mundial define “El Niño” como el calentamiento anómalo del agua oceánica frente a las costas occidentales suramericanas. Así mismo lo hace la CCO, Comisión Colombiana del Océano, cuando menciona que la expresión El Niño hace relación a la aparición de aguas superficiales relativamente más cálidas de lo normal desde los sectores del Océano Pacífico Central y Oriental, hasta las costas del norte de Perú, Ecuador y el sur de Colombia con un promedio de duración de 12 meses, debido al debilitamiento de los vientos Alisios tanto del noreste como del sureste, ocasionando un aumento en la TSM (Temperatura Superficial del Mar), aumento del nivel del mar (+10cm observado en el NIÑO 82-83) y hundimiento de la termoclina en el Pacífico Occidental. La ocurrencia de El Niño es cíclica pero no periódica y su frecuencia generalmente varía entre cada dos y siete años (Capel, 1999).

La intensidad de un fenómeno El Niño se ve reflejada en la magnitud de las anomalías que se registran, tanto en el océano como en la atmósfera de la cuenca del Pacífico tropical. Es importante indicar que la intensidad del fenómeno, aunque influye, es diferente de la magnitud del efecto climático en determinados país o región y del impacto producido por el fenómeno en las actividades humanas. El efecto climático depende en gran medida de la época del año en que se presenta la fase extrema del fenómeno (por la estacionalidad o el ciclo anual de las variables físicas) y el impacto socioeconómico está más relacionado con la vulnerabilidad de los diferentes países, regiones y de los sectores socioeconómicos nacionales afectados (IDEAM, 2005) .

El calentamiento del océano relacionado con el fenómeno El Niño es recurrente, aunque no periódico y, en términos generales, se presenta entre cada dos y siete años. Algunos estudios indican que la frecuencia del fenómeno El Niño no ha tenido mayores cambios por lo menos en los últimos 400 años. Sin embargo, otros análisis desarrollados recientemente muestran que la frecuencia de los fenómenos ha variado en diferentes épocas, siendo un poco más frecuentes en las últimas décadas, de 2 a 5 años (IDEAM, 2005).

En Colombia durante el evento de El Niño se presentan alteraciones en el régimen de precipitación produciéndose altos volúmenes de lluvia en la región pacífica y algunos sectores de la Amazonía y disminuciones en las regiones Andina, Caribe y sectores de la Orinoquía. La temperatura del aire también es alterada, registrándose valores por encima de lo normal. En la Sabana de Bogotá el comportamiento de la precipitación suele ser por debajo de lo normal y la temperatura del aire aumenta aunque no en todos los municipios por igual, teniendo en cuenta que las condiciones de microclima varían de acuerdo a las características del relieve.

Mientras el fenómeno de El Niño se asocia al calentamiento de las aguas superficiales, el evento La Niña aparece como un enfriamiento. En el Pacífico tropical son posibles tres condiciones: calentamiento anómalo (El Niño), condiciones neutras y enfriamiento anómalo (La Niña). En términos generales, La Niña se refiere a condiciones frías anómalas que recurrentemente se presentan en el sector central y oriental del Pacífico ecuatorial durante un período de varios meses, alterando sensiblemente el clima en diferentes regiones del planeta. Las condiciones La Niña son aproximadamente inversas a las que se presentan en los eventos El Niño. Sin embargo, la alteración del campo térmico oceánico registrado en ambos eventos no es equivalente en magnitud, como tampoco se pueden considerar simétricamente inversas. El hecho de que de alguna manera las características del fenómeno La Niña son contrarias a las de El Niño sirvió de base para que a finales de los 80 se le empezara a denominar con este nombre: La Niña (IDEAM, 2005).

Durante los períodos del fenómeno La Niña, el régimen de lluvias se ve alterado provocando altos volúmenes de precipitación en la región Caribe, en la región andina y algunos sectores de la región Pacifica pero con déficit de precipitación en sectores de las regiones Amazonía y Orinoquía. La temperatura del aire disminuye registrándose valores por debajo de lo normal en la región Pacífica, el centro, sur y nororiente de la región Andina, la parte media y nororiental de la región Caribe.

Tanto evento de El Niño como el fenómeno La Niña tiene un fuerte impacto en los diferentes sectores económicos ya sea por sequías o por inundaciones.

▪ Índice Oceánico ONI

El fenómeno el Niño se manifiesta en varias áreas del océano Pacífico tropical que se identifican con diferentes sectores representativos del mismo en donde monitorean y evalúan las condiciones meteorológicas y oceanográficas y los valores obtenidos se utilizan como índices climáticos globales. Estas regiones se dividen como se observa en la Figura 2-1: Área Niño 1+2 , entre 0º y 10º S y entre 80º y 90º O (Pacifico ecuatorial oriental), área Niño 3+4, entre 5º N y 5º S y entre 170º O y 120º O; área Niño 3, entre 5 º N y 5 S y entre 90º y 150º O (Pacifico ecuatorial central), la de mayor extensión, área Niño 4, entre 5º N y 5º S y entre 150º O y 160º E (Pacífico ecuatorial occidental) (Capel, 1999).

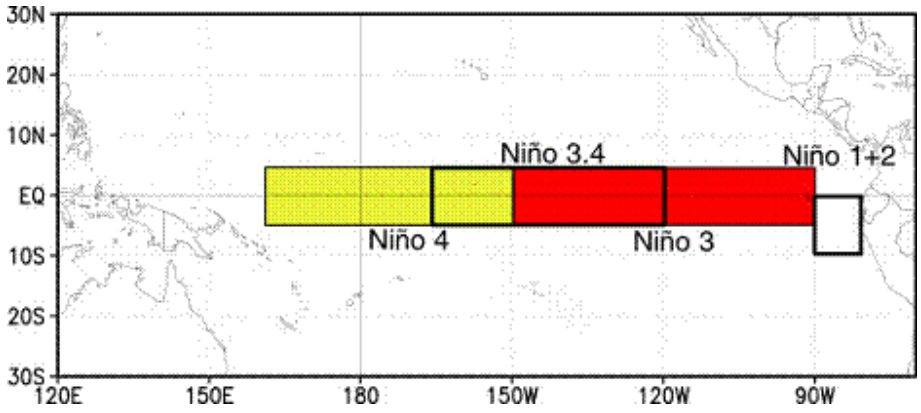


Figura 2-1. Regiones para la vigilancia de la variabilidad de la TSM en la zona tropical. Fuente: (CPC)

El Índice Oceánico Niño (ONI por su siglas en inglés), se basa en las principales mediciones de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 3.4 para el monitoreo, evaluación y predicción del ENOS (El Niño Oscilación del Sur) (IDEAM, 2001). Los valores del ONI se calculan como la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la temperatura de la superficie del mar en la región Niño 3-4. La condición del evento El Niño se presenta cuando el

ONI es igual o superior a medio grado Celsius (0,5C) de anomalía al menos cinco meses consecutivos. Cuando el ONI indica un valor igual o inferior a menos medio grado Celsius (-0,5°C) en 5 o más meses consecutivos ocurre la condición para el evento La Niña. Si no se reúne estas condiciones se considera un periodo Neutro (normal).

2.4. Cambio climático

La variación sostenida en el clima durante periodos consecutivos de varias décadas, es decir, durante periodos relativamente largos, se llama cambio climático. El cambio climático determina diferencias en los valores medios de un elemento climático a lo largo del tiempo; lo que significa, que cualquier cambio climático significativo puede dar lugar al establecimiento de un nuevo clima normal y por lo tanto, a un ajuste en las actividades humanas. Procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la Tierra (excentricidad o inclinación), los movimientos de la corteza terrestre y la actividad, son factores que tienen gran importancia en el cambio climático. Aspectos internos del sistema climático también pueden producir fluctuaciones de suficiente magnitud y variabilidad a través de los procesos de retroalimentación de los componentes del sistema climático (IDEAM, 2005)

Al considerar el tema de cambio climático se deben tener en cuenta dos aspectos fundamentales que van unidos y que se desarrollan en paralelo: los escenarios de emisiones y los modelos de cambio climático

2.4.1. Escenarios de Cambio Climático

El grupo III de expertos del IPCC (IPCC, 2000) estableció escenarios de emisiones de CO2 que son la base para los actuales estudios de cambio climático, y los denominó escenarios SRES. Para condiciones climáticas futuras se acude a la elaboración de escenarios de cambio climático a partir de escenarios de emisiones de CO2. Así, los modelos climáticos se han utilizado de acuerdo con las directrices dadas por el IPCC en el documento AR4 (IPCC, 2007) y han sido ejecutados teniendo en cuenta las posibles situaciones que se podrían presentar en el futuro de acuerdo con cuatro familias básicas de escenarios de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), determinadas por posibles futuras realidades en cuanto a aspectos demográficos, económicos, usos de energía, y sostenibilidad al finalizar el presente siglo. Estas familias de escenarios de emisiones de GEI y sus condiciones de sostenibilidad y aspectos socioeconómicos, son:

- Familia A = economía básicamente no influenciada por la sostenibilidad, es decir, por actividades antropogénicas alejadas de prioridades en cuanto a protección del medio ambiente y de restricción en las emisiones de contaminantes al aire y al agua.
- Familia B = economía que toma en consideración de modo general a la sostenibilidad del medio ambiente
- Familia 1 = La población del mundo disminuye después de un máximo en 2050 y se avanza hacia acuerdos globales.
- Familia 2 = La población del mundo continúa creciendo (en A2 más rápido que en B2) en entornos mas regionales que globales.

Asimismo se tiene en cuenta el tipo de combustible predominante utilizado, para definir escenarios de más detalle, así:

- T = Combustibles renovables.
- B = Combustibles basados en mezclas.
- FI = Combustibles fósiles.

En la Tabla 2-2-2 se presentan las características de cada uno de los escenarios definidos por el IPCC

Tabla 2-2. Escenarios SRES. Fuente: (IPCC, 2007)

Característica	B1	A1T	B2	A1B	A2	A1FI
Población máxima 2050	x	x		x		x
Crecimiento demográfico constante			x		x	
Economía regionalmente orientada			x		x	
Servicio global e información de la Economía		x		x		x
Desarrollo rápido y convergente	x	x		x		x
Desarrollo lento, regional y fragmentado			x		x	
Énfasis en la sustentabilidad	x		x			
Energía basada en hidrocarburos						x
Energía mixta			x	x	x	
Energía basada en combustibles renovables	x	x				

Los escenarios de la familia B son considerados como optimista, mientras que los de la familia A corresponden a los pesimistas. El escenario A1B es estimado como intermedio.

2.4.2. Modelos Climáticos Globales

La representación matemática del comportamiento de la atmósfera se hace a partir de las ecuaciones básicas que describen el flujo de masas de aire, el equilibrio térmico, el equilibrio hidrostático, el balance energético, la continuidad del aire. A este conjunto de ecuaciones se le denomina Modelo. Cuando el interés es, además, representar el comportamiento atmosférico de todo el planeta, se dice que el modelo es global, y si se desea simular los patrones generales de las variables atmosféricas a través del tiempo y su respuesta ante los cambios de factores que influyen en su comportamiento, tales como la radiación o el incremento de los gases de efecto invernadero, se dice que el modelo es climático (Oviedo, 2010).

Los modelos climáticos globales suelen ofrecer información a escalas superiores a los 2.5º, que difícilmente pueden ser aplicadas de manera directa a una región o lugar concreto, y por ello se hace necesario producir información más aproximada a las condiciones climáticas reales de esa región o lugar, lo cual conlleva a reducir de escala dichos resultados.

Una metodología que se ha utilizado ampliamente en los últimos años es la de regionalización estadística y dinámica. En el primero se utilizan los datos de observaciones para ajustar las salidas del modelo a la realidad regional; en el segundo se utilizan modelos de alta resolución espacial o modelos climáticos regionales que representan procesos en mayor detalle que los modelos globales.

Un esquema que ilustra el concepto de la regionalización dinámica se presenta en la Figura 2-2. Los modelos climáticos regionales son una versión de la regionalización dinámica (dynamical downscaling) de los modelos globales. Un ejemplo de modelo climático regional es el PRECIS (Providing Regional Climate Scenarios for Impacts Studies) que utiliza como entrada los datos de un modelo global (resolución espacial de 150x150 kilómetros, por ejemplo) para generar información más detallada, considerando el detalle (en grilla de 25x25 kilómetros) de la topografía y el uso del suelo. PRECIS ha sido utilizado para estimar futuros climas a partir de diferentes escenarios posibles de emisiones para los años 2070 y 2100 (Oviedo, 2010).

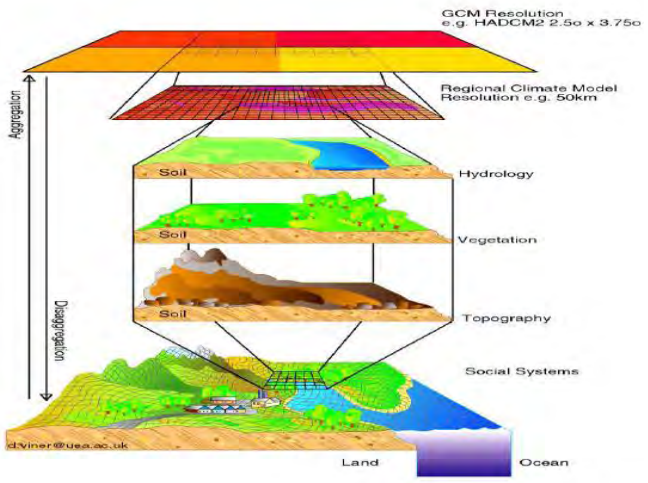


Figura 2-2. Esquema de uso de Modelos climáticos globales GCMs en Modelos climáticos regionales RCMs. Fuente: (Viner, 2000)

2.5. Sistemas de Alerta Temprana (SAT)

Un Sistema de Alerta Temprana se considera como un mecanismo o medio de generación y comunicación de información que permita a una comunidad especifica tomar decisiones a tiempo frente a un fenómeno que pueda llegar a afectar de manera negativa cierto sector importante para la sociedad. Dicho de otra manera el sistema de alerta temprana consiste en un conjunto de procedimientos y acciones que coordinadas adecuadamente permiten reducir al máximo los impactos que un fenómeno natural (como "El Nino") pueda producir en una comunidad o sistema socioproductivo especifico. El objetivo de los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) y las consecuentes medidas de de mitigación o adaptación deben ser utilizadas para actuar a tiempo, y de este modo evitar reacciones tardías.

Un SAT no tiene componentes ni fases fijos, ya que depende de las condiciones tecnológicas, agroclimáticas y socioeconómicas especificas de cada territorio, pero se pueden destacar algunos puntos importantes para cada uno.

En cuanto a los componentes se resalta un componente técnico, correspondiente al conjunto de instrumentos habilitados para la medición de las variables que se determinen como parte del SAT y un componente social que hace referencia al programa de organización y capacitación dirigido a la población que puede ser afectada.

Referente a las fases se logran organizar de la siguiente manera:

- Fase de Monitoreo: Etapa de medición y observación sistemática, continua y permanente de la manifestación de un determinado fenómeno. Estos datos obtenidos son base para analizar el comportamiento a lo largo del tiempo.

- Fase de Pronóstico: Basado en un modelo matemático elaborado conforme a la información histórica disponible, es el momento en que se determina la posibilidad de superación o la superación de las condiciones límite en el modelo de predicción.

- Fase de Emisión de Alerta: Es el momento de emitir una alerta hacia líderes de las comunidades de los sectores que se determinen en riesgo y las comunidades que locales que puedan llegar a ser afectados.

- Fase de definición y aplicación de medidas locales de adaptación, basadas en las alertas. Como se anotó, un SAT debe conducir a la adopción de medidas de adaptación, que deben se establecidas con participación activa de líderes de las comunidades involucradas, según sus experiencias y conocimiento

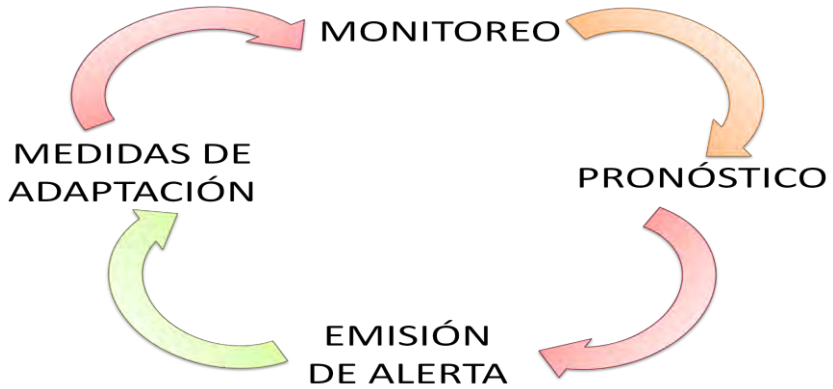


Figura 2-3. Fases en que se puede organizar un SAT. Fuente: Esta investigación

3. Área de Estudio

La Sabana de Bogotá está ubicada sobre la cordillera oriental de los Andes, en la parte central del país y forma parte del Altiplano Cundiboyacense. Las coordenadas geográficas de la Sabana son: por el norte 5° 18’ 36” de Latitud Norte, por el sur 4° 28’ 24” de Latitud Norte, por el occidente 74° 20’ 41” de Longitud Oeste y por el oriente 73° 41’ 44” de Latitud Oeste (IGAC, 1982) y se encuentra a una altura promedio de 2600 metros sobre el nivel del mar. Esta Sabana se circunscribe específicamente en el departamento de Cundinamarca, de cuyos 116 municipios se seleccionaron 32 para conformar el registro de sitios de esta región: Bogotá, Bojacá, Chía, Chocontá, Cogua, Cota, Cucunubá, El Rosal, Facatativá, Funza, Gachancipá, Guasca, Guatavita, Junín, La Calera, Madrid, Mosquera, Nemocón, Sesquilé, Sibaté, Soacha, Sopó, Subachoque, Suesca, Tabio, Tausa, Tenjo, Tocancipá, Ubaté, Villapinzón, Zipacón y Zipaquirá. Dentro de esta región se incluye la ciudad de Bogotá, Distrito Capital, sede del gobierno nacional y capital de Colombia.

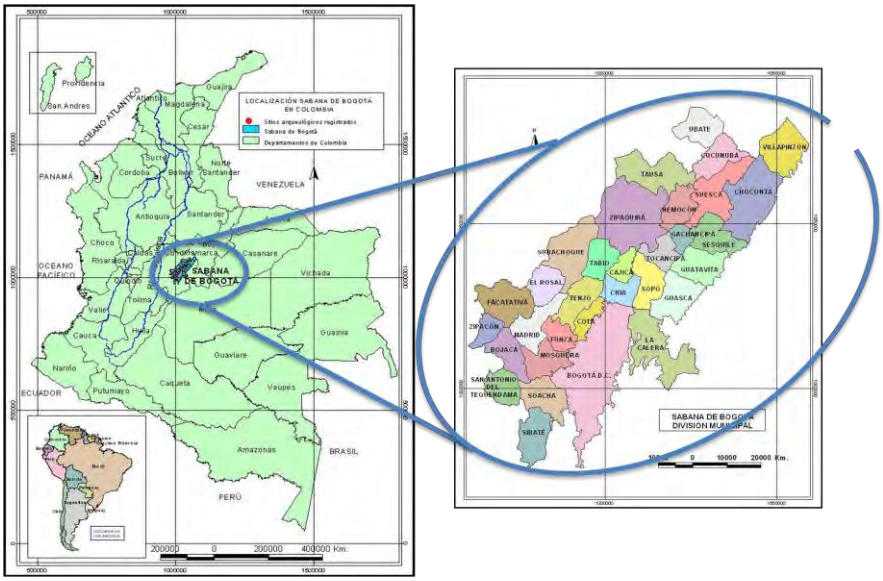


Figura 3-1. Ubicación de la Sabana de Bogotá. Fuente: (ICANH, 2009)

Debido a su altura y su posición geográfica esta región presenta una temperatura promedio de 13.5°C, que puede oscilar durante el día entre -5 °C y los 26 °C. Las temporadas secas y lluviosas

varían a lo largo del año por lo cual el régimen climático se caracteriza por una distribución binomial de la precipitación, con dos periodos de valores máximos relativos y dos mínimos relativos, dado este tipo régimen como causa de la posición de la zona de confluencia Intertropical durante el año. Presenta escasa pluviosidad y sus lluvias son generadas especialmente por un tipo de circulación Valle- Montaña que se caracteriza por vientos ascendentes durante el día y descendentes en la noche (Hurtado, 2000). Los meses secos corresponden a diciembre, enero, febrero y marzo, mientras que los meses lluviosos son abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre, época donde la temperatura permanece más estable, con unas oscilaciones entre los 6-8°C (mínimos medios) y los 18-20 °C (máximos medios). Los meses de fuertes vientos van de junio a agosto. El trimestre diciembre - febrero es la época de mayor oscilación de la temperatura; durante el alba se suele presentar muy bajas temperaturas, correspondientes a las heladas, que afectan directamente la agricultura. Es una de las áreas agrícolas del país con las temperaturas más bajas. Estas condiciones son variables a causa de los fenómenos El Niño y La Niña.

Como ya se mencionó, el comportamiento bimodal de la precipitación sobre la sabana de Bogotá está determinado por la influencia de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), uno de los sistemas responsables de los procesos de precipitación sobre el territorio del país. Esta zona, y las masas de aire que confluyen en ella, se desplazan con respecto al Ecuador geográfico siguiendo el movimiento aparente del sol. Este desplazamiento ocasiona que en la sabana se presente, durante el año, un doble máximo y un doble mínimo de precipitaciones y en general de los demás elementos meteorológicos. Así que la ZCIT pasa dos veces por este territorio:

Una primera vez, entre abril y mayo, cuando se desplaza hacia el norte y ocasiona el primer período lluvioso que va acompañado de un pequeño descenso de las temperaturas medias, con una disminución de las temperaturas máximas y un aumento de las mínimas y una segunda vez, entre septiembre y octubre, cuando regresa de su posición norte más extrema, alcanzada en julio-agosto, y se dirige al sur, originando el segundo período lluvioso que es el más fuerte y que también se acompaña de un descenso de las temperaturas medias, disminución de las temperaturas máximas y aumento de las mínimas.

Además de la influencia de la ZCIT en este territorio también se presentan movimientos de masas de aire horizontales y verticales, determinados por causas locales, según la disposición del relieve, la vegetación, y la relación tierra-agua que origina estabilización o inestabilización de la atmósfera lo cual ocasiona, a su vez, muy escasas o muy abundantes precipitaciones, respectivamente.

Con respecto a la humedad relativa que es un parámetro influenciado por la presencia del relieve, la Sabana de Bogotá en general presenta valores medios anuales de aproximados al 74% y el comportamiento a través del año es tipo bimodal con dos picos máximos entre abril y mayo y al final del año, en los meses de noviembre y diciembre y los mínimos entre febrero y marzo y entre julio y septiembre. Los valores medios de tensión de vapor están condicionados por la elevación; disminuye a medida que se asciende, así que en estas áreas de la Sabana oscilan entre 9 y 18 milibares y su comportamiento durante el año es igualmente bimodal con mínimos entre enero y febrero y julio y agosto y máximos en abril y noviembre.

Cundinamarca es una de las zonas de menor intensidad de radiación solar en Colombia menores a 4 KWh/m2 y para los sitios correspondientes a la Sabana de Bogotá se dan aproximadamente 130 horas de brillo solar anual (IDEAM, 2005).

La sabana de Bogotá posee una superficie geográfica de 598.600 hectáreas, de las cuales 407.000 se dedican a la actividad agropecuaria. El cultivo de los pastos ocupa un total de 264.554 hectáreas aproximadamente un 54% de la superficie agrícola (Chaverra, et al., 1967).

Los suelos son en general desde extremadamente ácidos (pH4,3) hasta fuertemente ácidos (pH5, 5), deficientes en Fosforo (P) y la relación Carbono (C) –Nitrogeno (N), es deficiente a alta.

Es importante mencionar que una parte de la actividad económica de esta región es la industria de la ciudad de Bogotá pero la principal actividad, fuera de las ciudades, está en el sector agropecuario entre las que se destacan la ganadería lechera y cultivos de papa, maíz, trigo, cebada, y flores en invernadero.

4. Planteamiento del problema

Parte de la economía de la Sabana de Bogotá está estrechamente relacionada con el sector agropecuario, el cual es susceptible a las variaciones del tiempo y del clima, lo que hace de la predicción de eventos agroclimáticos una tarea importante en la toma de medidas oportunas para maximizar la eficiencia del sector agropecuario.

La Sabana de Bogotá, es afectada continuamente por anomalías climáticas. Las temporadas secas y lluviosas son alteradas por fenómenos climáticos de gran escala como son los eventos El Niño y La Niña, que generan periodos más secos o más lluviosos. Estos eventos provocan desastres en gran parte de la región, por ejemplo, durante condiciones El Niño, se generan graves consecuencias por el déficit de la precipitación y el aumento de la temperatura media, aun cuando de igual manera se incrementa la amenaza de heladas, lo que perjudica directamente al sector agropecuario y a otros sectores productivos, y por consiguiente a la familia campesina del área rural. Entre los impactos agrícolas y socioeconómicos más evidentes se encuentran: la disminución de la producción de cultivos básicos, aparición de plagas y enfermedades, reducción de los niveles y caudales de los ríos, caída en los ingresos familiares, pérdidas económicas, precios altos en los productos, baja en la seguridad alimentaria y aumento de las importaciones, entre otros.

Además de los eventos de El Niño y La Niña existen otros sistemas atmosféricos que ocasionan eventos meteorológicos negativos para tales sectores; las ondas Madden Julian (OMJ) y las ondas tropicales son ejemplos de algunos de ellos.

Conjuntamente a las consecuencias que pueden generar los efectos de la variabilidad climática se suma las consideraciones más recientes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), que confirman que las actividades del hombre vienen contribuyendo al cambio climático y por tanto, alteraciones en el comportamiento de los fenómenos naturales y aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos. (Ideam, 2009). El IPCC en su último informe (IPCC, 2007), expresa que la temperatura media global de la superficie de la tierra se incrementará ente 2 y 4,5°C para cuando se alcance una duplicación de la concentración de CO_2. Igualmente, se prevé

que un aumento en 2°C en un plazo de menos de 100 años traería efectos negativos sobre todas las regiones del mundo.

Los sistemas de producción lechera representan una de las actividades más importantes en la sabana de Bogotá, y vienen presentando una constante disminución en rendimiento y calidad del forraje destinado a la alimentación de los bovinos, por causa de la presencia de la chinche de los pastos *C. scenica*, produciendo pérdidas económicas para los productores.

En estudios de variabilidad climática y cambio climático global, se ha encontrado que los cambios futuros en el clima generarán un efecto notorio sobre las migraciones y la abundancia de las poblaciones de insectos plaga, lo que afectaría adversamente la productividad agrícola y pecuaria mundial (Merril, et al., 2008) (Palikhe, 2007). En la medida en que el planeta se calienta, las especies de insectos limitadas por temperatura tendrán la posibilidad de expandirse tan rápido como sus propios mecanismos de dispersión lo permitan (Kiritani, 2006).

Cálculos desarrollados por (Kiritani, 2006), sobre el potencial en el incremento en el número de generaciones anuales, mortalidad y rangos de expansión, sugieren que un incremento en la temperatura funcionaría a favor de los míridos, familia de la chinche, más que en otras plagas de gramíneas. Pese a que esta plaga se reportó desde finales de la década de los ochenta en la sabana de Bogotá, el problema generado por la presencia de la chinche se ha venido incrementando hacia finales de la década de los noventa

Considerando la importancia de la chinche de los pastos *C. scenica* en las praderas dedicadas a la producción de leche en la Sabana de Bogotá, y a partir del hecho de que la variabilidad climática y el cambio climático puede estar favoreciendo la expansión y crecimiento de las poblaciones de la plaga, el presente proyecto pretende estimar un sistema de alertas tempranas, mediante el estudio previo de las variables climáticas y agroclimáticas significativas en la población de la chinche en la región de la Sabana.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los Pastos *Collaria scenica*, en la sabana de Bogotá

5.2. Objetivos específicos

Analizar la relación entre la presencia de la chinche de los pastos con la variabilidad de los elementos agroclimáticos.

Analizar la tendencia de las series de temperatura y precipitación en las estaciones localizadas en las zonas piloto y alrededor de ellas.

Analizar las posibles temperaturas medias anuales, precipitación anual, evapotranspiración anual, para los años 2020 y 2030, en las estaciones involucradas y de los impactos esperados en la presencia y distribución espacial de la plaga.

Definir un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los pastos.

6. Metodología

6.1. Obtención de información

6.1.1. Obtención de información de la plaga

Para el análisis de la relación entre la presencia de la chinche de los pastos y las variables agroclimáticas se utilizaron los datos de campo recolectados en el proyecto: "Desarrollo de un sistema de manejo y alerta temprana para la chinche de los pastos *Collaria scenica*, en relación con la variabilidad y el cambio climático en el altiplano Cundiboyacense" de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica, financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Los datos de analizados fueron: total de individuos capturados en estados de ninfa de cuarto y quinto instar y total de adultos. Éstos se obtuvieron semanalmente desde mayo de 2009 a noviembre de 2010, en cuatro fincas localizadas en la Sabana de Bogotá (Anexo A), de las cuales se seleccionaron tres lotes para las observaciones sobre el insecto plaga. Para las capturas se siguió la técnica de muestreo de acuerdo a la metodología utilizada por (Barreto, 1996). En cada lote se seleccionó un cuadrante de un cuarto de hectárea estableciéndose una grilla de muestreo con 10 puntos que indican el inicio de diez pases dobles de jama que se realizan en un transecto de 10 metros de longitud. Las dimensiones de la jama fueron: red, 40cm de diámetro y 90cm de largo y un largo del mango: de 120 cm.

La fincas se eligieron teniendo en cuenta su ubicación (entre 2500-2800 msnm), tipo de pasto (kikuyo), semejanza en la carga animal (máximo de animales por potrero), producción exclusiva de ganado de leche y área similar destinada a pastoreo, con el fin de reducir la heterogeneidad ambiental.

Además se tomaron datos de temperaturas máxima y mínima el día de la recolección de datos del insecto, precipitación acumulada durante la semana medida por un pluviómetro de fabricación

casera a partir de una probeta plástica de 25 cm3 e información referente a las prácticas de manejo que afectan la población de la plaga, entre las que se encuentra control del insecto y acciones de pastoreo.

Asimismo se tomo muestra de suelo para simular la humedad del suelo de la finca de Funza, la cual fue seleccionada como representativa de la zona de estudio, por su disponibilidad de datos y su mayor cercanía a la estación meteorológica de Tibaitatá, con respecto a las demás fincas. Para esta simulación se utilizó la metodología del balance hídrico agrícola, conforme a lo establecido en (Allen, et al., 2006) con algunas modificaciones prácticas e implementando el Modelo Automático de Balance Hídrico Agrícola (MABHA) (Terán, 2002).

De acuerdo a los valores del índice oceánico El Niño ONI de la Tabla 6-1, durante el periodo en que se realizaron los muestreos de la plaga se presentaron dos eventos de variabilidad climática interanual de gran importancia, desde mayo de 2009 hasta abril de 2010 se estuvo bajo la influencia del fenómeno de El Niño y desde julio de 2010 hasta el último mes de observaciones se presentó un evento La Niña, con dos meses de transición correspondientes a mayo y junio de 2010.

Tabla 6-1. Valores del Índice Oceánico de El Niño ONI para el periodo en que se realizó el muestreo.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2009					0.2	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.9**	**1.2**	**1.5**	**1.8**
2010	**1.7**	**1.5**	**1.2**	**0.8**	0.3	-0.2	**-0.6**	**-1.0**	**-1.3**	**-1.4**	**-1.4**	

6.1.2. Información Meteorológica

En la determinación de la relación entre la chinche y las variables agroclimáticas, se utilizaron datos diarios de precipitación (mm), temperatura máxima (°C), temperatura mínima(°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s) y brillo solar (horas) del periodo 2009-2010 (periodo de recolección de datos en campo de la presencia del insecto) de la estación meteorológica de Tibaitatá-Mosquera, como estación representativa de la Sabana de Bogotá y la cual corresponde a la única estación agroclimática de la zona y por tanto cuenta con variables importantes en el análisis del presente estudio.

De la misma manera para el desarrollo de esta investigación y en el análisis de la variabilidad climática y las tendencias de las series se utilizaron los datos diarios de precipitación (mm), temperatura máxima (°C), temperatura mínima(°C), humedad relativa (%), velocidad del viento

(m/s) y brillo solar (horas) del periodo 1980 – 2010 de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Sabana de Bogotá, que fueron consolidados en datos mensuales, luego del control de calidad de datos.

La información se obtuvo de la base de datos del Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y la selección de las estaciones se realizó teniendo en cuenta la disponibilidad de la información requerida, la calidad de la información y la longitud de la serie. En total se estimaron 7 estaciones, las cuales se muestran en la Tabla a continuación.

Tabla 6-2 Información de Estaciones Meteorológicas utilizadas en el trabajo

No.	CODIGO	ESTACIÓN	TIPO	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	ALTITUD (m.s.n.m)	LATITUD	LONGITUD
1	2401512	ISLA SANTUARIO	CP	FUQUENE	CUNDINAMARCA	2580	5.28N	73.44w
2	2120574	SILOS	CO	CHOCONTA	CUNDINAMARCA	2709	5.07N	73.42w
3	2120572	GJA SAN Jorge	CO	SOACHA	CUNDINAMARCA	2900	4.30N	74.11w
4	2120570	GUASCA	CO	GUASCA	CUNDINAMARCA	2750	4.52N	73.52w
5	2120598	GJA PROVIDENCIA	CO	TENJO	CUNDINAMARCA	2560	4.47N	74.12w
6	2120542	TIBAITATA	AM	MOSQUERA	CUNDINAMARCA	2543	4.41N	74.12w
7	2120579	EL DORADO	SP	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	2547	4.42N	74.09w

En la generación de las temperaturas máximas y mínimas y precipitación para los años 2020 y 2030 (contexto de cambio climático), se utilizaron los valores mensuales generados por el modelo global HadCM3 y el modelo regional PRECIS bajo los escenarios: optimista B2, pesimista A2 e intermedio A1B, para las estaciones de la Tabla 6-2. Estos datos fueron suministrados por IDEAM.

6.1.3. Índice ONI

Los valores del Índice Oceánico de El Niño ONI que es calculado como la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la temperatura superficie del mar en la región Niño 3.4 se obtuvieron del sitio web de la NOAA Climate prediction center (CPC) (Climate Prediction Center, 2009)

6.2. Control de calidad de la información

Luego de la obtención de la información meteorológica es importante proceder a una verificación de la calidad de los datos. Para esto, inicialmente se realizó un análisis exploratorio de cada una de las series, que permitiera valorar la homogeneidad, la presencia de posibles errores, como valores fuera de rango y datos faltantes. Este análisis inicial, también proporciona una idea de la

distribución de probabilidad de las variables, que será útil en el desarrollo posterior de la investigación.

Luego del análisis exploratorio se procedió a una verificación de los datos mediante los siguientes mecanismos:

1. *Coherencia interna y temporal:*

La coherencia se controló a través de la comparación de distintas variables que cumplen relaciones físicas o meteorológicas y la secuencia temporal de la información usando los siguientes criterios:

Se rechazan datos cuando:

- *Las temperaturas mínimas mayores a las medias y estas a su vez mayores a las máximas.*
- *Existen tres datos consecutivos con el mismo valor.*

Además en el control de calidad de datos se aplicó el programa desarrollado por La National Climate Data Centre (NCDC) de la NOAA, denominado R ClimDex, utilizado para el cálculo de índices extremos que cuenta con un modulo de control de calidad previo a la determinación de aquellos. El procedimiento de R ClimDex para el control de calidad (CC) de los datos consta de dos fases, uno realizado por el programa y otro por el usuario de manera que:

a) Reemplaza todos los datos faltantes en un formato interno que reconoce R (ejm: NA, no disponible) y

b) Remplaza todos los valores no razonables por NA. Estos valores incluyen:

- *Cantidades de precipitación diarias menores que cero y*
- *Temperatura máxima diaria menor que temperatura mínima diaria.*

Para el control de calidad realizado por el usuario:

a) Se identifican outliers en temperaturas diarias máximas y mínimas. Los valores extremos son datos diarios que se encuentran fuera de una región definida por el usuario.

b) Se escoge la media + 4 (3,5 y 3,0) desviaciones típicas para marcar los datos problemáticos de temperatura.

c) Finalmente el usuario define si deja, modifica o elimina el dato.

6.2.1. Análisis de homogeneidad

El tratamiento estadístico de datos requiere, como condición básica, que éstos sean de la misma naturaleza, del mismo origen, obtenidos mediante observaciones y mediciones que hayan seguido procedimientos y métodos semejantes.

Las series de datos climatológicos disponibles son muestras extraídas de una población cuya existencia y permanencia se suponen de antemano. El primer problema consiste en determinar la homogeneidad de la muestra, ya que muchas de éstas no cumplen con esta condición esencial y lo que es peor, no se tiene ningún registro documental de las posibles heterogeneidades (Montealegre, 1990).

- **Método de Dobles Masas**

Este método prueba la homogeneidad de los datos climatológicos, comparando una cantidad (anual o estacional) de precipitación acumulada en una estación meteorológica, con los valores promedio correspondientes (e igualmente acumuladas) de un grupo de estaciones circunvecinas. Los puntos resultantes de las correlaciones obtenidas para cada año o estación, son unidos por segmento de recta. Cuando los valores anuales acumulados de una estación pluviométrica son homogéneos, la gráfica muestra una recta continua.

- **Prueba de U de Mann Whitney**

Es una prueba no paramétrica que se aplicada para comprobar la heterogeneidad de dos muestras. El planteamiento de partida es:

- *Las observaciones de ambos grupos son independientes*
- *Las observaciones son variables ordinales o continuas.*
- *Bajo la hipótesis nula, las distribuciones de partida de ambas distribuciones es la misma*
- *Bajo la hipótesis alternativa, los valores de una de las muestras tienden a exceder a los de la otra:* $P(X > Y) + 0.5\,P(X = Y) > 0.5$.

Para calcular el estadístico U se asigna a cada uno de los valores de las dos muestras su rango para construir:

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}$$

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2+1)}{2}$$

Donde n_1 y n_2 son los tamaños respectivos de cada muestra; R_1 y R_2 es la suma de los rangos de las observaciones de las muestras 1 y 2 respectivamente. El estadístico U se define como el mínimo de U_1 y U_2.

Los cálculos tienen que tener en cuenta la presencia de observaciones idénticas a la hora de ordenarlas. No obstante, si su número es pequeño, se puede ignorar esa circunstancia La prueba calcula el llamado estadístico U, cuya distribución para muestras con más de 20 observaciones se aproxima bastante bien a la distribución normal.

La aproximación a la normal, z, cuando tenemos muestras lo suficientemente grandes viene dada por la expresión:

$$Z = \frac{(U - \overline{U})}{\sigma_U}$$

Donde Z es el valor estadístico de la curva normal, U cualquier valor de U calculado (ya sea U_1o U_2), $\overline{U}$ el valor promedio de U y σ_U la desviación estándar de U.

El valor promedio se calcula como: $\overline{U} = \frac{n_1 n_2}{2}$ y la desviación estándar:

$$\sigma_U = \sqrt{\left(\frac{n_1 n_2}{N(N-1)}\right)\left(\frac{N^3 - N}{12} - \sum L_i\right)}$$

N es el tamaño total de la muestra (suma de n_1 y n_2) y L_i es la sumatoria de las ligas o empates y se determina por: $L_i = \sum \frac{{L_i}^3 - L_i}{12}$

Cuando se han determinado los parámetros necesarios, se obtiene el valor Z (Wilks, 2006).

6.2.2. Estimación de datos faltantes

- **Interpolación lineal**

Es una técnica simple para estimar datos faltantes en una serie de datos climatológicos. Consiste en tomar la media de los datos anterior y siguiente al valor faltante, lo cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$D_n = \frac{1}{2}(D_{n-1} + D_{n+1})$$

Donde D_n es el dato faltante, D_{n-1} el dato anterior y D_{n+1} el siguiente dato al faltante.

Este método se utilizó únicamente para datos de temperatura diarios y para los cuales los datos inmediatamente anterior y posterior al faltante se tuvieran.

- **Razón de valores normales**

Cuando se desconoce el valor de la precipitación de un determinado mes en una estación, pero se conoce el valor registrado de este mismo mes o año en algunas otras estaciones que por sus características fisiográficas y climatológicas se consideran como representativa de la primera, puede estimarse dichas cantidades en función de los valores medios mensuales o anuales mediante la siguiente relación:

El valor de la precipitación faltante P_x es estimado como la media aritmética de los valores registrados en las estaciones A, B, y C ($P_A, P_B P_C$) corregidos por el factor $\frac{N_x}{N_A}$, $\frac{N_x}{N_B}$ y $\frac{N_x}{N_C}$ respectivamente donde N se refiere al valor medio del mes o año faltante y los subíndices corresponde a las estimaciones en mención.

6.3. Índices agroclimáticos

Los estudios agrometeorológicos aportan al conocimiento cualitativo y cuantitativo en la relación clima/tiempo y producción agrícola y aportan información detallada de los elementos agroclimáticos en su magnitud, frecuencia y variabilidad (Pascale, 1999). Para su expresión cuantitativa se utilizan índices agroclimáticos. Estos índices pueden ser aplicados para la construcción de modelos agrometeorológicos que cuantifiquen el efecto de los elementos meteorológicos sobre el rendimiento de un cultivo o sobre las poblaciones de plagas que afectan al mismo, estableciéndose en importantes herramientas para permitir la estimación del rendimiento o manejo de las enfermedades con cierta anticipación.

6.3.1. Grados día (GD)

De todos los factores ambientales, el que ejerce un efecto mayor sobre el desarrollo de los insectos es, probablemente, la temperatura. Ello es debido principalmente a su importante incidencia sobre los procesos bioquímicos, al ser organismos poiquilotermos, es decir, "de sangre fría". Por tanto,

no es de extrañar que la idea de utilizar la temperatura y su influencia sobre el tiempo de desarrollo como instrumento de predicción, haya sido ampliamente utilizada (Wagner, et al., 1984).

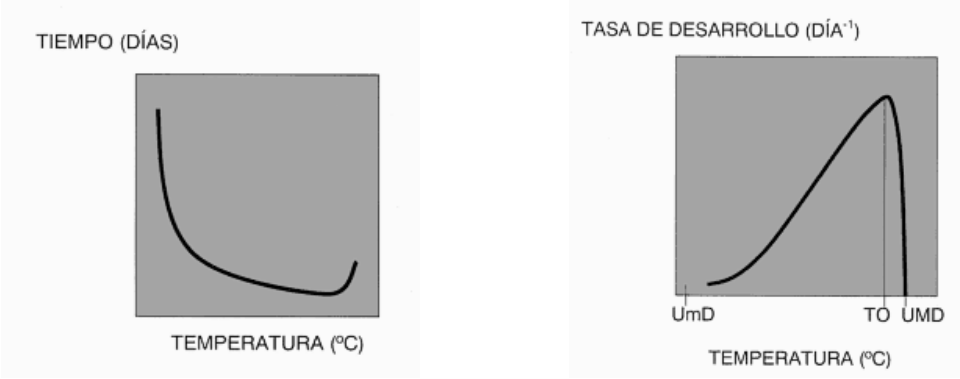
La posibilidad de desarrollo de los insectos se da dentro de un rango determinado de temperaturas. Si se mide el tiempo de desarrollo utilizando valores puntuales próximos de temperatura y se representan los resultados en unos ejes cartesianos, aparece una curva en forma de "J" invertida (Figura 6-1. Relación de tiempo de desarrollo y tasa de desarrollo frente a la temperatura.a). Si lo que se representa en función de la temperatura es la tasa de desarrollo (definida como la inversa del tiempo de desarrollo y que, por tanto, mide la porción de desarrollo avanzada por unidad de tiempo), la curva resultante tiene forma sigmoidea (Figura 6-1. Relación de tiempo de desarrollo y tasa de desarrollo frente a la temperatura.b). Puede observarse cómo en el límite térmico inferior, la curva se aproxima al punto cero de desarrollo asintóticamente, porque los insectos sobreviven frecuentemente durante largos periodos de tiempo a bajas temperaturas con un desarrollo lento. Por esta razón, la temperatura a la que ocurre el desarrollo inicial (umbral mínimo de desarrollo), es difícil de medir con precisión. A medida que las temperaturas suben desde ese límite inferior, la tasa de desarrollo aumenta, pudiéndose ajustar la función a una recta, en la zona intermedia. Conforme nos acercamos a la temperatura óptima (aquella en que la tasa de desarrollo es máxima), el desarrollo comienza a ralentizarse, para caer después bruscamente. Además, a temperaturas superiores a la óptima, los porcentajes de mortalidad son muy elevados, lo que hace también difícil el estudio del desarrollo a altas temperaturas y, por tanto, la determinación del umbral máximo de desarrollo (temperatura por encima de la cual el insecto no puede desarrollarse) (Pedigo, 1996).

Para términos predictivos se han propuesto varios métodos fundamentados en la relación tasa de desarrollo frente a la temperatura, pero el más extendido es el denominado método de grados día (GD o GDD). Éste representa la acumulación de unidades de calor por encima de cierta temperatura, en términos diarios, que para el caso de los insectos corresponde al umbral mínimo de desarrollo (temperatura base). Para cada día los GD se calculan como:

$$GD = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2}\right) - T_b$$

Donde:

GD = Grados día (°Cd)
T_{max} = Temperatura máxima del día (°C)
T_{min} = Temperatura mínima del día (°C)
T_b = Temperatura umbral mínima o temperatura base (°C)



a. Tiempo de desarrollo frente a la temperatura.

b. Tasa de desarrollo frente a temperatura. UmD: Umbral Mínimo de Desarrollo; TO: temperatura Óptima; UMD: Umbral máximo de Desarrollo.

Figura 6-1. Relación de tiempo de desarrollo y tasa de desarrollo frente a la temperatura.

Para poder predecir el estado de desarrollo a partir de los grados-día, es necesario haber establecido antes, la temperatura base y el número de grados día que deben ser acumulados en cada estado biológico del insecto (huevo, ninfas y adulto, en el caso de la chinche) para continuar con su próxima fase de crecimiento o terminación de su ciclo en la etapa de adulto.

El valor de la temperatura base varía de acuerdo a la especie de insecto y entre estados. Para la determinación de estos valores se han propuesto diferentes modelos empíricos y biofísicos que describen la relación de la tasa de desarrollo frente a la temperatura. Aunque (Marco, 2001) menciona que la tasa de desarrollo en función de la temperatura se obtiene sometiendo poblaciones de la especie en cuestión, a temperaturas constantes en laboratorio.

Para el caso de esta investigación en que los datos corresponden a valores obtenidos en campo, de la zona de Sabana de Bogotá donde la plaga tiene un optimo desarrollo y la temperatura media es aproximadamente 14°C con una desviación estándar de 1 °C y teniendo en cuenta que los experimentos realizados hasta el momento en laboratorio muestran que el insecto no subsiste a temperaturas menores de 12 °C, se calcularon los grados día considerando una temperatura base de 13°C.

Es importante mencionar que el trabajo de laboratorio no ha sido finalizado por lo cual el modelo puede mejorarse con el ajuste de la temperatura base determinados mediante los métodos matemáticos desarrollados para tal fin. También hay que destacar que todavía hay poca

información disponible acerca de los requerimientos en grados-día de muchas especies, como el caso de la chinche de los pastos *Collaria scenica*.

El cálculo de los grados-día se realizó para el mismo periodo tiempo en que se recolectaron los datos de población (mayo de 2009 a noviembre de 2010), mediante los valores diarios de temperatura máxima y mínima de la estación de Tibaitata - Mosquera, la cual es la más cercana a la finca seleccionada para la construcción del modelo relación insecto-clima.

Como no se ha determinado el numero de grados día acumulados necesarios para en el desarrollo de la plaga en cada una de sus etapas, la acumulación de los grados-día se realizó hasta la fecha en que se efectúa el pastoreo, ya que como menciona (Martinez, et al., 1998) esta práctica rompe el ciclo bilógico de la chinche.

6.3.2. Evapotranspiración de referencia (ETo)

El concepto de evapotranspiración de referencia (ETo) se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ETo con parámetros climáticos. Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ETo de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes (FAO, 2006).

- **Ecuación de Penman-Monteith**

Penman en 1948, combinó el balance energético con el método de la transferencia de masa y derivó una ecuación para calcular la evaporación de una superficie abierta de agua a partir de datos climáticos estándar de horas sol, temperatura, humedad atmosférica y velocidad de viento. Este método conocido como combinado fue desarrollado posteriormente por muchos investigadores y ampliado a las superficies cultivadas por medio de la introducción de factores de resistencia (FAO, 2006).

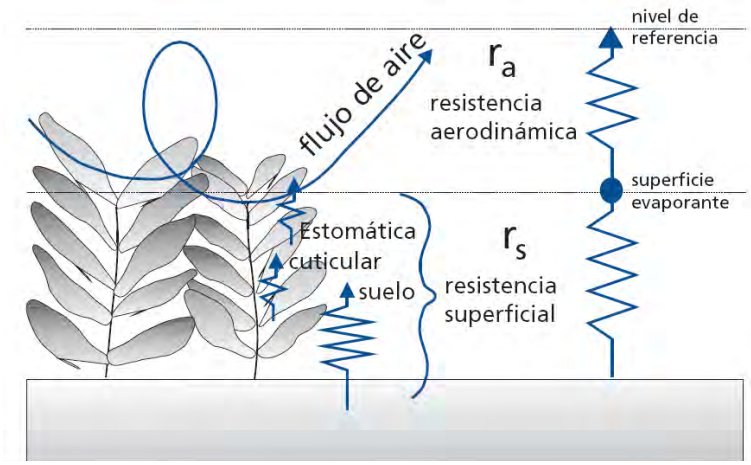


Figura 6-2. Representación simplificada de la resistencia superficial (total) y de la resistencia aerodinámica al flujo de vapor de agua. Fuente: (FAO, 2006)

La nomenclatura sobre resistencia distingue entre la resistencia aerodinámica y la resistencia superficial (Figura 6-2). Los parámetros de la resistencia superficial se combinan a menudo en un solo valor, el de la resistencia superficial total que se combina en serie con la resistencia aerodinámica. La resistencia superficial, rs, describe la resistencia al flujo de vapor a través de los estomas, del área total de la hoja y de la superficie del suelo. La resistencia aerodinámica, ra, describe la resistencia en la parte inmediatamente superior a la vegetación e incluye a la fricción que sufre el aire al fluir sobre superficies vegetativas. Aunque el proceso del intercambio en la vegetación es demasiado complejo para ser descrito completamente por los dos factores de resistencia mencionados, con esta estimación se obtienen buenas correlaciones entre los valores medidos y calculados de evapotranspiración, especialmente en el caso de una superficie de pasto uniforme (referencia) (FAO, 2006).

La ecuación combinada de Penman-Monteith es:

$$\boldsymbol{\lambda ET} = \frac{\Delta(\boldsymbol{R_n} - \boldsymbol{G}) + \boldsymbol{\rho C_P} \frac{(\boldsymbol{e_s} - \boldsymbol{e_r})}{\boldsymbol{r_a}}}{\Delta + \boldsymbol{\gamma}(\mathbf{1} + \frac{\boldsymbol{r_s}}{\boldsymbol{r_a}})}$$

Donde:

$\boldsymbol{\lambda ET}$ = Evapotranspiración de referencia.
$\boldsymbol{R_n}$ = Radiación neta.
$\boldsymbol{G}$ = flujo de Calor en el suelo.
$\boldsymbol{e_s} - \boldsymbol{e_r}$ = representa el déficit de presión de vapor del aire.
$\boldsymbol{\rho}$ = densidad media del aire a presión constante.
$\boldsymbol{C_P}$ = calor especifico del aire.
Δ = representa la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación.

$\boldsymbol{\gamma}$ = constante psicométrica.
$\boldsymbol{r_s}$ = resistencia superficial (total).
$\boldsymbol{r_a}$ = resistencia aerodinámica.

Según la anterior expresión, el enfoque de Penman-Monteith incluye todos los parámetros que gobiernan el intercambio de energía y el flujo de calor (evapotranspiración) de grandes extensiones uniformes de vegetación. La mayoría de los parámetros son medidos o pueden calcularse fácilmente de datos meteorológicos. La ecuación se puede utilizar para el cálculo directo de la evapotranspiración de cualquier cultivo pues las resistencias superficial y aerodinámica son específicas para cada cultivo.

Los métodos para calcular la evapotranspiración partiendo de datos meteorológicos requieren de varios parámetros climatológicos y físicos. Algunos de estos parámetros se miden directamente en estaciones meteorológicas, entre los que se encuentran la temperatura máxima y mínima, humedad relativa, horas de sol y viento. Otros parámetros se relacionan con los datos comúnmente medidos y se pueden derivar con la ayuda de relaciones directas o empíricas.

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia ETo se utilizó el programa CROPWAT, de la FAO, que adopta el enfoque de Penman-Monteith Los datos utilizados corresponden a los valores medios mensuales de temperatura máxima y mínima (°C), humedad relativa (%), brillo solar (horas) y viento (m/s). Para el caso de las estaciones que no cuenta con series de velocidad del viento, en (FAO, 2006) se menciona que las estimaciones medias de la velocidad del viento se puede seleccionar de la información disponible para el clima regional, ya que la variación promedio de la velocidad del viento en periodos mensuales es relativamente pequeña y fluctúa alrededor de los valores medios que para el caso de la Sabana de Bogotá se ha estimado de 2 m/s en promedio.

En el caso de la estación de Guasca que no cuenta con datos de velocidad del viento ni brillo solar, CropWat hace una estimación de ETo, como opción alternativa, utilizando únicamente los valores de temperatura máxima y mínima, mediante la ecuación de de Hargreaves, donde:

$$ETo = 0.0023(T_{media} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a$$

En la que todos los parámetros han sido definidos previamente.

Sin embargo estos cálculos han mostrado siempre valores muy altos en la Sabana de Bogotá comparándolos con estimaciones de la ecuación de Penman-Monteith en las estaciones meteorológicas que disponen de todos los datos. Por lo tanto se realizó una corrección, como se

sugiere en (FAO, 2006), calibrando esta última ecuación por medio de la determinación de los coeficientes empíricos de correlación en que:

$$ETo = a + b \cdot ETo_{Tmax_Tmin}$$

En el que el subíndice Tmax_Tmin se refiere al valor de ETo calculado aplicando la ecuación de Hargreaves. Los coeficientes a y b se determinaron por análisis de regresión. Para ésto se utilizaron las estaciones de Bogotá y Mosquera, que contaban con todos los datos climáticos.

De forma similar se han rellenado los datos faltantes en las series de ETo, donde los coeficientes a y b se determinaron de la misma estación en que se realiza el relleno.

6.3.3. Índice Hídrico

Los balances hídricos agrícolas buscan evaluar los eventuales excesos o deficiencias de agua para un cultivo en sus diversas etapas de desarrollo, en un área determinada. Por consiguiente un balance hídrico se establece para un lugar determinado y un período dado, por comparación entre aportes y pérdidas de agua. Las contribuciones de agua se producen como consecuencia de la precipitación y las pérdidas se deben esencialmente a la combinación de la evaporación y transpiración (evapotranspiración) de las plantas. Las dos magnitudes se evalúan en cantidad de agua por unidad de superficie, y se analizan generalmente en milímetros. Al ser aquellas dos magnitudes físicamente homogéneas, se pueden comparar calculando, ya sea su diferencia (precipitaciones menos evapotranspiración), ya sea su relación (precipitaciones sobre evapotranspiración). El balance es evidentemente positivo cuando la diferencia es positiva o cuando la relación es superior a uno. Se elige una u otra expresión en función de comodidades o de obstáculos diversos.

Las variables evaporación y precipitación no son independientes, ya que la cantidad evapotranspirada depende evidentemente del agua disponible, por lo cual se suspende cuando la cantidad de agua aportada por las precipitaciones está agotada. Esto lleva a introducir el concepto de evapotranspiración de referencia (ETo) que corresponde a la cantidad de agua que puede pasar en la atmósfera únicamente en función del estado de ésta, suponiendo que la cantidad de agua disponible en el suelo no sea un factor limitante y que se cumpla con requisitos como la altura uniforme de la superficie que evapotranspira (12 cm) y que su albedo sea de 0.23 o del 23%.

De esta manera en la determinación de la relación entre el insecto plaga y las variables agroclimáticas, se estimó un índice hídrico (IH), que permite comparar la precipitación y la evapotranspiración mediante la relación:

$$IH = \frac{PPT}{ETo}$$

Donde:

IH = Índice hídrico

PPT = Precipitación

ETo = Evapotranspiración de referencia

Este índice hídrico facilitó la evaluación de los posibles períodos con deficiencias y excesos hídricos que afectaran de uno u otro modo el desarrollo tanto de la pastura (kikuyo) como del insecto plaga considerada.

6.4. Modelos

Los modelos se pueden considerar como un conjunto de relaciones que se usan para representar de forma sencilla un fenómeno de la realidad empírica, y por medio del cual se puede generar predicciones y descripciones del mismo.

6.4.1. Modelos estadísticos

Unas de las técnicas de predicción agrometeorológica se basa en el análisis de las relaciones estadísticas que ocurren entre variables dependientes, como por ejemplo el rendimiento, y las variables independientes, ya sean directas (radiación solar, temperatura, lluvia) o deducidas (humedad del suelo, tiempo térmico) (Jaramillo, 2005).

Los modelos estadísticos han sido utilizados para la predicción de la producción en numerosos cultivos (Baier, 1997) y pueden ser de regresión simple o múltiple, o utilizar otro tipo de expresiones como cuadráticas, exponenciales, etc.

Para evaluar el comportamiento de la chinche de los pastos en función de las variables agroclimáticas se realizó un análisis de correlación entre las variables generadas y posteriormente

un análisis de regresión múltiple. En el análisis de la información recolectada de la plaga y de las variables climáticas se asumió una distribución normal de las variables y aquellos casos donde los datos no presentaron una distribución normal, se realizó la transformación de los mismos, mediante el método de Box-Cox.

6.4.2. Modelo de regresión múltiple

La regresión lineal múltiple es la más general (y más común) de las regresiones lineales y su objetivo es modelar la asociación entre una variable dependiente (explicada) Y en relación con un conjunto de variables independientes (explicativas) X1, X2,…,Xn. Las variables del modelo de regresión deben ser cuantitativas y el modelo viene dado por la ecuación lineal:

$$Y = b_o + b_1X_1 + b_2X_2 + \cdots + b_kX_k$$

Los parámetros b1, b2, ... bk denotan la magnitud del efecto de las variables explicativas, esto es, representan los pesos de la regresión o de la combinación lineal de las predictoras X1, X2 , ... X k sobre la variable explicada Y. El coeficiente b0 se denomina término constante (o independiente) del modelo.

Estos parámetros denominados coeficientes de regresión representan las unidades de cambio en la variable dependiente por unidad de cambio en la variable independiente correspondiente. En el caso de que sólo haya una variable dependiente se llega a la ecuación de una recta donde b0 es la ordenada en el origen y b1 la pendiente de la recta. Una vez encontradas las estimaciones de los parámetros del modelo, se podrá hacer predicciones sobre el comportamiento de la variable Y en la población

Si se dispone de T observaciones para cada una de las variables, el modelo se puede expresar de la siguiente manera:

$$Y = b_o + b_1X_{1t} + b_2X_{2t} + \cdots + b_kX_{kt} \qquad t = 1,2,3, \ldots T$$

Variables de predicción derivadas en la regresión múltiple

La regresión lineal múltiple abre la posibilidad de utilizar un número muy grande de variables predictoras. Una lista inicial de variables de predicción puede ser ampliada muchas veces considerando transformaciones matemáticas de estas variables como posibles factores predictivos. Tales predictores derivados pueden ser útiles en la producción de una buena ecuación de regresión.

En algunos casos las formas de predecir las transformaciones pueden ser sugeridas por la física. A falta de una sólida justificación para las transformaciones física, la elección se puede hacer puramente empírica, tal vez por la evaluación subjetiva de la forma general de la nube de puntos en un diagrama de dispersión (Wilks, 2006).

Transformaciones como X1=X2, $X_1 = \sqrt{X}$, $X_1 = {}^{1}/_{X}$, o cualquier otra transformación de un factor de predicción disponible se puede considerar como otro factor potencial. Del mismo modo, funciones trigonométricas ($\sin\varphi$, $\cos\varphi$, etc.), exponenciales y logarítmicas, o combinaciones de estos son útiles en algunas situaciones (Wilks, 2006).

▪ Transformación logarítmica

La utilización de transformaciones para lograr que los datos se ajusten a una distribución normal es en muchas ocasiones la solución más natural, ya que existen gran cantidad de parámetros biológicos que tienen una distribución asimétrica, y que se convierten en aproximadamente simétricas al transformarlas mediante el logaritmo.

Usualmente se tiene problemas con la transformación $\ln x$ si la variable puede tomar el valor de cero, por lo cual en estos casos, o incluso si existen valores muy pequeños, es conveniente emplear la transformación $\ln(x+1)$.

Para el caso de datos de conteo, se puede implementa la transformación logarítmica propuesta por (Ali, et al., 1980), dada como:

$$V_T = \ln(V_o + 10)$$

En donde V_T es la variable transformada y V_o es el valor de la variable original.

Par la construcción del modelo de plaga se implemento ésta transformación en la cantidad de ninfas y adultos, los cuales se relacionaron con las variables agroclimáticas disponibles mediante el método de regresión múltiple estableciéndose un modelo para ninfas y otro para adultos.

▪ Transformación Box-Cox

La familia de transformaciones de Box-Cox arregla problemas de normalidad y heterocedasticidad (no homogeneidad de varianzas). Por ejemplo si se asumen los supuestos siguientes: se tienen datos $(Y_1, Y_2, Y_3 \ldots, Y_n)$ para una variable respuesta Y; el cociente entre el valor más grande

observado de Y y el más pequeño, es considerablemente grande, por decir, 10 o más, se debe considerar entonces la posibilidad de transformar la variable respuesta Y . Existen muchos tipos de transformaciones (UN, 2009):

- *Método 1: Una idea útil en muchas aplicaciones es considerar transformar los datos de la respuesta Y en la potencia, Y^{λ} , por decir, y encontrar el mejor valor de λ , pero si el mejor valor de λ fuera $\lambda = 0$, entonces $Y^0 = 1$, lo cual produciría que al tranaformar los datos, todos serían iguales, lo cual no es deseable. Por esto este método no es recomendado.*

- *Método 2: Otro método consiste en transformar la variable Y en la variable W:*

$$W = \begin{cases} \dfrac{Y^{\lambda-1}}{\lambda}, & si \quad \lambda \neq 0 \\ \ln Y, & si \quad \lambda = 0 \end{cases}$$

En donde el $\lambda = 0$ en el método 1, ya no se tiene, porque $\ln(Y)$es el apropiado limite, cuando λ tiende a cero, y así la familia es continua en λ.

La desventaja es que así como λ varia, el tamaño de los valores transformados de Y ; es decir los $W's$ pueden cambiar demasiado, lo que conllevaría a problemas menores en el análisis y requeriría un programa especial para obtener el mejor valor de λ .

- *Método 3: En este método se transforma la variable Y en la variable V :*

$$V = \begin{cases} \dfrac{Y^{\lambda-1}}{\lambda Y^{\lambda-1}}, & si \quad \lambda \neq 0 \\ Y \ln Y, & si \quad \lambda = 0 \end{cases}$$

Donde la cantidad Y es la media geométrica de los Y_i ,

$$Y = \sqrt{Y_1 Y_2 \ldots Y_n}$$

La cual es una constante y debe ser calculada al inicio de los procedimientos de cálculo de λ, usualmente por antilogaritmo (exponencial) de la fórmula:

$$\ln Y = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \ln Y_i$$

Para encontrar el mejor valor de λ se debe aplicar la fórmula (1) cada Y_i y crear el vector $V = (V_1, V_2, \dots, V_n)'$ y ajustar el modelo lineal:

$$V = X\beta + \delta$$

Por mínimos cuadrados para un valor específico de λ. Más precisamente se debe estimar tanto a λcomo aβ. Esto se hace aplicando el método de máxima verosimilitud bajo el supuesto que $\delta N(0, I\sigma^2)$ para la seleccionada de λ. Al obtener el λadecuado, un modelo aditivo con error normalmente distribuido, independiente y varianza homogénea podría ser ajustado por el método de máxima verosimilitud.

- **Bondad de Ajuste**

La bondad de ajuste del modelo teórico se evaluó mediante el coeficiente de determinación R^2 y la capacidad explicativa se hace a partir del método de mínimos cuadrados (ANOVA), cuyo resultado es evaluado a través del valor F de Fisher. La significancia estadística de las variables del modelo sobre la variable dependiente se realizó a través de la prueba de t-student.

6.5. Determinación de trimestres agroclimáticos

La ubicación geográfica de la Sabana de Bogotá y su posición latitudinal establece un régimen climático caracterizado por una distribución bimodal de la precipitación determinados por el doble paso de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) , generando dos temporadas de lluvia (periodos de valores máximos) y dos temporadas secas (periodos de valores mínimos). Esta influencia del desplazamiento de la ZCIT no solo fija el comportamiento de la precipitación, sino también el patrón de otras variables climáticas y eventos, que como causa de estas condiciones se desarrollan, tales como la aparición de plagas y enfermadas. De aquí la importancia de determinar trimestres agroclimáticos apropiados para realizar los análisis de las diferentes variables y sus efectos en cada época.

Para el caso de la Sabana de Bogotá, las temporadas secas ocurren durante los meses de diciembre-enero-febrero (DEF) y junio-julio-agosto (JJA), mientras que las épocas de lluvia se presentan durante marzo-abril-mayo (MAM) y septiembre-octubre-noviembre (SON). Por lo tanto las estimaciones de la distribución de la chinche de los pastos se realizaron según los trimestres agroclimáticos anotados.

6.6. Análisis de la información

El análisis de la información se realizó para las variables climáticas y luego se calcularan los índices agroclimáticos establecidos.

6.6.1. Diagramas de caja (Box Plot)

Con el objeto de determinar la distribución y comportamiento de las diferentes variables vinculadas en el modelo de insecto plaga, en cada una de los trimestres agroclimáticos se utilizó la herramienta Grapher (Golden Software Inc.) para la generación de los diagramas de caja de cada estación meteorológica.

El diagrama de caja es un gráfico basado en cuartiles, mediante el cual se visualiza un conjunto de datos. Está compuesto por un rectángulo, la "caja", dos brazos y los "bigotes", en donde se suministra información sobre los valores mínimo y máximo de las serie, los cuartiles Q1, Q2 o mediana y Q3, y sobre la existencia de valores atípicos y la simetría de la distribución (Figura 6-3).

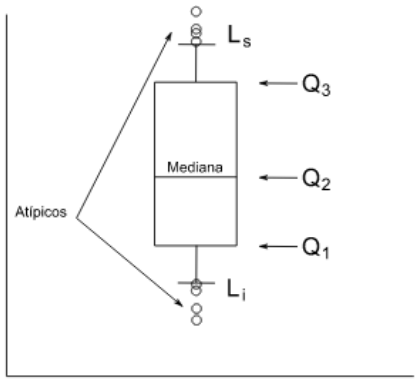


Figura 6-3. Descripción de los diagramas de caja.

El rango inter cuartil (RIC) se define como la diferencia entre el Q3 y el Q1 y describe la variabilidad de los datos. Los límites superior e inferior, Li y Ls, permiten identifican los valores atípicos los cuales son inferiores a Q1-1.5*RIC o superiores a Q3+1.5*RIC.

En esta especificación de la variabilidad de los datos se ha definido junto con los diagramas de caja los valores de la media y la desviación estándar para cada serie.

6.6.2. Análisis de Tendencias

El análisis de tendencias se realizó para cada variable climática vinculada en el modelo de plaga, a partir de los datos mensuales del periodo 1980-2009 en cada una de los trimestres agroclimáticos. Este análisis se efectuó con el propósito de estimar los posibles impactos de la presencia y distribución de la plaga para el año 2020 según las tendencias mostradas por las series históricas, comparándolos con los impactos generados bajo escenarios de cambio climático asociados con escenarios de emisiones de GEI, tipo B2, A2 y A1B.

El análisis de tendencias se realizó mediante el test de Mann-Kendall para la identificación de tendencias ascendentes o descendentes y su significancia en las series, y el estimador de la pendiente de Sen para cuantificar el valor de la tendencia.

- **Prueba no-paramétrica de Mann-Kendall**

Este es un procedimiento lineal conveniente para datos con distribución no normal, para datos que contienen valores extremos y tendencias no lineales. La hipótesis nula Ho es que los datos (x1, x2,……xn) son una muestra independiente e idénticamente distribuida (id) de variables aleatorias. La hipótesis alterna Ha es que la distribución de x_k y x_j no son idénticas para todos los k, $j \leq n$ con k = j. El análisis estadístico de la tendencia S se define como (Allende, et al., 2007):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \operatorname{sgn}(x_j - x_k)$$

Donde sgn () es la función de muestra.

Conforme con la hipótesis nula Ho la distribución S es normal en el límite como $n \to \infty$. La media de la varianza de S, considerando que puede haber nodos en las series x, es:

$$E[S] = 0$$

y

$$\operatorname{var}[S] = \left[n(n - 2n + 5) - \sum_t t(t-1)(2t+5) \right] \div 18$$

Donde t es la longitud de alguna cola y Σt denota a la sumatoria sobre todos las nodos con longitud t. la asunción de normalidad para S se encuentran aun para una n pequeña; (n ≈ 10) con una correlación de ±1 y la variación estándar típica es utilizada para probar la hipótesis (Allende et. al., 1996)

$$Z = \begin{cases} \dfrac{[S-1]}{\sqrt{\mathrm{var}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \dfrac{[S+1]}{\sqrt{\mathrm{var}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

En una prueba de dos lados para tendencias, la hipótesis nula es rechazada en un nivel de significancia de α si IZI > Z(1-∞/2), donde Z(1-∞/2) es el valor de la distribución normal que excede α/2. Un valor positivo de Z indica una tendencia ascendente; un valor negativo indica una tendencia descendente en la serie de tiempo evaluada.

- **Método de Sen**

Uno de los modelos paramétricos más útiles para detectar la tendencia es el modelo de regresión lineal, sin embargo este método requiere los supuestos de normalidad, pero muchas de las variables atmosféricas muestran distribuciones diferentes, por lo tanto el Método de Sen o el estimador de la pendiente de Sen, es utilizado en estos casos, ya que corresponde a un método no paramétrico, que tiene ciertas ventajas, como el hecho de permitir valores faltantes o que la muestra no se tiene que ajustar a una distribución en particular.

El método de Sen se puede utilizar en casos en que la tendencia puede ser asumida como lineal, por ejemplo:

$$f_{(t)} = Q \cdot t + B$$

Donde: Q es la pendiente, B es una constante y t es el tiempo. Para obtener la estimación de la pendiente Q , las pendientes de todos los pares de datos se calculan usando la ecuación:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}$$

Donde $j > k$. Si hay n valores x_j en la serie de tiempo habrá tantos como $N = n\,(n-1)/2$ pendientes estimadas Q_i. El estimados de Sen de la pendiente es la media de estos valores N de Q_i (Olofintoye, et al., 2010).

6.6.3. Escenarios de Cambio Climático

La generación de escenarios regionales y locales se puede hacer con modelos dinámicos que simulen el comportamiento de la atmósfera a través de ecuaciones de la física a la cual responden o modelos estadísticos que se basan en registros reales de las variables meteorológicas expresando en funciones de distribución de probabilidad el comportamiento histórico de las variables meteorológicas. Existen modelos dinámicos que son refinados con técnicas estadísticas, es decir, son sistemas híbridos para modelar el clima regional presente y futuro (Oviedo, 2010).

La forma común de utilizar modelos dinámicos regionales es aprovechar su capacidad de simular dominios cercanos a los 50 km x 50 km para obtener una aproximación al clima presente en una resolución mayor a la que dan los modelos globales.

La obtención de un escenario de cambio climático requiere de una serie de pasos generales que permiten obtener información con el fin de estimar sus impactos en un área determinada (Ruiz, 2007) . Los pasos generales a seguir son:

- Seleccionar el escenario de emisiones de CO2 (SRES) de interés.
- Seleccionar los resultados de uno o varios modelos, preferiblemente, de cambio climático global para el área de estudio.
- Determinar posibles cambios en la temperatura, en la lluvia, en el nivel del mar, y otros, calculando el grado de incertidumbre de los cambios encontrados.
- Seleccionar el método para realizar la regionalización deseada (dinámico, estadístico, híbrido).

Para el caso de esta investigación se implementaron los promedios generados por el modelo global HadCM3 y el modelo regional PRECIS bajo los escenarios B2, A2 y A1B.

Los valores mensuales proporcionados por el IDEAM para cada escenarios climático fueron organizados en trimestres agroclimáticos, y la estimación de la media para el año 2020 se

determinó por el promedio del periodo 2015-2025, y para el año 2030 por el promedio del periodo 2025-2035.

6.6.4. Estimación de la población del insecto para los años 2020 y 2030

A partir del análisis de variabilidad de índices agroclimáticos asociados con la plaga y sus respectivos valores considerados para los años 2020 y 2030, en cada temporada agroclimática y para cada estación, se estimó la población tanto de ninfas como de adultos, por medio del modelo de regresión múltiple construido.

6.6.5. Análisis de variabilidad climática interanual

Además del análisis de la posible presencia y distribución de la chinche de los pastos en relación con escenarios de cambio climático, se realizó una estimación del comportamiento de las poblaciones de la plaga relacionadas con las condiciones generadas por el fenómeno oceánico-atmosférico El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en la Sabana de Bogotá, considerando la temporada agroclimática en que se presente.

Para esta estimación, en principio se identificó el impacto del ciclo ENSO en la zona de estudio, a partir del análisis espectral de las series de anomalías de las variables climáticas que favorecen la plaga, reconociendo las periodicidades propias del ciclo El Niño-Oscilación de Sur, en las series. Con base en el análisis de correlación entre estas anomalías y la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) para la región Niño3.4, se estableció su asociación con El Niño y La Niña.

- **Análisis Espectral**

Una serie de tiempo puede ser representada mediante la combinación lineal de funciones sinusoidales conocidas como armónicos. Matemáticamente, el análisis espectral está relacionado con una herramienta llamada transformada de Fourier o análisis de Fourier, que puede llevarse a cabo para pequeños intervalos de tiempo, o con menos frecuencia para intervalos largos e incluso puede realizarse a una función determinista. Además, la transformada de Fourier de una función no sólo permite hacer una descomposición espectral de los formantes de una onda o señal oscilatoria, sino que con el espectro generado por el análisis de Fourier incluso se puede reconstruir (sintetizar)

la función original mediante la transformada inversa. Para ello, la transformada no solamente contiene información sobre la intensidad de determinada frecuencia, sino también sobre su fase. Esta información se puede representar como un vector bidimensional o como un número complejo. En las representaciones gráficas, frecuentemente sólo se representa el módulo al cuadrado de ese número, y el gráfico resultante se conoce como espectro de potencia o densidad espectral de potencia.

En meteorología, la idea del espectro se utiliza ampliamente para la determinación de periodicidades existentes en las series de tiempo, para la investigación de leyes de la estructura de frecuencias, para la modelación y pronósticos de los procesos.

La función de frecuencia $S(\omega)$ se relaciona con la función de autocovariación $R(\tau)$ contraria de la serie de Fourier y se llama Densidad Espectral:

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$$

Donde $e^{-i\omega\tau}$ es una función de potencial.

El significado físico de $S(\omega)$ es la densidad espectral de la función casual de la dispersión sobre una determinada frecuencia, es decir:

$$S(\omega) = \sigma^2 / \omega_k$$

Entonces, si el proceso investigado presenta una función armónica del tiempo con una frecuencia y una amplitud, en este caso, la dispersión del proceso es igual a $A^2/2$. En el caso general, cuando el proceso presenta la mezcla de varios armónicos con frecuencias ω_i y amplitudes A_i, entonces la dispersión de este proceso es:

$$\sigma^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} A_i^2$$

donde n la cantidad de armónicos.

De esta manera, repartiendo la dispersión general del proceso en componentes separados, correspondientes a las frecuencias identificadas y a sus valores se obtiene la esencia del análisis espectral.

En el análisis de variables meteorológicas frecuentemente se utiliza la densidad espectral normalizada:

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$$

Las propiedades principales de la densidad espectral son pares $S(\omega) = S(-\omega)$ y positivas $S(\omega) \geq 0$.

Por la condición del par de la función $S(\omega)$, la ecuación (6) se puede escribir de la siguiente forma:

$$S(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{0}^{\infty} r(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau$$

En muchos casos la $r(\tau)$ de los procesos meteorológicos reales es muy difícil de aproximar exactamente. Por eso en las prácticas de cálculos, la integral (6) por lo general cambia a una sumatoria con un límite alto m, que se llama desplazamiento del máximo:

$$S(\omega) = \frac{1}{\pi} \sum_{\tau=1}^{m} r(\tau) \cos(\omega\tau) \Delta\tau$$

La función espectral calculada de las series de observación, por general, tiene muchos picos de los cuales algunos son casuales y deben ser expulsados del análisis. Como primera aproximación para valorar los parámetros de densidad espectral se utiliza el método de Tyuky. A una serie escogida causalmente (al azar), la distribución de valoración de los espectros escogidos por la relación con el espectro de una distribución general respectivamente, debe corresponder a una distribución χ^2, dividida por el valor de una potencia de la libertad υ. El valor υ se determina como:

$$\upsilon = \frac{2N - m/2}{m}.$$

Para encontrar $\frac{\chi^2}{\upsilon}$ existen unas tablas especiales, las cuales se determinan por el nivel de significancia y el valor de una potencia de libertad.

Los intervalos de confianza se forman dependiendo de un promedio del espectro

$$S_0(\omega) = \sum_{\omega=0.01}^{2\pi} S(\omega)/N \quad ,$$

$$S_0(\omega) - \frac{\chi^2}{\upsilon} < S(\omega) < S_0(\omega) + \frac{\chi^2}{\upsilon} \quad .$$

La gran diversidad de los cambios de los procesos meteorológicos en el tiempo, presentan cambios de procesos determinados y cambios de procesos casuales de tipo "ruido blanco".

El proceso del tipo "ruido blanco" se caracteriza con la dispersión σ^2, la cual surge de la influencia de las oscilaciones no periódicas, que no contienen entre sí oscilaciones escondidas en sus leyes. La función de autocorrelación de un proceso homogéneo es igual a cero para todos los τ_0.

La función espectral del proceso ruido blanco tiene forma de una línea horizontal, que corresponde a la constancia de la dispersión de oscilaciones en todas las frecuencias.

Muchas características meteorológicas contienen en sus cambios componentes de tendencias, la función de autocovariación se presenta como exponente y la función espectral como una curva que se amortigua con el aumento de la frecuencia de las oscilaciones, a esto se lo conoce espectro "ruido rojo" (Villegas, 2009).

▪ Coeficiente de correlación de Pearson (r)

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice que mide la magnitud de la relación lineal entre dos variables cuantitativas, así como el sentido, positivo o negativo, de dicha relación. Indica a su vez, en qué grado dos variables X e Y fluctúan simultáneamente, es decir cuánto aumenta X al aumentar Y (correlación positiva), o cuánto aumenta X al disminuir Y (correlación negativa). A diferencia de la regresión lineal, el coeficiente de correlación no presupone dependencia de una variable respecto a la otra; X e Y se sitúan a un mismo nivel. Así mismo, la existencia de

correlación lineal entre 2 variables no implica necesariamente una relación causal entre ellas, sino que se limita a explicar su covariación. El coeficiente de correlación de Pearson es adimensional, puede tomar cualquier valor desde +1 hasta 1. Ambos extremos, r = +1 y r = - 1, denotan una correlación lineal perfecta, positiva y negativa, respectivamente. Un coeficiente r = 0 indica en cambio una ausencia absoluta de correlación lineal (Wilks, 2006).

6.6.6. Estimación de población del insecto en ciclos ENSO

La estimación de población del insecto en presencia de eventos ENSO se analizó considerando cada una de los trimestres agroclimáticos, por lo tanto se determinó para:

- *Las dos temporadas secas (DEF y JJA) y las dos de lluvia (MAM y SON) durante un evento El Niño.*
- *Las dos temporadas secas (DEF y JJA) y las dos de lluvia (MAM y SON) durante un evento La Niña.*
- *Las dos temporadas secas (DEF y JJA) y las dos de lluvia (MAM y SON) durante un año Neutro.*

Como cada temporada es marcada por ciertos patrones en las variables climáticas, que son modificadas por efectos de eventos El Niño o La Niña, para cada estación se realizó un análisis previo del comportamiento de los datos climáticos, seleccionando y agrupando por trimestres agroclimáticos y eventos EL Niño, La Niña y años neutros (escenarios de variabilidad climática), que se presentaron durante el periodo 1980-2009.

La identificación de episodios El Niño o La Niña durante una temporada agroclimática, se determinó mediante valores del ONI, promediando los valores del índice durante los tres meses correspondientes. Si indica un valor igual o superior a 0.5°C se determinaría un período El Niño o inferior a -0.5°C, La Niña. Asimismo se tuvo presente que por lo menos en dos de los tres meses se hubiera registrado el evento respectivo.

Para cada variable en las diferentes temporadas y eventos se estableció el promedio y la desviación estándar (σ). Para el caso de la precipitación se calculó la lluvia acumulada y los estadísticos pertinentes para un ajuste a una distribución gamma; de esta manera se representó la evolución temporal de la intensidad de la lluvia.

Se estimó luego la población de ninfas y adultos a partir de tales valores en cada escenario de variabilidad climática, tomando dos caminos: uno variando el promedio con una desviación estándar ($\pm\sigma$).

6.6.7. Método geoestadístico de interpolación

Con los resultados obtenidos de la estimación de la población de insectos tanto para los años 2020 y 2030, como para las temporadas El Niño y La Niña, se realizó una interpolación de los datos resultantes en la zona de la Sabana de Bogotá para obtener una función empírica de distribución de la plaga. Es muy común que los modelos meteorológicos utilicen el método Cressman para interpolación espacial ya que este método analiza la densidad de estaciones, la distancia entre ellas y tiene en cuenta la resolución del terreno y de los campos de primera aproximación para la meteorología. (Dudhia, 2004) además recomienda que radios de influencia en los métodos de interpolación tienen que ser comparables con las distancias en las estaciones. No obstante, las herramientas actuales de los sistemas de información geográfica no ofrecen este tipo de interpolación pero herramientas como las que ofrece el software SURFER permite determinar el tipo de interpolación considerando criterios como los siguientes: cuando hay menos de 10 datos se estiman métodos como Kriging y Funciones Radiales Básicas y para definir la tendencia recomienda Regresión Polinomial (Surfer, 1994).

- **Método de interpolación de Kriging**

Para el caso de esta investigación se utilizó el método de interpolación de Kriging que corresponde a un método geoestadístico de estimación de puntos que utiliza un modelo de variograma para la obtención de datos, calculando los pesos que se darán a cada punto de referencias usadas en la valoración. Esta técnica de interpolación se basa en la premisa de que la variación espacial continúa con el mismo patrón. Éste método considera la hipótesis de que cada punto existente en el espacio estudiado tiene una dependencia de los demás, en otras palabras tienen una autocorrelación con una tendencia calculable. La función estadística que calcula la relación de dependencia entre los puntos se llama variograma. Para esto, los puntos más cercanos al punto a estimar son de los que depende más el valor del punto y así como se aleja la distancia, los puntos van teniendo menor dependencia. El método de Kriging calcula el mejor estimador lineal imparcial basándose en un modelo estocástico de dependencia espacial cuantificado por el variograma $\gamma(x,y)$ y la función de covarianza $c(x,y)$ de la variable aleatoria (California, 2008).

6.6.8. Definición de Alertas

Luego de la estimación de las variables agroclimáticas mediante el análisis de la información de tendencias, escenarios y variabilidad climática interanual, que permitieron estimar la población para los escenarios futuros y para cada uno de los escenario El Niño, La Niña y años neutros, implementando el modelo de plaga construido como herramienta agroclimática, se definieron una serie de alertas tempranas y medidas de adaptación.

7. Presentación y discusión de resultados

7.1. Determinación del modelo de población

Los valores de correlación de las variables agroclimáticas definidas, con la población de ninfas y adultos del insecto, se puede observar en la Tabla 7-1. Las variables más significativas corresponden a: temperatura máxima (Tmax) y evapotranspiración de referencia (ETo), con una relación inversa, grados día acumulados (GD_acum) e índice hídrico con una dependencia positiva, tanto para las ninfas como para los adultos. Las variables precipitación (PPT), tensión de vapor, humedad del suelo y brillo solar no muestran una relación relevante para la población. La humedad relativa presenta una significancia al 0,05 para los adultos.

Tabla 7-1. Valores de correlación entre la población (ninfas y adultos)y las variables climáticas y agroclimáticas.

		Ninfas	Adultos	Tmax	Tmin	PPT	Humedad Relativa	Tension de Vapor	Humedad del suelo	Brillo	GD_Acum	Indice Hìdrico	ETo
Ninfas	Correlación	1	,653**	-,148*	0,017	0,095	0,1	-0,054	0,130	-0,062	,275**	,169*	-,151*
	Sig. (bilateral)		0,00	0,027	0,799	0,160	0,136	0,425	0,054	0,360	0,00	0,013	0,025
Adultos	Correlación	,653**	1	-,157*	-0,057	0,026	,134*	-0,096	0,191	-0,064	,386**	,266**	-,138*
	Sig. (bilateral)	0		0,019	0,398	0,704	0,046	0,156	0,004	0,342	0,00	0,00	0,04

**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

*. La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

El modelo de regresión múltiple ajustado con los valores de población dio como resultado la combinación de las variables: grados día (GD_{acum}) e índice hídrico (IH), que resultaron significativas y las cuales se pueden relacionar de la forma siguiente:

$$(NinfasT)^{-2} = \beta + \beta_1 GD_{acum} + \beta_2 IH + \beta_3 IH^2$$

Con un $R^2 = 14.5\%$ para las ninfas y donde:

$$Ninfas = e^{NinfasT} - 10$$

y

$$(AdultosT)^{-2} = \beta + \beta_1 GD_{acum} + \beta_2 IH + \beta_3 IH^2 \text{ Para los adultos}$$

Con $R^2 = 20.4\%$ para los adultos y donde

$$Adultos = e^{AdultosT} - 10$$

Las especificaciones del modelo se pueden observar en los anexos B y 0.

En la determinación de los modelos se consideraron algunos aspectos previos con el objetivo de mejorar la bondad de ajuste del modelo (R^2). El aspecto más relevante en la obtención de un mayor valor de R^2 fue el hecho de eliminar los datos de las fechas en que se realizó el pastoreo y control, ya que es evidente que la entrada del pastoreo y la aplicación de control interrumpe el crecimiento de la población. De acuerdo a (Garza, 2011) el efecto negativo sobre la población del insecto se resume en dos acciones: 1. la eliminación de adultos, los cuales mueren o vuelan a zonas aledañas y 2. la muerte del 80-100% de las ninfas. Por lo tanto tales datos no estarían respondiendo a las condiciones climáticas que afectan a la plaga.

En el caso del modelo de adultos se consideró en un principio la variable ninfas (estado antecedente), con un retraso o rezago de una semana para valorar el efecto de cambio de estado de ninfa a adulto; no obstante, esta variable no introdujo una mejoría en la significancia del modelo, lo que se podría explicar por la falta de datos en diversas semanas, lo que no permitió determinar valores rezagados adecuados y por lo tanto se tomaron únicamente las variables agroclimáticas citadas

Las ecuaciones anteriores corresponden a las mejores estimaciones de la fluctuación de la población de ninfas y adultos en relación con las condiciones agroclimáticas analizadas, y presentan coeficientes de determinación relativamente bajos, ($R^2 = 14.5\%\ y\ 20.4\%$, para ninfas y adultos), pero que se consideran estadísticamente aceptables con alta significancia estadística para un valor-P menor a 0.05 en cada uno de los coeficientes de la ecuación. El valor-P en la tabla ANOVA es menor a 0.05, lo que indica una relación significativa con nivel de confianza del 95%. Esto muestra que el 14.5% y el 20.4% del comportamiento de la fluctuación de las ninfas y adultos respectivamente es explicado por los valores de los índices agroclimáticos expresados en la ecuación. La acumulación de grados día explica parcialmente el crecimiento de la plaga en función de la acumulación de la temperatura y el índice hídrico explica parcialmente el efecto de la disponibilidad de agua en la superficie del suelo, que puede llegar a favorecer o no, tanto al desarrollo de la especie como al crecimiento del pasto, que por último es el alimento de la plaga y esto traerá una mayor o menor cantidad de población.

El hecho de tomar como referencia los datos climatológicos registrados en una estación meteorológica no ubicada en la misma área en que se obtuvieron los datos de población podría haber influido en estos porcentajes obtenidos del R^2. Asimismo se puede plantear que los porcentajes restantes no explicados (85.5% y 79.6%), podrían ser atribuidos a otros factores no agroclimáticos, como cantidad y calidad temporal de la pastura fuente de alimentación, enemigos naturales, el control de otros insectos, presencia de otros hospederos, etc.

Otro aspecto que pudo haber intervenido en los valores de R^2 podría ser la forma de la obtención de los datos del insecto, que corresponden a valores de campo, con los problemas inherentes a estos tipos de observaciones, no experimentales; asimismo, se debe señalar que no se contó con datos finales de laboratorio sobre relaciones temperatura versus desarrollo del insecto, en el momento de la construcción del modelo.

Los modelos de regresión, como los generados en esta investigación, se utilizan para descripción del comportamiento de las poblaciones en el tiempo, permitiendo identificar factores clave para las poblaciones y generando aproximaciones a la estimación del crecimiento de las mismas (Boyce, 2002). Luego el modelo aquí propuesto puede ser útil en la predicción e indicación de la tendencia más no para estimaciones exactas, las que de hecho son altamente complejas. Es importante considerar que este modelo es un punto de partida, que se debería mejorar en los próximos años, una vez se mejores los aspectos antes enunciados.

La estimación de la población de ninfas y adultos a partir de este modelo siempre arrojara mayor cantidad de adultos que ninfas, esto responde a que en los datos observados decampo siempre fue mayor la cantidad de adultos que las ninfas, y para muchos casos la diferencias eran grande.

7.1.1. Validación del modelo

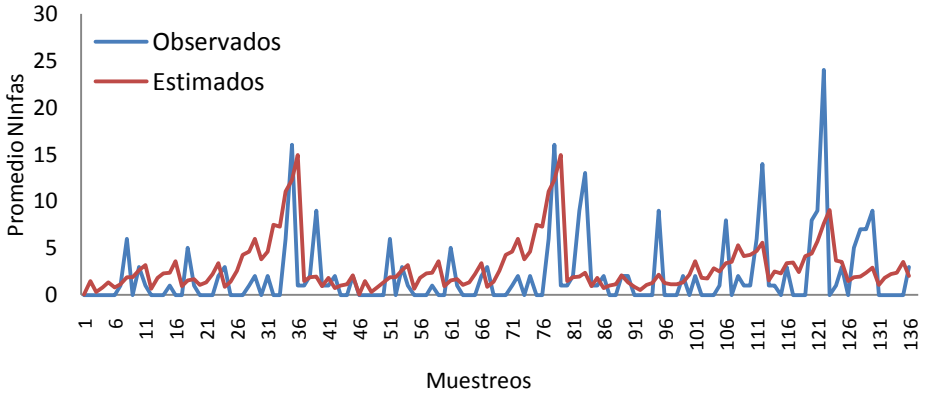
Para la validación del modelo final se compararon de manera gráfica y mediante la determinación del valor de la correlación y su respectiva significancia, los datos observados de la fluctuación de las ninfas y adultos semanalmente, con las estimaciones de la población obtenidas por medio de los modelos agroclimáticos construidos y alimentados con datos de la estación de Tibaitatá, para tres casos:

▪ Observaciones de donde proviene el modelo

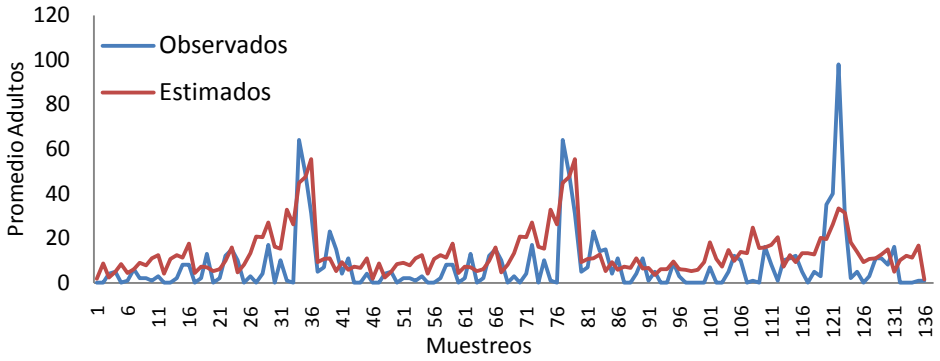
Se realizó la comparación con las observaciones de la finca de Funza, en el periodo mayo de 2009 a noviembre de 2010 que corresponden a los datos a partir de cuales se construyó el modelo.

En la Figura 7-1 se puede observar la confrontación de la fluctuación de las ninfas y adultos en ausencia de pastoreo y control químico, entre los datos tomados en campo y los valores dados mediante los modelos de regresión. Se evidencia la tendencia del modelo a reproducir las elevaciones y disminuciones de la plaga en cada una de las fechas; para algunos picos llegan a coincidir, pero en la mayoría de crecimientos relevantes la simulación los subestima, especialmente para el caso de las ninfas.

Por ello se infiere que el modelo sería útil en la determinación de las temporadas en que la presencia de la plaga podría aumentar o disminuir, a partir de las condiciones climáticas previstas. En general el modelo muestra el incremento de forma paulatina con algunas fluctuaciones en este proceso, sin detectar los grandes brotes del insecto de una semana a otra. La caídas de la población si llegan a ser de forma inesperada, pero en las fechas donde la presencia de la plaga tiende a ser pequeña la estimación está por encima, incluso cuando las observaciones muestran una población nula la simulación siempre da un valor y en pocos casos cae a cero.



a. Fluctuación de ninfas



b. Fluctuación de adultos

Figura 7-1. Comparación de las observaciones y las estimaciones de la fluctuación poblacional para ninfas y adultos en el periodo mayo de 2009 a noviembre de 2010.

Con respecto al grado de semejanza entre la estimación de la población (Ninfas_Est y Adultos_Est) y los datos de campo (Ninfas_Obs y Adultos_Obs), evaluado mediante el valor de correlación, se puede apreciar en la Tabla 7-2, que la simulación de los adultos tiene un mayor grado de ajuste con lo real (0.570) que las representaciones de las ninfas (0.37), Si bien las correlaciones no son cercanas a uno son significativas al 99%, lo que indica un buen acercamiento y se puede relacionar a la representación de las tendencias de la fluctuación de la población en el tiempo.

Tabla 7-2. Valores de correlación entre la población estimada y los valores observados para el periodo mayo de 2009 a noviembre de 2010

		Ninfas_Obs	Adultos_Obs
Ninfas_Est	Correlación	,370**	
	Sig. (bilateral)	0,00	
Adultos_Est	Correlación		,570**
	Sig. (bilateral)		0,00

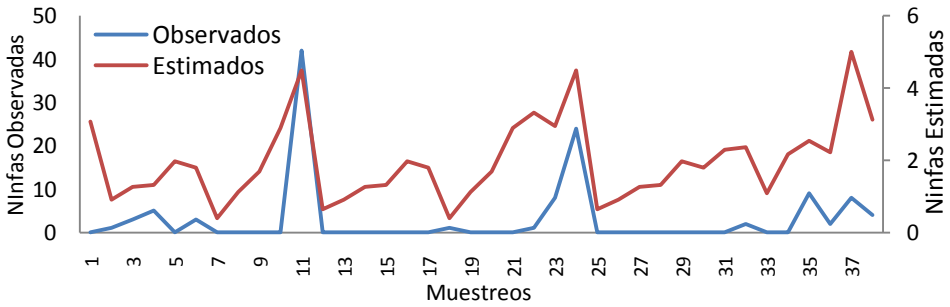
**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

▪ Observaciones de donde proviene el modelo en un periodo posterior

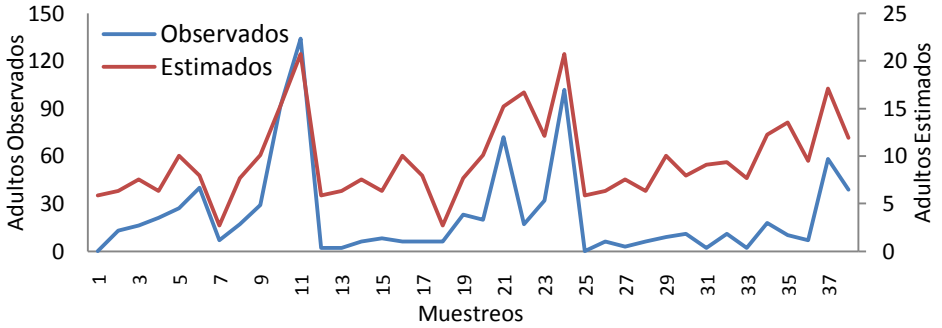
Ya que el modelo se construyó a partir de las observaciones del periodo mayo 2009 a noviembre de 2010 y la fecha hasta la cual se tomaron muestras fue marzo de 2011, se compararon las estimaciones para ninfas y adultos con los datos observados semanalmente para la finca de Funza en el periodo de diciembre de 2010 a marzo de 2011, a manera de predicción de la plaga, ya que en esencia esta es la función para la cual se propone el modelo, y al contar con valores reales se puede evaluar la respuesta del mismo.

En la Figura 7-2 se representa la fluctuación de ninfas y adultos a partir de la estimación del modelo de regresión para el periodo diciembre de 2010 a marzo de 2011 con relación a las observaciones para este mismo tiempo. La simulación del modelo tiende a indicar de modo correcto los períodos de aumento y disminución pero se evidencia una diferencia importante en la cantidad de ninfas o adultos obtenidos mediante la simulación con respecto a los valores reales. En los puntos más altos de las observaciones se alcanzan en promedio hasta 42 individuos la simulación indica aproximadamente 5, y se mantiene la característica de que las estimaciones siempre están indicando presencia de la plaga.

Para este caso se obtuvo un coeficiente de correlación positivo de 0.68 para las ninfas y 0.75 para los adultos, y donde ambos son significativos con un 99% de confianza de que la correlación sea verdadera al nivel de 0.01.



a. Fluctuación de ninfas



b. Fluctuación de adultos

Figura 7-2. Comparación de las observaciones y las estimaciones de la fluctuación poblacional para ninfas y adultos en el periodo diciembre de 2010 a marzo de 2011.

Tabla 7-3. Valores de correlación entre la población estimada y los valores observados para el periodo mayo de 2009 a noviembre de 2010

		Ninfas_Est	Adultos_Est
Ninfas_Obs	Correlación	,680**	
	Sig. (bilateral)	,000	
Adultos_Obs	Correlación		,756**
	Sig. (bilateral)		,000

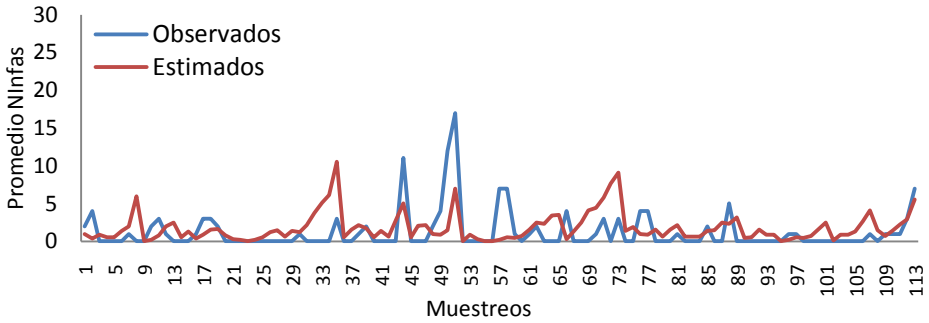
**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

▪ Observaciones en una finca diferente

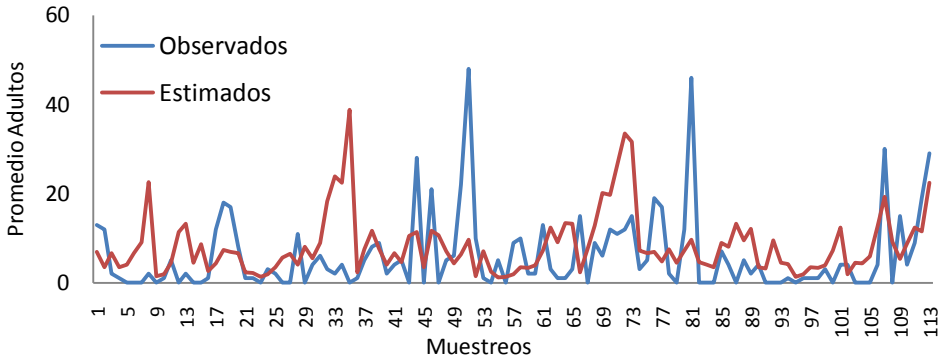
Como la estimación de la población en escenarios futuros y de variabilidad climática se va a realizar en general para toda la zona de la Sabana de Bogotá, es pertinente probar el modelo en otras áreas de la región. Para esto se realizó la comparación de las observaciones de la plaga en la finca Santa Isabel localizada en el municipio de Mosquera (anexo A) para el periodo de junio de 2009 a mayo de 2010. La elección de ésta se debió a su cercanía a la estación de Tibaitatá (de donde se pueden obtener los datos de clima necesarios a escala diaria para alimentar el modelo) con respecto a las otras dos fincas donde se realizaron muestreos de la Sabana.

Las estimaciones de la plaga con respecto a la información real durante el periodo de tiempo mencionado para la zona en cuestión muestran una relación muy similar a los dos casos evaluados anteriormente, en donde se destacan la reproducción de las tendencias al incremento y disminución (Figura 7-3), con características análogas al caso de Funza, como la subestimación de la población en los picos y la consideración, para algunos semanas, de presencia de plaga mientras las observaciones señalan ausencia, aunque para este caso las ninfas estimadas caen a cero en algunas ocasiones coincidiendo con lo real. El grado de semejanza entre las observaciones y las estimaciones tanto para los adultos como para las ninfas marcan un valor de correlación (Tabla 7-4) menor que los obtenidos para Funza, pero los dos índices de correlación son significativos, uno al nivel del 0.05 y el otro al 0.01.

Para los tres casos en que se validó el modelo, la simulación de los adultos siempre marca un mayor grado de semejanza con lo real, que para el caso de las ninfas. Esta conclusión está representada con los valores de correlación y con una significancia al nivel del 0.01, lo que lleva a pensar que los adultos responden con mayor claridad a las variables agroclimáticas incluidas.



a. Fluctuación de ninfas



b. Fluctuación de adultos

Figura 7-3. Comparación de las observaciones y las estimaciones de la fluctuación poblacional para ninfas y adultos en la finca Santa Isabel para el periodo junio de 2009 a Mayo de 2010

Tabla 7-4. Valores de correlación entre la población estimada y los valores observados para la finca Santa Isabel para el periodo junio de 2009 a Mayo de 2010

		Ninfas_Est	Adultos_Est_
Ninfas_Obs	Correlación	,181*	
	Sig. (bilateral)	0,049	
Adultos_Obs	Correlación		,326**
	Sig. (bilateral)		0,00

**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

*. La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron para los tres casos de la validación y en donde los índices de correlación mostraron una significancia a los niveles del 0.05 y 0.01, se considera que el modelo refleja la tendencia general observada de fluctuación de la plaga y aunque no tenga la habilidad de estimar con exactitud, es pertinente y válido para la descripción del comportamiento de la especie en las diferentes temporadas del año.

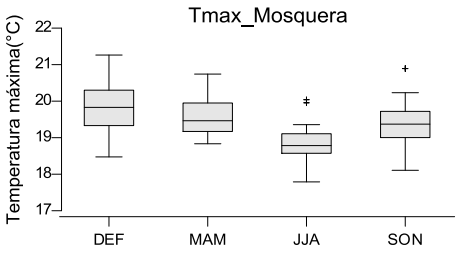
Se evidencia que será necesario considerar factores adicionales a fin de mejorar la capacidad del modelo para predecir la dinámica de la población.

7.2. Distribución Temporal de las Variables Climáticas incluidas en el modelo agroclimático de simulación de la población del insecto

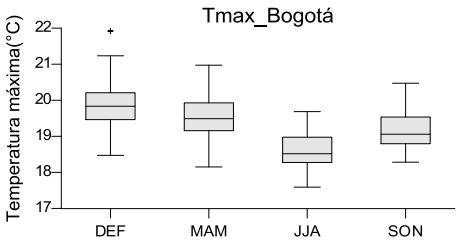
Se analizó la distribución y comportamiento de las variables climáticas de las estaciones meteorológicas de la Sabana de Bogotá mostradas en la Tabla 6-2, relacionadas en el modelo, variables entre las que se encuentra la temperatura máxima y mínima que se utilizan para la acumulación de grados día, y la precipitación y la evapotranspiración integradas mediante el índice hídrico.

7.2.1. Temperatura Máxima

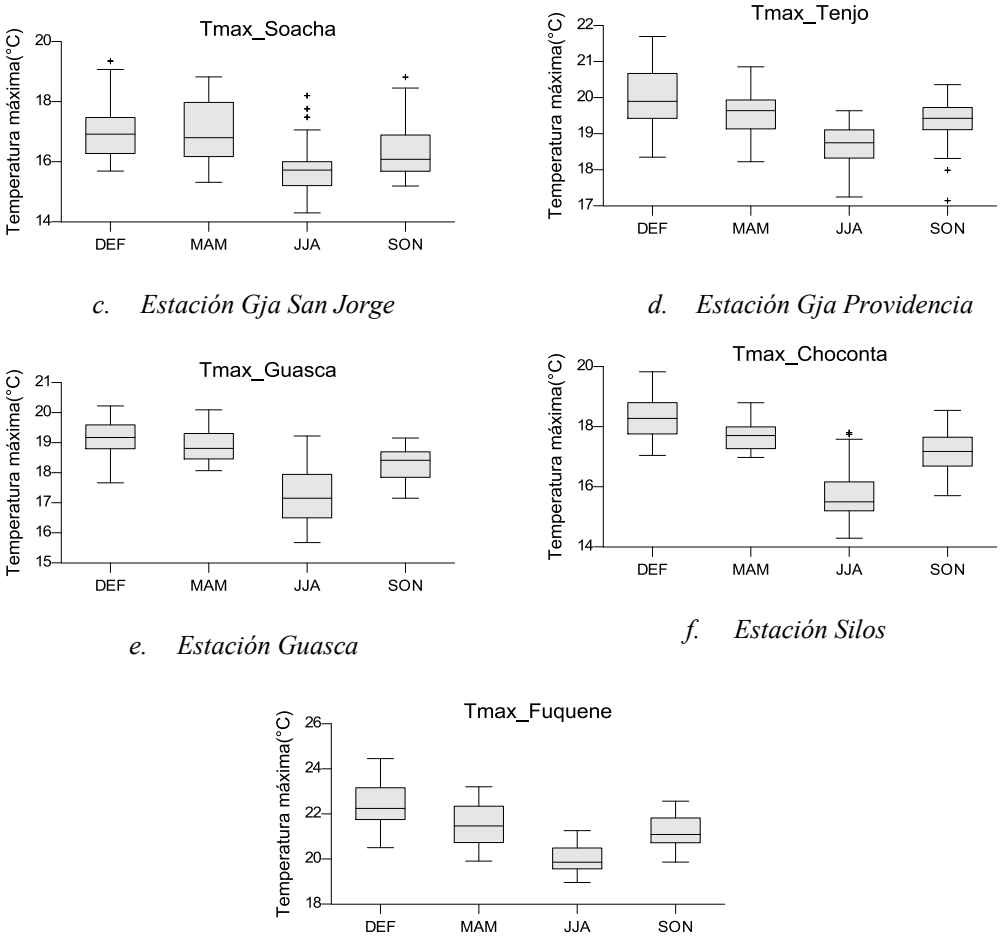
En la Figura 7-4 se observa la distribución temporal de la temperatura máxima en trimestres agroclimáticos para la región de la Sabana de Bogotá representada por las estaciones antes mencionadas, las cuales muestran un comportamiento monomodal que va decreciendo a partir del inicio de año, con un valle en la segunda temporada seca (JJA). La mayor variabilidad, representada por el rango intercuartil, se presenta en el trimestre de MAM para las estaciones de Bogotá, Soacha, Mosquera y Fúquene, en DEF para Tenjo y Chonta, y JJA en Guasca. Los valores más altos de la temperatura máxima se detectan para el primer periodo seco del año DEF.



a. Estación Tibaiatata



b. Estación El Dorado



c. Estación Gja San Jorge

d. Estación Gja Providencia

e. Estación Guasca

f. Estación Silos

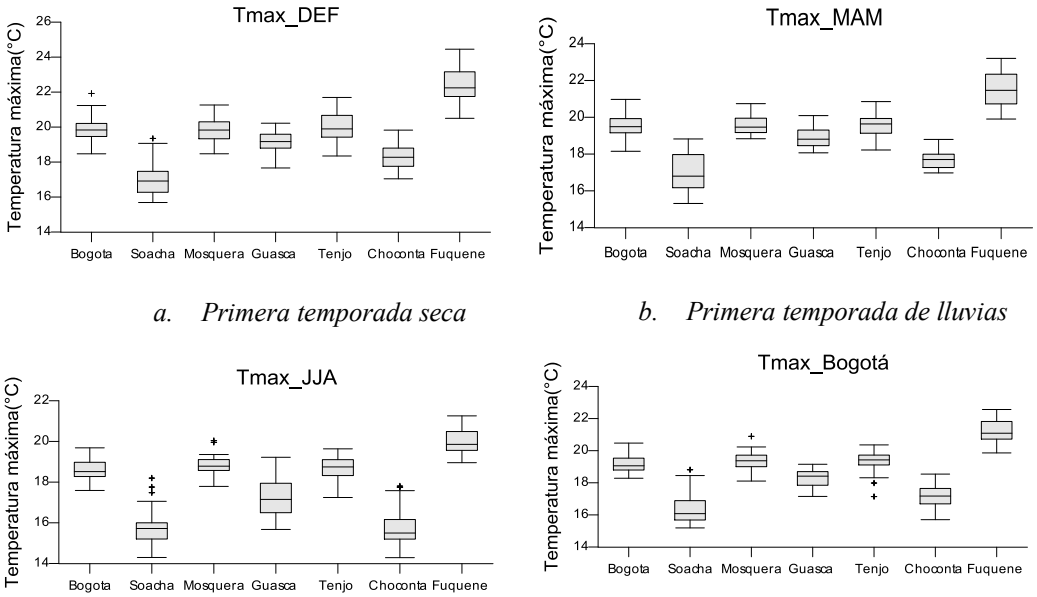
g. Estación Isla Santuario

Figura 7-4. Diagramas de caja para la temperatura máxima con su rango inter cuartil para la Sabana de Bogotá por estaciones.

Comparando el comportamiento de la temperatura máxima para las diferentes estaciones en cada trimestre, en la Figura 7-5 se puede determinar que las temperaturas máximas más altas se presentan en la estación de Fúquene mientras que las menores se registran en Soacha y Chocontá. Estos bajos valores se pueden asociar a su ubicación, pues corresponden a las estaciones situadas a mayor altura con respecto a las demás.

Por su parte las estaciones de Bogotá, Mosquera y Tenjo tienen un patrón de comportamiento de la temperatura máxima muy similar con máximos promedios de 20°C en DJF, 19,6°C en MAM, 18,7°C valores en JJA y 19.3°C en SON; mientras que Guasca presenta valores menores que este grupo con una diferencia aproximada de 1,2°C en cada trimestre.

La mayor variabilidad por trimestre agroclimático los muestra Fúquene, Soacha y Tenjo en DEF, Fúquene y Soacha en MAM, Guasca en JJA y Fúquene y Soacha en SON.



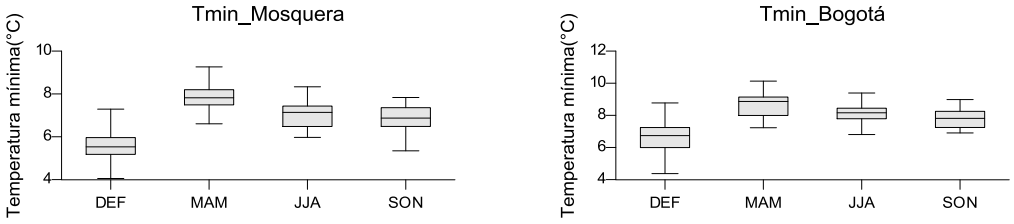
a. Primera temporada seca *b. Primera temporada de lluvias*

c. Segunda temporada seca *d. Segunda temporada de lluvias*

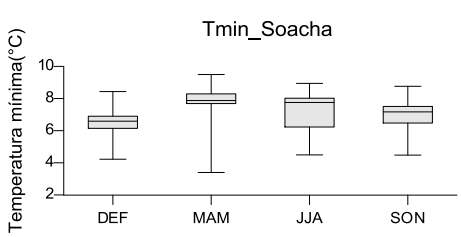
Figura 7-5. Diagramas de caja para la temperatura máxima con su rango inter cuartil por trimestres agroclimáticos para la Sabana de Bogotá en las diferentes estaciones.

7.2.2. Temperatura Mínima

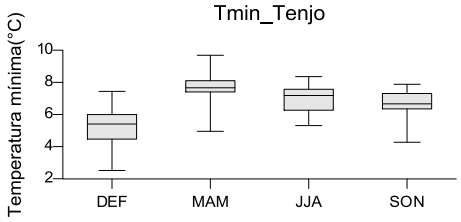
En el caso de temperatura mínima la distribución temporal en trimestres agroclimáticos se puede observar en la Figura 7-6, donde se identifica un suave comportamiento monomodal con una cresta en el trimestre de MAM, a diferencia de la estación de Guasca y Fúquene que lo muestran en JJA y SON, respectivamente. El trimestre con mayor variabilidad para las estaciones de Bogotá, Guasca, Tenjo y Chocontá es DEF, mientras que para Soacha, Mosquera y Fúquene es JJA. Los menores valores de temperatura mínima se presentan evidentemente en el trimestre de DJF para todas las estaciones analizadas de la Sabana de Bogotá.



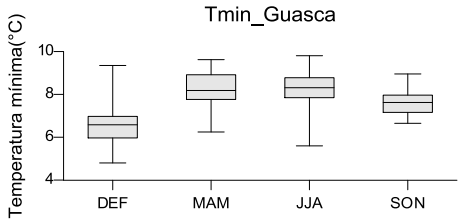
a. Estación Tibaitatá *b. Estación El Dorado*



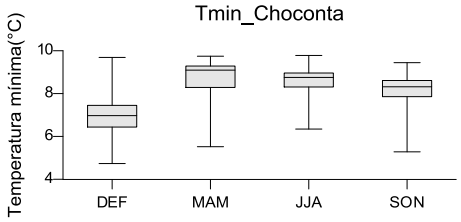
c. Estación Gja San Jorge



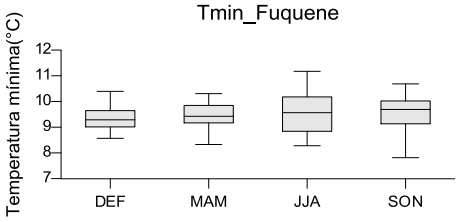
d. Estación Gja Providencia



e. Estación Guasca



f. Estación Silos

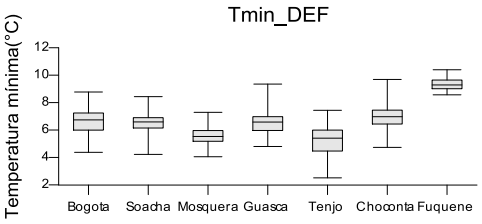


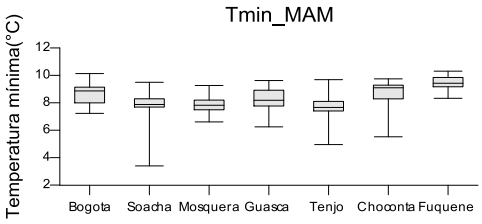
g. Estación Isla Santuario

Figura 7-6. Diagramas de caja para la temperatura mínima con su rango inter cuartil para la Sabana de Bogotá por estaciones.

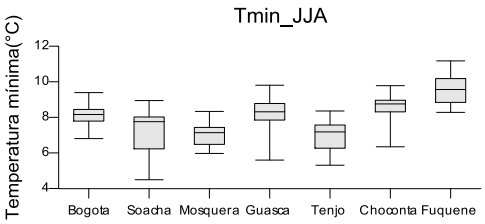
Para el caso de la comparación del comportamiento de la temperatura mínima por trimestres que se indica en la Figura 7-7 se puede determinar que los valores más altos de esta variable para los cuatro trimestres están dados para la estación de Fúquene y los menores valores en Tenjo.

La mayor variabilidad de la temperatura mínima para el primer periodo seco y la segunda temporada de lluvias se presenta en Bogotá y Tenjo, para el trimestre de MAM en Guasca y para JJA en Soacha y Fúquene.

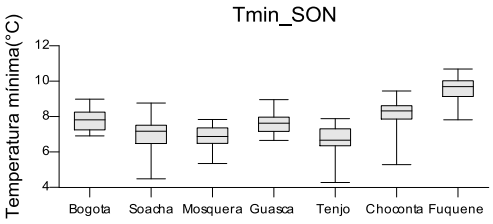




a. Primera temporada seca



b. Primera temporada de lluvias



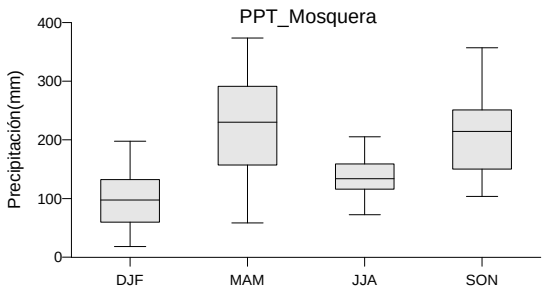
c. Segunda temporada seca

d. Segunda temporada de lluvias

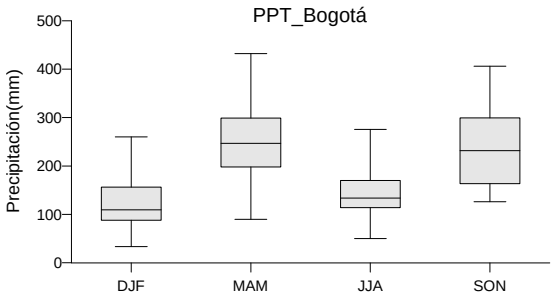
Figura 7-7. Diagramas de caja para la temperatura máxima con su rango inter cuartil por trimestres agroclimáticos para la Sabana de Bogotá en las diferentes estaciones

7.2.3. Precipitación

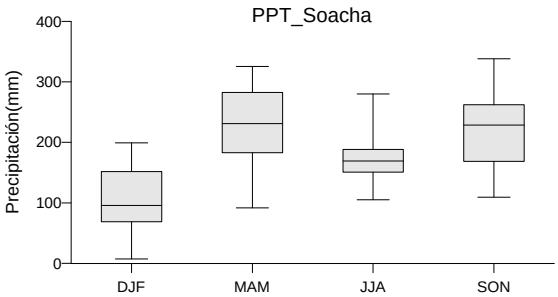
En cuanto al comportamiento de la precipitación en la Sabana de Bogotá se puede observar de la Figura 7-8 que en las diferentes estaciones se muestra un comportamiento bimodal con máximos en los trimestres de MAM y SON, que es la característica de la región, dada por el doble paso de la ZCIT como se mencionó previamente en la descripción del área de estudio y en la determinación de los trimestres agroclimáticos. La estación de Chocontá muestra un comportamiento monomodal con un en pico JJA.



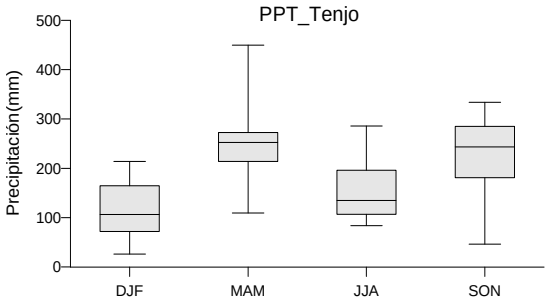
a. Estación Tibaiatatá



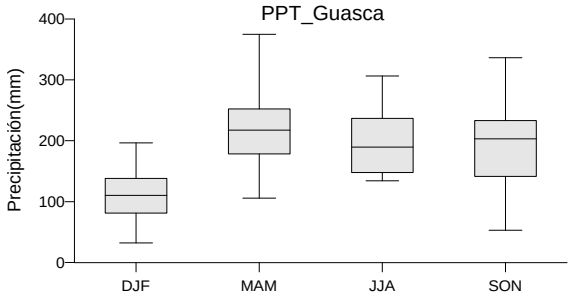
b. Estación El Dorado



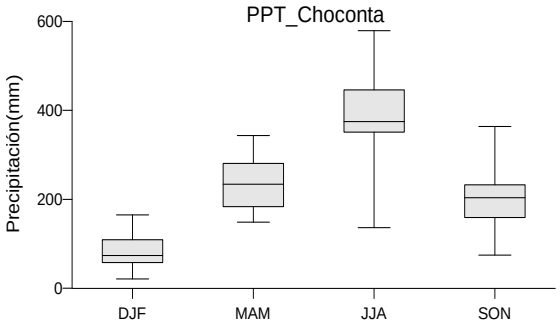
c. Estación Gja San Jorge



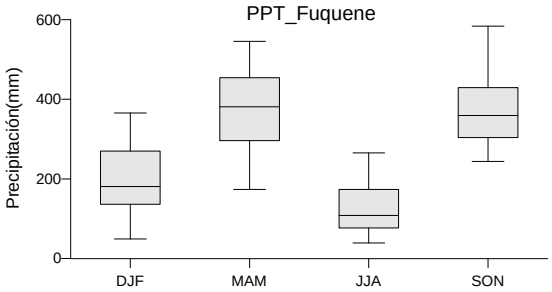
d. Estación Gja Providencia



e. Estación Guasca



f. Estación Silos



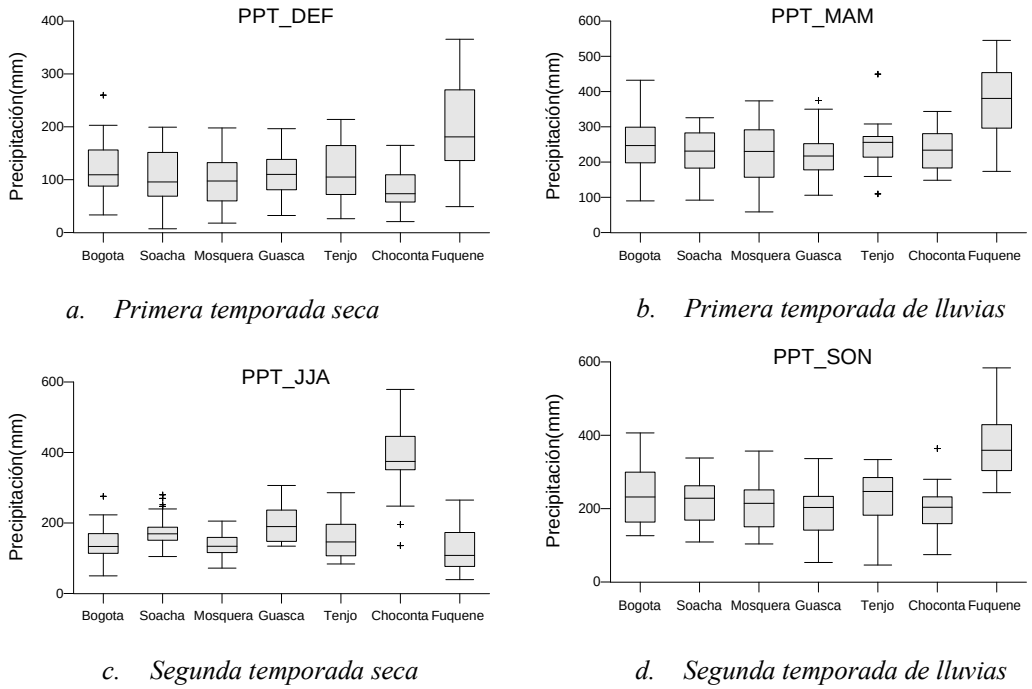
g. Estación Isla Santuario

Figura 7-8. Diagramas de caja para la precipitación con su rango inter cuartil para la Sabana de Bogotá por estaciones.

El comportamiento de la precipitación durante los cuatro trimestres agroclimáticos, comparando las diferentes estaciones representativas (Figura 7-9) de la región, muestran valores muy cercanos durante la primera temporada seca y las dos de lluvia, exceptuando la estación de Fúquene que presenta los registros más altos, con una diferencia considerable con respecto a las demás, especialmente durante DEF y SON, mientras que la segunda época seca el mayor dato se evidencia en la estación de Chocontá,

La mayor variabilidad para los trimestre DEF, MAM y SON lo muestra la estación de Fúquene, y para JJA las estaciones Guasca, Tenjo, Chocontá y Fúquene, que tienen una variabilidad muy parecida.

Sin tener en cuenta la estación de Chocontá por su diferencia en el comportamiento de la precipitación y comparando las demás estaciones, los menores valores de lluvia se registran en estación de Guasca para las dos temporadas de lluvia, en Soacha para la primera temporada seca y Mosquera para la segunda.



a. Primera temporada seca

b. Primera temporada de lluvias

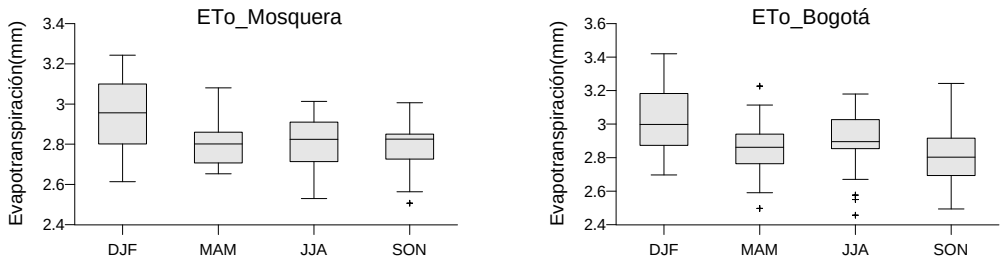
c. Segunda temporada seca

d. Segunda temporada de lluvias

Figura 7-9. Diagramas de caja para la precipitación con su rango inter cuartil por trimestres agroclimáticos para la Sabana de Bogotá en las diferentes estaciones

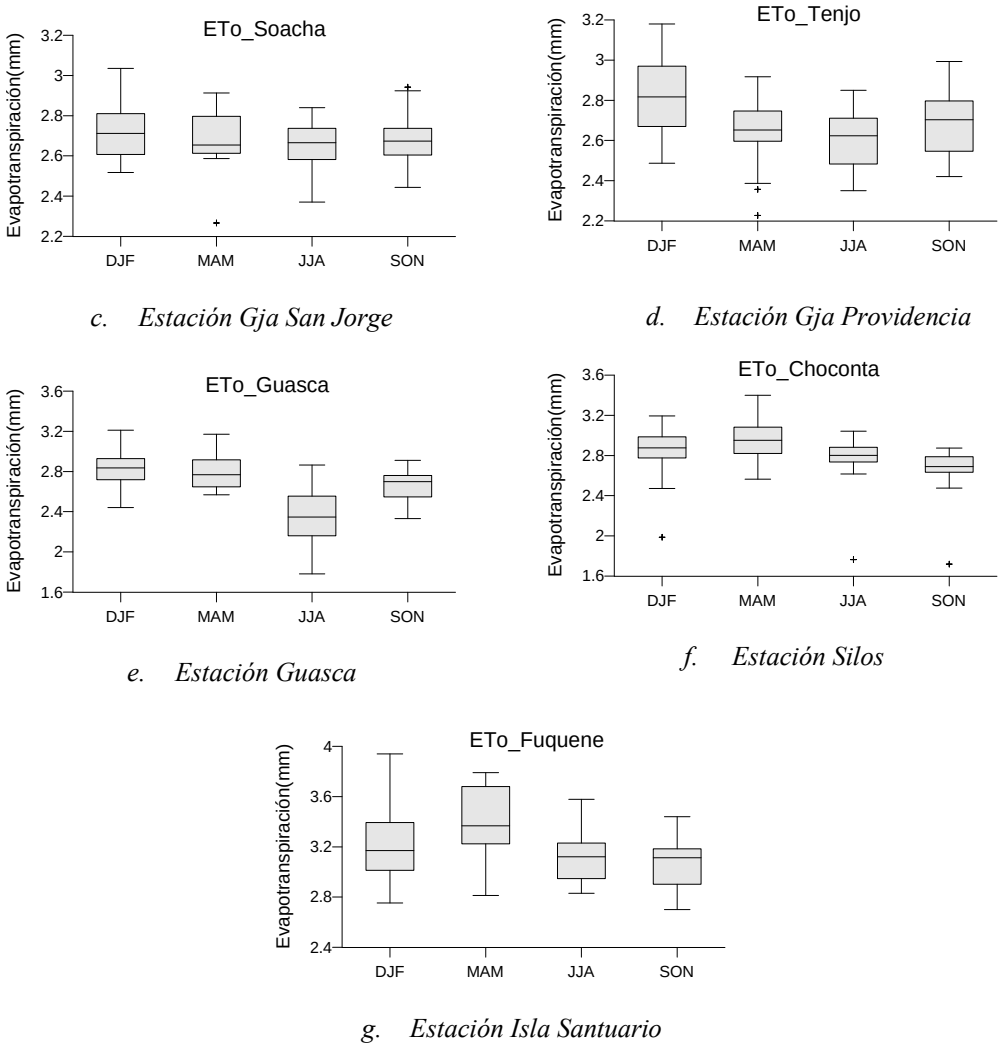
7.2.4. Evapotranspiración de referencia

En la Figura 7-10 se representa el comportamiento de la evapotranspiración de referencia (ETo) por trimestres agroclimáticos para cada una de las estaciones representativas de la Sabana de Bogotá. A partir de esta figura se considera una distribución bimodal con dos crestas muy suaves en DEF y JJA, ya que el valor de ETo no varía en gran magnitud de un trimestre a otro. La mayor variabilidad se observa durante las dos temporadas secas, aunque para las estaciones de Soacha, Tenjo y Fúquene se identifica un rango inter cuartil mayor en MAM con respecto a las otras temporadas.



a. Estación Tibaiatata

b. Estación El Dorado



c. Estación Gja San Jorge

d. Estación Gja Providencia

e. Estación Guasca

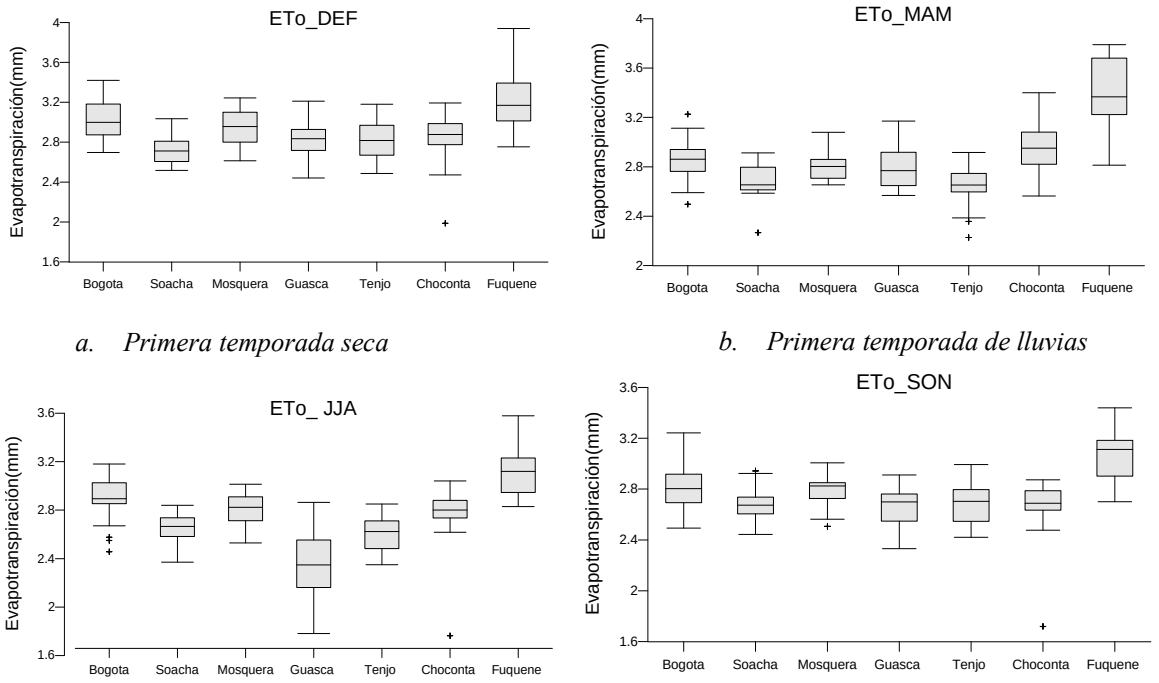
f. Estación Silos

g. Estación Isla Santuario

Figura 7-10. Diagramas de caja para la evapotranspiración con su rango inter cuartil para la Sabana de Bogotá por estaciones.

En la comparación de la evapotranspiración a partir de las estaciones en cada uno de los trimestres los mayores valores se dan para Fúquene y los menores varían de acuerdo al trimestre; en DEF se presenta para Soacha, en MAM en Soacha y Tenjo, en JJA para Guasca y en SON los valores para Soacha, Guasca, Tenjo y Chocontá son semejantes.

En cuanto a la variabilidad los mayores rangos inter cuartales los presenta Fúquene para el primer periodo seco y los dos de lluvia, mientras que para el segundo periodo seco Guasca representa la mayor variabilidad de ETo.



a. Primera temporada seca

b. Primera temporada de lluvias

c. Segunda temporada seca

d. Segunda temporada de lluvias

Figura 7-11. Diagramas de caja para la evapotranspiración con su rango inter cuartil por trimestres agroclimáticos para la Sabana de Bogotá en las diferentes estaciones

7.3. Relación entre población del insecto y las variables agroclimáticas definidas en el modelo

En las figuras siguientes se representa en barras las estimaciones de ninfas en color rojo y adultos en azul para los doce meses del año, separados por trimestres agroclimáticos. El mayor número de insectos encontrados se observa en la primera temporada húmeda del año (MAM), coincidiendo con lo indicado por los productores de la región, los cuales relacionan el final de la época seca y la entrada de las lluvias con los incrementos de las poblaciones. Para explicar este comportamiento a partir de las variables agroclimáticas asociadas en el modelo, se puede mencionar el mejor desarrollo de las pasturas por efecto de las lluvias y el aprovechamiento de la cantidad de temperatura acumulada durante la época seca, con una mayor abundancia de alimento favorecido por la precipitación. Los productores señalan que las zonas de alta humedad de los lotes y las zonas encharcadas son preferidas por la plaga.

En la Figura 7-12 se representan las estimaciones de la población por trimestres agroclimáticos, comparándose con el comportamiento de la temperatura máxima para el periodo diciembre de 2009 – noviembre de 2010, y de la cual se puede observar una relación inversa ya que para el periodo en que la temperatura máxima tiende a disminuir la población aumenta, para este caso los

valores más bajos están dados hacia los trimestres MAM y JJA, cuando se presentaron mayores poblaciones del insecto. Se debe tener en cuenta que el período citado tuvo influencia de un evento El Niño hasta abril de 2010, que se asoció con incremento de las temperaturas máximas y luego un evento La Niña desde Julio de 2010 en que disminuyeron. De acuerdo con el comportamiento general según los análisis de la distribución temporal, el trimestre JJA sería el más favorable para la especie por sus temperaturas máximas bajas y no MAM, pero aunque se cumpla esta condición, el insecto aprovecha la disponibilidad de agua de MAM para su desarrollo que no se da en JJA, y aunque este trimestre estuvo bajo la influencia del evento La Niña, que eleva las precipitaciones promedio, no se presento mayor disponibilidad de agua que en MAM.

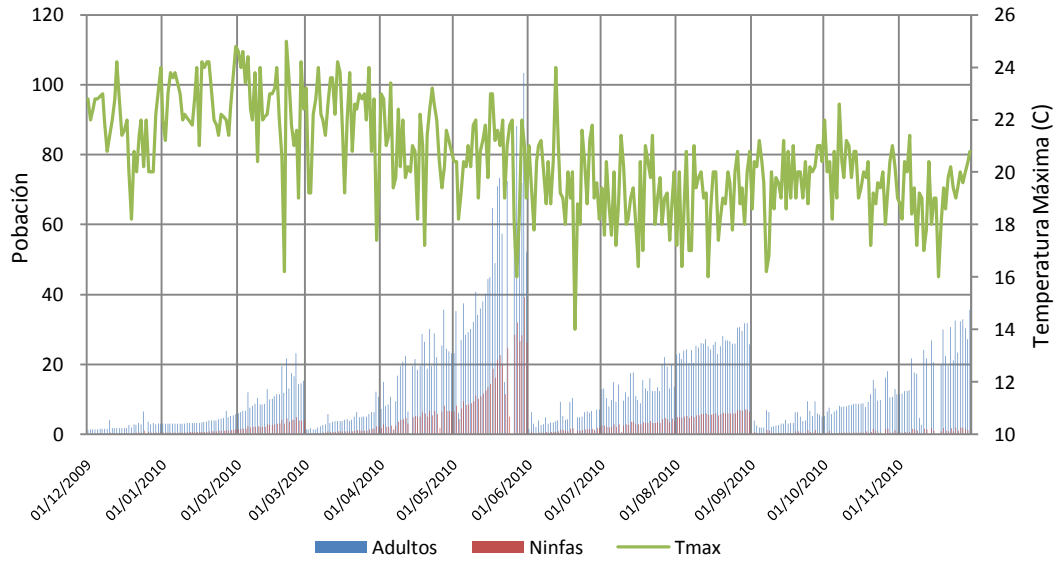


Figura 7-12. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la temperatura máxima en °C para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010

En cuanto a la temperatura mínima, que se representa en la Figura 7-13 junto con la fluctuación de la plaga, se puede observar que la población aumenta cuando los valores de la temperatura mínima aumentan, lo cual corresponde a una relación directa. En el caso de la Sabana, para la cual se indicó que los mayores valores de la temperatura mínima están dados en el trimestre MAM, en este lapso se presentan valores más altos de ninfas y adultos.

Si se compara la fluctuación de la población a partir de la diferencia entre la temperatura máxima y mínima como se muestra en Figura 7-14, donde se representa en el mismo grafico las temperaturas máximas y mínimas con la dinámica de la población, se hace evidente que mientras menor sea la

diferencia entre las temperaturas la población es mayor. Esto responde al hecho que cuando ocurren valores bajos de temperaturas máximas y altos de mínimas, la población del insecto crece.

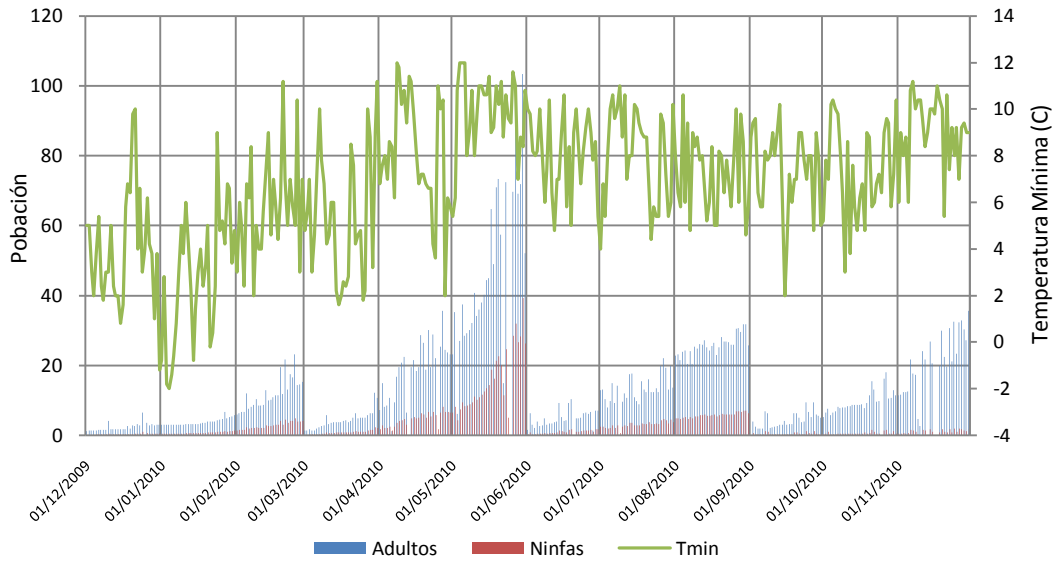


Figura 7-13. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la temperatura mínima en °C para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010

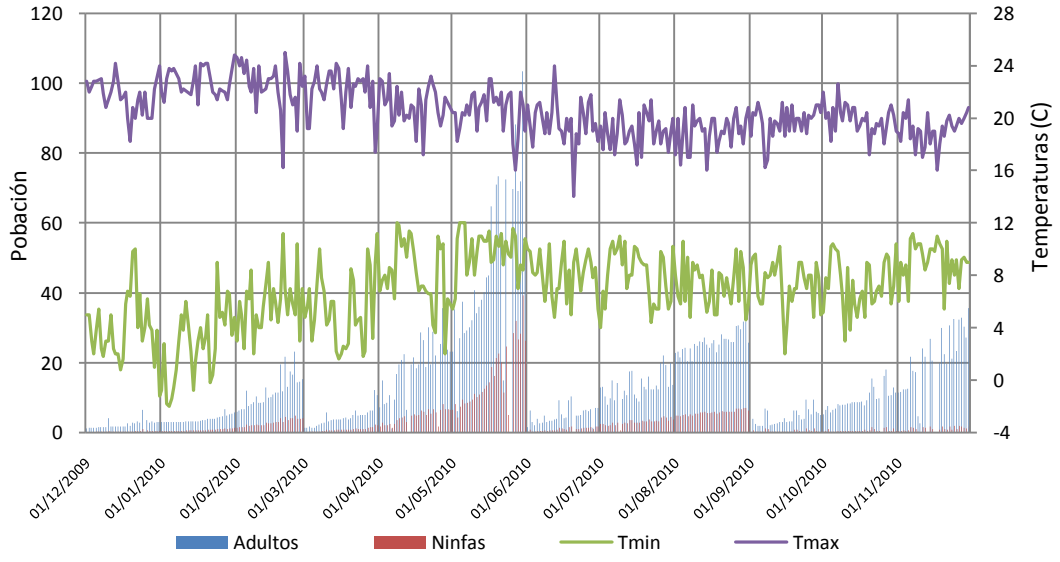


Figura 7-14. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la diferencia entre la temperatura máxima y mínima en °C para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010

Para el análisis de la relación entre variación de la población en el tiempo y la disponibilidad de agua se graficó el índice hídrico y la estimación de la evolución de la plaga (Figura 7-15). A partir

de esta representación se observa que en el periodo con mayor población, que corresponde a MAM, se presentó una disponibilidad de agua significativamente mayor que en el periodo de DEF cuando se observó la menor cantidad de población. Por lo tanto se puede establecer que la disponibilidad de agua tiene un efecto positivo en el desarrollo del insecto.

Para tener mayor de detalle de la relación de la disponibilidad de agua y la plaga se realizó una grafica donde se vinculó la fluctuación de la población con la precipitación (Figura 7-16) y otra con la evapotranspiración (Figura 7-17). La figura de la evapotranspiración muestra una respuesta inversa a la cantidad de ninfas y adultos ya que en la temporada de MAM, de mayor población, el valor de ETo es menor, con respecto, por ejemplo, al trimestre de DEF de alta evapotranspiración, que corresponde a menor cantidad de ninfas y adultos. Esto responde directamente a la disponibilidad de agua ya que a menor ETo mas agua en la superficie se tendrá, que al parecer es aprovechada por esta especie, a través de la pastura.

Para el caso de la precipitación la relación no es tan clara. Sin embargo se evidencia que para algunos aumentos de lluvia, la plaga tiende a crecer, en especial los adultos. Más aun es importante observar que para el proceso de crecimiento del insecto, aunque exista una disponibilidad de agua, es necesaria una fase previa de acumulación de temperatura, ya que, como se muestra al inicio de la primera temporada de lluvias y la segunda seca, aunque se presentaron lluvias importantes la plaga fue creciendo a medida que acumulaba grados día.

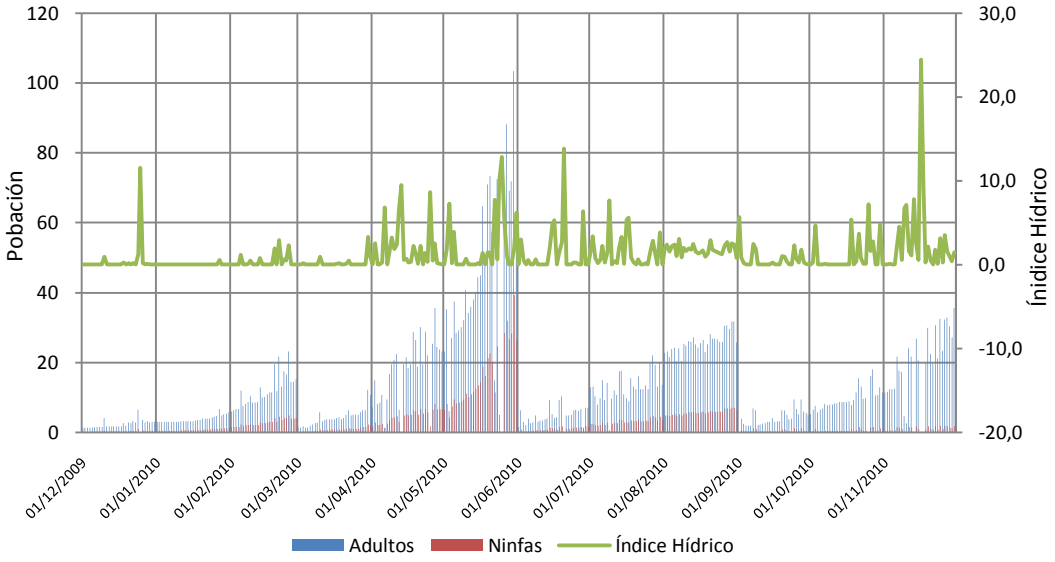


Figura 7-15. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y el índice hídrico para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010

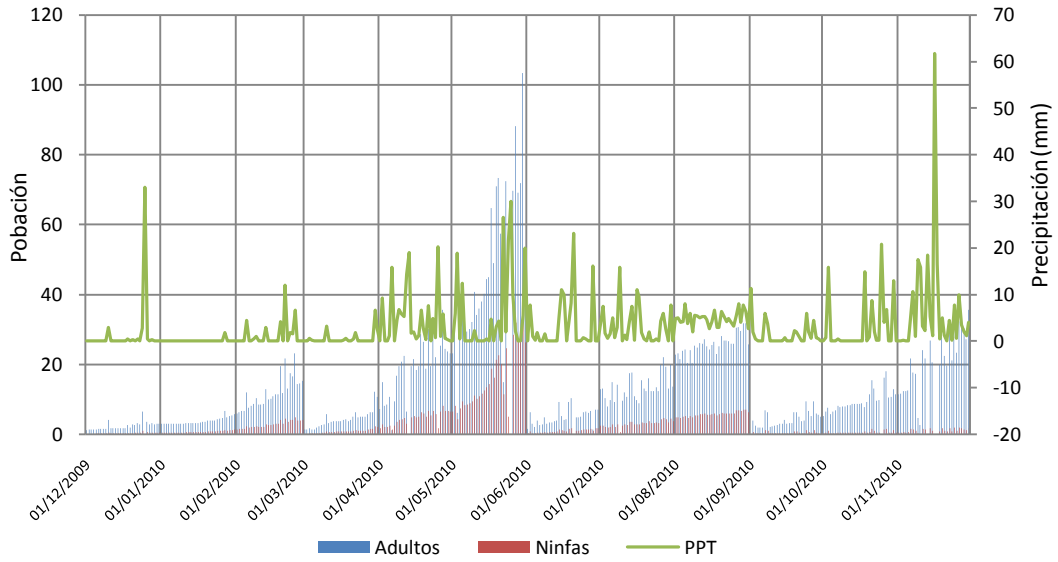


Figura 7-16. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la precipitación en mm para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010

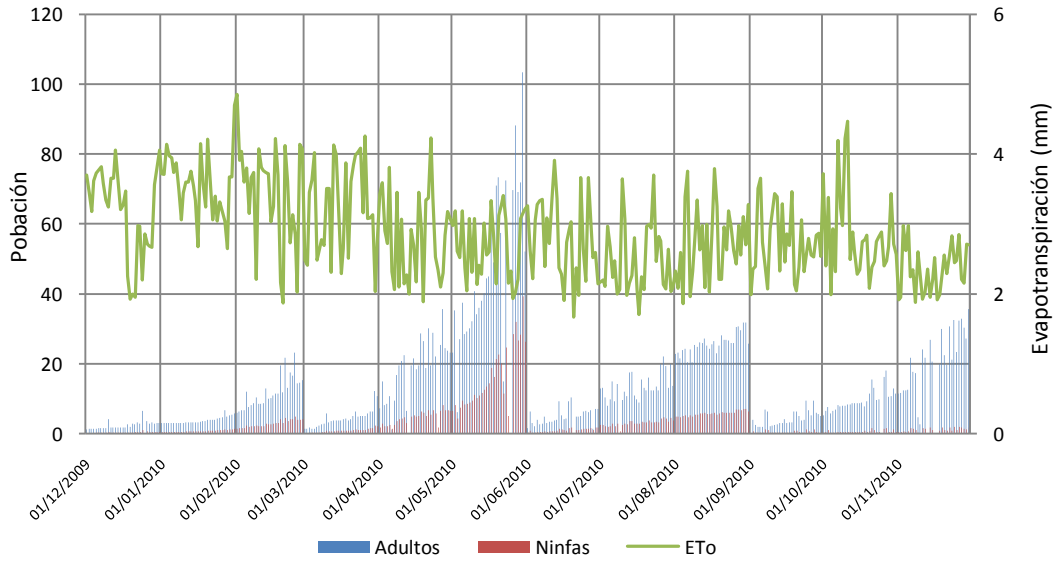


Figura 7-17. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la evapotranspiración en mm para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010

Para un mejor detalle del comportamiento de la plaga con relación a la disponibilidad de agua se realizó el análisis de crecimiento de ninfas y adultos únicamente para el periodo de marzo- mayo, en el cual se presentó la mayor población del periodo considerado. Por tanto en la Figura 7-18 se representa la población de MAM con respecto al índice hídrico y en la Figura 7-19 con la

precipitación. Se observa que para aumentos de precipitación y por tanto de los valores del índice, se registra crecimiento de ninfas y adultos, pero para los picos más altos de la precipitación y del índice se presentan caídas significativas de la población, evidenciando que para el insecto la cantidad de agua es benéfica hasta cierto valor, y que después de éste, sobreviene daño. Esto puede estar relacionado con lo mencionado por (Martinez, et al., 1998) en cuanto a que la lluvia afecta los estados ninfales, como consecuencia del golpe que da la gota sobre el insecto ocasionándole la muerte; o conectado también con lo citado en este mismo trabajo con respecto a la humedad excesiva o escasa que es causante de alta mortalidad..

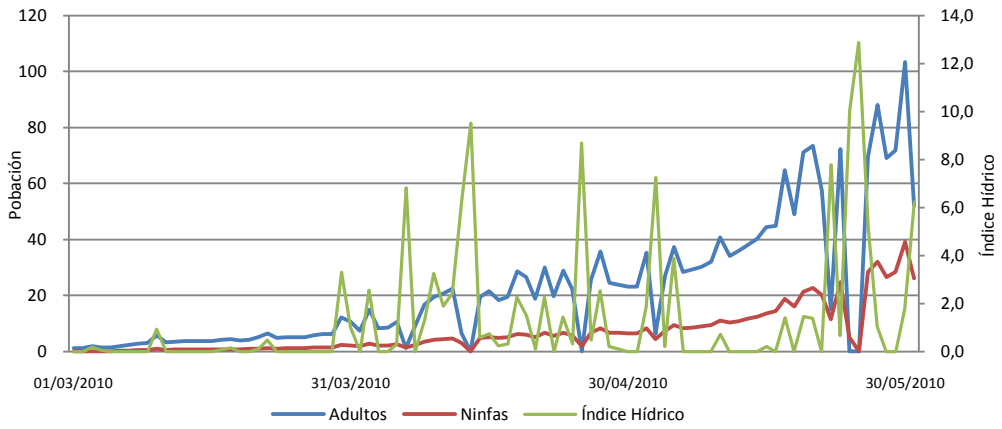


Figura 7-18. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y el índice hídrico para el periodo marzo de 2010 a mayo de 2010

Lo mencionado indicaría que esta especie es susceptible a la cantidad de agua o a la acumulación de la misma, que además de estar relacionado con lo ya estipulado, se puede vincular además como una respuesta al aumento de la disponibilidad de la comida, ya que al disponer el pasto de cierta cantidad de agua lo hace más rico en nutrientes y por tanto más benéfico para la especie aumentando su población.

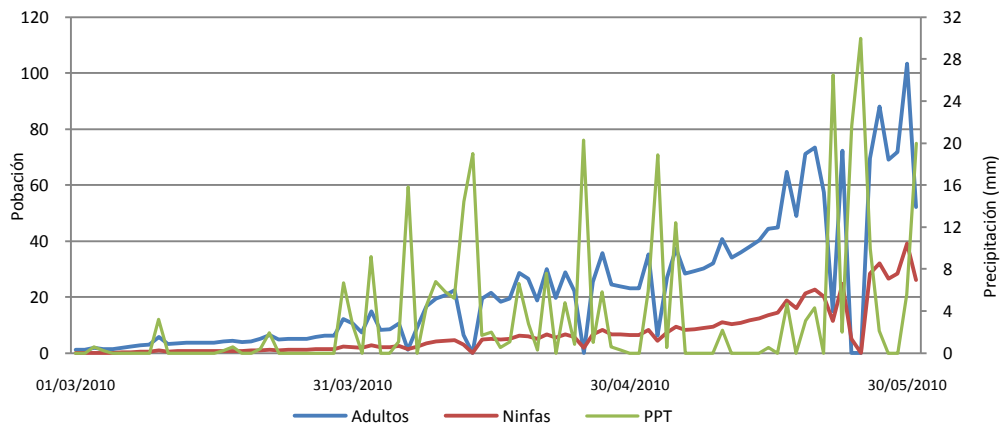
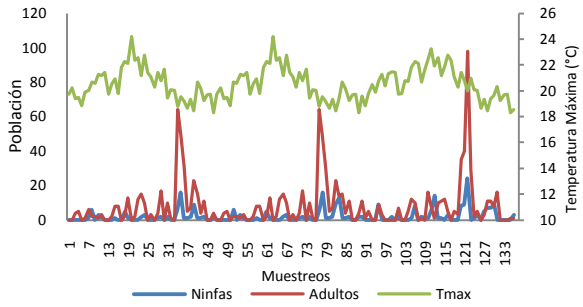
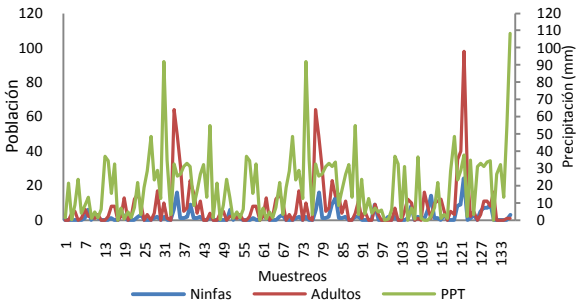


Figura 7-19. Relación entre la población estimada de ninfas y adultos y la precipitación en mm para el periodo marzo de 2010 a mayo de 2010

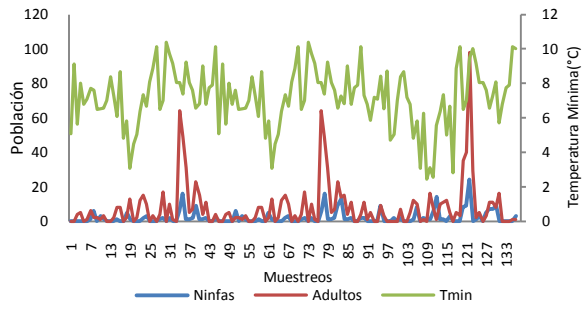
En la ratificación del comportamiento de la población con las variables climáticas se muestran a continuación la fluctuación de las poblaciones de ninfas y adultos a partir de los datos observadas en campo semanalmente en el período de estudio, sin tener presente los datos en que se realizó pastoreo o control del insecto, comparándolos con respecto a las temperaturas máxima y mínima, precipitación y evapotranspiración a la misma escala semanal (Figura 7-20),). Se aprecian los mismos patrones de comportamiento del insecto con relación a estas variables, o sea: máximos de población para temperaturas mínimas altas, temperaturas máximas bajas, valores de evapotranspiración bajos y aumentos de precipitación hasta ciertas cantidades.



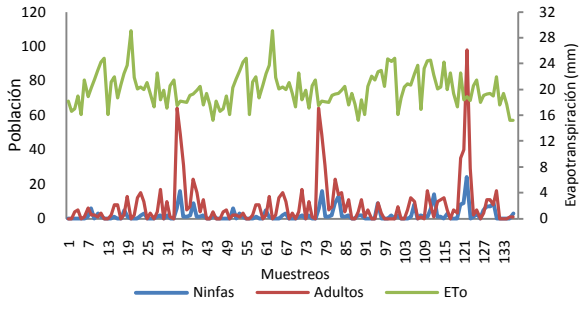
a. Población y temperatura Máxima



b. Población y precipitación



c. Población y temperatura mínima



d. Población y evapotranspiración

Figura 7-20. Relación entre la población observada de ninfas y adultos y las variables climáticas para el periodo diciembre de 2009 a noviembre de 2010

En siguiente tabla se puede resumir las características de las condiciones climáticas para las cuales la plaga tiene una tendencia al aumento y a partir de las cuales se puede realizar un monitoreo sobre la población:

Tabla 7-5. Condiciones de las variables climáticas que generan variaciones en la población del insecto

	Tmax	Tmin	Precipitación	ETo
Fluctuaciones de Población del insecto	↓	↑	↑	↓

En resumen, las poblaciones se incrementan cuando se presentan condiciones de temperaturas máximas con bajos valores (↓), temperaturas mínimas con valores altos (↑), evapotranspiración baja (↓) y tendencias al aumento de la precipitación (↑)

7.4. Estimación de la población para los años 2020 y 2030

Para la indicación del aumento o disminución de la población de plaga para los años 2020 y 2030 se considera primero las condiciones del periodo 1971-2000 como la situación actual, ya que corresponde al periodo de referencia utilizado para la generación de escenarios futuros. El cambio de población se puede estimar a partir de la variación esperada en cada una de variables climáticas indicadas para el monitoreo de la plaga, en los diferentes escenarios futuros.

En las tablas a continuación se representa el aumento (↑) o disminución (↓) de los valores de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), precipitación (PPT) y evapotranspiración (ETo) en cada uno de los escenarios, con respecto al valor medio de la situación actual en las dos temporadas secas y las dos de lluvia. Este análisis se hace para las

diferentes estaciones meteorológicas representativas de la Sabana. Para el caso de ETo solo se tiene el dato de las tendencias ya que para los escenarios de cambio climático esta variable no se ha considerado.

El campo marcado como *2020_Ten* hace referencia al crecimiento o disminución de las variables climáticas a partir del análisis de tendencias que se realizó mediante el test de Mann-Kendall y el estimador de la pendiente de Sen, en donde los resultados para cada estación se pueden detallar en el anexo D.

Los símbolos ↑ y ↓ que se resaltan en negrilla corresponden a la condición de cada variable climática que incide en la fluctuación de la población como se indicó en la sección anterior.

Los cabios correspondiente a Mosquera, Bogotá, Tenjo y Soacha (Tabla 7-6 a Tabla 7-9) en el escenario construido a partir de las tendencias muestra un aumento de todas las variables en los cuatro trimestres, con excepción de la evapotranspiración donde surgen algunas disminuciones, pero según la estimación de la pendiente de Sen (anexo D) las variaciones son pequeñas. En los escenarios de cambio climático de estas mismas estaciones tanto para el 2020 como para el 2030 la temperatura mínima muestra un aumento en todos los trimestres y la temperatura máxima crece en JJA-SON y se reduce en DEF-MAM en todos los escenarios, mientras que la precipitación aumenta en DEF y disminuye en SON para todos los casos y en MAM - JJA aumenta con excepción del escenario A1B..

Tabla 7-6. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Tibaitatá.

	Mosquera															
	Tmax				Tmin				PPT				Eto			
	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON
2020_Ten	↑	↑	↑	↑	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	↑	**↓**	↑	↑
2020_A1B	**↓**	**↓**	↑	↑	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	↓	↓	↓				
2020_A2	**↓**	**↓**	↑	↑	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	↓				
2020_B2	**↓**	**↓**	↑	↑	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	↓				
2030_A1B	**↓**	**↓**	↑	↑	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	↓	↓	↓				
2030_A2	**↓**	**↓**	↑	↑	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	↓				
2030_B2	**↓**	**↓**	↑	↑	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	**↑**	↓				

Tabla 7-7. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de El Dorado.

	Bogotá															
	Tmax				Tmin				PPT				Eto			
	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON
2020_Ten	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓
2020_A1B	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓				
2020_A2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2020_B2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2030_A1B	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓				
2030_A2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2030_B2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				

Tabla 7-8. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Gja. Providencia

	Tenjo															
	Tmax				Tmin				PPT				Eto			
	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON
2020_Ten	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓
2020_A1B	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓				
2020_A2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2020_B2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2030_A1B	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓				
2030_A2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2030_B2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				

Tabla 7-9. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Gja. San Jorge.

	Soacha															
	Tmax				Tmin				PPT				Eto			
	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON
2020_Ten	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑
2020_A1B	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓				
2020_A2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2020_B2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2030_A1B	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓				
2030_A2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2030_B2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				

En el caso de Guasca en el campo de las tendencias las variables aumentan menos la temperatura mínima que disminuye en las cuatro temporadas. En los escenarios, la temperatura máxima crece salvo DEF-MAM en A1B del año 2020, la temperatura mínima se incrementa con excepción de

JJA-SON de 2020 y JJA de 2030, entretanto la precipitación disminuye en SON y aumenta en DJF, en MAM-JJA se intensifica sin incluir A1B de 2020, A1B de 2030 y JJA A2 de 2020.

Tabla 7-10. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Guasca.

	Guasca															
	Tmax				Tmin				PPT				Eto			
	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON
2020_Ten	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
2020_A1B	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓				
2020_A2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓				
2020_B2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓				
2030_A1B	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↓				
2030_A2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓				
2030_B2	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓				

Las tendencias en Chocontá para Tmax y precipitación indican aumento, para la Tmin decrecimiento y la ETo disminuye en las temporadas secas y aumenta en las restantes. En los escenarios las temperaturas mínimas se incrementan (menos A1B de 2020), la precipitación aumenta en DEF-SON y disminuye en MAM-JJA y la temperatura máxima crece exceptuando los escenarios de A1B, A2, B2 de 2020 y B2 de 2030 en MAM y A1B de 2020 en DEF.

Tabla 7-11. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Silos.

	Chocontá															
	Tmax				Tmin				PPT				Eto			
	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON
2020_Ten	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑
2020_A1B	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑				
2020_A2	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑				
2020_B2	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑				
2030_A1B	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑				
2030_A2	↑	=	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑				
2030_B2	=	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑				

Fúquene presenta tendencias de crecimiento en la precipitación y reducción en la Tmax, Tmin y Eto, salvo la temperatura mínima en DEF y evapotranspiración en JJA. Los escenarios muestran aumentos de la temperatura mínima en los cuatro trimestres agroclimáticos, de la tempearura máxima en JJA-SON y disminución de la máxima en DEF-MAM. En cuanto a la precipitación se reduce en MAM y SON, en tanto que aumenta en DEF Y JJA a diferencia del escenario AB1 del 2020 y 2030 y DEF A2 del 2020.

Tabla 7-12. Cambios de los valores medios de las variables climáticas en los trimestres agroclimáticos con respectos a los valores medios actuales par la estación de Isla Santuario.

	Fúquene															
	Tmax				Tmin				PPT				Eto			
	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON	DEF	MAM	JJA	SON
2020_Ten	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓
2020_A1B	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓				
2020_A2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓				
2020_B2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓				
2030_A1B	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓				
2030_A2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓				
2030_B2	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓				

De la Tabla 7-6 a la Tabla 7-9 correspondientes a la estaciones de Mosquera, Bogotá, Tenjo y Soacha, se puede notar que los cambios para los años 2020 y 2030 en los diferentes escenarios coinciden para las temperaturas máxima y mínima y la precipitación en los cuatro trimestres agroclimáticos, mientras que para las estaciones de Guasca, Chocontá y Fúquene existen diferencias entre si y entre el conjunto mencionado.

Lo anterior responde a la ubicación de las estaciones dentro la región de la Sabana, puesto que Mosquera, Bogotá, Tenjo y Soacha se sitúan hacia la zona sur-occidental, Guasca hacia la parte occidental-central, Chocontá en el sector noroccidental y Fúquene hacia nororiente.

Por lo tanto para mostrar a continuación las estimaciones de los cambios de la población de la plaga en el área de estudio con los valores medios obtenidos en los diferentes escenarios, se escogió una estación que represente cada sector de la Sabana. Para el caso occidental-central, noroccidental y nororiental se seleccionaronGuasca, Chocontá y Fúquene respectivamente y para el grupo ubicado en sur-occidente, se eligió la estación de Mosquera. En el anexo E se encuentran las diferentes estimaciones en todos los escenarios para las otras estaciones.

▪ Estimación de la población del insecto para el año 2020

Las estimaciones de la población se muestran en las siguientes figuras en donde se representa el crecimiento de ninfas y adultos durante el año, dividas en trimestres agroclimáticos para los años 2020 a partir de los valores medios dados en las tendencias y los escenarios de cambio climático (A1B, A2 y B2).

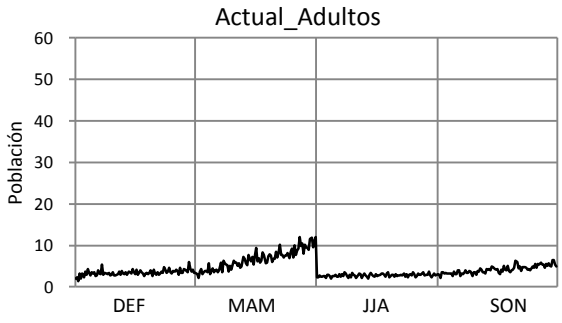
Como estas estimaciones están construidas a partir de un modelo que índica tendencias al crecimiento o decrecimiento de la plaga, los análisis de los mismos se consideran como aumentos

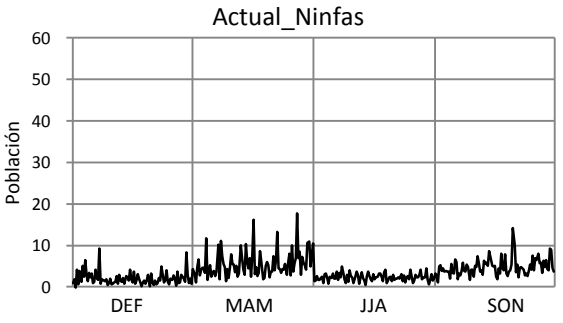
o disminuciones sin precisar el valor de estas variaciones. Las comparaciones de los cambios se hacen a partir de las estimaciones actuales del insecto.

En la Figura 7-21 se observa las cantidades de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y a partir de las tendencias, para la estación de Mosquera. Las representaciones de la plaga en los escenarios no tienen fluctuaciones como en el caso de la simulación actual ya que para el futuro, a diferencia del presente, no se conoce la variabilidad de las cantidades climáticas si no solo un valor medio.

A partir de la Figura 7-21 se puede deducir que con las condiciones actuales la mayor población se presenta en la primera temporada de lluvias, tanto para las ninfas como para los adultos siendo las ninfas más sensibles a las variaciones de las condiciones climáticas ya que presentan mayor fluctuación en el tiempo.

Según las proyecciones realizadas, se puede considerar que para el año 2020 las poblaciones de ninfas y adultos aumentarían, igualando las cantidades de MAM en JJA y SON, siendo las condiciones más apropiadas para los adultos ya que su crecimiento es grande para las todas las temporadas. En los escenarios de cambio climático los mayores aumentos se observan en A2 y B2 teniendo estos características similares ya que para los dos casos en los cuatro trimestres se presentan elevaciones en poblaciones de ninfas y adultos pero MAM sigue siendo la temporada de mayor población De igual manera los valores de adultos responden mejor a las condiciones que se presentan para estos escenarios. En el caso de A1B no se evidencia un cambio importante por lo que se puede indicar que para esta situación la población tendría un comportamiento equivalente al actual.





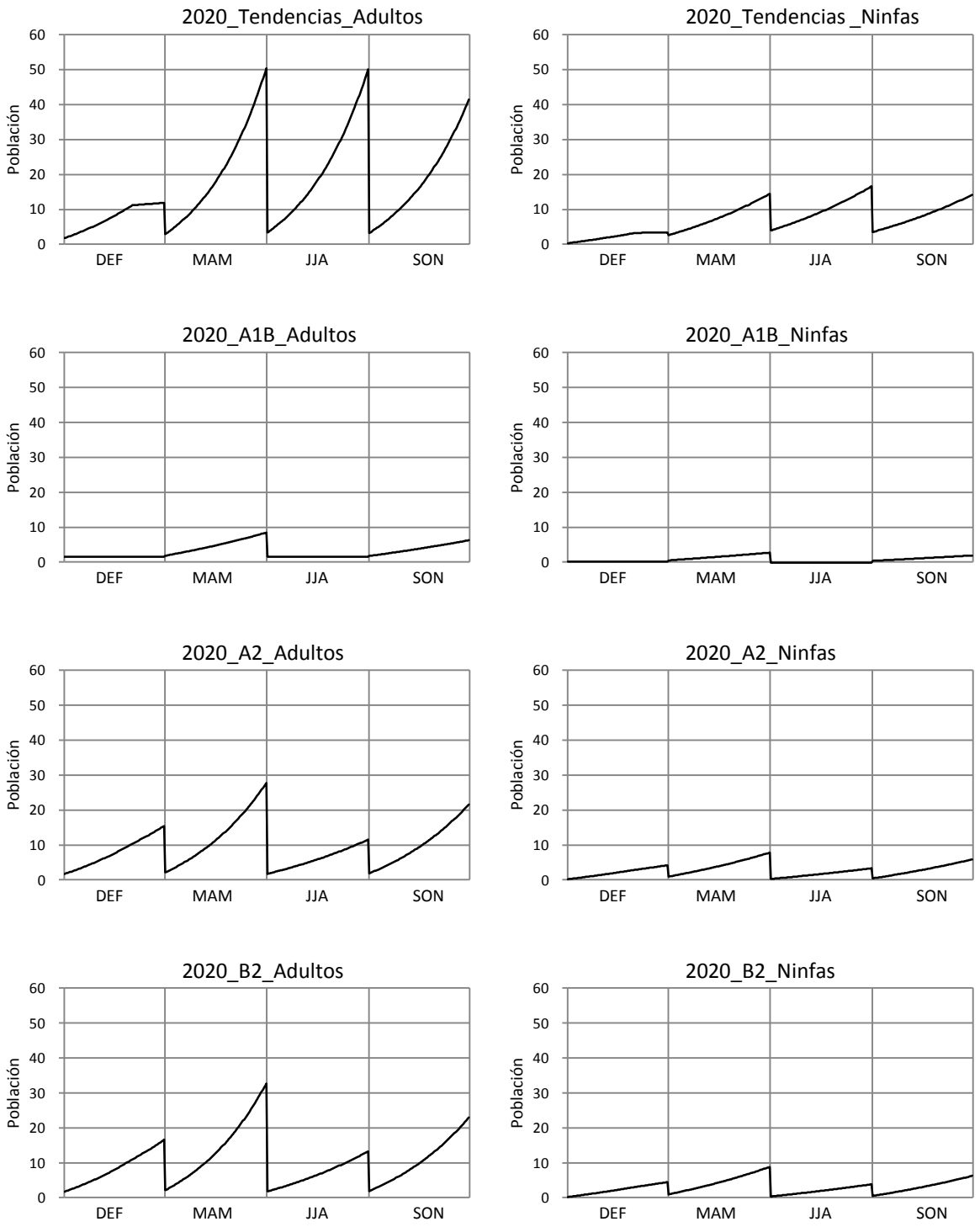
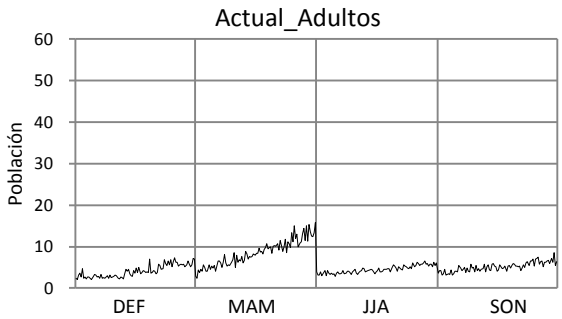


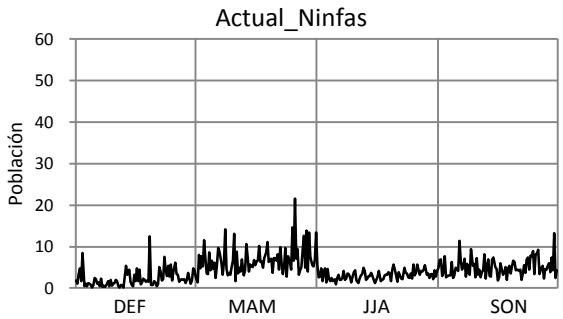
Figura 7-21. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Mosquera.

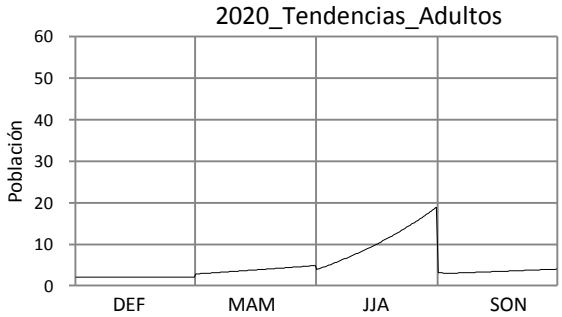
Para la estación de Guasca la estimación de las ninfas y adultos se representa en la Figura 7-22 en donde se observa que bajo condiciones actuales coincide con las características mencionadas en Mosquera; la densidad de población es similar y las mayores cantidades se dan para MAM. Para el

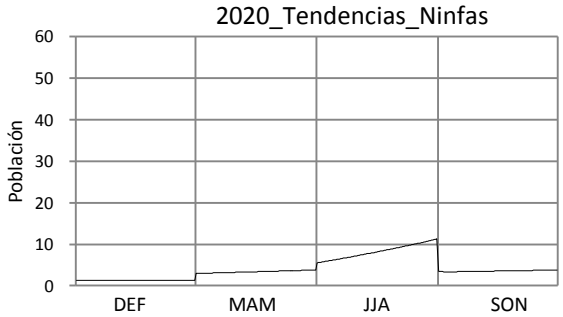
período centrado en el año 2020 se presentaría una disminución en este trimestre pero un aumento importante en JJA mientras que en las otras dos temporadas se mantienen equivalente a lo actual. El escenario A1B presenta unas condiciones que mantiene una estimación de la población con las mismas características del presente, coincidiendo con lo analizado para Mosquera, con una pequeña modificación en SON en el cual los adultos tiende a ser un poco mayor.

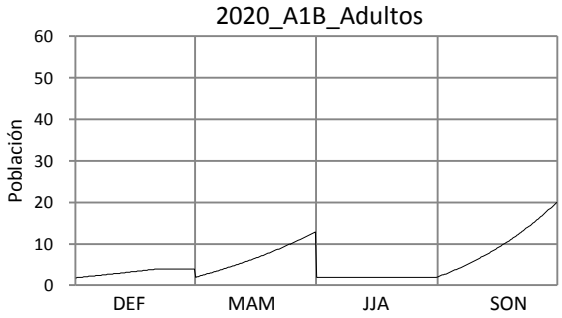
Coincidiendo también con lo mencionada para la estación de Tibaitata los escenarios A2 y B2 presentan una estimación de la población de forma similar, que para este caso muestra que las ninfas tendrían la misma tendencia de desarrollo en los cuatro trimestres del año y los adultos presentarían un aumento en todos los periodos siendo el SON el más afectado.

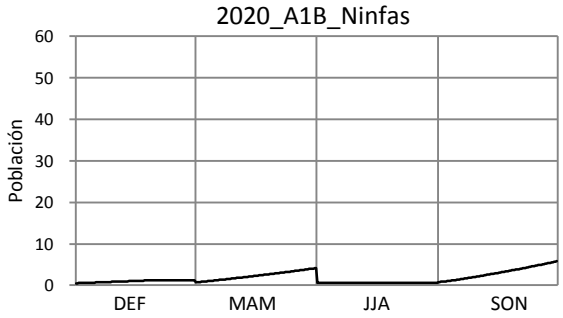












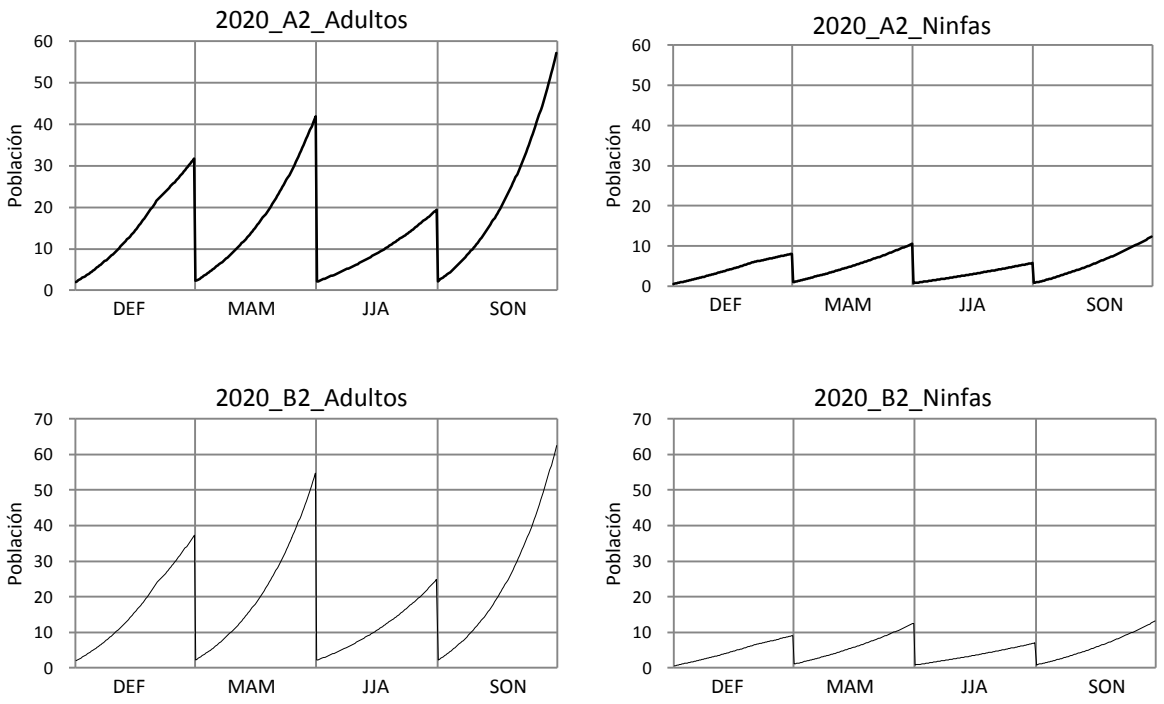
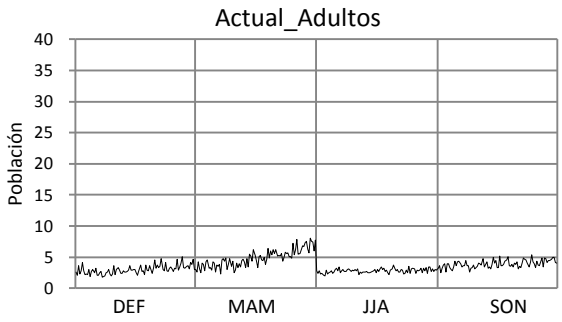


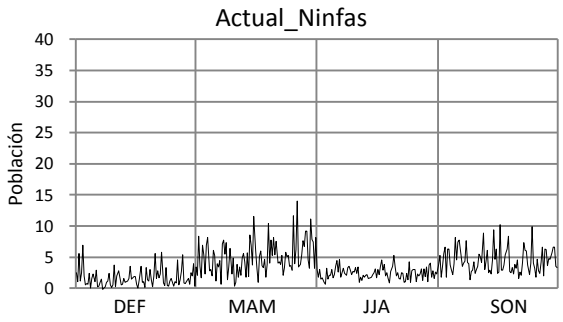
Figura 7-22. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Guasca.

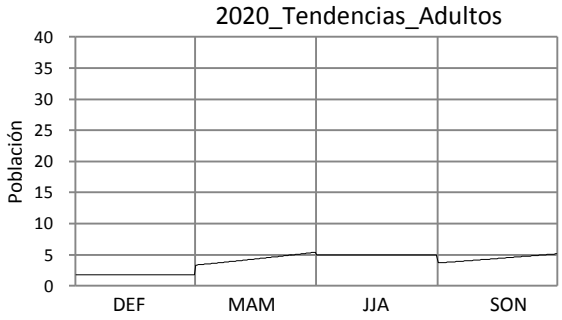
Las estimaciones para la estación de Chocontá se muestran en la Figura 7-23 en la cual la situación actual presenta menor densidad de plaga con respecto a las anteriores estaciones, siendo muy uniforme para los cuatro trimestres y sobresaliendo en una cantidad moderada de nuevo la temporada de MAM.

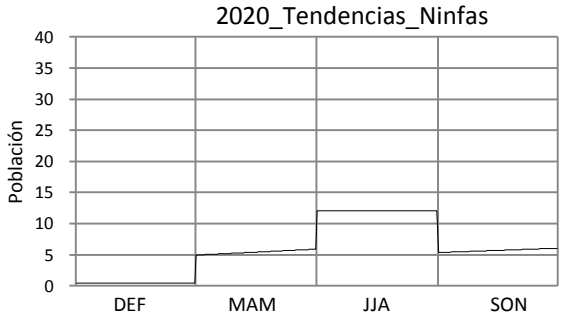
En la valoración de los posibles cambios de la población para el año 2020 las temperaturas no favorecen al aumento, ya que como se observa en la Figura 7-23 se conservan la cantidad de la plaga semejante durante cada trimestre y a partir de la Tabla 7-11 se indica que ni la temperatura máxima ni la mínima son propicias, mas aun con los valores medios es posible un aumento para el trimestre JJA.

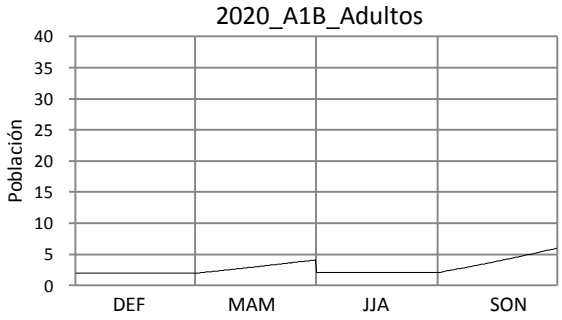
Por su parte el escenario A1B indica una tendencia a conservar las características de la densidad de la población en los diferentes trimestres, mientras, como ya es común, los escenarios A2 y B2 coinciden en sus tendencias de crecimiento, que para la estación de Chocontá muestra aumento en todos los trimestres siendo mayor para SON superando los valores de MAM, que para la actualidad corresponde a la época más vulnerable.

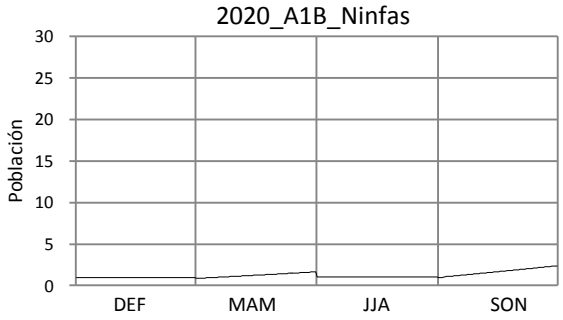

Actual_Adultos
Población
40
35
30
25
20
15
10
5
0
DEF
MAM
JJA
SON

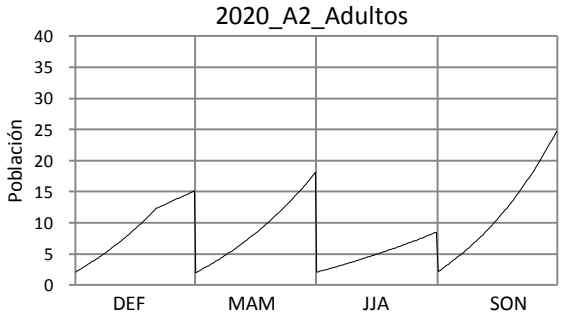

Actual_Ninfas
Población
40
35
30
25
20
15
10
5
0
DEF
MAM
JJA
SON

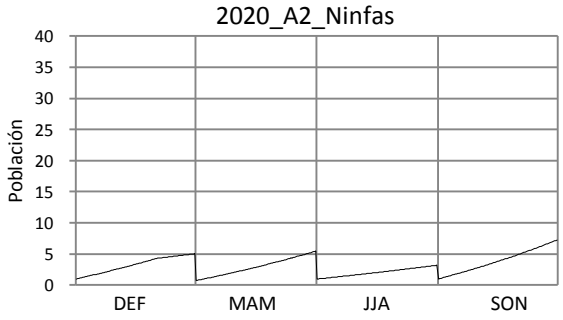

2020_Tendencias_Adultos
Población
40
35
30
25
20
15
10
5
0
DEF
MAM
JJA
SON


2020_Tendencias_Ninfas
Población
40
35
30
25
20
15
10
5
0
DEF
MAM
JJA
SON


2020_A1B_Adultos
Población
40
35
30
25
20
15
10
5
0
DEF
MAM
JJA
SON


2020_A1B_Ninfas
Población
30
25
20
15
10
5
0
DEF
MAM
JJA
SON


2020_A2_Adultos
Población
40
35
30
25
20
15
10
5
0
DEF
MAM
JJA
SON


2020_A2_Ninfas
Población
40
35
30
25
20
15
10
5
0
DEF
MAM
JJA
SON

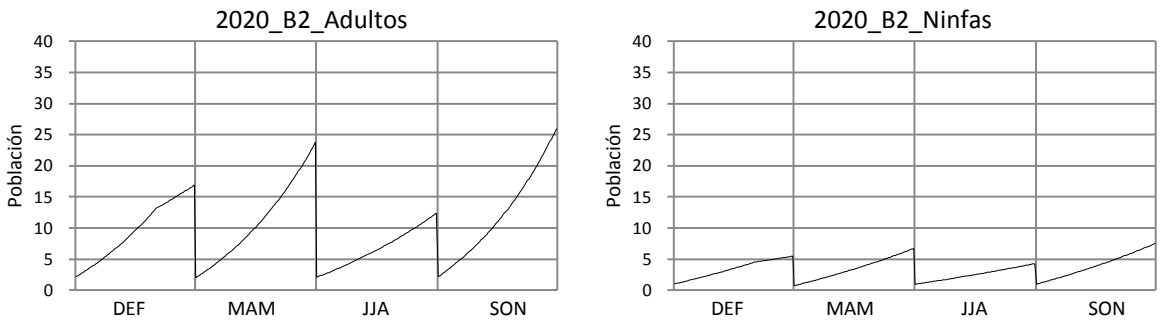
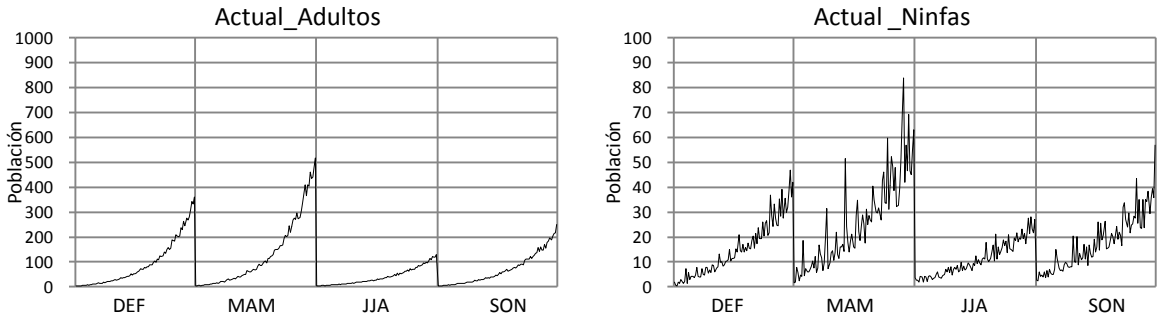


Figura 7-23. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Chocontá.

De acuerdo a lo estimado en la Figura 2-1la estación de Fúquene presenta la mayor densidad poblacional del insecto en la Sabana, indicando que en esta zona se han generado condiciones climáticas propicias para el desarrollo de la especie, lo que se puede relacionar con la extensión de la plaga hacia las zonas de Fúquene y Ubaté. De la misma manera que para los demás sectores de la Sabana la época más vulnerable a la tendencia al crecimiento de la plaga es para el trimestre de MAM tanto para las ninfas como para los adultos.

Las consideraciones a partir del análisis de las variables climáticas para el año 2020 muestran que las condiciones proyectadas son más propicias para el desarrollo de las ninfas que para los adultos, tendiendo a crecer en el trimestre de SON y en los otros trimestres muestra una caída, principalmente en adultos.

El escenario A1B presenta estimaciones parecidas a la situación actual, con una elevación en JJA para adultos y ninfas. En los escenarios A2 y B2 se presentan aumentos importantes para los trimestres de JJA y SON alcanzando valores iguales al de MAM, las estimaciones de B2 para los adultos es mayor que en el A2, pero indican las mismas consideraciones en las tendencias.



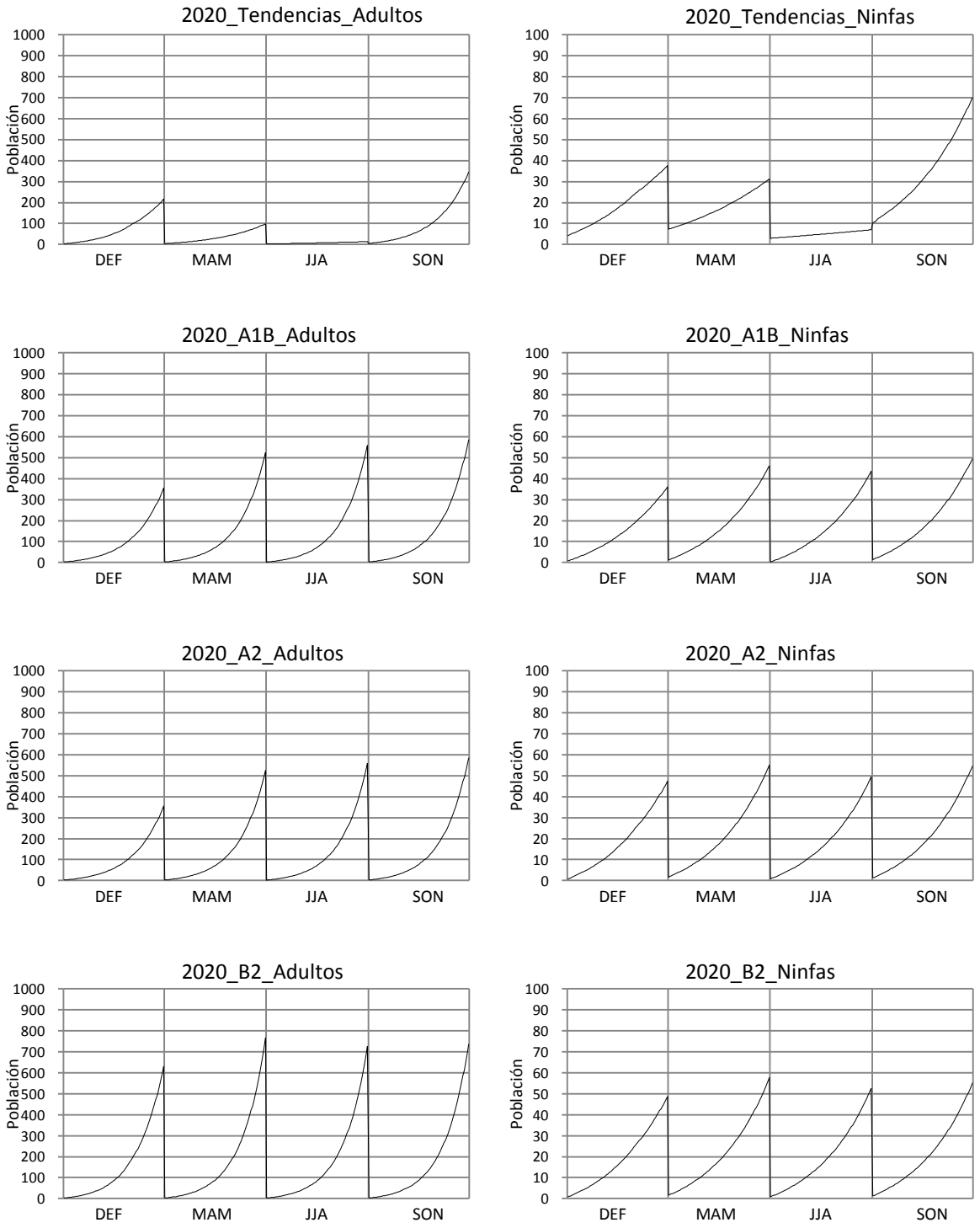
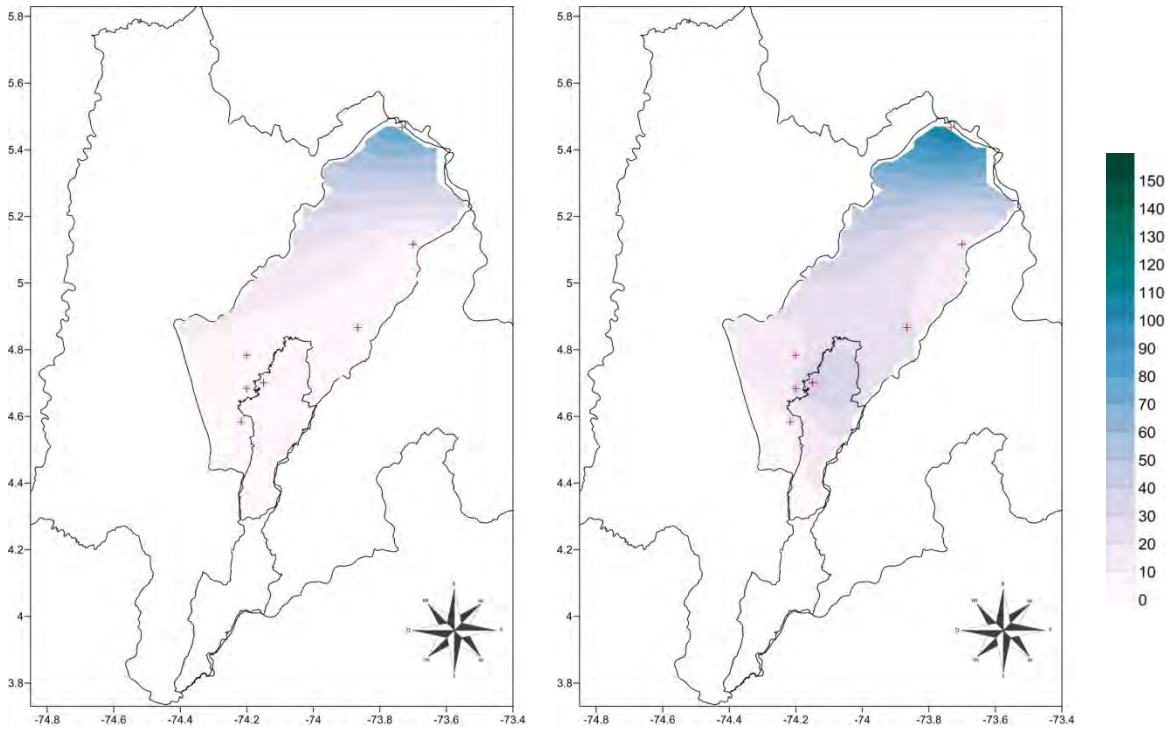


Figura 7-24. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Fúquene.

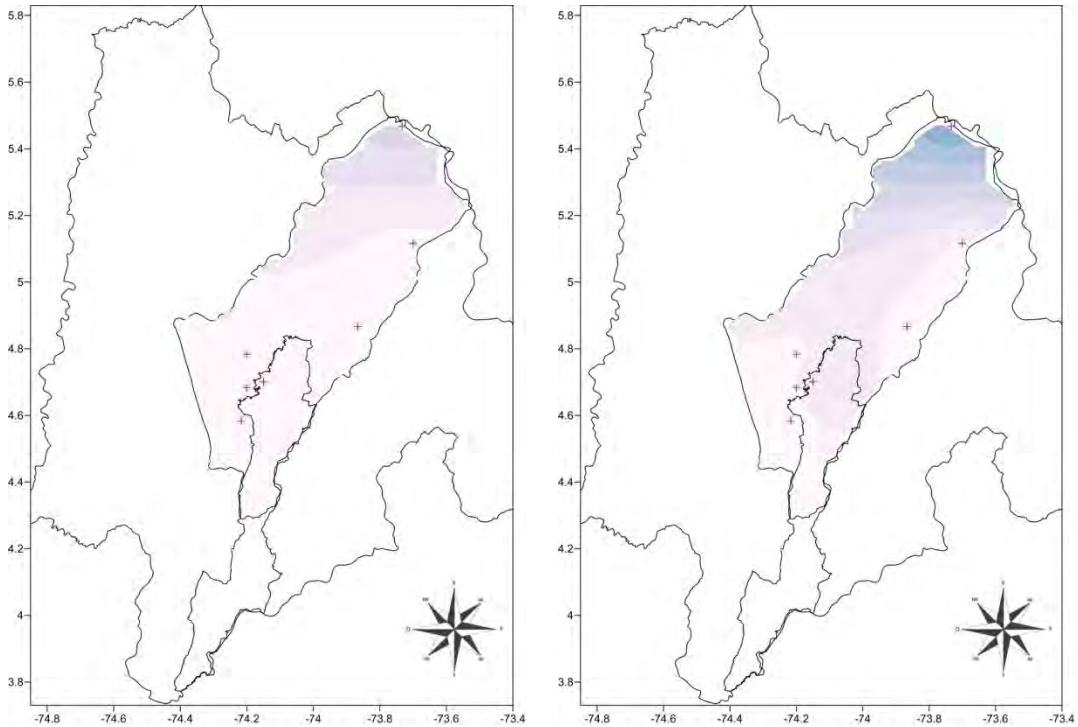
▪ Distribución territorial del insecto en la situación actual

A partir de las estimaciones se elaboraron los mapas de distribución de la población de plaga para la Sabana de Bogotá en cada uno de los trimestres agroclimáticos, lo que permite indicar de manera más sencilla el comportamiento de la especie, además de dar información de la zonas de la región en que las condiciones climáticas son más favorables para la misma.

En la Figura 7-25 se muestra la distribución de la población de acuerdo a las estimaciones de las condiciones actuales para las diferentes temporadas del año. En este mapa se considera el total de la plaga como la suma de ninfas y adultos, y se realizó con los datos obtenidos en todas las estaciones. En los mapas se incluye una escala de cero a ciento cincuenta, en donde cero indica menor población y ciento cincuenta, mayor población, permitiendo señalar de esta manera los sectores donde las condiciones climáticas son más propicias para la manifestación de la especie. De acuerdo a esta figura y conforme a lo descrito en la estimación de la población para el año 2020 se puede deducir que la mayor ocurrencia se da en las temporadas de lluvia siendo el trimestre de marzo a mayo correspondiente a la primera temporada, cuando la mayor densidad de la población se está presentado hacia el sector de la estación de Fúquene (norte de la Sabana), con respecto a la ubicación de las otras estaciones.



a. Distribución para DEF *b. Distribución para MAM*



c. Distribución para JJA *d. Distribución para SON*

Figura 7-25.Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones actuales en los trimestres agroclimáticos.

▪ Distribución territorial del insecto para el año 2020

Para el caso de las posibles distribuciones de la plaga para el año 2020 de acuerdo a las condiciones climáticas dadas mediante el análisis de tendencias, se muestra en la Figura 7-26 una propensión a ser las temporadas de lluvia nuevamente las épocas con mayor población pero para este caso las condiciones más favorable se estarían presentado hacia los sectores ubicados al suroccidente de la Sabana

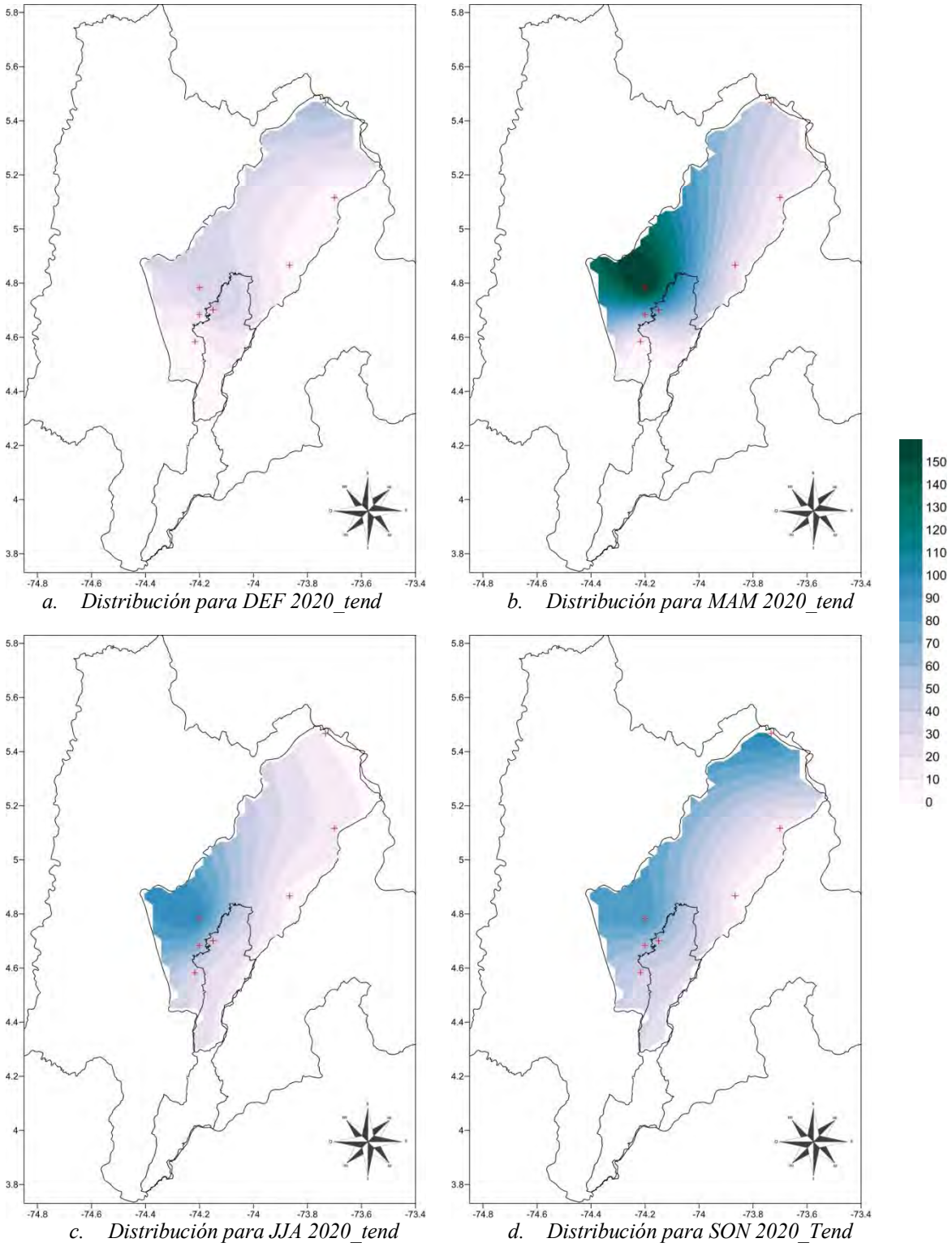
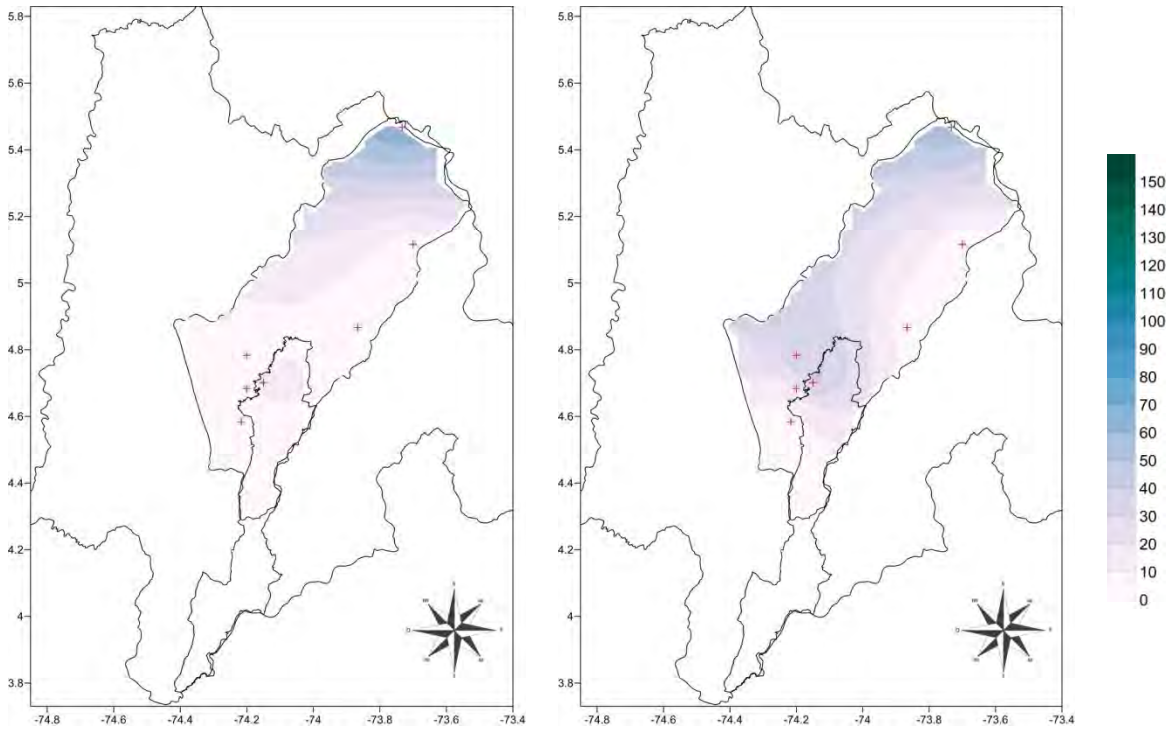
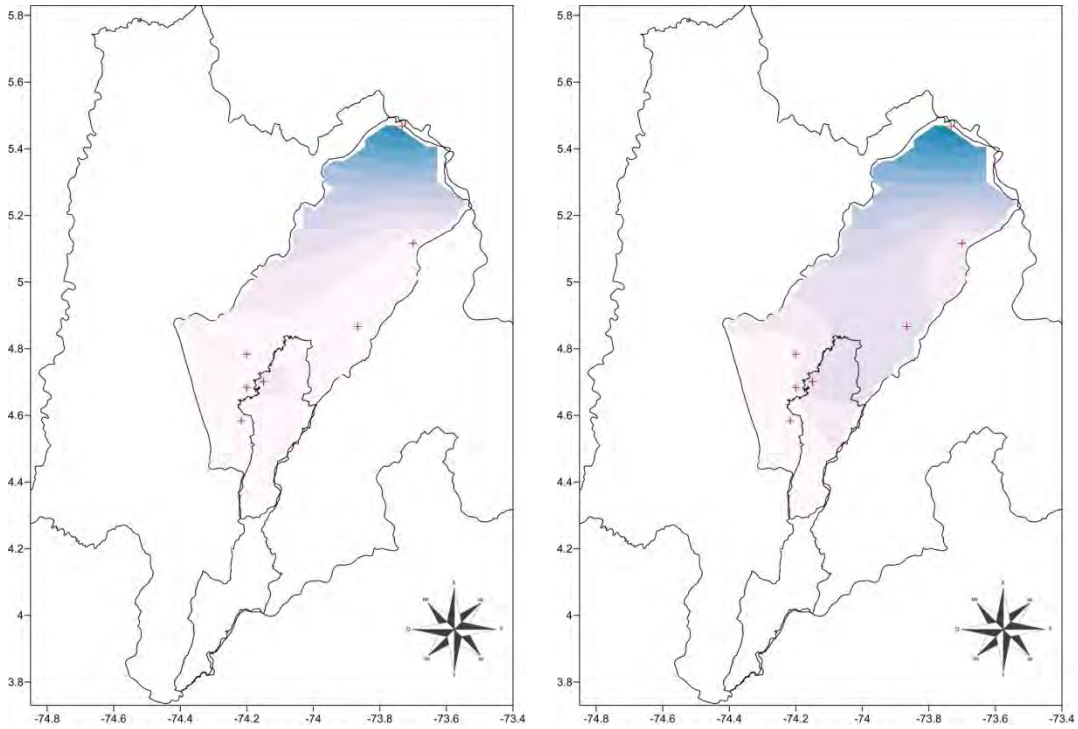


Figura 7-26. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 mediante el análisis de tendencias.

De acuerdo a las condiciones proyectadas para el año 2020 en el escenario A1B, las distribución de la población de esta especie (Figura 7-27) mantiene la mayor presencia hacia el sector de Fúquene y donde la estimaciones de plaga empiezan a ser mayor tanto para las temporadas de lluvia como las secas. La menor presencia se estima para el trimestre DEF y las mayores para SON.



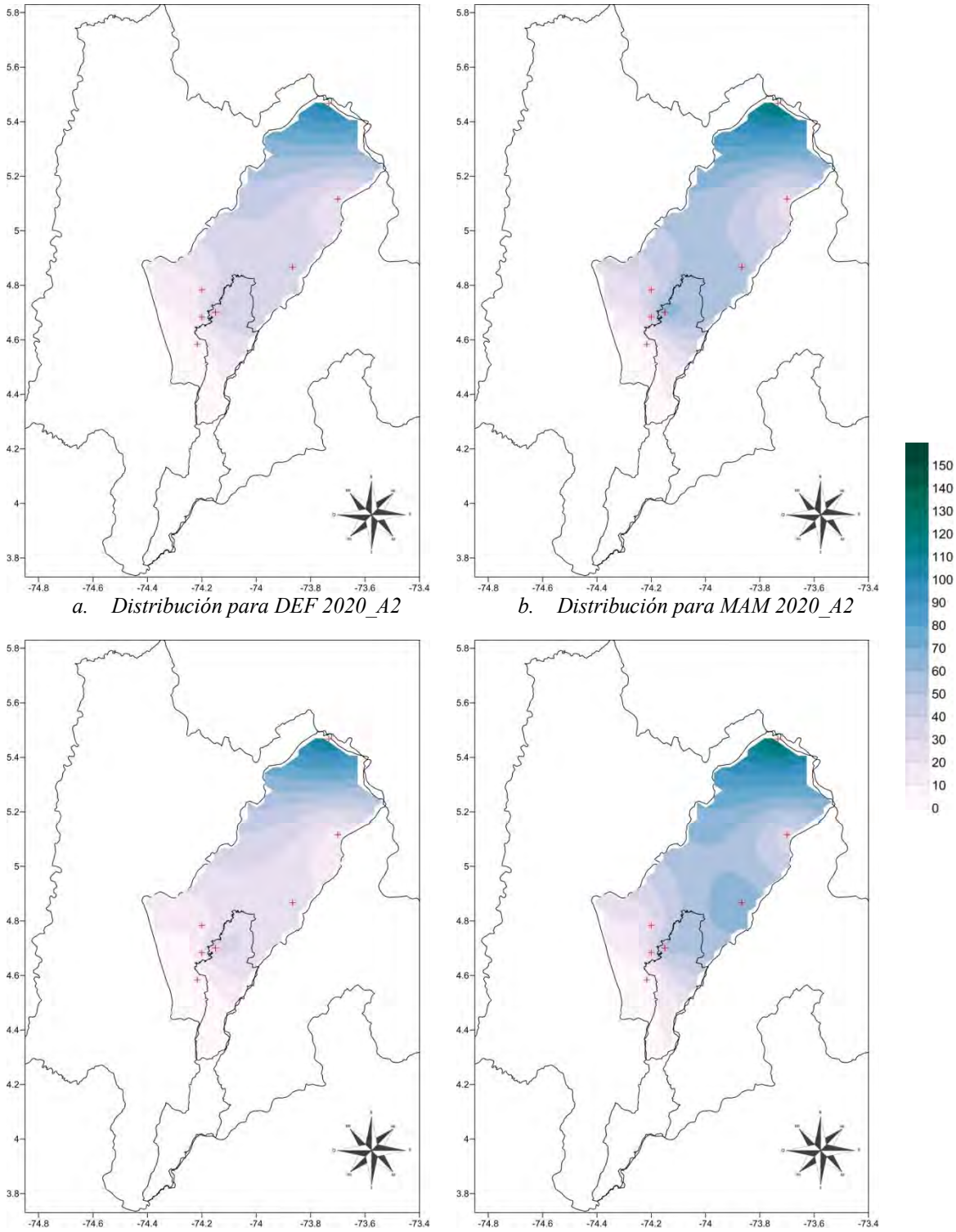
a. Distribución para DEF 2020_A1B *b. Distribución para MAM 2020_AB1*



c. Distribución para JJA 2020_A1B *d. Distribución para SON 2020_A1B*

Figura 7-27. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 en el escenario A1B.

En el caso de la distribución para las condiciones dadas en el escenario A2, representado en Figura 7-28, se considera un aumento de la población en la sabana de Bogotá en los cuatro trimestres agroclimáticos y se mantiene la característica de que la situación climática presentada hacia el norte tiene mayor beneficio en el desarrollo de la plaga. De igual manera para estas estimaciones las temporadas secas presentan menor cantidad de población con relación a las temporadas de lluvia pero se hace más significativa al confrontarlo con la situación actual.



a. Distribución para DEF 2020_A2

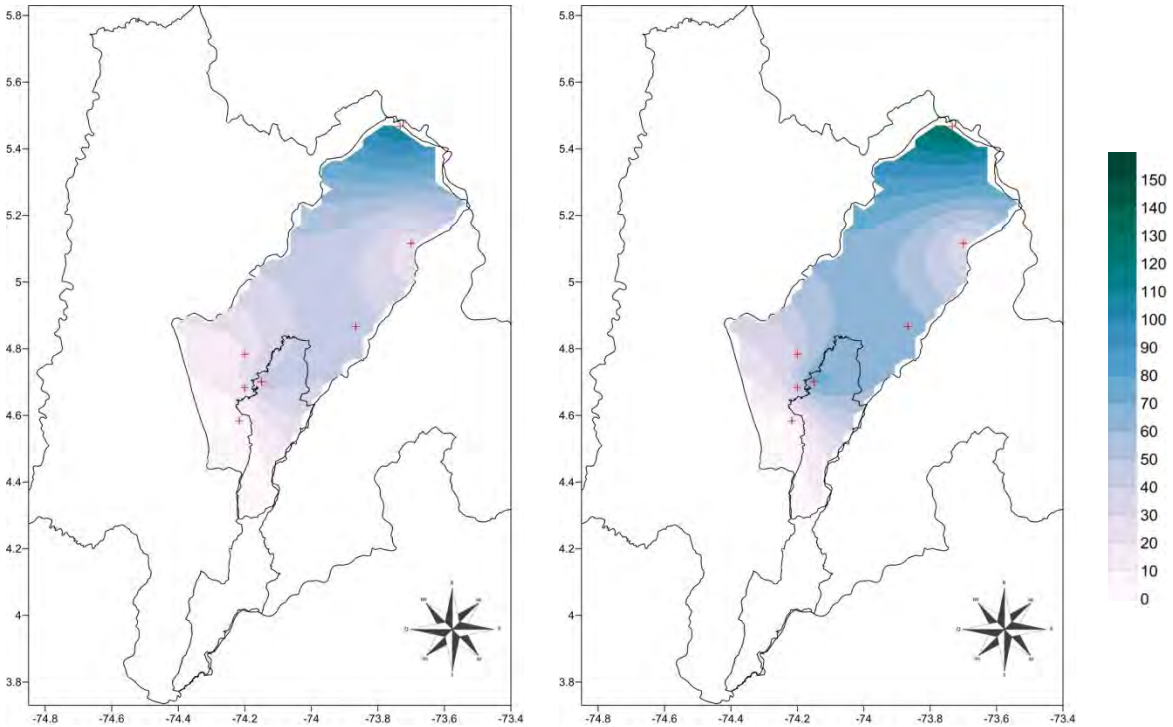
b. Distribución para MAM 2020_A2

c. Distribución para JJA 2020_A2

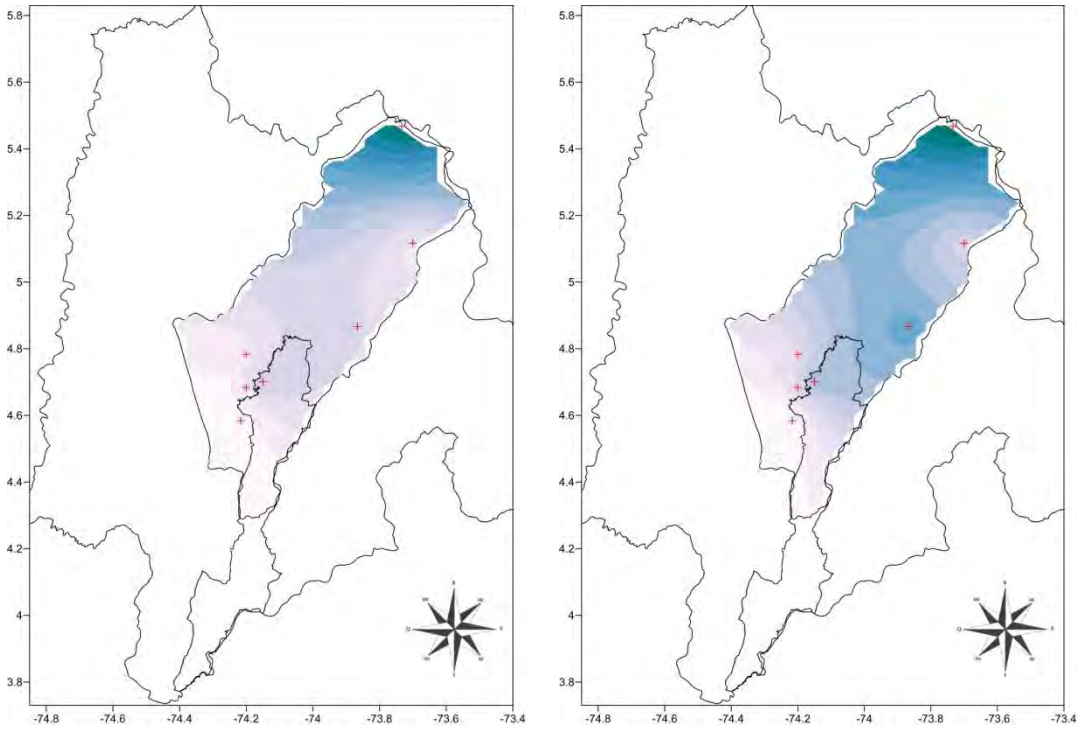
d. Distribución para SON 2020_A2

Figura 7-28. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 en el escenarioA2.

Al observar la Figura 7-29 correspondiente a la distribución de la plaga con respecto a las estimaciones dadas para el escenario B2, se identifica un comportamiento muy similar a lo determinado para el escenario A2, característica que se ha venido evidencia desde los análisis en la sección anterior. Se observan aumentos de la presencia de plaga para toda la región de Sabana, se considera que todas las temporadas tienden a ser vulnerables pero donde las épocas de lluvias mantiene la mayor abundancia y la zona de Fúquene presenta elevados valores.



a. Distribución para DEF 2020_B2 *b. Distribución para MAM 2020_B2*



c. Distribución para JJA 2020_B2 *d. Distribución para SON 2020_B2*

Figura 7-29. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 en el escenario B2.

▪ Estimación de la población para el año 2030

Las consideraciones de cambios potenciales de población del insecto para el 2030 se hacen únicamente para los escenarios de cambio climático ya que se considera que las tendencias estadísticas serían alteradas en el clima del futuro, es decir, la precipitación no va aumentar o disminuir paulatinamente a una tasa de cambio constante (Jones, et al., 2004) En la naturaleza atmosférica, los procesos no son lineales, siempre hay una variabilidad climática, que modifica los promedios y otros estadísticos de los patrones, por lo cual la implementación de tendencias estadísticas no es recomendable para periodos de tiempo futuro lejanos.

Las estimaciones de la población para el año 2030 mostradas a continuación, son comparadas con la situación actual dada para 2020. En la Figura 7-30 se representan las consideraciones del insecto para la estación de Mosquera, en donde el escenario A1B proyecta una tendencia al crecimiento durante la segunda temporada de lluvias del año con valores similares a la primera temporada; los cambios no son notorios pero de acuerdo al anexo F donde se consideran las demás estaciones de esta zona de la Sabana se estiman crecimientos, resultando las temporadas de lluvia con valores más altos que las actuales.

En los escenarios A2 y B2 la población tiende a aumentar para todos los trimestres, siendo mayor que lo estimado en el presente y en el 2020 y donde las temporadas de lluvia serán las épocas más favorables para la plaga.

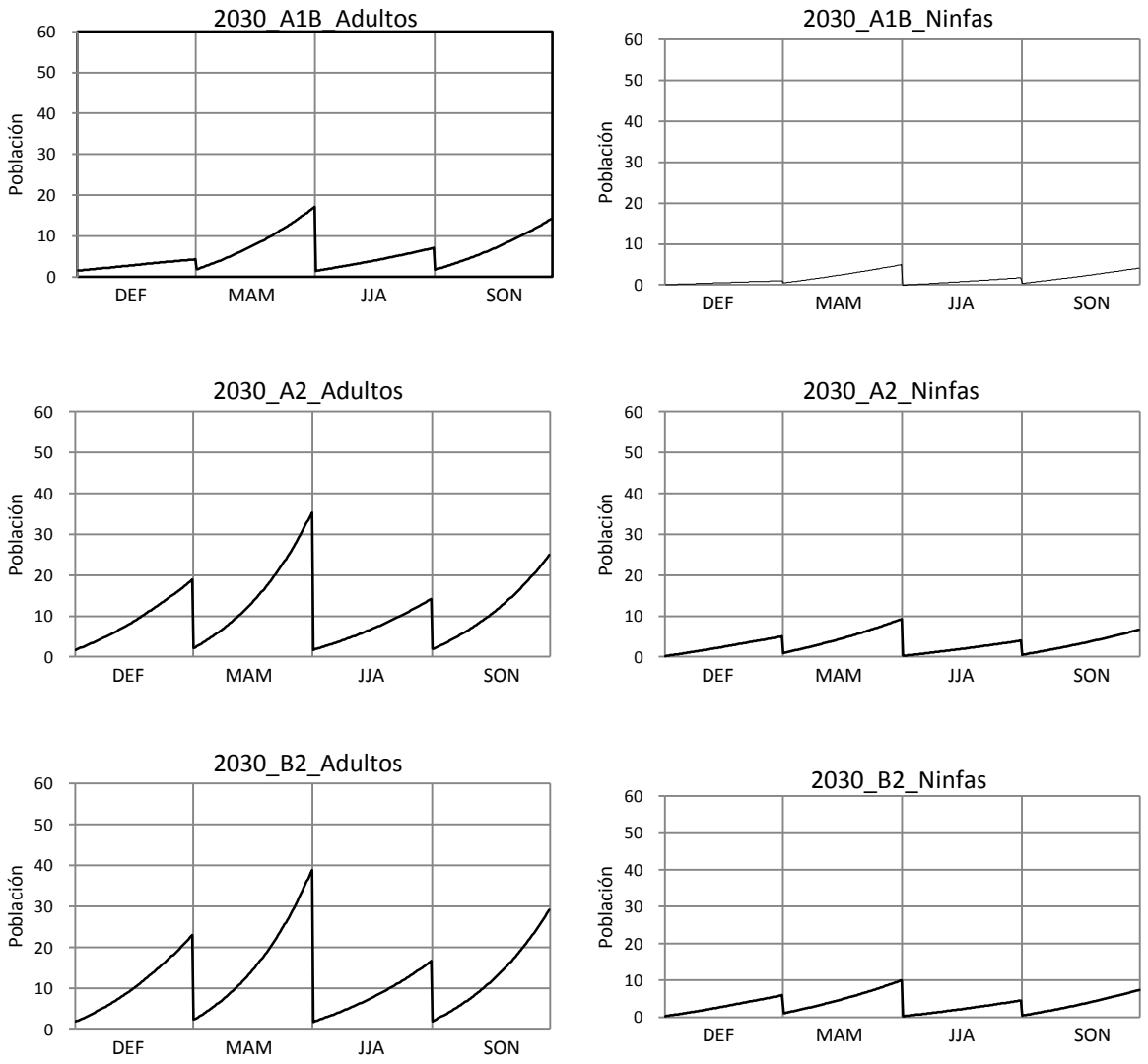


Figura 7-30. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a del 2030 en los escenarios A1B, A2 y B2 para la estación de Tibaitata.

Los aumentos durante el trimestre SON se observan también en la Figura 7-31 correspondiente a las proyecciones para 2030 en la estación de Guasca. Este aumento es evidente para todos los escenarios superando los valores de MAM, que en la actualidad son los de mayor riesgo. Los escenarios A2 y B2 estiman importantes aumentos en todos los trimestres para ninfas y adultos,

mientras que los incrementos para A1B son considerables para las épocas de lluvia pero no tanto para las secas.

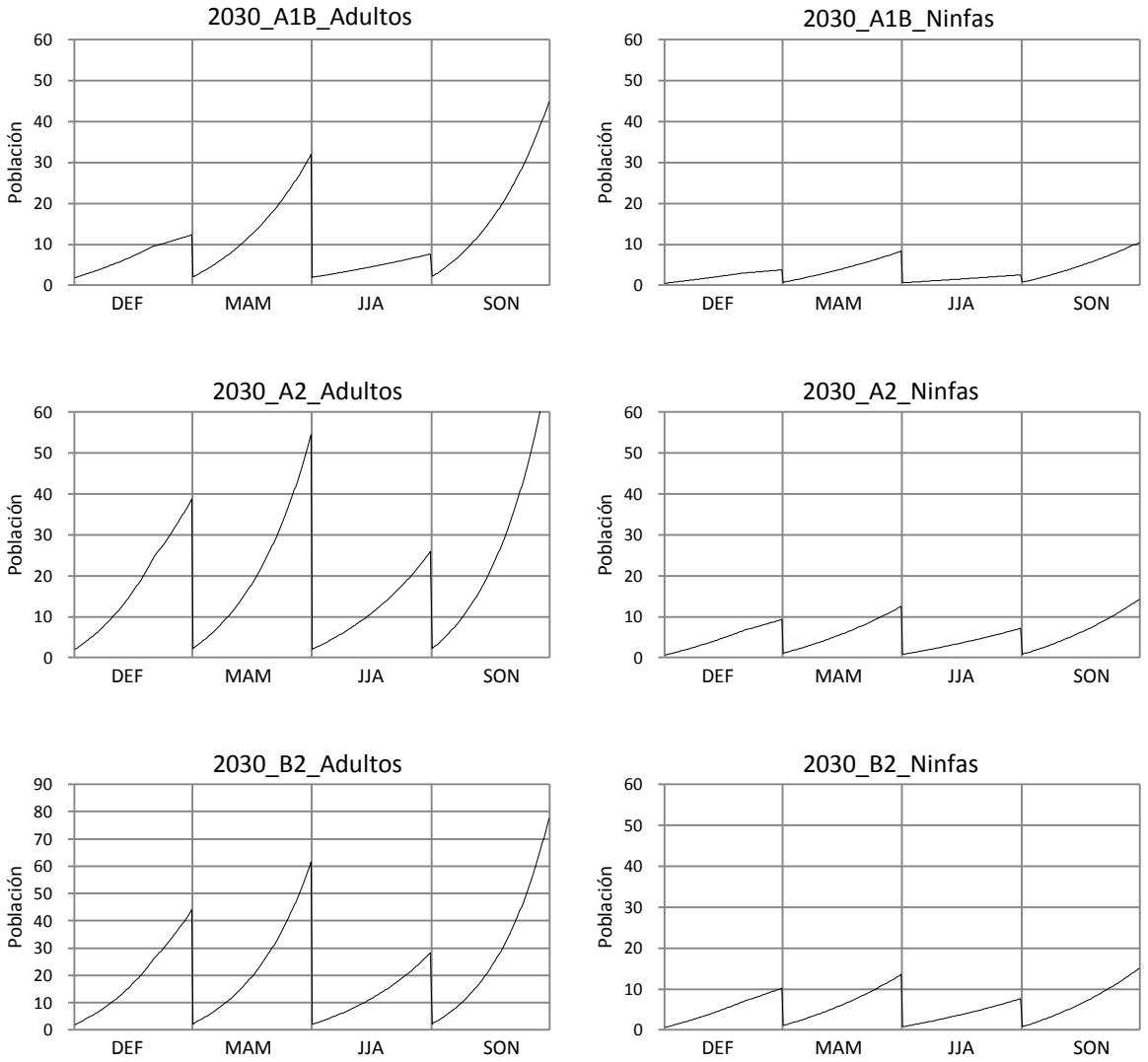


Figura 7-31. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del 2030 en los escenarios A1B, A2 y B2 para la estación de Guasca

La situación para Chocontá (Figura 7-32) para el año 2030 es similar a la presentada en Mosquera y Guasca donde se observan aumentos en la población pero para el escenario A1B son mayores en las temporadas de lluvia, mientras que para los escenarios A2 y B2 el crecimiento se da tanto en las temporadas secas como de lluvia, manteniéndose mayores las poblaciones para estas últimas.

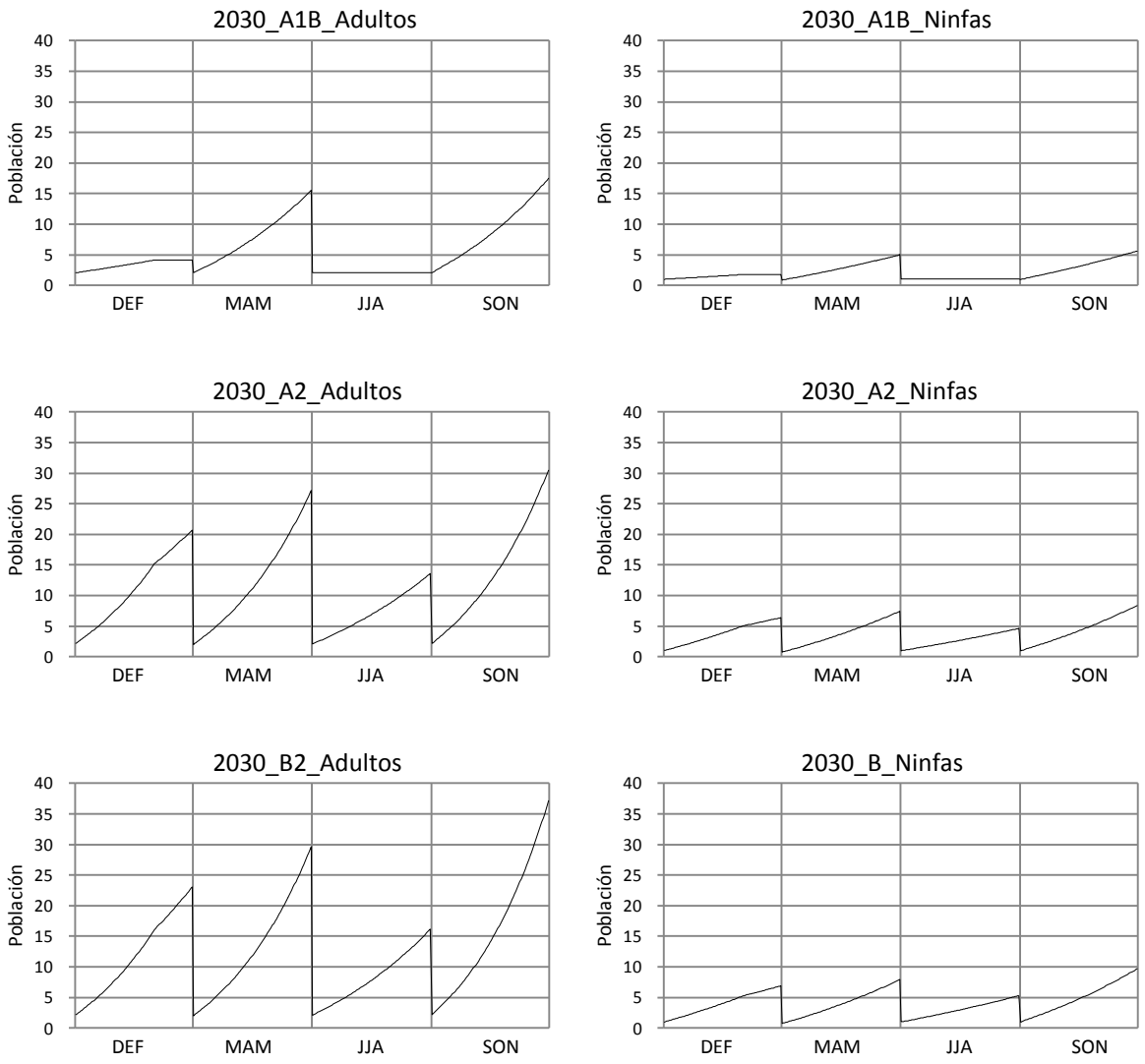


Figura 7-32. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del 2030 en los escenarios A1B, A2 y B2 para la estación de Chocontá

Para la estación de Fúquene las estimaciones observadas en la Figura 7-33 indican que la población para este sector se incrementaría con respecto a la situación actual y la proyectada a 2020, detectándose importantes aumentos para todo el año. Las poblaciones de ninfas y adultos de los trimestres JJA y SON nivelan el valor de MAM, y DEF es el período de menor cantidad, sin dejar de ser considerable. Estas características se repiten en los tres escenarios.

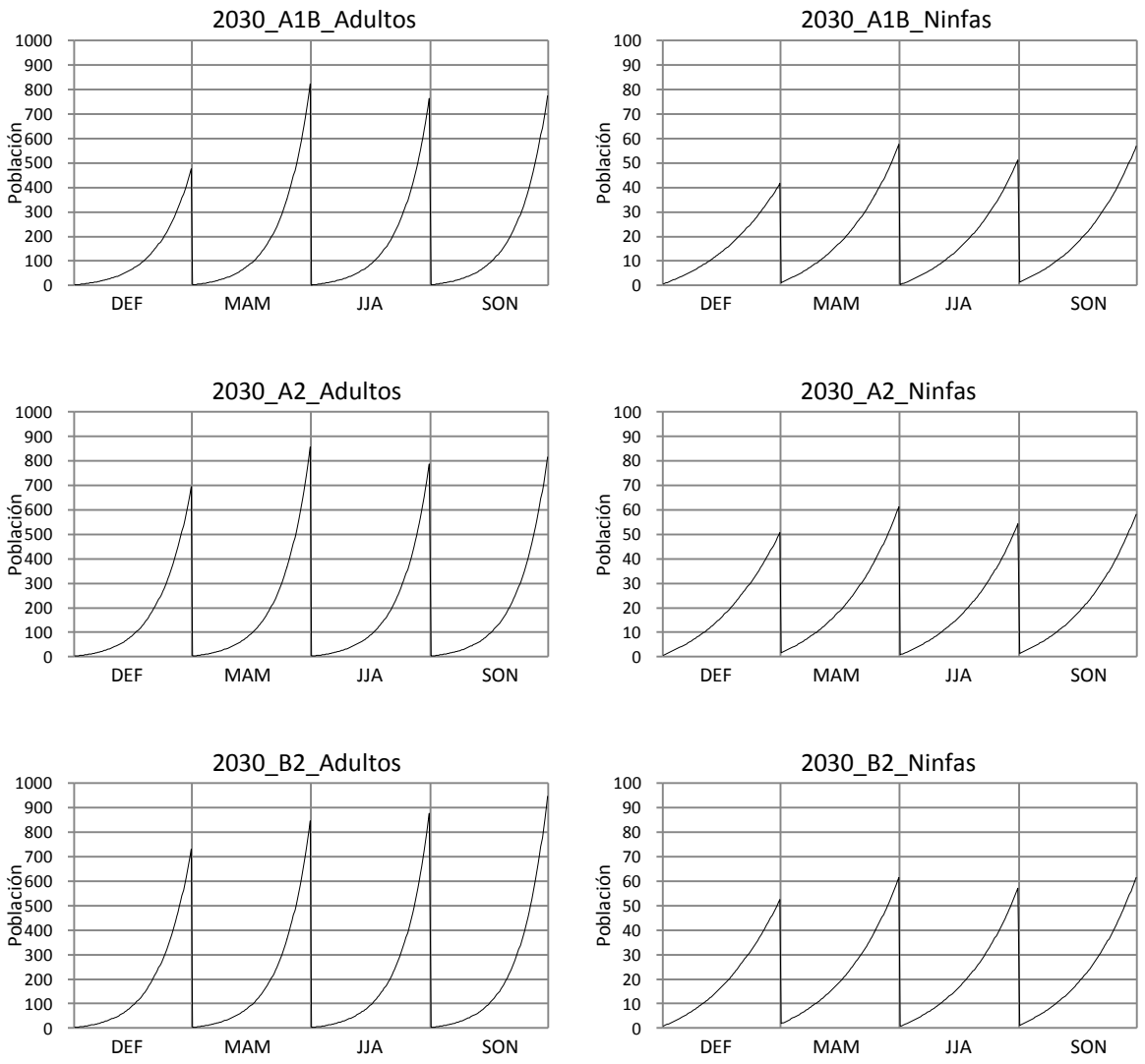
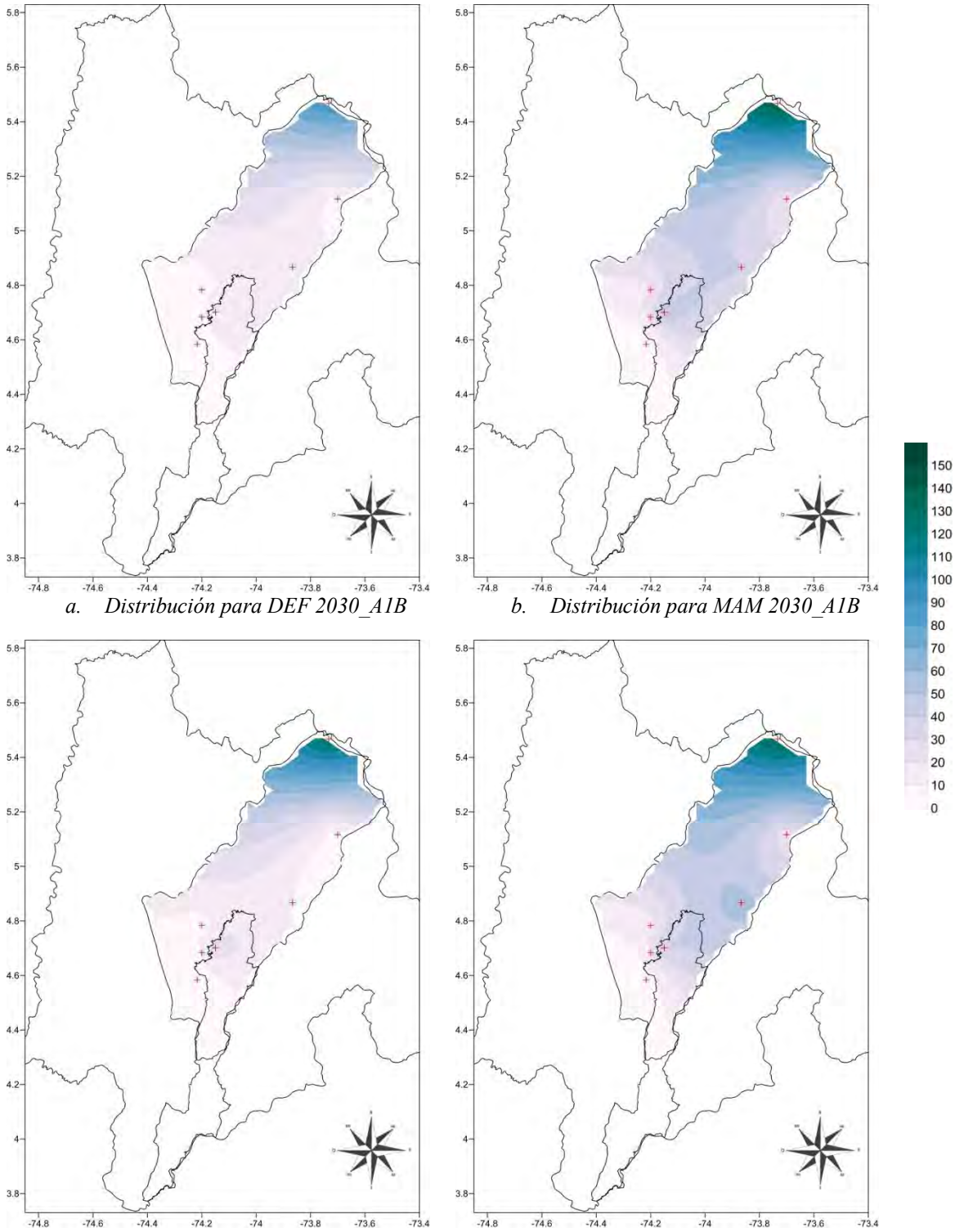


Figura 7-33. . Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del 2030 en los escenarios A1B, A2 y B2 para la estación de Fúquene.

▪ Distribución territorial del insecto para el año 2030

De la misma manera que para la situación actual y las estimaciones al año 2020, se estableció la distribución espacial de la plaga en la sabana de Bogotá en los diferentes trimestres agroclimáticos del año 2030 de acuerdo a las condiciones climáticas determinadas para los escenarios A1B, A2 y B2.



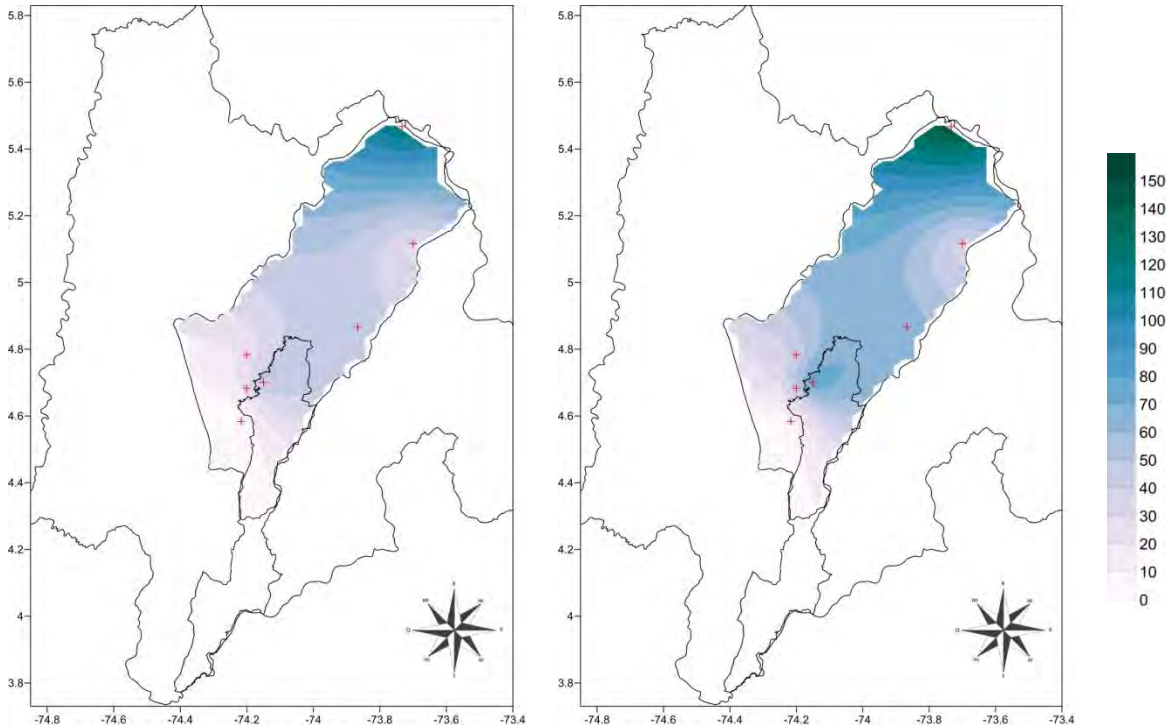
a. Distribución para DEF 2030_A1B *b. Distribución para MAM 2030_A1B*

c. Distribución para JJA 2030_A1B *d. Distribución para SON 2030_A1B*

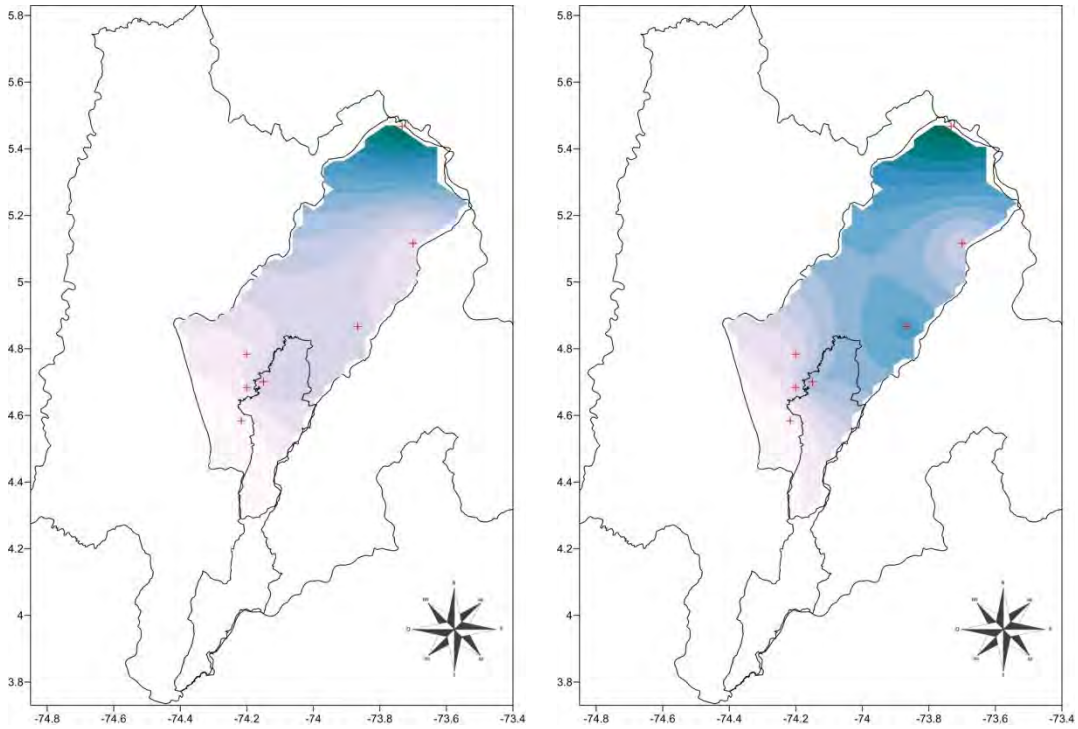
Figura 7-34. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2030 en el escenario A1B.

En la Figura 7-34 se observa la distribución planteada para el escenario A1B, en la cual se estima un aumento de la población con respecto al año 2020 mostrando un crecimiento a través del tiempo de esta especie en la Sabana, conservándose las características de la mayor presencia para los trimestres MAM y SON, pero se establece que en las temporadas DEF y JJA aumentan considerablemente las poblaciones en relación con los años precedentes.

Los escenarios A2 y B2, representados en la Figura 7-35 y Figura 7-36 respectivamente, manifiestan una presencia de plaga aun mayor que para el año 2020, indicando que la especie se adaptará a las condiciones climáticas proyectadas para la sabana de Bogotá, generando un aumento en la abundancia de la plaga. Los periodos de lluvia corresponderán a las épocas de mayor crecimiento de la población, sin dejar de ser las épocas secas altamente susceptibles.

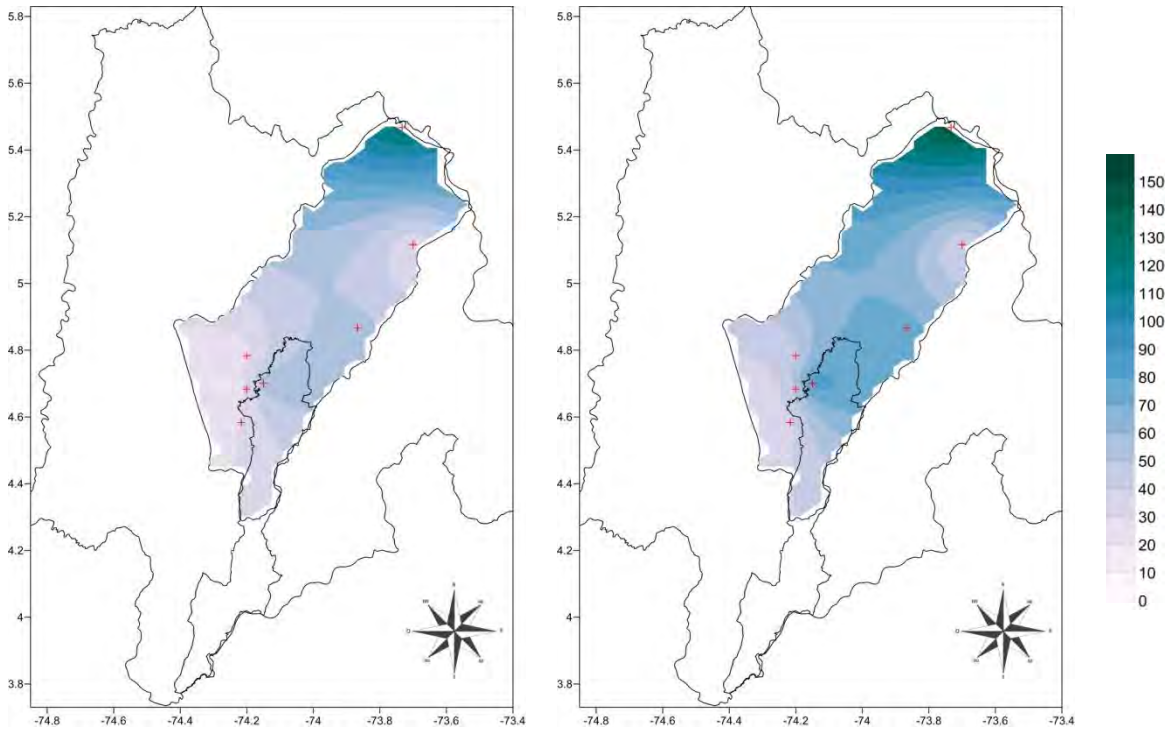


a. Distribución para DEF 2030_A2 *b. Distribución para MAM 2030_A2*

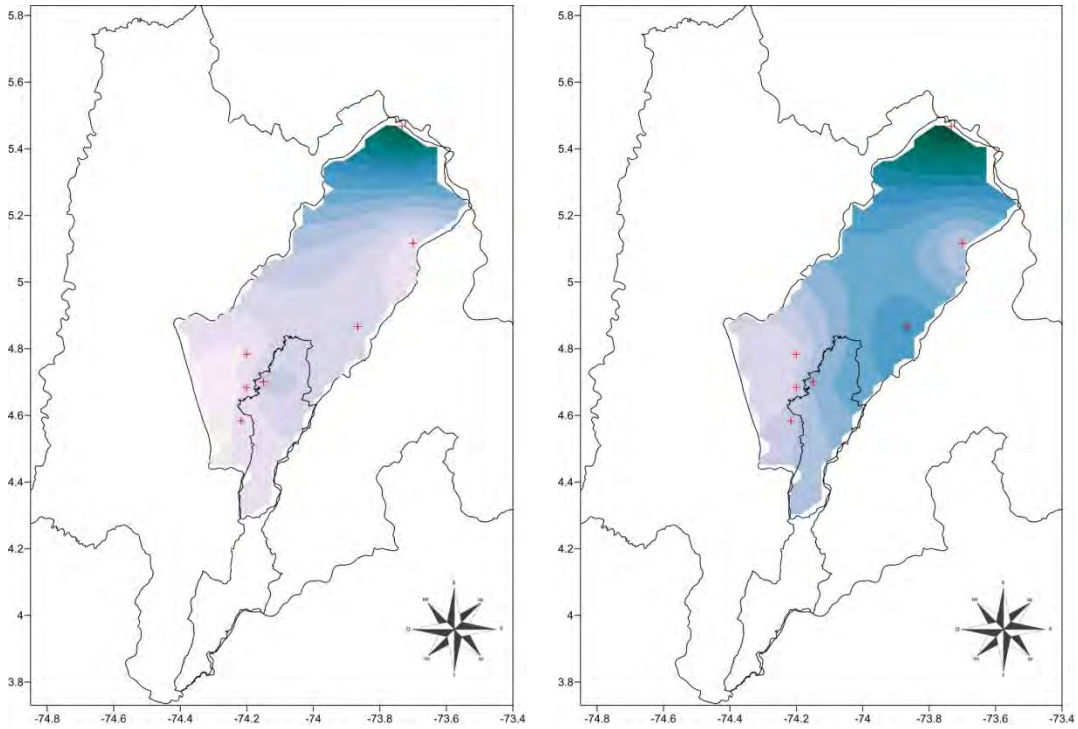


c. Distribución para JJA 2030_A2 *d. Distribución para SON 2030_A2*

Figura 7-35. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2030 en el escenarioA2



a. Distribución para DEF 2030_B2 *b. Distribución para MAM 2030_B2*



c. Distribución para JJA 2030_B2 *d. Distribución para SON 2030_B2*

Figura 7-36. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para el año 2020 en el escenario B2.

7.5. Análisis de variabilidad climática inter anual, en relación con las poblaciones del insecto

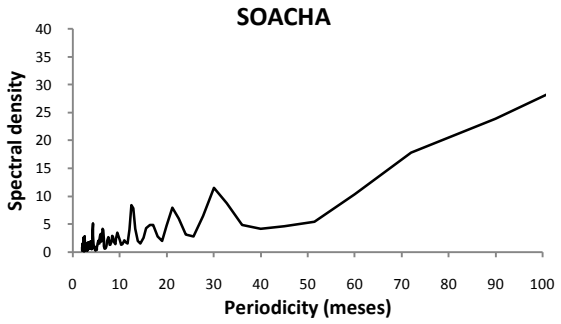
7.5.1. Análisis Espectral

Esta sección muestra los resultados de las transformadas rápidas de Fourier (FFT) de las series de tiempo de cada una de las estaciones seleccionadas para las variables de temperatura máxima, mínima, precipitación y evapotranspiración, para el periodo de 1980-2009, con el fin de identificar ciclos asociados con eventos El niño y La Niña. Se seleccionaron las 10 primeras periodicidades arrojadas por el análisis, consideradas las más sobresalientes en la señal. En estos análisis se utilizaron las anomalías de las variables climáticas.

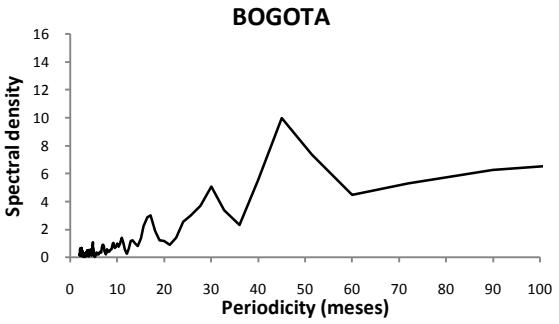
▪ Temperatura Máxima

En la Figura 7-3737 se destacan los primeros periodos mensuales para las FFT de la serie 1980-2009 de temperatura máxima para las estaciones representativas de la Sabana de Bogotá. Se observan picos espectrales sobresalientes en 40 y 45 meses que se pueden asociar a los periodos interanuales correspondientes a eventos El Niño y La Niña.

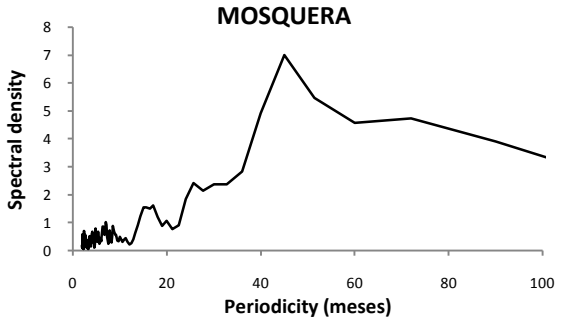
En la Tabla 7-13 se observan los resultados de las primeras diez periodicidades en años para la serie de temperatura máxima en todas las estaciones, donde se identifican en general periodicidades con mayor intensidad para ciclos de 10 años que se pueden asociar a la Oscilación decadal del Pacifico, como también se establecen periodos entre tres y siete años que se pueden relacionar con el ciclo de El Niño y La Niña.



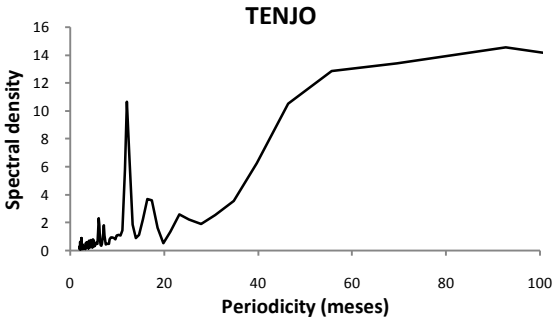
a. Estación de Gja. San Jorge



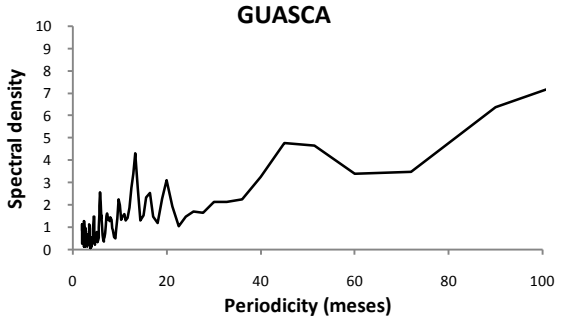
b. Estación El Dorado



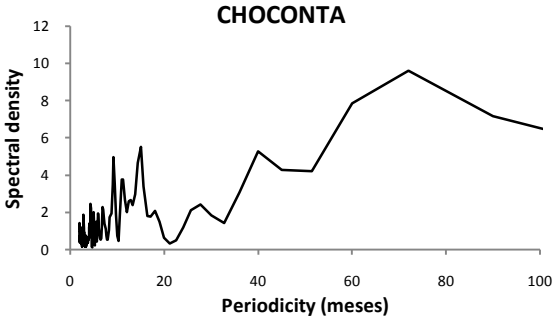
c. Estación de Tibaitata



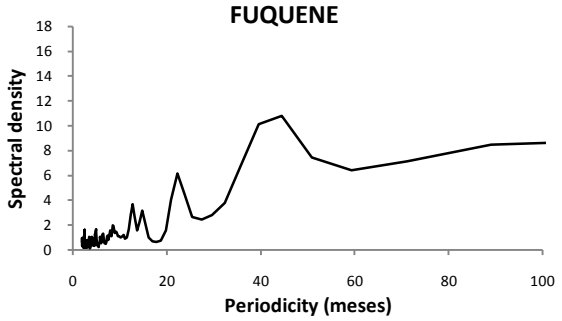
d. Estación de Tenjo



e. Estación de Guasca



f. Estación Silos



g. Estación Isla Santuario

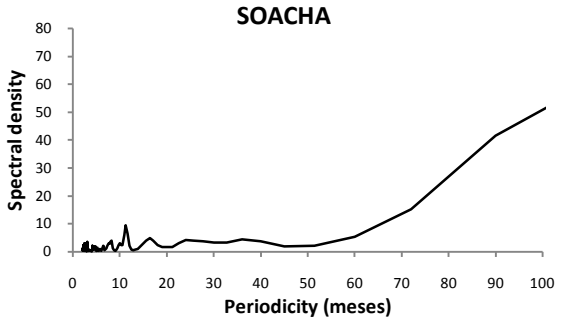
Figura 7-37. Espectros de temperatura máxima para la Sabana de Bogotá

Tabla 7-13. Resultados de las transformadas de Fourier para la serie de temperatura máxima en la Sabana de Bogotá

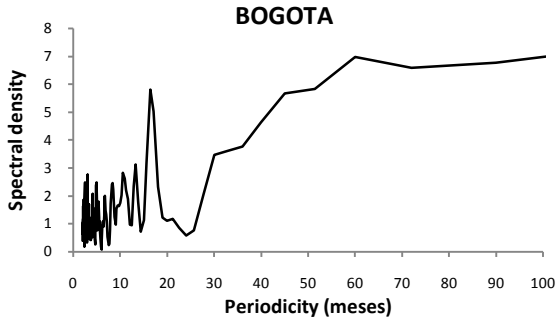
Soacha		Bogotá		Mosquera		Tenjo		Guasca		Chocontá		Fúquene	
Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)
35,8	10,0	12,3	15,0	7,0	3,8	14,5	7,7	8,6	10,0	9,6	6,0	13,3	14,8
34,9	15,0	10,0	3,8	5,5	4,3	13,4	5,8	6,5	15,0	7,9	5,0	10,8	3,7
23,8	7,5	7,4	4,3	4,9	3,3	12,9	4,6	6,4	7,5	7,2	7,5	10,1	3,3
17,8	6,0	7,0	10,0	4,7	6,0	12,3	11,6	4,8	3,8	5,5	1,3	8,8	9,9
11,5	2,5	6,3	7,5	4,6	5,0	10,7	1,0	4,7	4,3	5,3	3,3	8,5	7,4
10,4	5,0	5,5	3,3	3,9	7,5	10,5	3,9	4,3	1,1	5,2	10,0	7,4	4,2
8,7	2,7	5,3	6,0	2,8	3,0	6,8	23,2	3,5	6,0	5,0	0,8	7,1	5,9
8,4	1,0	5,1	2,5	2,4	2,1	6,6	1,1	3,4	5,0	4,7	1,2	6,7	3,0
7,9	1,8	4,5	5,0	2,4	2,5	6,2	3,3	3,4	1,1	4,4	15,0	6,4	4,9
7,8	1,1	3,7	2,3	2,4	2,7	5,8	1,0	3,2	3,3	4,3	3,8	6,2	1,9

▪ Temperatura Mínima

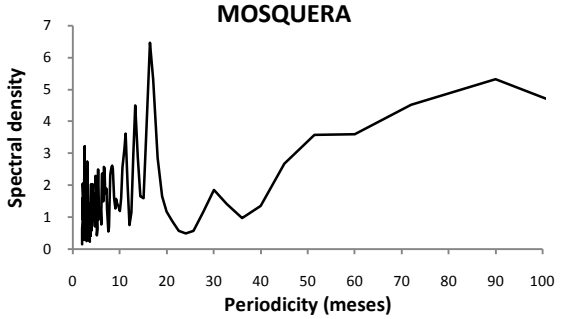
En la Figura 7-38 para el caso temperatura mínima, la identificación de las periodicidades que se puedan asociar ciclo de El Niño y La Niña es menos evidente que para la temperatura máxima, pues se manifiestan algunos ciclos con mayor densidad espectral como el de 16 meses; además se observa un periodo de 60 meses, que no es muy claro para todas las estaciones, pero que se podría relacionar con los eventos interanuales de interés. Para tener un mejor detalle de las periodicidades identificados en la series de temperatura mínima se puede analizar la Tabla 7-14 donde aprecian periodos de cuatro a siete años.



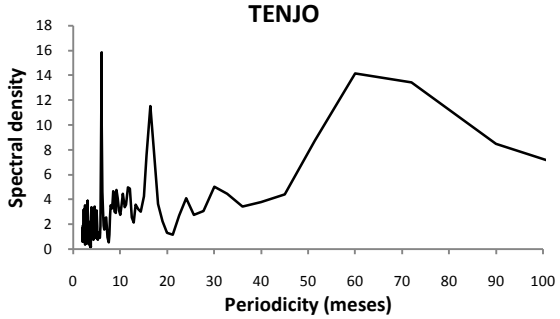
a. Estación de Gja. San Jorge



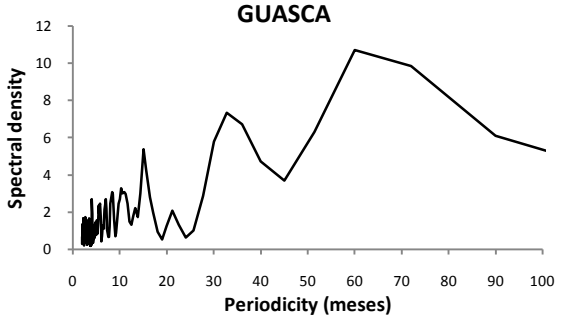
b. Estación El Dorado



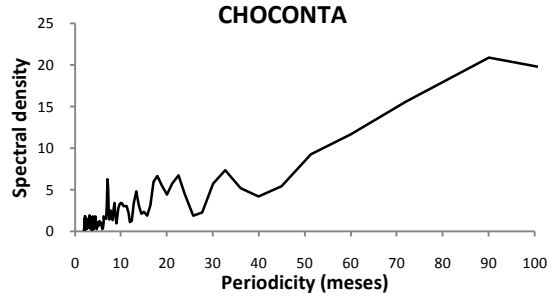
c. Estación de Tibaitata



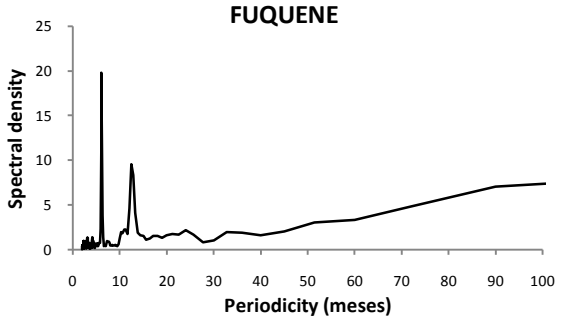
d. Estación de Tenjo



e. Estación de Guasca



f. Estación Silos



g. Estación Isla Santuario

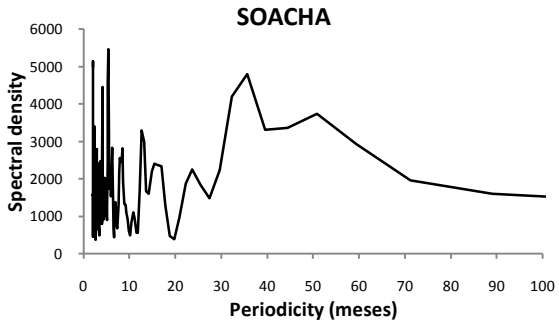
Figura 7-38. Espectros de temperatura Mínima para la Sabana de Bogotá

Tabla 7-14. Resultados de las transformadas de Fourier para la serie de temperatura mínima en la Sabana de Bogotá

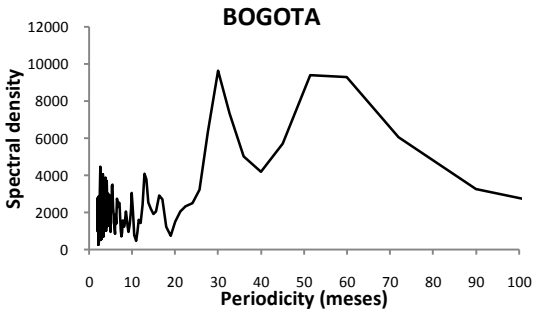
Soacha		Bogotá		Mosquera		Tenjo		Guasca		Chocontá		Fúquene	
Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)
69,4	10,0	7,4	10,0	6,5	1,4	15,9	0,5	10,7	5,0	20,9	7,5	19,8	0,5
62,6	15,0	7,0	5,0	5,3	7,5	14,2	5,0	9,8	6,0	17,8	10,0	12,1	0,5
41,5	7,5	6,8	7,5	5,3	1,4	13,4	6,0	7,3	2,7	15,6	6,0	11,5	15,0
15,2	6,0	6,6	6,0	4,5	6,0	11,5	1,4	6,7	3,0	11,6	5,0	10,8	0,5
9,5	0,9	5,8	4,3	4,5	1,1	10,0	0,5	6,3	4,3	9,2	4,3	9,5	1,0
6,5	1,0	5,8	1,4	3,6	10,0	8,8	4,3	6,1	7,5	8,1	15,0	8,3	1,1
6,1	0,9	5,7	3,8	3,6	0,9	8,7	0,5	5,8	2,5	7,3	2,7	7,9	10,0
5,4	5,0	5,0	1,4	3,6	5,0	8,5	7,5	5,4	1,3	6,7	1,9	7,1	7,5
5,0	1,4	4,7	15,0	3,6	4,3	8,3	1,4	4,7	3,3	6,7	1,5	4,8	6,0
4,3	3,0	4,6	3,3	3,5	1,3	7,5	1,3	4,3	1,3	6,2	0,6	4,6	1,0

▪ Precipitación

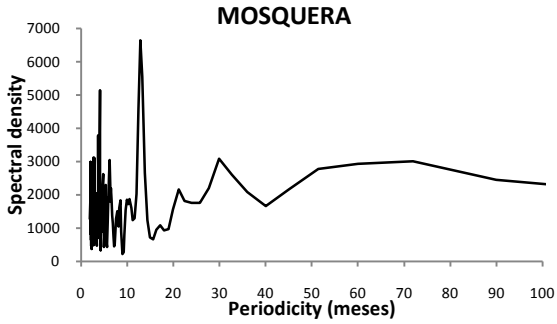
En la Figura 7-39 y en la Tabla 7-16 se aprecian los espectros para la serie de precipitación de las estaciones de la Sabana de Bogotá. Se detectan ciclos de mayor intensidad con periodos de 10 y 15 años, luego se evidencian periodicidades con alta intensidad entre los tres y siete años asociados a ciclos El Niño y La Niña.



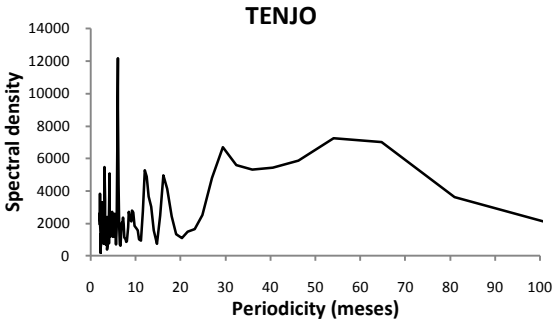
a. Estación de Gja. San Jorge



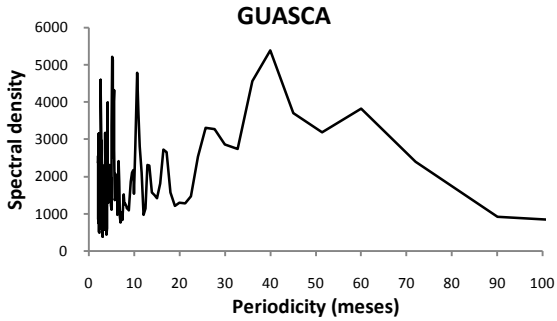
b. Estación El Dorado



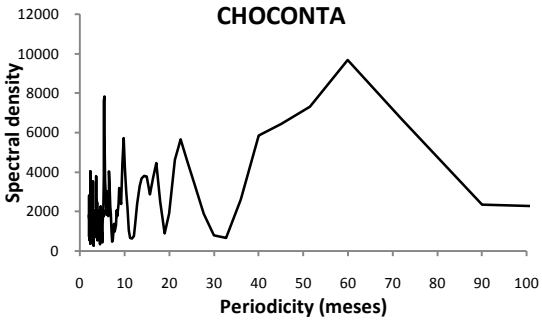
c. Estación de Tibaitata



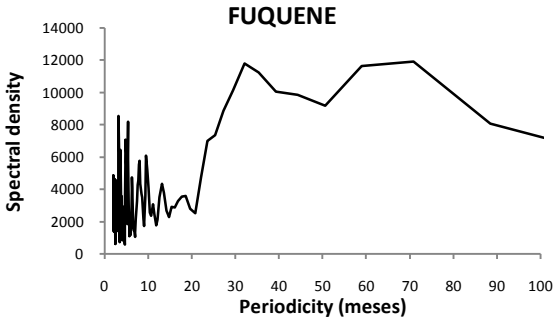
d. Estación de Tenjo



e. Estación de Guasca



f. Estación Silos



g. Estación Isla Santuario

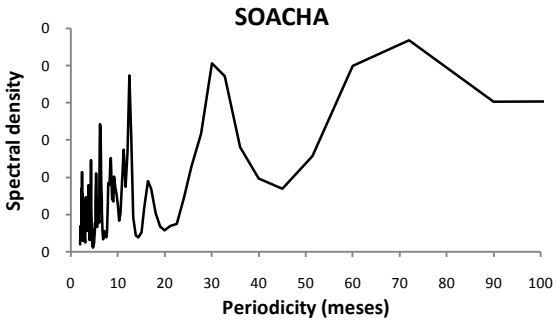
Figura 7-39. Espectros de la precipitación para la Sabana de Bogotá

Tabla 7-15. Resultados de las transformadas de Fourier para la serie de precipitación en la Sabana de Bogotá

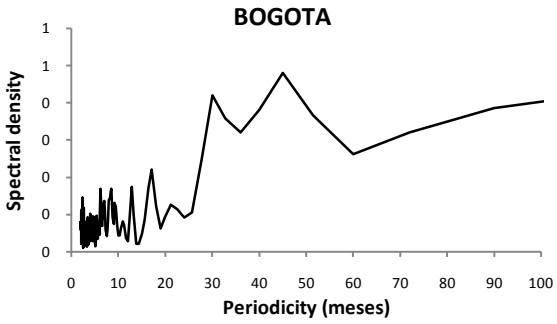
Soacha		Bogotá		Mosquera		Tenjo		Guasca		Chocontá		Fúquene	
Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)
178,0	14,8	120,0	10,0	180,0	15,0	162,0	13,5	72,0	6,0	180,0	15,0	177,0	14,8
118,7	9,9	90,0	7,5	120,0	10,0	108,0	9,0	60,0	5,0	120,0	10,0	118,0	9,8
89,0	7,4	72,0	6,0	90,0	7,5	81,0	6,8	51,4	4,3	90,0	7,5	88,5	7,4
71,2	5,9	60,0	5,0	72,0	6,0	64,8	5,4	45,0	3,8	72,0	6,0	70,8	5,9
59,3	4,9	51,4	4,3	60,0	5,0	54,0	4,5	40,0	3,3	60,0	5,0	59,0	4,9
50,9	4,2	45,0	3,8	51,4	4,3	46,3	3,9	36,0	3,0	51,4	4,3	50,6	4,2
44,5	3,7	40,0	3,3	45,0	3,8	40,5	3,4	32,7	2,7	45,0	3,8	44,3	3,7
39,6	3,3	36,0	3,0	40,0	3,3	36,0	3,0	30,0	2,5	40,0	3,3	39,3	3,3
35,6	3,0	32,7	2,7	36,0	3,0	32,4	2,7	27,7	2,3	36,0	3,0	35,4	3,0
32,4	2,7	30,0	2,5	32,7	2,7	29,5	2,5	25,7	2,1	32,7	2,7	32,2	2,7

▪ Evapotranspiración

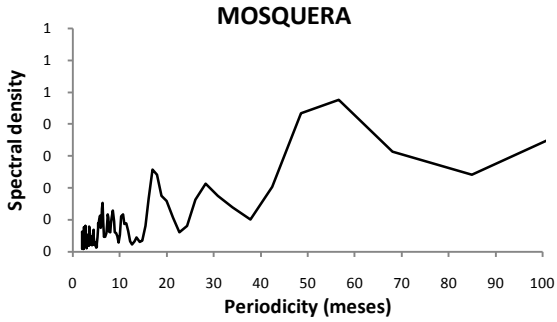
A partir de la Figura 7-40 y Tabla 7-16 se identifican ciclos con mayor intensidad correspondientes a 10 y 15 años, como se ha venido presentando en las anteriores series, y luego empiezan a aparecer periodicidades de tres a siete años que son las que se pueden asociar a ciclos El Niño y La Niña.



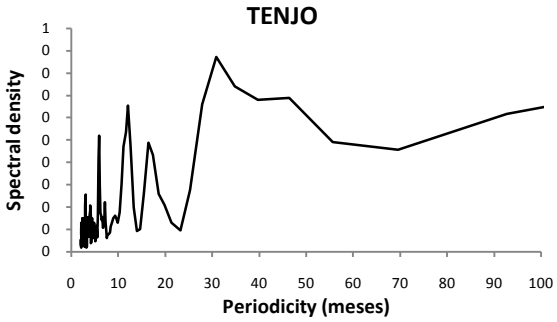
a. Estación de Gja. San Jorge



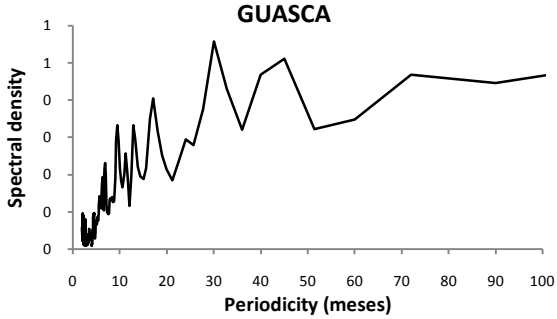
b. Estación El Dorado



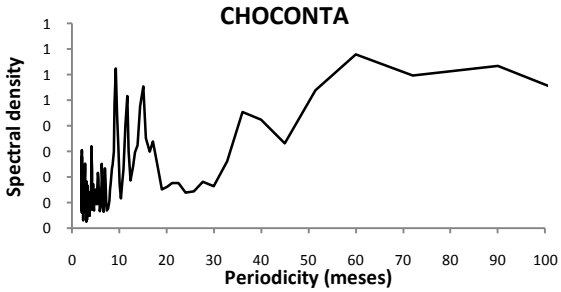
c. Estación de Tibaitata



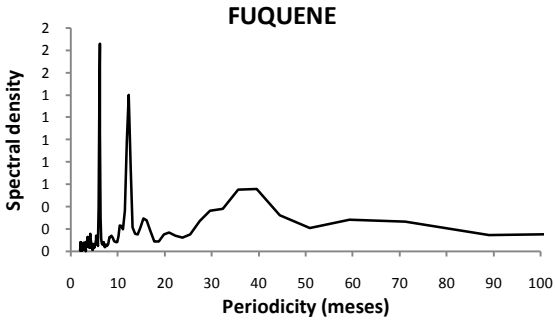
d. Estación de Tenjo



e. Estación de Guasca



f. Estación Silos



g. Estación Isla Santuario

Figura 7-40. Espectros de la evapotranspiración para la Sabana de Bogotá

Tabla 7-16. Resultados de las transformadas de Fourier para la serie de Evapotranspiración en la Sabana de Bogotá

Soacha		Bogotá		Mosquera		Tenjo		Guasca		Chocontá		Fúquene	
Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)	Densidad Espectral	Periodo (años)
180,0	15,0	180,0	15,0	170,0	14,2	139,0	11,6	180,0	15,0	120,0	10,0	178,0	14,8
120,0	10,0	120,0	10,0	113,3	9,4	92,7	7,7	120,0	10,0	90,0	7,5	71,2	5,9
90,0	7,5	90,0	7,5	85,0	7,1	69,5	5,8	90,0	7,5	72,0	6,0	59,3	4,9
72,0	6,0	72,0	6,0	68,0	5,7	55,6	4,6	72,0	6,0	60,0	5,0	44,5	3,7
60,0	5,0	60,0	5,0	56,7	4,7	46,3	3,9	60,0	5,0	51,4	4,3	39,6	3,3
51,4	4,3	51,4	4,3	48,6	4,0	39,7	3,3	51,4	4,3	45,0	3,8	35,6	3,0
45,0	3,8	45,0	3,8	42,5	3,5	34,8	2,9	45,0	3,8	40,0	3,3	32,4	2,7
40,0	3,3	40,0	3,3	37,8	3,1	30,9	2,6	40,0	3,3	36,0	3,0	29,7	2,5
36,0	3,0	36,0	3,0	34,0	2,8	27,8	2,3	36,0	3,0	17,1	1,4	27,4	2,3
32,7	2,7	32,7	2,7	30,9	2,6	25,3	2,1	32,7	2,7	16,4	1,4	16,2	1,3

▪ Correlaciones entre las Variables Climáticas y el Índice ONI

Mediante el análisis espectral de las series de temperaturas máximas y mínimas, precipitación y evapotranspiración se identificó la señal relacionada con eventos ENOS reflejando la influencia de este fenómeno sobre las series climáticas en la región de la Sabana de Bogotá.

Ya detectada esta señal en la zona de estudio se determinó mediante el coeficiente de correlación de las anomalías de las diferentes series y el índice oceánico ONI, el tipo de asociación que tiene el ciclo El Niño-Oscilación de Sur con las variables climáticas. El resultado de estos coeficientes para las diferentes estaciones meteorológicas se observan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en donde se evidencia una relación positiva para la temperatura máxima y la evapotranspiración con el ONI en todas las estaciones, excepto Chocontá, con una significancia de la correlación al nivel del 0.01, lo que quiere decir que cuando el ONI aumenta, los valores de estas variables también lo hacen y viceversa. Se puede entonces relacionar las condiciones El Niño (anomalías de la TSM mayores o iguales a 0.5°C) con incrementos de la temperatura máxima y la evapotranspiración, mientras que las condiciones La Niña (anomalías de la TSM memores o iguales a -0.5°C) se pueden asociar con disminuciones.

Entretanto las series de anomalías de precipitación manifiestan una relación negativa con el ONI con correlaciones significativas al nivel del 0.01, lo cual permite indicar que los aumentos de las anomalías de la TSM acarrearán disminuciones en la precipitación, por tanto a eventos El Niño corresponderán bajas precipitaciones y a eventos La Niña, aumentos en precipitación.

En el caso de las series de las anomalías de la temperatura mínima, en la Tabla 7-17 se observan valores de correlación bajos que no indican significancia por lo cual no se estima una relación clara de esta variable con las variaciones de la anomalías de la TSM. Por ello esta relación se establecerá mediante la comparación de los valores medios de las series de la temperatura mínima en eventos El Niño, La Niña y años neutros con los valores medios de toda la serie de 1980-2009, como se indicó en la sección de la metodología para la estimación de la población en el ciclo ENSO.

Tabla 7-17. Coeficientes de correlación y su p-valor entre el Índice Oceánico ONI y las anomalías de variables de precipitación, evapotranspiración y temperaturas máximas y mínimas

		Soacha	Bogotá	Mosquera	Tenjo	Guasca	Chocontá	Fúquene
ONI-Tmax	correlación	,349**	,493**	,433**	,570**	,182**	,132	,275**
	Sign.	,000	,000	,000	,000	,001	,012	,000
ONI-Tmin	correlación	,136	-,003	-,032	-,009	,001	-,138	,070
	Sign.	,010	,958	,546	,866	,989	,009	,186
ONI-PPT	correlación	-,141*	-,276**	-,186**	-,273**	-,155**	,049	-,241**
	Sign.	,009	,000	,000	,000	,004	,375	,000
ONI-Eto	correlación	,296**	,330**	,332**	,352**	,342**	,045	,203**
	Sign.	,000	,000	,000	,000	,000	,398	,000

**. La correlación es significativa al nivel 0,01(bilateral).

*. La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

7.5.2. Estimación de la población en el ciclo ENSO

- **Estimación de la población para el evento El Niño**

En la Figura 7-41 se muestra la estimación de ninfas y adultos para los cuatro trimestres agroclimáticos durante un evento El Niño para la estación de Mosquera; se observa que las ninfas tienen una mayor respuesta a la variación diaria de las condiciones climáticas ya que su fluctuación es más acentuada que para los adultos. De acuerdo a esta misma figura se estima que los trimestres correspondientes a las temporadas de lluvia presentan una gran tendencia el crecimiento tanto de ninfas como de adultos siendo MAM el período con mayor amenaza.

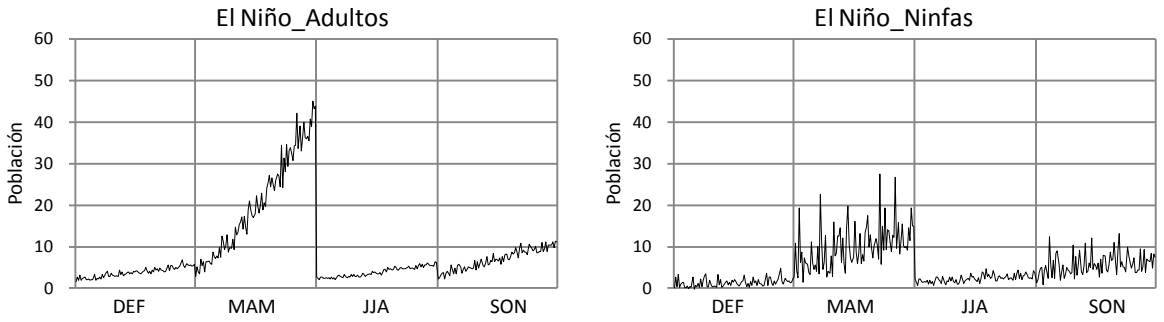


Figura 7-41. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Mosquera.

En el caso de Guasca representada en la Figura 7-42 el comportamiento de la plaga es muy similar a la presenta en la estación de Mosquera en la cual las mayores poblaciones se dan para la temporada de lluvias y MAM es el trimestre de mayor amenaza.

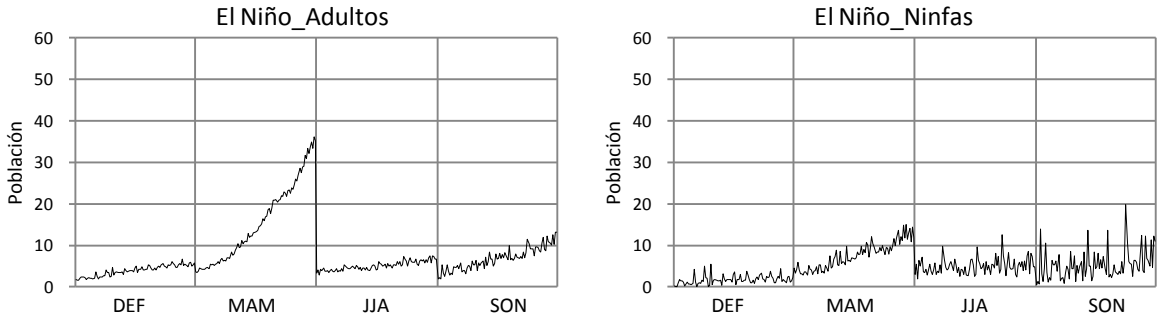


Figura 7-42. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Guasca.

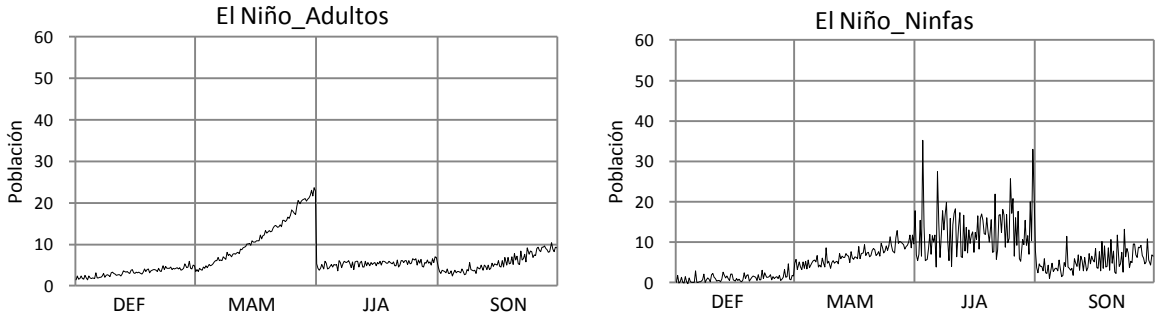


Figura 7-43. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Chocontá

Para la estación de Chocontá mostrada en la Figura 7-43 las condiciones favorecen al crecimiento de la plaga en las temporadas de lluvia; para este caso se presenta una mayor abundancia de las ninfas en la temporada seca de JJA.

La estación de Fúquene presenta los valores más grandes en la estimación tanto de ninfas como de adultos con respecto a las otras estaciones (Figura 7-44) y la presencia del fenómeno de El Niño se asocia con el crecimiento de la población en todos los trimestres agroclimáticos, con gran importancia la primera temporada seca DEF para los adultos. Igualmente se presenta una elevación significativa para el trimestre SON.

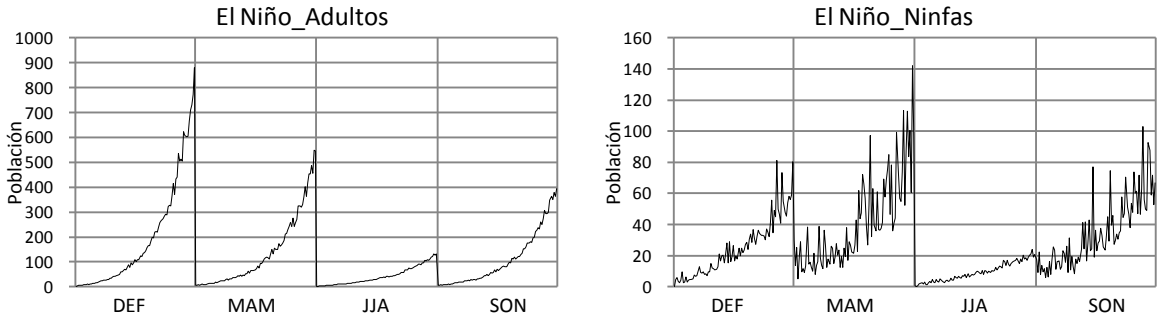


Figura 7-44. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Fúquene.

▪ Distribución territorial de la población del insecto en la Sabana en un evento de El Niño

De la mima manera que para los escenarios de cambio climático y con la misma escala se estimaron las distribuciones de la población de la plaga en la Sabana de Bogotá para las condiciones Niño (*Figura 7-45*). Se observa que el trimestre de MAM se mantiene como el periodo con mayor presencia de plaga durante todo el año, presentándose valores altos hacia el sur de la Sabana.

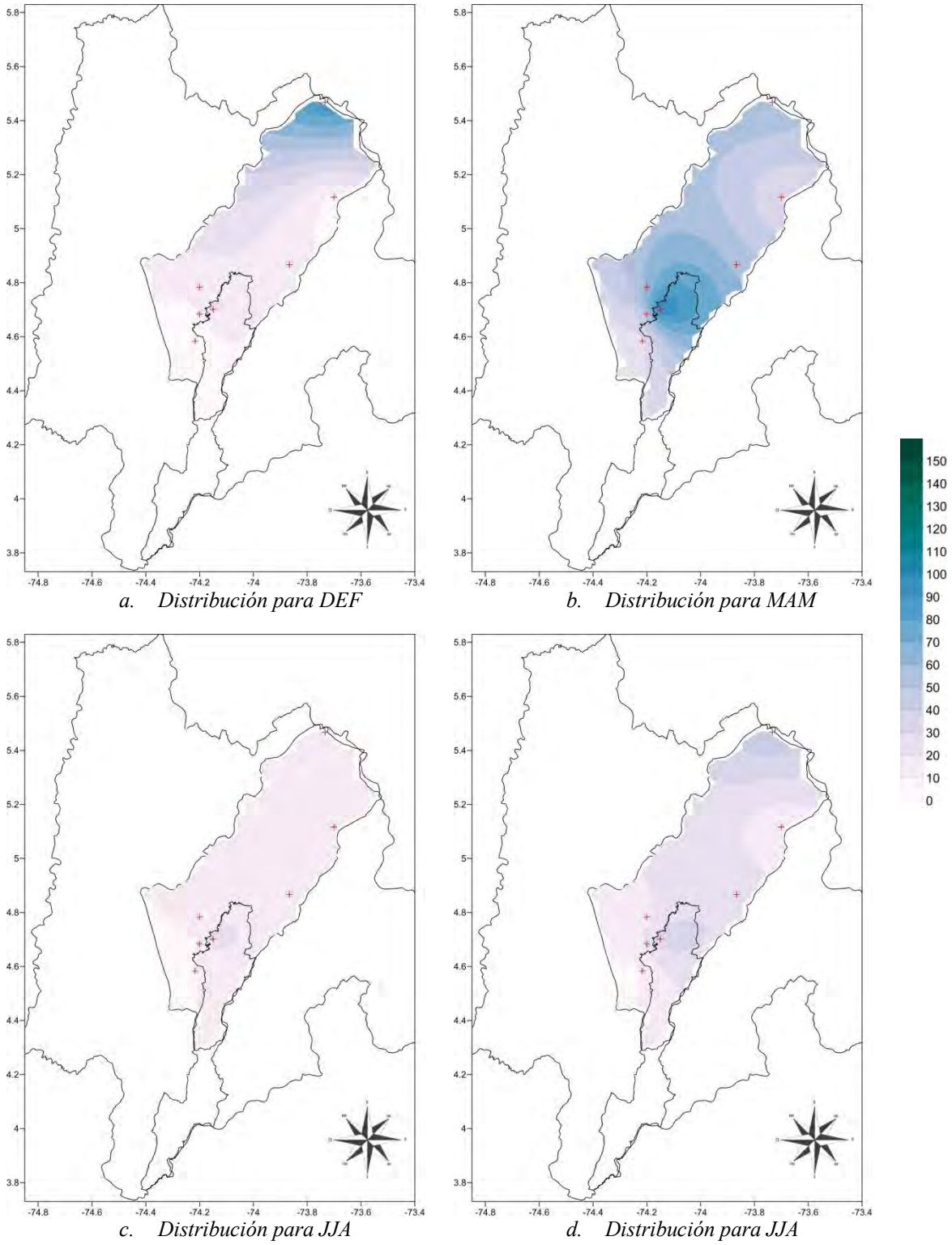


Figura 7-45. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para un año El Niño.

▪ Estimación de la población del insecto para el evento Niña

Si se observan las Figuras de la 7-46 a la Figura 7-49 correspondiente a la estimación de ninfas y adultos bajo el evento La Niña, se observa que las tendencias de aumento en cada una tienen las mismas característica presentadas anteriormente pero con menor diferencias de población entre trimestres, manteniéndose por tanto la abundancia de la plaga uniforme durante el año. Además la cantidad de plaga es menor bajo este evento climático que para la El Niño, sin dejar de ser importantes.

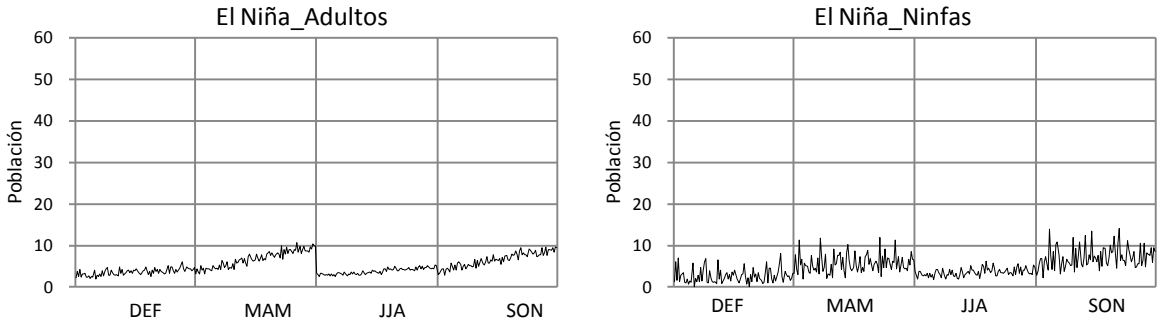


Figura 7-46. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Mosquera

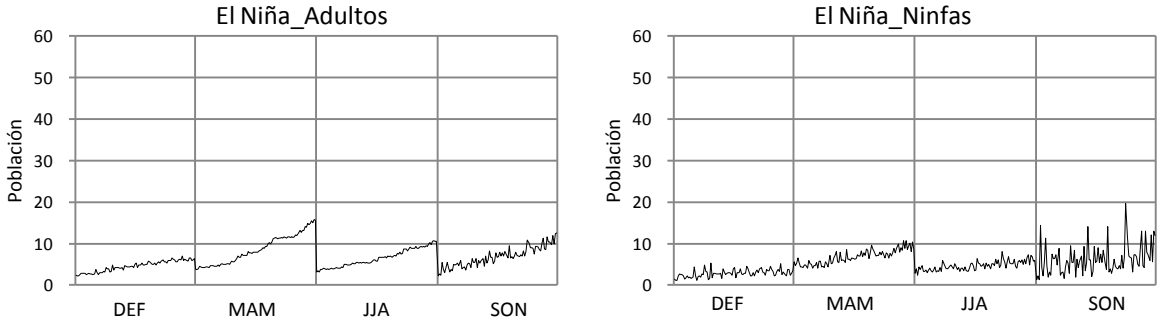


Figura 7-47. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Guasca.

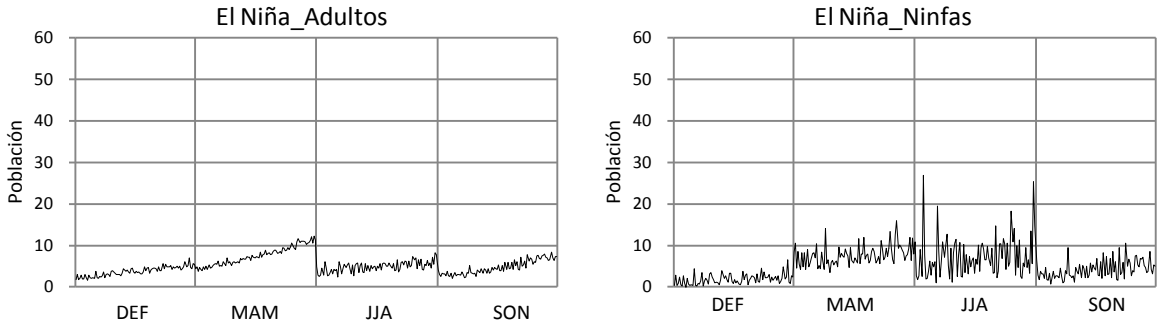


Figura 7-48. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Chocontá

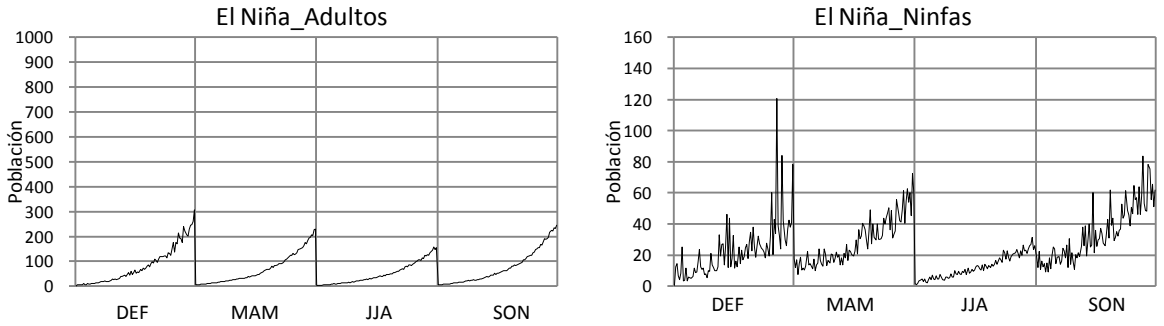


Figura 7-49. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Fúquene.

▪ Distribución territorial del insecto en la Sabana en un evento de La Niña

Para las condiciones La Niña, la distribución de la \plaga se mantiene con mayor presencia durante las épocas de lluvia pero con menor tendencia al crecimiento que en el caso de El Niño. Esto se puede relacionar al hecho de que durante los episodios la Niña existe una gran disponibilidad de agua que evidentemente se ha considerado importante para la especie pero la disponibilidad de energía a partir de la acumulación de calor no es suficiente para que la plaga se desarrolle, como si lo hace durante El Niño donde esta cantidad si es mayor y aprovecha el agua de las épocas de lluvia.

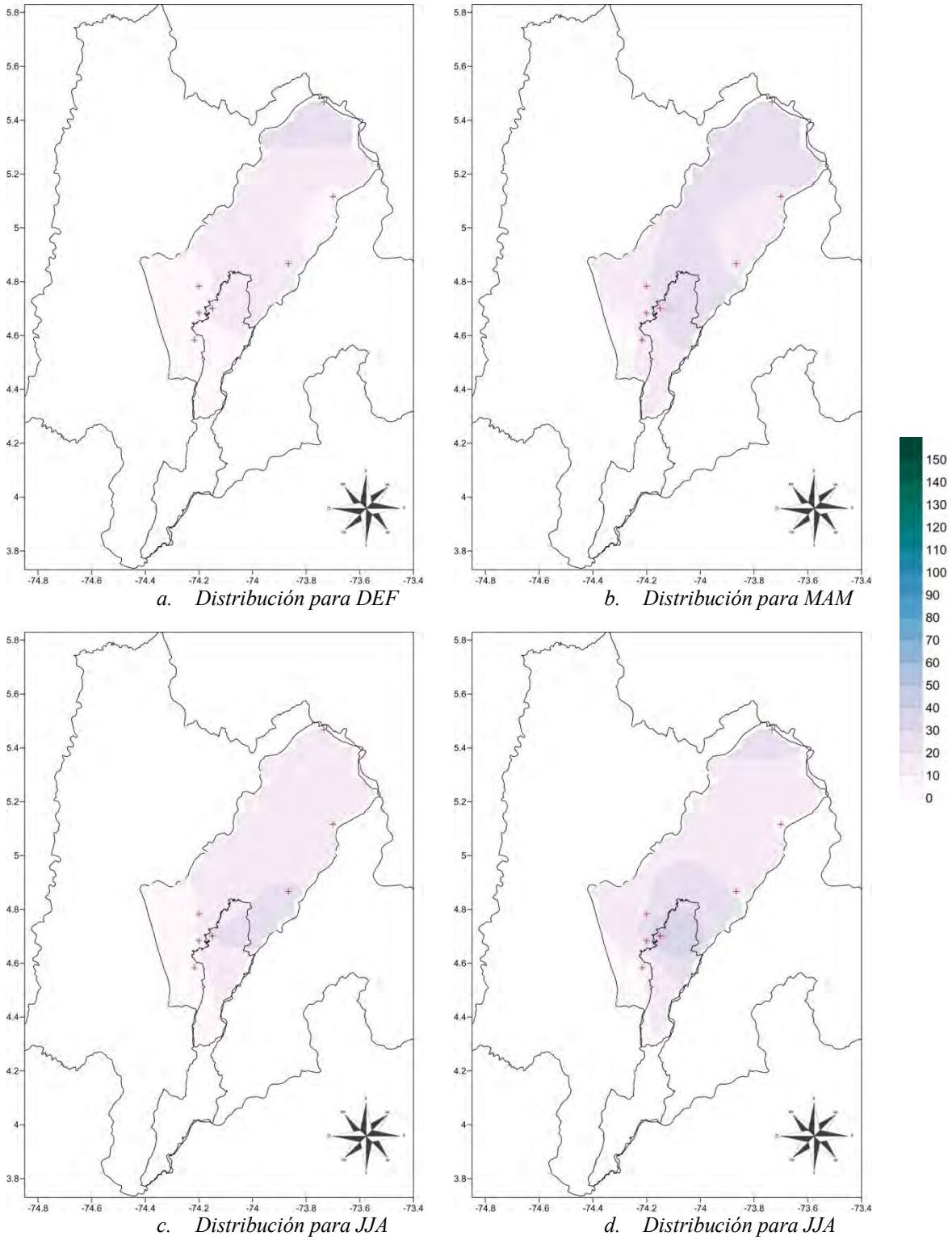


Figura 7-50. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para un año La Nina.

▪ Estimación de la población para Un año Neutro

Las estimaciones de presencia de la plaga bajo las condiciones de un año neutro para las diferentes estaciones se representan en la Figura 7-51 a la Figura 7-53. El comportamiento de esta especie mantiene las características que se han venido evidenciado para los casos anteriores, pero tomando valores muy cercanos a lo que sucede en un evento La Niña.

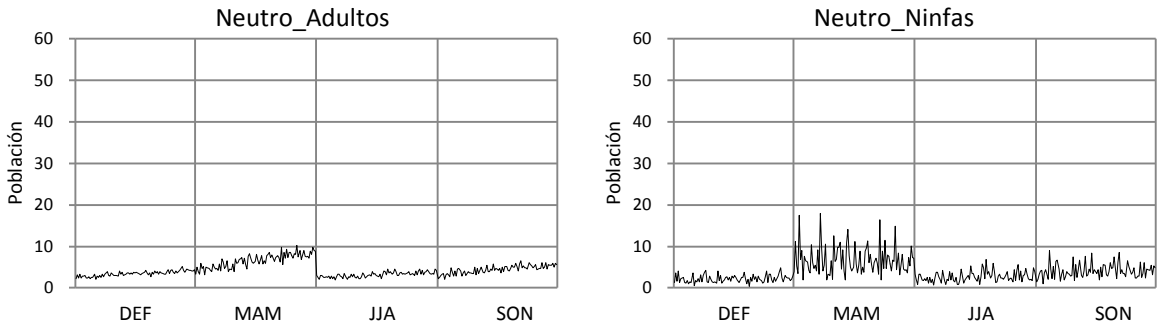


Figura 7-51. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones de un año Neutro para la estación de Mosquera.

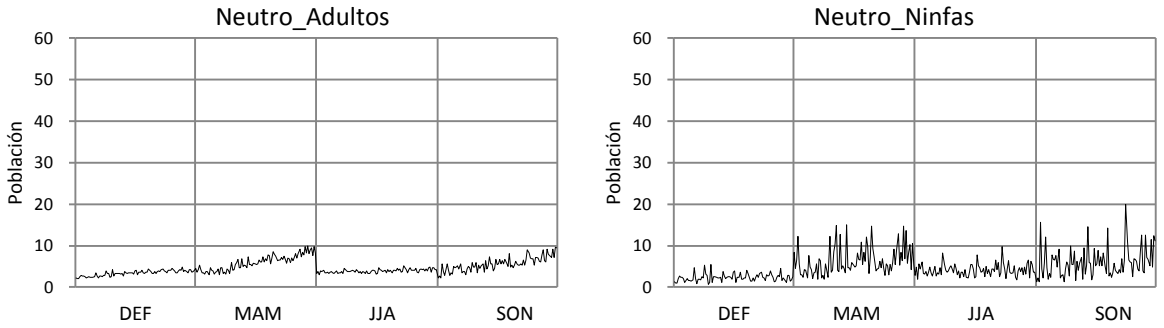


Figura 7-52. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones de un año Neutro para la estación de Guasca.

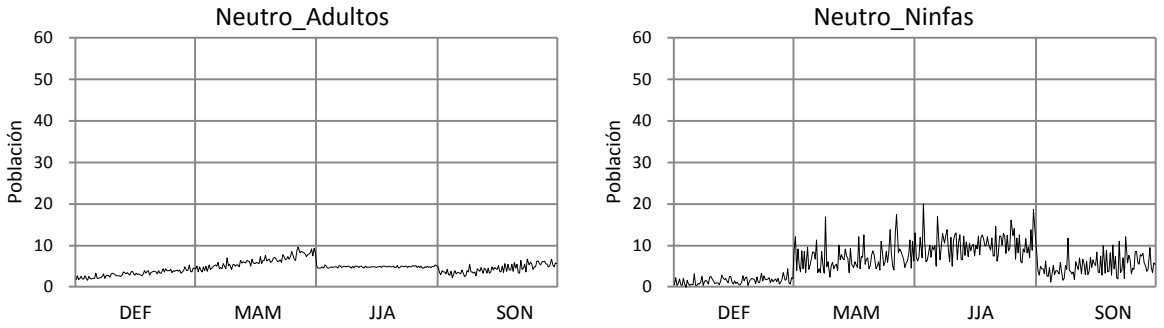
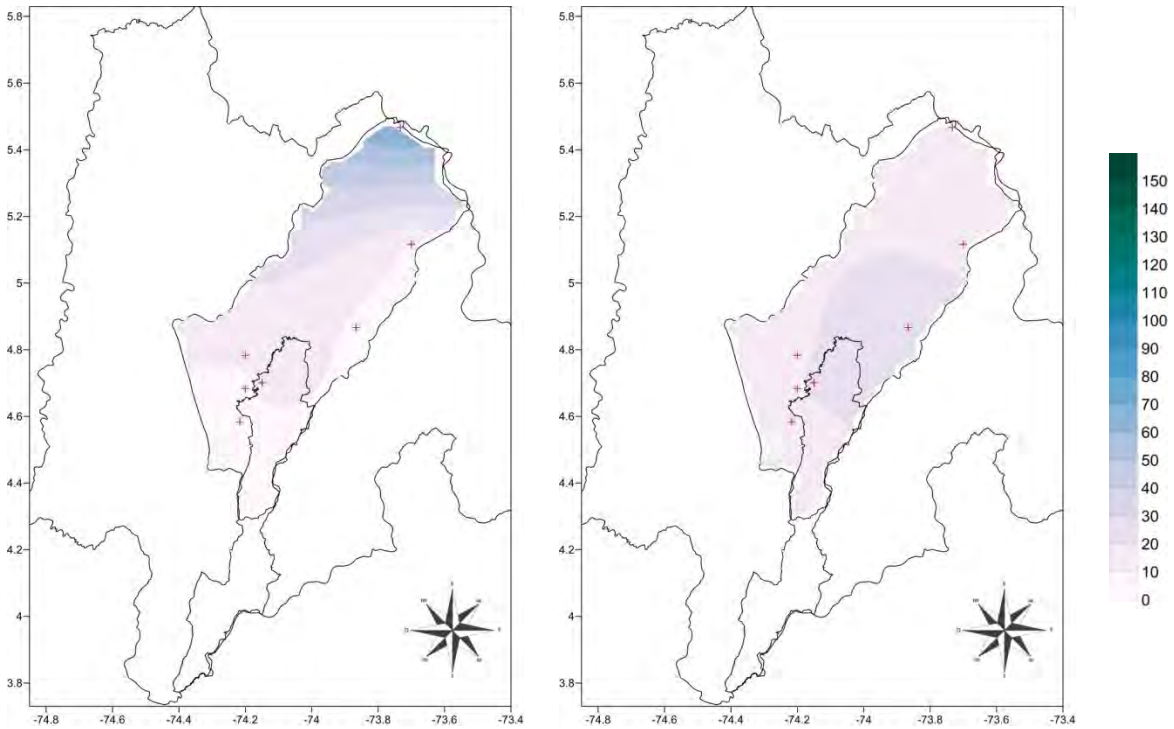


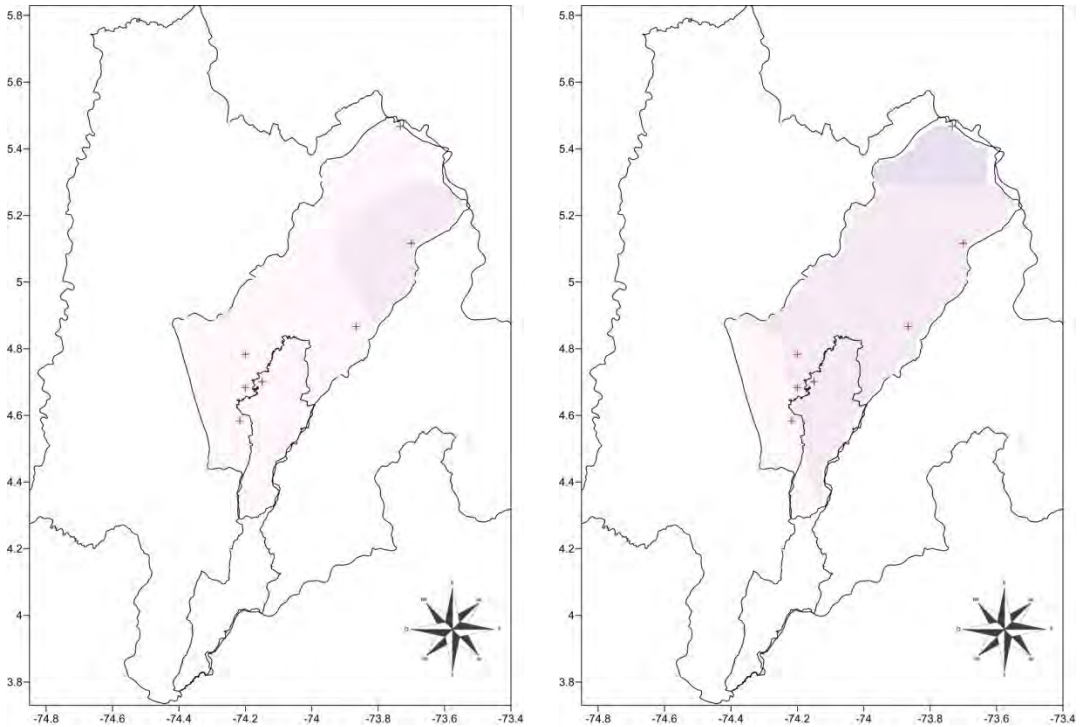
Figura 7-53. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones de un año Neutro para la estación de Chocontá.

▪ Distribución espacial de la población en la Sabana en un año Neutro

La distribución espacial en la Sábana de Bogotá en cada trimestre bajo condiciones de un año neutro que se visualiza en Figura 7-54 muestra un comportamiento muy similar durante todo el año de presencia de la plaga siendo menor que en una época La Niña y aun más pequeño que para un evento El Niño. En el primer semestre se presenta mayor abundancia.



a. Distribución para DEF *b. Distribución para MAM*



c. Distribución para JJA *d. Distribución para SON*

Figura 7-54. Distribución de la plaga en la Sabana de Bogotá a partir de las estimaciones de las condiciones para un año Neutro.

7.6. Definición de guías agroclimáticas de Alertas sobre la presencia del insecto plaga

De acuerdo a las estimaciones mediante la implementación del modelo construido, como herramienta agroclimática y a partir de las predicciones climáticas analizadas para los escenarios de variabilidad y cambio climático, se determinaron las condiciones agroclimáticas de mayor amenaza en la Sabana de Bogotá frente a la presencia de la plaga. Por ello se compendian las siguientes indicaciones a los productores como alerta al posible crecimiento de la población de acuerdo a las condiciones agroclimáticas:

- Las temporadas de lluvias del año, correspondientes a los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre, corresponden a las épocas en que más medidas se deberán tomar frente a la presencia de la plaga.
- Cuando se pronostique temporadas de temperaturas máximas bajas, temperaturas mínimas y precipitaciones altas se deben considerar medidas de manejo y control, ya que aumenta la posibilidad de que la zona sea afectada por la presencia de la plaga.

- Al momento de indicarse el desarrollo de un evento El Niño o la Niña deben tomarse medidas pues bajo estas condiciones la plaga tiende a aumentar, especialmente en un evento El Niño y en las épocas de lluvia.
- La zona meno apropiada para la producción lechera en lo relacionado con la presencia y daño de la chinche de los pastos corresponde al sector norte de la Sabana de Bogotá hacia la parte de Fúquene.
- Para los años 2020 y 2030 existe una probabilidad de aumento en la abundancia de la plaga en toda la zona de la Sabana de Bogotá.

8. Conclusiones y recomendaciones

Este trabajo adelanta bases para el manejo adecuado de la chinche de los pastos y otros insectos que afecta la agricultura y la ganadería en el país, evaluando efectos potenciales para escenarios ENOS y de cambio climático, con diversas metodologías.

Un método adecuado para determinar la ecuación de regresión que explique el comportamiento de la chinche de los pastos resultó ser aquel donde se consideraron los valores totales de la población con relación a los incides agroclimáticos de grados días e índice hídrico, eliminando previamente las fechas de pastoreo y control, permitiendo generar el modelo con las mejores estimaciones de la fluctuación de la población de ninfas y adultos. Siendo este modelo útil en la predicción e indicación de la tendencia como respuesta a las condiciones climáticas de la región.

Es importante continuar este trabajo en el futuro con mejores observaciones de campo, más sitios de muestreos, mayor trabajo de laboratorio y será necesario socializar el trabajo entre los productores, para establecer de modo compartido, sistemas locales de alertas y de adaptación ante el insecto.

Las características de las condiciones climáticas para las cuales la plaga tiene una tendencia al aumento y a partir de las cuales se puede realizar un monitoreo sobre la población tienen como fundamento que la temperatura máxima adquiere un efecto inverso al desarrollo de la plaga y la disponibilidad de agua, y la temperatura mínima tiene un resultado positivo, por lo tanto el crecimiento de la población de la plaga se da para valores de temperaturas máximas y evapotranspiración bajos y temperaturas mínimas y precipitación altos, diferenciando el efecto positivo de precipitaciones abundantes, pero no excesivas.

Las temporadas de lluvia del año correspondientes a los trimestres de marzo a mayo y septiembre a noviembre para la región de la Sabana de Bogotá son los periodos de mayor vulnerabilidad por la presencia de la plaga como respuesta de las condiciones climáticas, siendo el primer trimestre de mayor abundancia, y donde la zona de la Sabana más apropiada se da hacia sector de Fúquene.

Las estimaciones de la abundancia de la chinche de los pastos para el año 2020 de acuerdo a los escenarios de cambio climático indican aumentos tanto en temporadas secas como de lluvia, pero manteniéndose estas últimas como las más vulnerables. El escenario A1B es muy semejante a la situación actual, mientras A2 y B2 muestran un mayor incremento con características similares. Entretanto a partir del análisis de tendencias se consideran incrementos pero no sobre toda la Sabana, ya que hacia el sector sur de la región se estiman aumentos importantes crecimientos pero hacia el norte se dan disminuciones.

Para el año 2030 las estimaciones mostraron un aumento con respecto a la situación actual y al año 2020 lo que indica una adaptación de la plaga en el tiempo a los cambios de las condiciones de climáticas para esta región, en el cual los periodos de lluvia corresponderán a las épocas de mayor tendencia al crecimiento de la población, sin dejar de ser las épocas secas altamente susceptibles.

Bajos los eventos del fenómeno de El Niño y La Niña se estiman aumentos de la población con mayor abundancia para el primer caso, donde lo trimestres con mayor tendencia a condiciones climáticas apropiadas para la chinche de los pastos es la primera temporada de lluvias. Durante un año neutro la estimación de la plaga es menor por lo cual se deduce la influencia que tiene los efectos de la variabilidad climática interanual sobre el comportamiento de la chinche de los pastos en la Sabana de Bogotá.

A. Anexo: Fincas visitadas en la zona de la Sabana de Bogotá

A continuación se presenta el grupo de fincas visitadas en la Sabana de Bogotá, en las cuales se realizó el muestreo.

Municipio	Finca	Rotación (días)	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
Tocancipá	Finca Siria	45	04°58'29.10"	73°54'23.60"	2436
Tocancipá	Finca San Diego	58	04°58'24.71"	73°55'24.68"	2576
Funza	Carretonal	60	04°39'24.77"	74°11'41.60"	2561
Mosquera	Santa Isabel	30	04°39'08.00"	74°12'36.00"	2570

Tabla A-1. Lista de fincas visitadas en la Sabana de Bogotá en las cuales se recolectaron los datos.

B. Anexo: Análisis de regresión lineal ninfas

Transformación de Box-Cox de la respuesta con lambda redondeado = -2. El IC de 95% para lambda es (*, -1,9245).

Ecuación de regresión

NINFAS^-2 = -0,189795 + 0,000803714 GD_ACUM - 3,91961e-006 GD_ACUM2 +0,00663595 INDICE - 0,00120189 INDICE2

Coeficientes

Término	*Coef*	*EE del coef*	*T*	*P*
Constante	-0,189795	0,0048763	-38,9220	0,000
GD_ACUM	0,000804	0,0002748	2,9250	0,004
GD_ACUM2	-0,000004	0,0000030	-1,3064	0,193
INDICE	0,006636	0,0038260	1,7344	0,084
INDICE2	-0,001202	0,0006657	-1,8055	0,072

Tabla B-1. Coeficientes del modelo de regresión para ninfas

Resumen del modelo

S=0,0302712 R-cuad.=14,49% R-cuad.(ajustado)=12,91% PRESS=0,208258 R-cuad.(pred.)=10,44%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust	*Razón-F*	*Valor-P*
Modelo	4	0,033685	0,033685	0,0084212	9,19003	0,000001

Tabla B-2. Análisis de varianza del modelo de regresión para ninfas.

C. Anexo: Análisis de regresión lineal adultos

Transformación de Box-Cox de la respuesta con lambda redondeado = -2. El IC de 95% para lambda es (*, -1,8745)

Ecuación de regresión

ADULTOS^-2 = -0,174556 + 0,00122615 GD_ACUM - 3,34994e-006 GD_ACUM2 +0,00488158 INDICE - 0,00148794 INDICE2

Coeficientes

Término	*Coef*	*EE del coef*	*T*	*P*
Constante	-0,174556	0,0071299	-24,4822	0,000
GD_ACUM	0,001226	0,0004018	3,0519	0,003
GD_ACUM2	-0,000003	0,0000044	-0,7636	0,044
INDICE	0,004882	0,0055943	0,8726	0,038
INDICE2	-0,001488	0,0009733	-1,5287	0,012

Tabla C-1. Coeficientes del modelo de regresión para adultos.

Resumen del modelo

S = 0,0442613 R-cuad. = 20,35% R-cuad.(ajustado) = 18,88% PRESS = 0,441632 R-cuad.(pred.) = 17,25%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust	*Razón-F*	*Valor-P*
Modelo	4	0,108589	0,108589	0,0271472	13,8573	0,000000

Tabla C-2.Análisis de varianza del modelo de regresión para adultos.

D. Anexo: Análisis de tendencias Mann-Kendall

A continuación se presenta los resultados del análisis de tendencias mediante del test de Mann-Kendall y el estimador de la pendiente de Sen, para las series de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y evapotranspiración en cada trimestre agroclimático, para las diferentes estaciones de la Sabana de Bogotá.

	Tendencias Mann-Kendall		Estimador de la pendiente de Sen				
Serie de tiempo	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Tmax_DJF	2,74	**	0,045	0,005	0,091	0,013	0,080
Tmin_DJF	1,00		0,013	-0,032	0,054	-0,017	0,047
PPT_DJF	0,39		0,392	-2,597	3,450	-1,693	2,523
Tmax_MAM	2,77	**	0,029	0,001	0,058	0,009	0,051
Tmin_MAM	1,53		0,022	-0,015	0,058	-0,007	0,050
PPT_MAM	1,33		2,223	-2,823	7,836	-1,414	6,750
Tmax_JJA	5,08	***	0,048	0,025	0,067	0,031	0,062
Tmin_JJA	3,77	***	0,048	0,015	0,075	0,023	0,069
PPT_JJA	1,33		1,090	-1,260	3,851	-0,530	2,927
Tmax_SON	4,34	***	0,044	0,021	0,067	0,026	0,061
Tmin_SON	2,45	*	0,026	-0,001	0,061	0,008	0,049
PPT_SON	0,54		0,827	-3,515	4,166	-2,573	3,514
Tmax_an	4,37	***	0,050	0,022	0,069	0,028	0,065
Tmin_anu	3,91	***	0,025	0,010	0,046	0,014	0,040
PPT_anu	1,46		4,011	-3,443	11,764	-1,701	9,444
Eto_anu	0,24		0,001	-0,007	0,010	-0,005	0,007
Eto_DJF	1,27		0,008	-0,007	0,026	-0,003	0,021
Eto_MAM	-0,88		-0,002	-0,010	0,007	-0,007	0,004
Eto_JJA	0,35		0,001	-0,012	0,011	-0,008	0,007
Eto_SON	0,53		0,001	-0,008	0,012	-0,005	0,010

*** Tendencia altamente significativa (99.9%), ** tendencia moderadamente significativa (99%), *tendencia significativa (95%), +tendencia poco significativa (90%). – tendencia no significativa.

Tabla D-1. Tendencias Mann-Kendall y estimador de de Sen de las variables incluidas en el modelo de la chinche para la estación de Mosquera.

	Tend Mann-Kendall		Estimador de la pendiente de Sen				
Serie de tiempo	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Tmax_DJF	-0,57		-0,008	-0,050	0,040	-0,039	0,026
Tmax_MAM	-1,82	+	-0,020	-0,058	0,014	-0,048	0,002
Tmax_JJA	-0,07		-0,002	-0,037	0,034	-0,027	0,027
Tmax_SON	-0,18		-0,002	-0,037	0,047	-0,028	0,034
Tmin_DJF	3,07	**	0,053	0,011	0,103	0,026	0,088
Tmin_MAM	2,07	*	0,039	-0,009	0,084	0,002	0,072
Tmin_JJA	4,03	***	0,045	0,021	0,073	0,028	0,066
Tmin_SON	3,25	**	0,039	0,013	0,071	0,021	0,063
PPT_DJF	0,89		1,405	-2,047	4,979	-1,468	3,989
PPT_MAM	0,89		1,648	-3,630	7,024	-2,325	5,513
PPT_JJA	0,75		1,082	-1,859	4,175	-1,081	3,323
PPT_SON	0,71		1,057	-3,780	5,688	-2,441	4,214
Eto_DJF	-0,96		-0,005	-0,016	0,008	-0,012	0,005
Eto_MAM	-2,84	**	-0,009	-0,017	-0,001	-0,015	-0,003
Eto_JJA	-1,45		-0,005	-0,014	0,005	-0,010	0,002
Eto_SON	-0,89		-0,004	-0,012	0,008	-0,010	0,005

*** Tendencia altamente significativa (99.9%), ** tendencia moderadamente significativa (99%), *tendencia significativa (95%), +tendencia poco significativa (90%). – tendencia no significativa.

Tabla D-2. Tendencias Mann-Kendall y estimador de de Sen de las variables incluidas en el modelo de la chinche para la estación de Bogotá.

	Tend Mann-Kendall		Estimador de la pendiente de Sen				
Serie de tiempo	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Tmax_DJF	1,93	+	0,034	-0,015	0,076	0,000	0,068
Tmax_MAM	1,36		0,014	-0,013	0,047	-0,005	0,040
Tmax_JJA	3,25	**	0,041	0,011	0,088	0,017	0,075
Tmax_SON	3,25	**	0,042	0,014	0,071	0,020	0,065
Tmin_DJF	-0,75		-0,016	-0,061	0,041	-0,049	0,022
Tmin_MAM	-1,78	+	-0,020	-0,065	0,012	-0,053	0,002
Tmin_JJA	-0,79		-0,010	-0,057	0,021	-0,047	0,012
Tmin_SON	-1,96	*	-0,021	-0,063	0,007	-0,050	0,000
PPT_DJF	0,12		0,154	-2,505	2,577	-2,053	1,726
PPT_MAM	0,08		0,038	-4,275	4,070	-3,361	2,685
PPT_JJA	0,65		1,080	-3,394	5,805	-1,903	4,634
PPT_SON	1,14		1,221	-2,131	4,858	-1,000	3,631
Eto_DJF	-0,32		-0,001	-0,013	0,009	-0,010	0,007
Eto_MAM	0,73		0,003	-0,012	0,015	-0,008	0,012
Eto_JJA	-0,89		-0,002	-0,008	0,006	-0,007	0,004
Eto_SON	1,64		0,004	-0,002	0,011	-0,001	0,009

*** Tendencia altamente significativa (99.9%), ** tendencia moderadamente significativa (99%), *tendencia significativa (95%), +tendencia poco significativa (90%). – tendencia no significativa.

Tabla D-3. Tendencias Mann-Kendall y estimador de de Sen de las variables incluidas en el modelo de la chinche para la estación de Bogotá.

	Tend Mann-Kendall		Estimador de la pendiente de Sen				
Serie de tiempo	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Tmax_DJF	-3,32	***	-0,075	-0,147	-0,017	-0,124	-0,030
Tmax_MAM	-3,10	**	-0,069	-0,126	-0,013	-0,111	-0,029
Tmax_JJA	-2,57	*	-0,038	-0,076	0,000	-0,068	-0,013
Tmax_SON	-2,76	**	-0,050	-0,098	-0,005	-0,084	-0,014
Tmin_DJF	1,64		0,017	-0,013	0,045	-0,007	0,039
Tmin_MAM	-0,96		-0,016	-0,047	0,022	-0,038	0,013
Tmin_JJA	-1,93	+	-0,039	-0,094	0,016	-0,084	0,001
Tmin_SON	2,46	*	0,038	-0,003	0,066	0,009	0,058
PPT_DJF	1,15		2,164	-3,016	9,446	-1,242	6,878
PPT_MAM	0,58		1,750	-5,387	9,557	-3,821	7,211
PPT_JJA	1,21		1,381	-1,968	4,748	-1,489	3,684
PPT_SON	1,08		1,843	-2,954	7,922	-1,639	6,118
Eto_DJF	-4,58	***	-0,025	-0,041	-0,013	-0,036	-0,015
Eto_MAM	-3,00	**	-0,018	-0,032	-0,004	-0,028	-0,008
Eto_JJA	0,66		0,003	-0,011	0,015	-0,007	0,011
Eto_SON	-3,04	**	-0,013	-0,022	-0,002	-0,019	-0,004

*** Tendencia altamente significativa (99.9%), ** tendencia moderadamente significativa (99%), *tendencia significativa (95%), +tendencia poco significativa (90%). – tendencia no significativa.

Tabla D-4. Tendencias Mann-Kendall y estimador de de Sen de las variables incluidas en el modelo de la chinche para la estación de Fúquene.

	Tend Mann-Kendall		Estimador de la pendiente de Sen				
Serie de tiempo	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Tmax_DJF	2,64	**	0,034	0,001	0,069	0,011	0,062
Tmax_MAM	0,75		0,009	-0,025	0,043	-0,017	0,034
Tmax_JJA	4,00	***	0,082	0,040	0,118	0,052	0,110
Tmax_SON	3,03	**	0,036	0,006	0,064	0,013	0,058
Tmin_DJF	-2,82	**	-0,040	-0,082	-0,003	-0,070	-0,011
Tmin_MAM	-3,46	***	-0,059	-0,104	-0,018	-0,092	-0,030
Tmin_JJA	-3,14	**	-0,040	-0,075	-0,007	-0,064	-0,015
Tmin_SON	-3,25	**	-0,042	-0,075	-0,012	-0,067	-0,021
PPT_DJF	0,18		0,262	-2,819	2,532	-2,164	1,984
PPT_MAM	-0,54		-0,498	-5,105	3,534	-4,258	2,164
PPT_JJA	1,25		1,250	-1,807	4,818	-0,688	3,760
PPT_SON	0,54		0,750	-3,657	5,712	-2,777	4,268

Eto_DJF	2,89	**	0,011	0,001	0,019	0,004	0,018
Eto_MAM	2,55	*	0,009	0,000	0,019	0,003	0,015
Eto_JJA	4,57	***	0,022	0,011	0,031	0,014	0,029
Eto_SON	4,85	***	0,012	0,006	0,018	0,007	0,017

*** Tendencia altamente significativa (99.9%), ** tendencia moderadamente significativa (99%), *tendencia significativa (95%), +tendencia poco significativa (90%). – tendencia no significativa.

Tabla D-5. Tendencias Mann-Kendall y estimador de de Sen de las variables incluidas en el modelo de la chinche para la estación de Guasca.

	Tend Mann-Kendall		Estimador de la pendiente de Sen				
Serie de tiempo	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Tmax_DJF	-2,14	*	-0,038	-0,095	0,015	-0,078	-0,005
Tmax_MAM	-3,14	**	-0,059	-0,118	-0,011	-0,103	-0,024
Tmax_JJA	0,11		0,002	-0,059	0,042	-0,045	0,032
Tmax_SON	0,32		0,008	-0,067	0,052	-0,046	0,038
Tmin_DJF	2,57	*	0,035	-0,001	0,081	0,008	0,067
Tmin_MAM	1,32		0,018	-0,015	0,096	-0,009	0,068
Tmin_JJA	3,03	**	0,067	0,011	0,128	0,021	0,103
Tmin_SON	3,60	***	0,056	0,022	0,096	0,031	0,084
PPT_DJF	1,16		1,304	-1,807	4,789	-0,842	3,730
PPT_MAM	0,50		0,832	-3,589	5,263	-2,344	3,992
PPT_JJA	1,50		1,120	-0,874	3,850	-0,164	2,914
PPT_SON	0,50		0,650	-3,597	4,530	-2,807	3,597
Eto_DJF	-1,28		-0,004	-0,011	0,004	-0,009	0,002
Eto_MAM	-2,98	**	-0,007	-0,013	-0,001	-0,012	-0,002
Eto_JJA	-0,37		-0,001	-0,009	0,006	-0,007	0,004
Eto_SON	1,12		0,003	-0,005	0,013	-0,003	0,010

*** Tendencia altamente significativa (99.9%), ** tendencia moderadamente significativa (99%), *tendencia significativa (95%), +tendencia poco significativa (90%). – tendencia no significativa.

Tabla D-6. Tendencias Mann-Kendall y estimador de de Sen de las variables incluidas en el modelo de la chinche para la estación de Soacha.

	Tend Mann-Kendall		Estimador de la pendiente de Sen				
Serie de tiempo	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Tmax_DJF	0,90		0,022	-0,085	0,106	-0,047	0,093
Tmax_MAM	1,11		0,028	-0,034	0,078	-0,017	0,072
Tmax_JJA	2,96	**	0,048	0,016	0,089	0,026	0,076
Tmax_SON	2,43	*	0,038	-0,007	0,077	0,013	0,063
Tmin_DJF	2,89	**	0,069	0,008	0,131	0,029	0,114
Tmin_MAM	3,10	**	0,050	0,008	0,099	0,019	0,087
Tmin_JJA	3,57	***	0,061	0,023	0,100	0,030	0,093
Tmin_SON	3,85	***	0,053	0,022	0,090	0,029	0,082

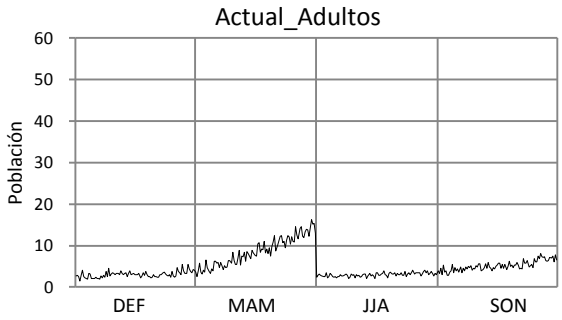
PPT_DJF	0,42		0,633	-2,967	4,563	-2,215	3,570
PPT_MAM	2,04	*	2,575	-0,857	6,545	0,124	5,428
PPT_JJA	1,00		1,200	-2,645	5,232	-1,693	4,050
PPT_SON	0,48		0,467	-4,649	6,711	-3,393	5,223
Eto_DJF	0,63		0,005	-0,016	0,022	-0,011	0,018
Eto_MAM	-0,40		-0,004	-0,021	0,010	-0,014	0,007
Eto_JJA	0,00		0,000	-0,015	0,014	-0,012	0,010
Eto_SON	-0,87		-0,006	-0,021	0,012	-0,017	0,008

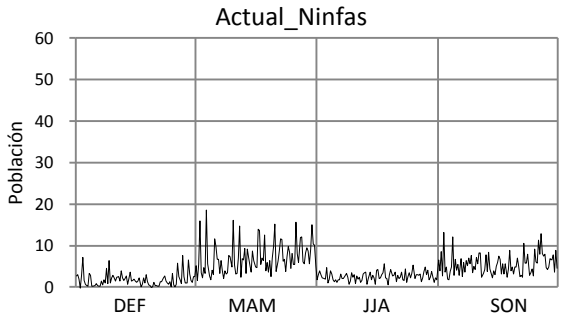
*** Tendencia altamente significativa (99.9%), ** tendencia moderadamente significativa (99%), *tendencia significativa (95%), +tendencia poco significativa (90%). – tendencia no significativa.

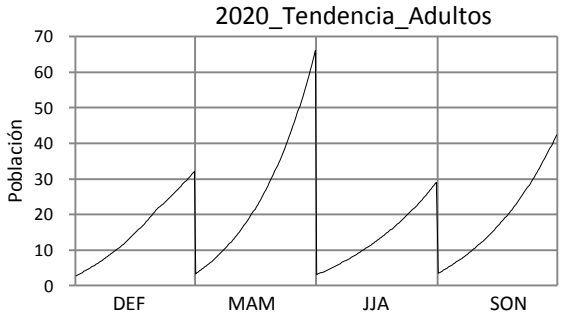
Tabla D-7. Tendencias Mann-Kendall y estimador de de Sen de las variables incluidas en el modelo de la chinche para la estación de Tenjo

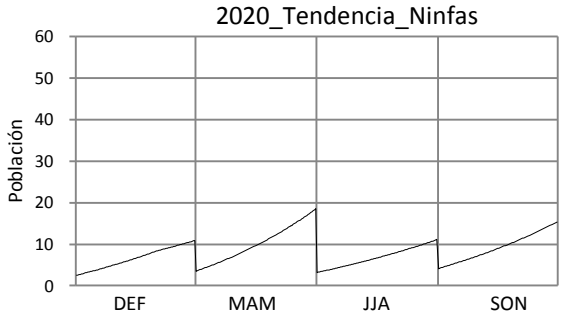
E. Anexo: Estimaciones de población de la chinche de los pastos en la Sabana de Bogotá para los años 2020 y 2030

A continuación se muestra la estimación de ninfas y de adultos para los cuatro trimestres agroclimáticos de las estaciones representativas de la Sabana de Bogotá con los análisis de tendencia y en los escenarios de cambio climático para el año 2020 y2030.









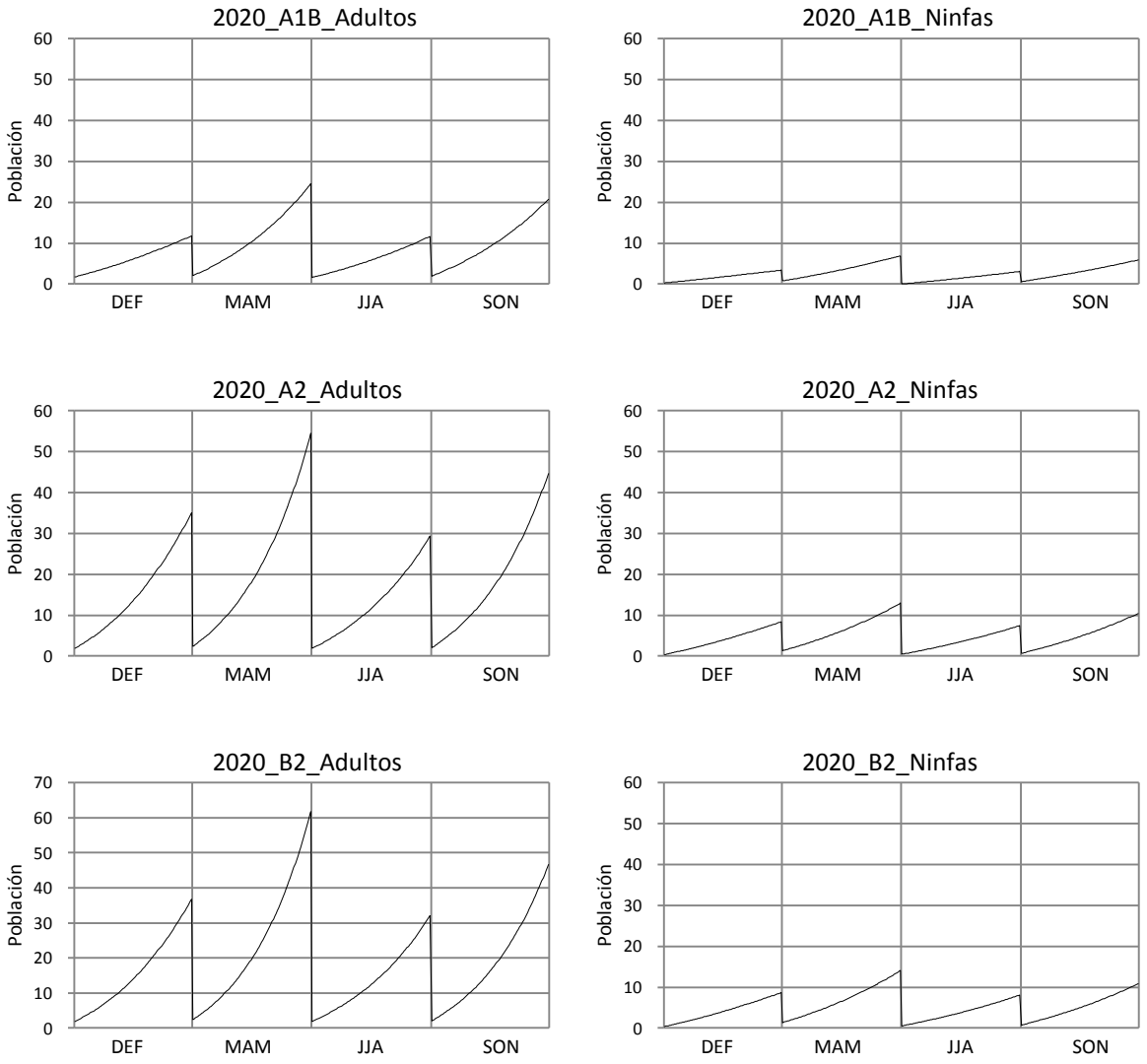
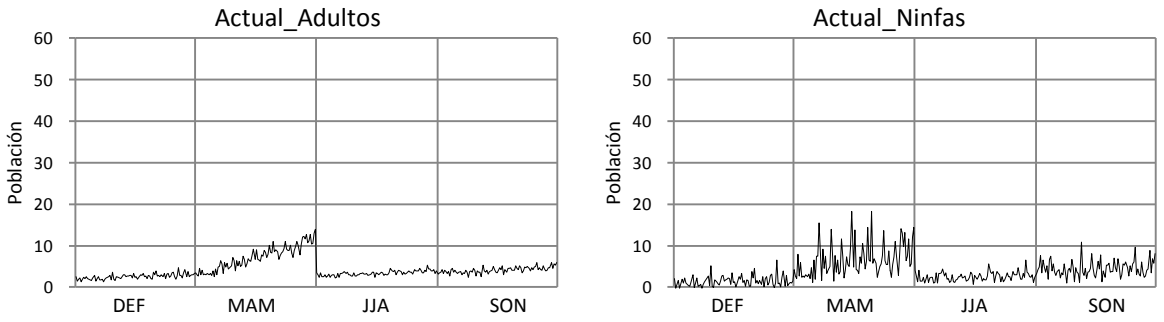


Figura E-1. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Bogotá.



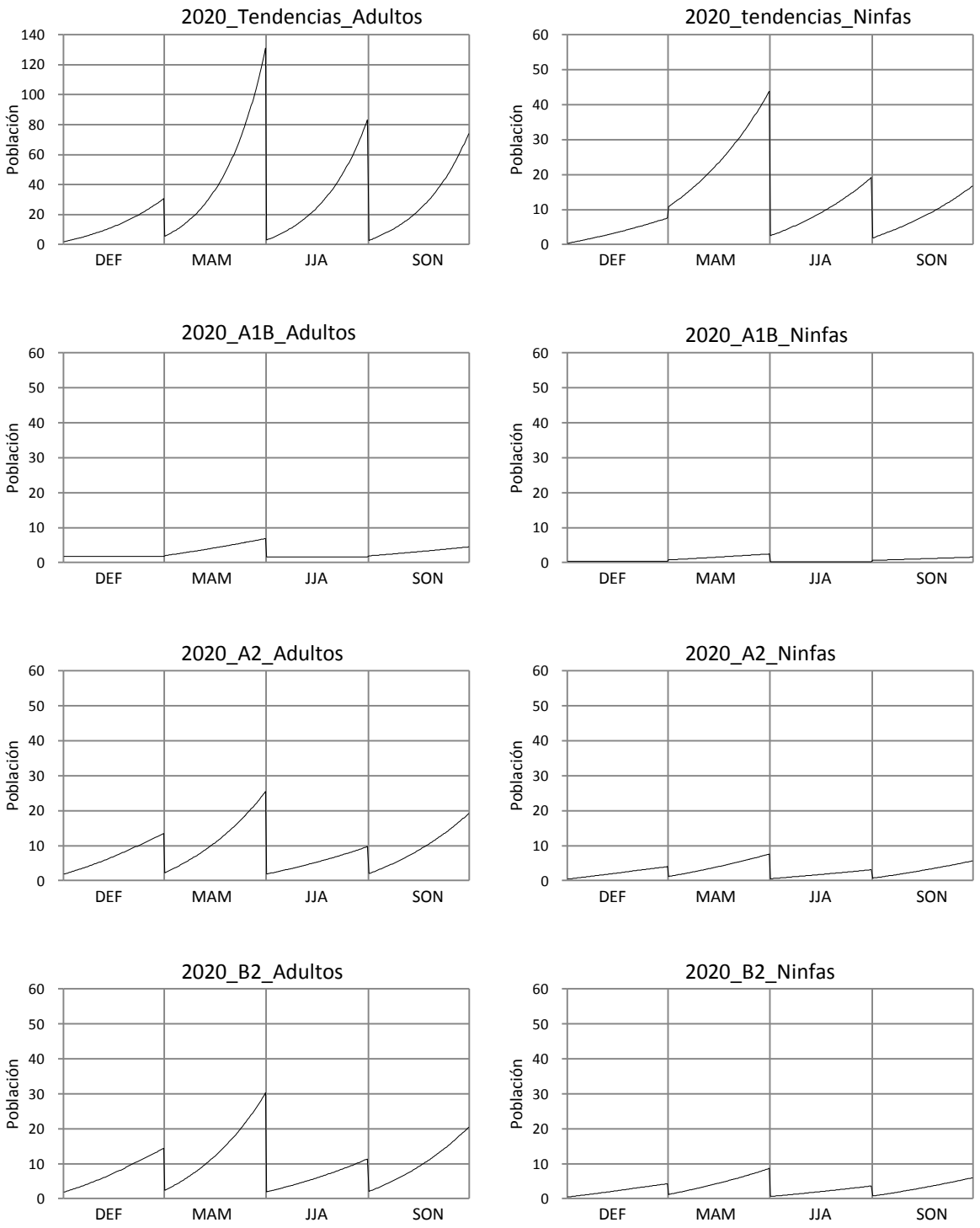


Figura E-2. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones actuales y del 2020 en los escenarios A1B, A2, B2 y tendencia, para la estación de Tenjo.

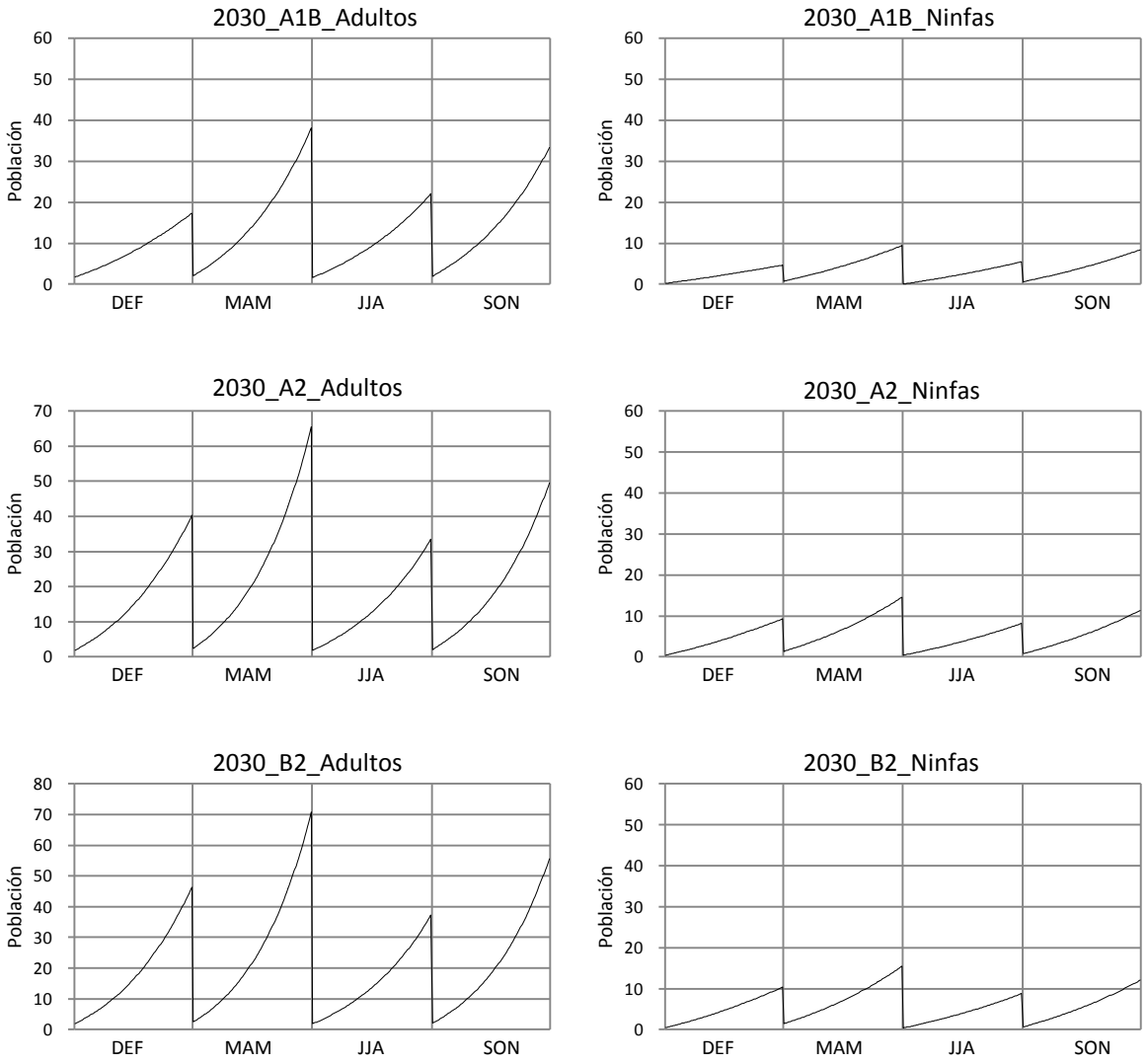
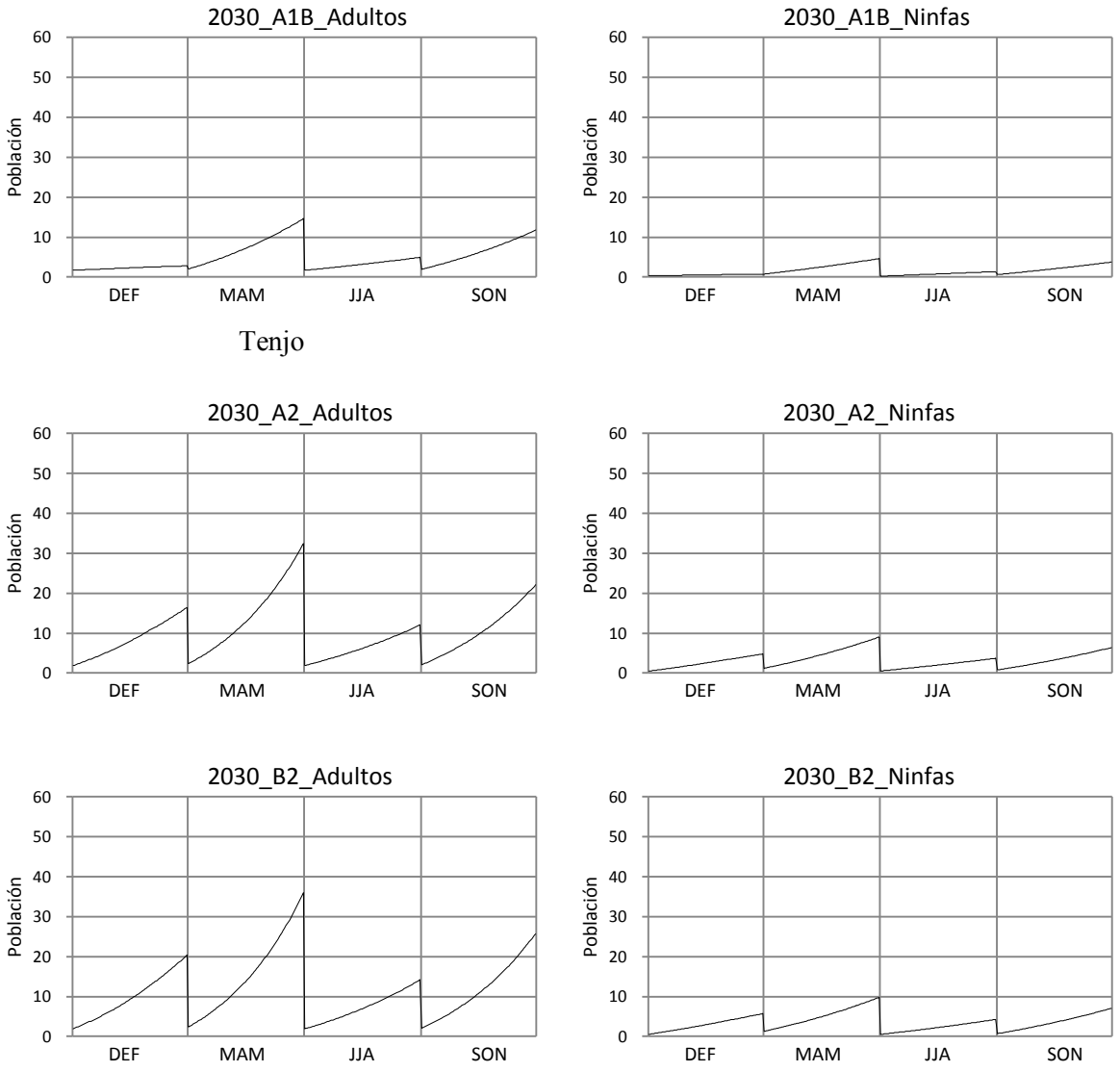


Figura E-3. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del 2030 en los escenarios A1B, A2, B2 para la estación de Bogotá.



Tenjo

Figura E-4. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del 2030 en los escenarios A1B, A2, B2 para la estación de Tenjo.

F. Anexo: Estimación de la población en el ciclo ENSO

A continuación se muestra la estimación de ninfas y de adultos para los cuatro trimestres agroclimáticos de las estaciones representativas de la Sabana de Bogotá con los análisis de tendencia y en los escenarios de cambio climático para el año 2020 y2030.

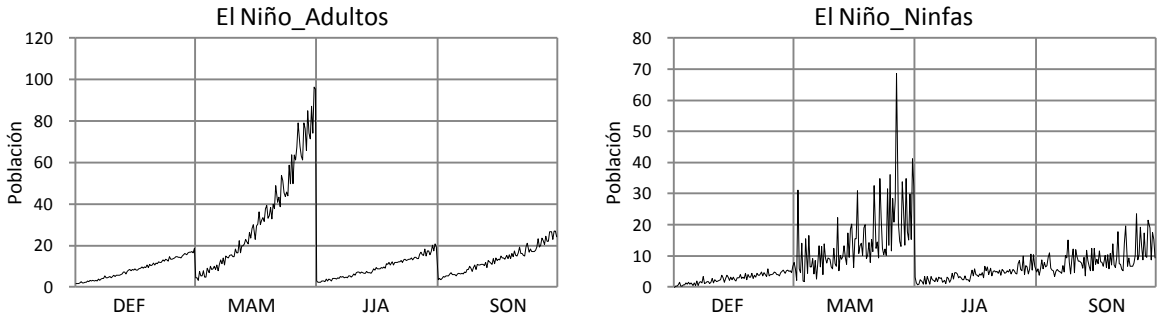
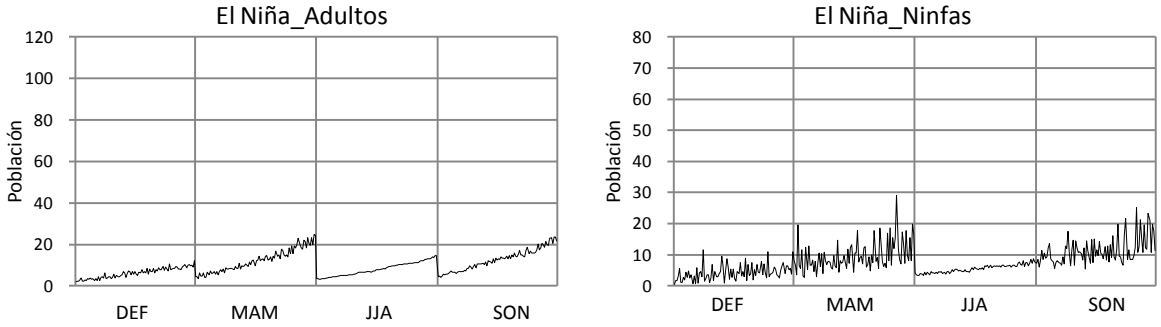


Figura F-1. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Bogotá.



FiguraF-2. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Bogotá.

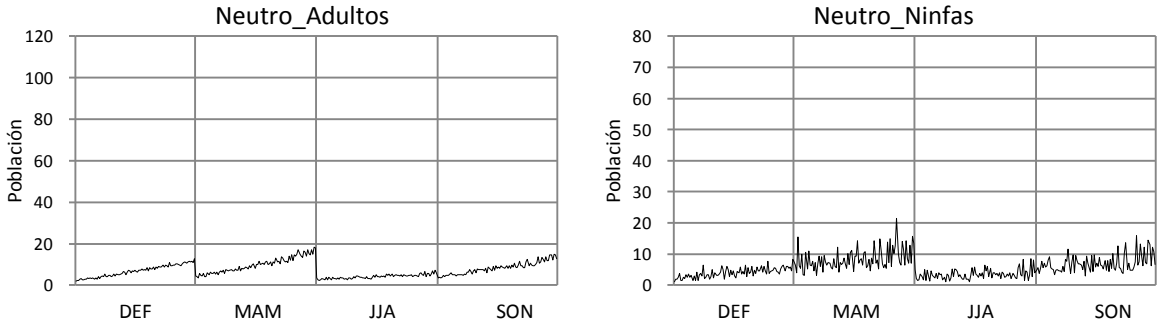


Figura F-3. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones de un año Neutro para la estación de Bogotá.

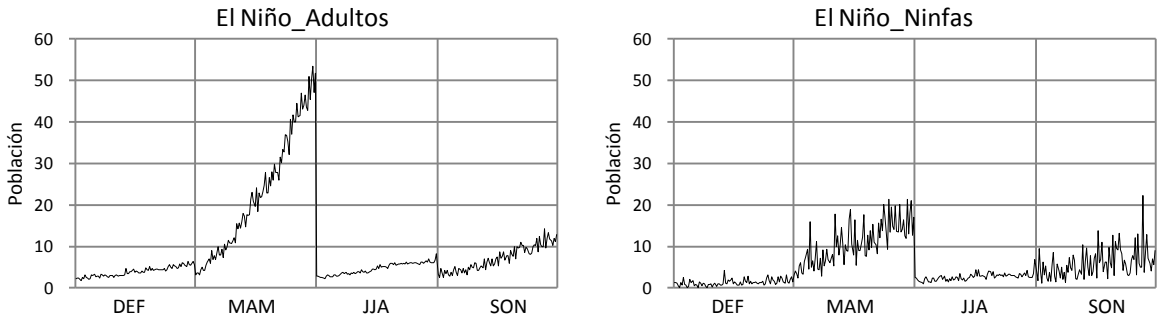


Figura F-4.. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento El Niño, para la estación de Tenjo

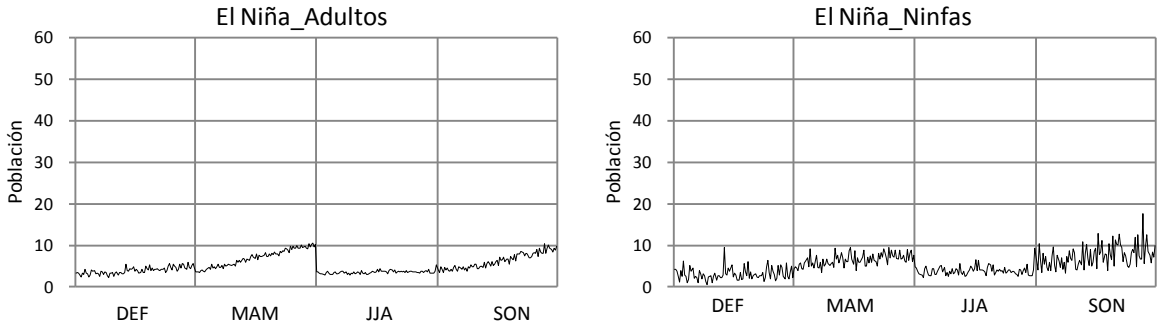


Figura F-5. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento La Niña, para la estación de Tenjo

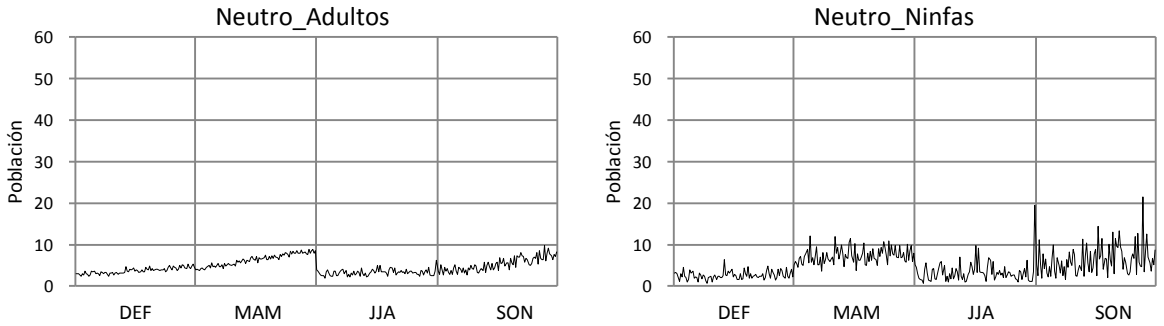


Figura F-6. Estimación de ninfas y adultos de acuerdo a las condiciones del evento en un año Neutro, para la estación de Tenjo.

Bibliografía

Climate Prediction Center. 2009. National weather service. [Online] National Oceanic & Atmospheric Administration. [Online] 2009. [Cited: Marzo 5, 2010.] http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml..

Ali, A. and shook, G.E. 1980. An optimum transformation for somatic cell concentration in milk. *Journal of Dairy Science.* 1980. 63:487.

Allen, R.G., et al. 2006. Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje, 56. Roma : Food and Agriculture Organization, 2006. 298 p.

Allende, T and Mendoza, M. 2007. Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. México : s.n., 2007. Vols. Investigaciones Geográficas, Boletín 63. . Pg 56 – 76.

Baier, W. 1997. Crop weather model and their use in yield assessments. 1997. p. 48.

Barreto, Nancy and Marinez, Edgar. 1996. La chinche de los pastos, (Collaria columbiensis) en la sabana de Bogotá. 1996, pp. 42-49.

Barreto, Nancy. 1996. *Estudios basicos para el manejo de poblaciones de chinche de los pastos (Collaria columbiensis, carvalho) en la sabana de Bogotá.* Bogotá. 76 p. : Tesis M.Sc. Ciencias agrarias universidad nacional de Colombia, 1996.

Benavides, M. 1997. *Resultados proyecto prevenciòn y manejo de la chinche de los pastos en la Sabana de Bogotá* . Tibaitatá. 6 pp. : Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Sanidad Vegetal. , 1997.

Bernal, J and Granada, H. 1997. *La Chinche de los pastos Collaria columbiensis.* 1997. p. 26.

Boyce, M. 2002. Statistics a viewed by biologist. s.l. : Journal of agricultural biological and environmental statistics 7(3): 306-312, 2002.

Briceño, Armando. 2005. *Otra chinche mas en el pasto kikuyo del estado de Merida.* . s.l. : En: www.saber.ula.ve/.../boletin_divulgativo/num60ano30/articulo8, 2005.

California, University of. 2008. [Online] MAyo 2008. [Cited: Marzo 15, 2011.] http://www.geog.ucsb.edu/~ta176/g176b/lab5/kriging_spatial_analyst.pdf..

Capel, J. 1999. El Niño" y el sistema climático terrestre. Barcelona, España. : Ed. Ariel, S.A., 1999.

Cárdenas, E. 2008. Alternativas forrajeras para clima frío en Colombia. s.l. : Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá , 2008.

Carvalho, J. and Fontes, A. 1981. Míridos Neotropicais, CCXXV: Revisao do género collaria Provancher no continente Americano (Hemiptera). 1981. pp. 11-46.

Chaverra, H, et al. 1967. El cultivo de los pastos en la sabana de Bogotá. *Sociedad de Agricultores de Colombia. Temas de Orientación Agropecuario.* Bogotá. Pag 64. : s.n., 1967.

CINERGIA. 2010. Estudio Evaluaciones Ambientales complementarios del Proyecto Agroenergetico central Hidroelectrica Pucará. San Borja : s.n., 2010.

CPC. Climate prediction Center . [Online] NOAA. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/.

CrSustems. op Simulation Models in agronomic . **Whisler, F.D, et al. 1986.** 1986, Advances in Agronomy 40, pp. 141-208 .

De Menezes, M. 1990. Collaria oleosa (Distant, 1883) (Hemiptera: Miridae), nova praga de gramíneas forrageiras no sudeste da Bahia, Brasil. 1990. pp. 113-118.

Donald, Lexie. 2004. The Influence of the Madden-Julian Oscillation on Rainfall Patterns. Lorne : 16th Australia New Zealand Climate Forum, 2004.

Duarte, O., et al. 1998. La chinche de los pastos. 1998. p. 18pp.

Dudhia, J. 2004. Mesoscale Modeling System, Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System versión 3. Pensylvania : National Center for Atmospheric Research (NCAR), 2004.

Dudhia, J., et al. 2004. Mesoscale Modeling System, Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System versión 3. Pensylvania : National Center for Atmospheric Research (NCAR), 2004.

Espinal, C, et al. 2005. *La cadena de lácteos en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991 - 2005.* Bogotá : Documento de trabajo número 98. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005.

FAO. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* 2006. Vol. Estudio FAO Riego y Drenaje, 56.

García, J., et al. 1975. Malezas prevalentes de América Central. s.l. : IPPC, OSU, Corvallis, 161 pp, 1975.

Garza, J. 2011. Fluctuación de las Poblacionesde la Chinche de los Pastos Collaria scenica Stal (Hemipter: Miridae) en el Altiplano Cundiboyacense . *Tesis de Grado Maestría en Biología Aplicada.* s.l. : Universidad Militar Nueva Granada , 2011.

Holman, F, et al. 2003. Evolución de los sistemas de producción de leche en el trópico latinoamericano y su interrelación con los mercados: un análisis del caso colombiano. 2003.

Hurtado, Gonzalo. 2000 . La Precipitación en Colombia . *Notá Técnica del Ideam* . Bogotá : s.n., 2000 .

ICANH. 2009. Instituto Colombiano de Antropilogía e Historia . [Online] Noviembre 2009. http://www.icanh.gov.co.

IDEAM. 2005. Atlas Climatológico de Colombia. Bogotá, Colombia. : Imprenta nacional de Colombia, 2005.

IGAC. 1982. Atlas Regional Andino. Santa Fe de Bogotá. Colombia : Andes, 1982.

IPCC. 2007. *Cambio climatico 2007: Informe de sintesis. Contribucion de los Grupos de trabajo I,II y III al cuarto Inofrme de evaluacon del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climatico* . Ginebra, Suiza : s.n., 2007.

IPCC. 2000. SRES: Special Report on Emissions Scenarios. New York, USA : s.n., 2000.

Jaramillo, Alvaro. 2005. *Clima andino y café en Colombia.* Caldas- Colombia : CENICAFE, 2005.

Jones, R. M., et al. 2004. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Hadley Center for Climate Prediction andResearch, UK. 2004.

Kalvelage, H. 1987. Collaria scenica (STAL, 1859)(HEMIPTERA MIRIDAE): praga de gramíneas forrageiras na Regiao do Planalto Catarinense, Brasil. 1987. pp. 221-222.

King, A. and Saunders, J. 1984. *Las plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en America Central. (ODA) Londres. CATIE. Costa Rica* . 1984.

Kiritani, Keizi. 2006. Predictings impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. 2006. pp. 5-12.

Labrada, R., Caseley, J. and Parker, C. 1996. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Roma : Estudio FAO Producción y Protección Vegetal - 120, 1996.

Liu, William T. 2000. Drought Early Warning System for Crop Production. Sao Paulo, Brazil : Department of Atmospheric Sciences. University of Sao Paulo, 2000.

Marais, J. 2001. Factors affecting the nutritive value of Kikuyo grass (Pennisetum clandestinum) - a review. s.l. : Tropical grasslands 35: 65-84, 2001.

Martinez, Edgar and Barreto, Nancy. 1998. *La chinche de los pastos collaria scenica Stal. en la Sabana de Bogota.* Bogota D.C. : Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria, 1998.

Merril, R., et al. 2008. Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. s.l. : Journal of Animal Ecology 77: 145–155, 2008.

Montealegre, J.E. 1990. Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos. Bogotá : Nota Técnica HIMAT, 1990.

Olofintoye, O and Sule, F. 2010. Impact of Global Warming on the Rainfall and Temperature in the Niger Delta of Nigeria. Nigeria : Journal of Research Information in Civil Engineering, 2010. Vol. 7, 2.

Oviedo, B. 2010. Guia de Procedimiento para la Genración de Escenarios de Cambio Climático Regional y Local a partir de los Modelos Globales . Bogotá : Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2010.

Pabón, J.D. and Montealegre, J. E. 2000. La variabilidad climática interanual asociada al ciclo "El Niño"-"La Niña"-Oscilación del sur. s.l. : Revista Meteorología Colombiana, 2000. Vol. 2, pags. 7-21.

Palikhe, B. 2007. Relationship between pesticide use and climate change for crops. s.l. : Journal of Agriculture and Environment, North America. 8: 83-91, 2007.

Pascale, A.J. 1999. La agrometeorología, metodología y desarrollo en el Mercosur. s.l. : XI Congresso Bras. de Agrometeorología, 1999.

Pedigo, L. 1996. Entomology and pest managemenent. 2 Edition. New Jersey : Prentice-Hall Inc, 1996. 679pp.

Perez, J. 2004. *Los ciclos ganaderos en Colombia, 1950-2001* . Cartagena : Documento de trabajo sobre economía regional número 46. Banco de la República. Centro de estudios económicos regionales, 2004.

Posada, F. 1991. Problemas de renovación. 1991.

Profitécnicas. 2005. Boletín Divulgativo Desarrollo Técnico Comercial Edición No. 2. *Proficlips.* Colombia. 8 pag : s.n., 2005.

Ramirez, C and Diaz, G. 2002. La chinche de los Pastos (Collaria Scenica): Una amenaza para la producción lechera de la Sabana de Bogotá y Valles de Ubaté y Chiquinquirá. *Instituto Colombiano Agropecuario.* Bogotá. Pag. 20 : s.n., 2002.

Ruiz, F. 2007. Escenarios de Cambio Climático, Algunos Modelos y Resultados de Lluvia para Colombia Bajo el Escenario A1B. Nota técnica. Bogotá, Colombia : IDEAM, 2007.

Sommer, F. 1998. Pastoralism, Drought Early Warning and response. 1998.

Surfer. 1994. Surfer for Windows – User´s Guide Contouring And 3D Surface Mapping. Colorado : Golden Software, 1994.

Surfer, INC. 1994. *Surfer for Windows – User´s Guide Contouring And 3D Surface Mapping.* Colorado : Golden Software, 1994.

Terán, C. A. 2002. Modelo automático de balance hídrico Agrícola. Cali : XI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 2002.

Timmearmnn, A and Oberhuber, J. 1999. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. 1999.

UN. 2009. Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales. *Curso de Metodos de Regresión.* [Online] Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá, Agosto 11, 2009. http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2007315/index.html.

Vargas, J. and Pedroso, B. 1980. Collaria scenica: outro percevejo encontrado no arroz. 1980. p. 3.

Villegas, N. 2009. Relaciones espacio-temporales de la estabilidad y frecuencia de Vaisala Brunt. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2009.

Villegas, Nancy. 2009. *Relaciones espacio-temporales de la estabilidad y frecuencia de Vaisala Brunt en la cpc con el soi y pdo.* Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2009.

Viner, D. 2000. Climatic Research Unit. University of East Anglia Norwich NR4 7TJ, UK. [Online] 2000. http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/modelcc/.

Wagner, T.L., et al. 1984. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. s.l. : Ann. Entomol. Soc. Am.,, 1984. 77: 208-225.

Wilks, D. 2006. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. San Diego : Academic Press, 2006.

Wilks, D.S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences.* San Diego : Academic Press, 2006.

Wilks, S.D. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Department of Earth and Atmospheric Sciences.* USA : British Library Cataloguing in Publication Data, 2006.

Zenner, I. 1992. Confusión imperdonable. Incógnita. Enemigos naturales. 1992. pp. 1-2.