

**IMPACTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL
CULTIVO DE BANANO (*Musa spp*) EN TRES PAÍSES PRODUCTORES DE
AMÉRICA LATINA**

MÓNICA CARVAJAL CALDERÓN

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS
RECURSOS NATURALES
SANTIAGO DE CALI
2016**

**IMPACTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL
CULTIVO DE BANANO (*Musa spp*) EN TRES PAÍSES PRODUCTORES DE
AMÉRICA LATINA**

MÓNICA CARVAJAL CALDERÓN

**Proyecto de grado para optar al título de Administrador del Medio Ambiente
y de los Recursos Naturales**

**Director
GERMÁN ANDRÉS CALBERTO SÁNCHEZ
PhD Candidate in agriculture science**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS
RECURSOS NATURALES
SANTIAGO DE CALI
2016**

Nota de Aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Administrador del medio ambiente y de los recursos naturales.

Guillermo Hurtado Cuellar

Jurado

Carolina Gómez Schouben

Jurado

Santiago de Cali, 11 de Mayo de 2016

A mis padres por creer en mí, por su apoyo incondicional, por sus consejos y motivación para salir adelante y hacer todo con amor, compromiso y responsabilidad.

A mi director de trabajo de grado por orientarme y enseñarme con paciencia, comprensión, apoyo incondicional, el motivarme en desarrollar este estudio y alcanzar mis metas.

A la facultad de ciencias básicas, especialmente al Departamento de Ciencias Ambientales, a los docentes que siempre apoyaron cada paso en mi formación académica y personal.

A todos mis amigos, amigas, familiares que me dieron su apoyo y consejos para lograr mis metas en mi camino de formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a mis padres por su apoyo incondicional y consejos para lograr llevar a cabo esta investigación y lograr cada una de mis metas propuestas a lo largo de mi carrera profesional.

Se hace un reconocimiento a Bioersivity International, que con sus oportunos y valiosos aportes y suministro de información para esta investigación hicieron posible la elaboración del estudio, en especial a Germán Calberto, por sus orientaciones y colaboración para alcanzar los objetivos planteados y profundizar en la temática. También se agradece el apoyo del grupo de investigación en estudios Ambientales para el desarrollo sostenible (GEADES) de la Universidad Autónoma de Occidente.

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo institucional brindado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) del Ecuador y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) de Costa Rica, y sin el apoyo económico brindado por El programa de investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS).

Finalmente quisiera agradecer a la Universidad Autónoma de Occidente, especialmente al Departamento de Ciencias Ambientales por su constante apoyo y guía académica para alcanzar los objetivos propuestos en el presente trabajo.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	17
INTRODUCCIÓN	19
1. OBJETIVOS	21
1.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	22
2.2 JUSTIFICACIÓN	24
3. MARCO REFERENCIAL	27
3.1 MARCO CONCEPTUAL	27
3.2 MARCO TEÓRICO	33
3.3 MARCO LEGAL	43
4. DISEÑO METODOLÓGICO	48
4.1 ÁREAS DE ESTUDIO	48
4.1.1. Colombia	48
4.1.1.1 Descripción áreas de estudio en Colombi	50
4.1.1.2 Producción de banano en Colombia	50
4.1.2 Ecuador.	52

4.1.2.1 Descripción áreas de estudio en Ecuador	54
4.1.2.2 Producción de banano en Ecuador	54
4.1.3 Costa Rica	56
4.1.3.1 Descripción áreas de estudio en Costa Rica	58
4.1.3.2 Producción de banano en Costa Rica	58
4.2 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA	59
4.2.1 Recolección de datos e información	59
4.2.2 Proceso de control de calidad de datos	60
4.2.3 Perfil climático de áreas de estudio	60
4.2.4 Variabilidad histórica climática	61
4.2.5 Proyecciones climáticas	62
4.2.6 Generación de datos diarios proyectados	62
4.2.7 Diseño y aplicación de Indicadores agroclimáticos	63
4.2.8 Zonificación agroclimática	63
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	65
5.1 CONTROL DE CALIDAD DE BASES DE DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	65
5.2 INDICADORES	69
5.2.1 Indicadores agroclimáticos relacionados por eventos meteorológicos que afectan el cultivo de banano	70
5.3 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SUS EFECTOS EN ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE BANANO EN COLOMBIA	81
5.3.1 Apartadó, Antioquia	81

5.3.2 Armenia, Quindío	88
5.3.3 Ciénaga, Magdalena	96
5.3.4 Riohacha, La Guajira	104
5.4 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SUS EFECTOS EN ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE BANANO EN ECUADOR	112
5.4.1 Vinces, Los Ríos	112
5.4.2 Quevedo, Los Ríos	120
5.4.3 El Guabo, El Oro	126
5.5 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SUS EFECTOS EN ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE BANANO EN COSTA RICA	134
5.5.1 Matina, Limón	134
5.5.2 Turrialba, Cartago	142
5.6 ZONIFICACIÓN AGROCLIMÁTICA Y EFECTOS SOBRE EL CULTIVO DE BANANO	148
5.6.1 Zonas agroclimáticas homólogas	151
5.6.2 Zonas Agroclimáticas heterogéneas	152
6. CONCLUSIONES	154
7. RECOMENDACIONES	157
BIBLIOGRAFÍA	158

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Localización de las estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Colombia.	48
Tabla 2 Localización de las estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Ecuador.	52
Tabla 3 Superficie, producción y rendimientos provinciales.	55
Tabla 4 Localización de las estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Costa Rica.	56
Tabla 5 Estadísticas datos normalizados	68
Tabla 6 Indicadores agroclimáticos de altas precipitaciones para el período histórico	71
Tabla 7 Indicadores agroclimáticos de altas precipitaciones para proyecciones.	71
Tabla 8 Indicadores agroclimáticos de prolongación de la época de lluvia para el período histórico.	72
Tabla 9 Indicadores agroclimáticos de prolongación de la época de lluvia para proyecciones.	72
Tabla 10 Indicadores agroclimáticos de lluvias en época seca para el período histórico.	73
Tabla 11 Indicadores agroclimáticos de lluvias en época seca para proyecciones.	73
Tabla 12 Indicadores agroclimáticos de adelanto en el inicio de la época seca para el período histórico.	74
Tabla 13 Indicadores agroclimáticos de adelanto en el inicio de la época seca para proyecciones.	74
Tabla 14 Indicadores agroclimáticos de atraso en el inicio de la época de lluvias para el período histórico.	75

Tabla 15 Indicadores agroclimáticos de atraso en el inicio de la época de lluvias para proyecciones.	75
Tabla 16 Indicadores agroclimáticos de época seca severa para el período histórico.	76
Tabla 17 Indicadores agroclimáticos de época seca severa para proyecciones.	76
Tabla 18 Indicadores agroclimáticos de probabilidad de déficit hídrico para el período histórico.	77
Tabla 19 Indicadores agroclimáticos de probabilidad de déficit hídrico para proyecciones.	77
Tabla 20 Indicadores agroclimáticos de período seco en estación de lluvia para el período histórico.	77
Tabla 21 Indicadores agroclimáticos de período seco en estación de lluvia para proyecciones.	78
Tabla 22 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas para el período histórico y proyecciones.	78
Tabla 23 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas sin precipitaciones para el período histórico.	79
Tabla 24 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas sin precipitaciones para proyecciones.	79
Tabla 25 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas con altas precipitaciones para el período histórico.	79
Tabla 26 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas con altas precipitaciones para proyecciones.	80
Tabla 27 Indicadores agroclimáticos de bajas temperaturas para el período histórico y las proyecciones	80

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2014) en Apartadó, Antioquia.	86
Cuadro 2 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Apartadó, Antioquia.	87
Cuadro 3 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2014) en Armenia, Quindío.	93
Cuadro 4 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Armenia, Quindío.	94
Cuadro 5 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2013) en Ciénaga, Magdalena.	101
Cuadro 6 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Ciénaga, Magdalena.	102
Cuadro 7 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2013) en Riohacha, La Guajira.	109
Cuadro 8 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Riohacha, La Guajira.	111
Cuadro 9 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1993-2011) en Vinces, Los Ríos.	117
Cuadro 10 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Vinces, Los Ríos.	118
Cuadro 11 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1965-2014) en Quevedo, Los Ríos	124
Cuadro 12 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Quevedo, Los Ríos.	125
Cuadro 13 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1985-1999) en Guabo, el Oro.	131

Cuadro 14 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Guabo, El Oro.	132
Cuadro 15 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2013) en Matina, Limón.	138
Cuadro 16 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Matina, Limón.	140
Cuadro 17 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1968-2014) en Turrialba, Cartago	146
Cuadro 18 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Turrialba, Cartago.	147
Cuadro 19 Categorización de zonas agroclimáticas idóneas para la producción de banano.	149

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Ubicación de estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Colombia.	49
Figura 2 Producción de banana de Exportación en Colombia (1990-2013)	51
Figura 3 Ubicación de estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Ecuador.	53
Figura 4 Caídas de la producción de banano en el Ecuador (1961-2013)	55
Figura 5 Ubicación estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano de Costa Rica.	57
Figura 6 Producción de banano en Costa Rica.	59
Figura 7 Diagrama explicativo de variabilidad histórica climática.	62
Figura 8 Gráficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar	66
Figura 9 Gráficas de distribución e histogramas de datos normalizados.	66
Figura 10 Diagrama de caja datos sin normalizar	67
Figura 11 Diagrama de datos normalizados	67
Figura 12 Perfil climático Apartadó, Antioquia (1980-2012) con datos de la estación meteorológica.	82
Figura 13 Perfil climático Apartadó, Antioquia (1980-2012) con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)	82
Figura 14 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Apartadó, Antioquia.	83
Figura 15 Proyecciones climáticas (2030,2050 y 2070) Apartadó, Antioquia.	84
Figura 16 Perfil Climática Armenia, Quindío (1980-2009) con datos de la estación meteorológica.	89

Figura 17 Perfil Climático Armenia, Quindío (1980-2009) datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)	90
Figura 18 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Armenia, Quindío.	91
Figura 19 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Armenia, Quindío	92
Figura 20 Perfil Climático Ciénaga, Magdalena (1980-2012) con datos de la estación meteorológica.	97
Figura 21 Perfil Climático Ciénaga, Magdalena (1980-2012) de datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)	98
Figura 22 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Ciénaga, Magdalena	99
Figura 23 Proyección Climática (230,2050 y 2070) Ciénaga, Magdalena	100
Figura 24 Perfil Climático Riohacha, La Guajira (1980-2012) con datos de la estación meteorológica	105
Figura 25 Perfil Climático Riohacha, La Guajira (1980-2012) Con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)	106
Figura 26 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación de Riohacha, La Guajira.	107
Figura 27 Proyección Climática (2030, 2050,2070) Riohacha, La Guajira.	108
Figura 28 Perfil Climático Vinces, Los Ríos (1993-2011) con datos de la estación meteorológica.	113
Figura 29 Perfil Climático Vinces, Los Ríos (1993-2011) con datos de la Unidad de Investigación Climática.	114
Figura 30 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Vinces, Los Ríos.	115
Figura 31 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Vinces, Los Ríos.	116
Figura 32 Perfil Climático Quevedo, Los Ríos (1965-2012) con datos de la estación meteorológica.	121

Figura 33 Perfil Climático Quevedo, Los Ríos (1965-2012) con datos de la Unidad de Investigación Climática-	121
Figura 34 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación Quevedo, Los Ríos.	122
Figura 35 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Quevedo, Los Ríos.	123
Figura 36 Perfil Climático del El Guabo, El Oro (1985-2005) con datos de la estación meteorológica.	127
Figura 37 Perfil Climático El Guabo, El Oro (1985-2005) con datos de la Unidad de Investigación Climática.	128
Figura 38 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en El Guabo, El Oro.	129
Figura 39 Proyección Climática (2030, 2050,2070) El Guabo, El Oro.	130
Figura 40 Perfil Climático Matina, Limón (1998-2012) con datos de la estación meteorológica.	135
Figura 41 Perfil Climático Matina, Limón (1998-2012) con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)	135
Figura 42 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Matina, Limón.	136
Figura 43 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Matina, Limón.	137
Figura 44 Perfil Climático Turrialba, Cartago (1968-2014) con datos de la estación meteorológica.	143
Figura 45 Perfil Climático Turrialba, Cartago (1968-2014) con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).	143
Figura 46 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Turrialba, Cartago.	144
Figura 47 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Turrialba, Cartago.	145
Figura 48 Zonificación agroclimáticas de las áreas de estudio.	150

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Control de calidad de bases de datos	168

RESUMEN

La variabilidad y el cambio climático generan cambios en las condiciones climáticas de las cuales los cultivos como el banano son dependientes. Las zonas productoras de banano en Colombia, Ecuador y Costa Rica son vulnerables a eventos extremos y moderados como sequías, olas de calor, inundaciones entre otros, que tienen efectos sobre el cultivo, su producción y la economía nacional.

En el presente trabajo se estudió la variabilidad climática histórica y proyectada bajo el escenario RCP 6.0 de nueve áreas productoras de banano y por medio de indicadores agroclimáticos se identificaron los eventos extremos y moderados con mayor ocurrencia, y sus efectos sobre el cultivo. Para ello se recopiló información climática histórica de estaciones meteorológicas y de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad East Anglia. Para las proyecciones climáticas se descargaron datos climáticos mensuales proyectados para el 2030, 2050 y 2070 del portal de CCAFS (El programa de investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria) y por medio del programa de simulación MarkSim se generaron datos diarios para los años proyectados.

El diseño de indicadores se realizó por medio de revisión de literatura sobre los requerimientos fisiológicos y los factores climáticos que inciden en el desarrollo fenológico de la planta de banano para luego relacionarlos y agruparlos en doce eventos meteorológicos.

Por otro lado con base en una zonificación agroclimática se clasificaron las áreas de estudio en homólogas y heterogéneas, y se identificó la ocurrencia de eventos extremos y moderados en común que afectan el cultivo.

Los resultados mostraron que la precipitación es un factor limitante en el cultivo de banano y su variabilidad está ligada a fenómenos como El Niño y La Niña. En las mayores zonas de producción de banano en Colombia, el fenómeno El Niño influye en la presencia de sequías mientras que en las zonas del Ecuador está más ligado con la ocurrencia de inundaciones. En el caso de Costa Rica el fenómeno de El Niño está más relacionado con la generación de huracanes.

Se identificó que las épocas secas severas, períodos secos en estación de lluvia, altas precipitaciones y lluvias en época seca son los eventos meteorológicos con mayor ocurrencia y probabilidad de presentarse a futuro en las zonas productoras de banano estudiadas con efectos negativos sobre el cultivo relacionados al déficit hídrico y pudrición de raíces por exceso de agua en los suelos, si el cultivo no contara con sistemas de riego y drenaje.

Según las proyecciones generadas, se estima un incremento promedio en la temperatura con unas ligeras variaciones en la precipitación. Estos cambios supondrían una ampliación las zonas potenciales para el cultivo de banano, sin embargo al entender el cultivo de banano como un sistema donde también intervienen otros actores ambientales, sociales y económicos las conclusiones aquí presentadas deben ser interpretadas con precaución.

De acuerdo con la zonificación agroclimática se identificaron zonas homólogas ubicadas en Colombia y Ecuador, y en Costa Rica y Colombia que afirman la posibilidad de transferencia de tecnología y conocimiento para la mitigación y adaptación a la variabilidad y cambio climático con base a la realidad local de cada una de las áreas productoras de banano.

PALABRAS CLAVE: Musa, Variabilidad Climática, Cambio Climático.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y la variabilidad climática generan cambios en las condiciones climáticas de las cuales cultivos como el banano son dependientes¹. Los impactos en la producción agrícola colocan en riesgo la seguridad alimentaria y la estabilidad económica en países donde la agricultura es la base económica.

El banano es uno de los cultivos más importantes en el mundo, por sus cualidades nutricionales, su volumen de exportación, el generar mercados locales y empleo a población rural. En América Latina, los países productores de banano como Colombia, Ecuador y Costa Rica son sensibles a las variaciones en el clima debido a sus características orográficas y zonas altamente sensibles a eventos extremos como sequías, olas de calor, inundaciones, deslizamientos, entre otros que cada vez aumentan su frecuencia e intensidad afectando el sector agropecuario².

La producción de banano es un sistema complejo que involucra no sólo la planta de banano sino también toda la cadena productiva, y por ello las estrategias de adaptación al cambio climático deben estar fundamentadas en estudios que permitan entender los posibles efectos físicos del cambio climático en los rendimientos de cultivos y las consecuencias económicas de los posibles cambios en la productividad agrícola.

Bajo el hecho altamente divulgado por El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el cambio climático y la gran influencia que ejerce las actividades humanas sobre este, se hace necesario desarrollar planes de adaptación y mitigación acorde con las necesidades, estructura organizacional, condición social y económica, y clima a nivel local. Por lo anterior y como aporte inicial a estas estrategias de adaptación, en el presente trabajo se estudió la variabilidad climática histórica y el clima proyectado para el 2030, 2050 y 2070, con el fin de identificar los eventos climáticos extremos y moderados, y el efecto sobre el cultivo de banano en tres países productores de América latina, así como los efectos futuros que se pueden generar por la variación en el clima.

¹ PICQ, C., FOURE, E., E.A, Frison. Banana and Food Security: Les productions bananières : un enjeu économique majeur pour la sécurité alimentaire. En: International Symposium 10-14, noviembre, 1998:Douala, Cameroon p. 639.

² LAU, Charlotte. JARVIS, Andy y RAMÍREZ, Julian. Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático. [en línea] Febrero 2013, p. 1. [consultado el 5 mayo de 2015] Disponible en internet: http://dapa.ciat.cgiar.org/wpcontent/uploads/2014/08/politica_sintesis1_colombia_cambio_climatico.pdf

Para cumplir con los objetivos trazados se recopiló información climática de nueve estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes áreas productoras de banano, a las cuales se les realizó un proceso de control de calidad por medio del programa RClimTool. También se descargaron registros mensuales históricos de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad East Anglia. Además se descargaron bases de datos mensuales de proyecciones climáticas mensuales bajo el escenario climático RCP 6.0 para los años 2030, 2050 y 2070 del portal de CCAFS (El programa de investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria) y por medio del programa MarkSim se generaron datos diarios para los años proyectados.

Por otro lado, se diseñaron indicadores agroclimáticos con base en los requerimientos fisiológicos y los factores climáticos que inciden en el desarrollo fenológico de la planta, relacionados con la ocurrencia de eventos meteorológicos.

Una vez organizada la información climática se analizó la tendencia y la variabilidad histórica y proyectada. Luego se aplicaron los indicadores y se analizó la ocurrencia de eventos meteorológicos y sus efectos sobre el cultivo.

Por último, con base en la zonificación agroclimática para banano se analizaron los impactos de los eventos extremos o moderados con mayor ocurrencia sobre el cultivo en zonas análogas.

Con el presente estudio se quiere contribuir al conocimiento sobre los impactos a los que diariamente se ve enfrentado el cultivo de banano a escala local. Y con ello implementar estrategias de prevención y de respuesta acorde con las necesidades y realidad local ante la ocurrencia de fenómenos meteorológicos minimizando pérdidas económicas e impactos sociales.

En el documento, los primeros capítulos corresponden a la revisión bibliográfica y diseño metodológico, y en el capítulo 6 los resultados se dividen en el proceso de control de calidad, descripción de indicadores agroclimáticos, resultados de los objetivos específicos por área de estudio y un análisis de acuerdo con la zonificación agroclimática. En los capítulos 7 y 8 se encuentran las conclusiones y recomendaciones del estudio.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la variabilidad climática histórica y proyectada, con el fin de identificar los eventos climáticos extremos y moderados, y su efecto sobre el cultivo de banano en tres países productores de América Latina.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las tendencias históricas de las variables temperatura y precipitación usando datos históricos de estaciones meteorológicas y datos cuadrículados de alta resolución de la Unidad de Investigación Climática (CRU).
- .Generar proyecciones climáticas para los años 2030, 2050 y 2070, y estimar la posible ocurrencia de eventos que afecten el cultivo de banano.
- Diseñar y aplicar indicadores agroclimáticos que tengan un efecto sobre el cultivo de banano
- Comparar la ocurrencia de los eventos identificados basado en una zonificación agroclimática para Colombia, Ecuador y Costa Rica.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su quinto informe³ establece que el cambio climático es inequívoco y desde la década de 1950 muchos de los cambios observados no tienen precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado, así mismo el nivel del mar se ha elevado y los volúmenes de nieve y hielo han disminuido. El cambio climático y la variabilidad climática también tendrán un impacto en la principal actividad dependiente del ser humano, la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial.

Frison y Sharrock⁴ afirman que los cultivos, como el banano, son dependientes de las condiciones climáticas y las variaciones generan consecuencias en la producción colocando en riesgo la seguridad alimentaria y estabilidad de muchos países donde la agricultura es uno de los principales motores de la economía. El banano es el cuarto cultivo más importante en el mundo, por sus cualidades nutricionales, ser cultivado por más de cien países, su volumen de exportación y el generar mercados locales, ingresos y empleo a poblaciones rurales.

Según Arias, *et al.*⁵, América Latina lidera la economía mundial del banano no solo por su producción en el comercio mundial sino por su capacidad de respuesta ante las condiciones del mercado en comparación con otras regiones productoras. Además, Prada⁶ dice que el banano es la exportación agrícola primaria para Ecuador, Panamá, Costa Rica y Belice y se encuentra entre las tres más importantes para Colombia, Guatemala y Honduras.

³ Cambio climático 2013. [en línea]: Base de ciencia física. Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 1. [consultado 30 mayo de 2015] Disponible en internet: http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf

⁴ PICQ, C., FOURE, E., E.A, Frison. Op cit.,p. 21

⁵ ARIAS, P., DANKERS, C.,LIU,P.,PILKAUSKAS, P. La economía mundial del banano 1985-2002. Panorama general de la producción y el comercio mundial de banano. [en línea] 2004. 104 p. [consultado el 21 julio de 2015]Disponible en internet: <http://www.fao.org/docrep/007/y5102s/y5102s04.htm>

⁶PRADA, Víctor. ¿Por qué es tan importante la existencia de un Foro Mundial Bananero? [en línea]. En: Agro noticias América Latina y el Caribe. 31, agosto, 2014. [consultado el 21 julio de 2015] Disponible en internet: <http://www.fao.org/agronoticias/agro-editorial/detalle/es/c/242510/>

La producción de banano en Colombia, de acuerdo con el sistema de información y desempeño de cadenas⁷, genera el 0,4% del Producto Interno Bruto del país contribuyendo al 3% de las exportaciones totales del país y una producción de 95 millones de cajas al año. El sector bananero en el país beneficia a más de 100 mil familias.

En el caso de Ecuador, Castillo⁸ afirma que el banano es el principal producto de exportación, en el 2012 representó el 45% de las exportaciones nacionales y contribuye al PIB agrícola en un 25% y al PIB nacional en un 1,5%. Aparte de las figuras también es importante mencionar que la mano de obra directa que emplea el sector bananero supera las 220.000 personas al año de las cuales el 10% son población económicamente activa rural.

Costa Rica ha sido líder a nivel mundial en productividad bananera, según la Corporación Bananera Nacional⁹, en el 2013 alcanzó un valor de 2.571 cajas por hectárea (46,6 toneladas métricas), un 0,5% por debajo de las 2.585 cajas/ha/año que se lograron en el 2012. El ingreso proveniente de las exportaciones de banano en el 2013 fue de US\$842,7 millones, lo que representa un 2,3% por encima de los US\$823,4 millones alcanzados en el 2012. También CORBANANA¹⁰ afirma que la agroindustria bananera es la principal fuente de empleo en la zona caribeña, brindando alrededor de 40.000 puestos de trabajo de forma directa y 100.000 empleos de forma indirecta.

La producción de banano es un sistema complejo que involucra no sólo la planta de banano sino también toda la cadena productiva que se genera a partir de su producción y comercialización. Es así como la problemática radica en el conocer los efectos directos de la variabilidad climática y el cambio climático proyectado en el cultivo de banano para afrontarlos mediante la planificación de estrategias

⁷Banano.[en línea]. Bogotá: Sistema De Información De Gestión Y Desempeño De Organizaciones De Cadenas, 2012 [consultado el 4 de enero de 2016] Disponible en internet: <http://sioc.minagricultura.gov.co/index.php/art-inicio-cadena-banano/?ide=24>

⁸CASTILLO VÉLEZ, María José. Consultoría sobre productividad del sector agropecuario ecuatoriano con énfasis en banano, cacao, arroz y maíz duro. [en línea] p.29. [consultado el 8 de marzo de 2015] Disponible en internet: http://rimisp.org/2015/wp-content/files_mf/1373468645DocEcuador9julio.pdf

⁹ Industria bananera en Costa Rica. Estadísticas Bananeras. [en línea].Corporación Bananera Nacional.2013[consultado el 21 de julio de 2015] Disponible en internet: https://www.corbana.co.cr/categorias/categoria_1348243853

¹⁰Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para Reducir el Escurrimiento de Plaguicidas en el Cultivo del Banano de la Región Caribe Costarricense.[en línea]. Corporación Bananera Nacional, 2011, p. 6. [consultado el 21 julio de 2015].Disponible en internet: <http://cep.unep.org/repicar/proyectos-demostrativos/costa-rica-1/publicaciones-corbana/Estudio%20de%20caso%20Corbana.pdf>

adecuadas de manejo que permitan la adaptación frente a los diversos eventos climáticos.

2.2 JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial la preocupación por los impactos de la variabilidad climática y el cambio climático está creciendo y por ello múltiples países han acordado esforzarse en comprometerse a contribuir a la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, el implementar estrategias de adaptación al cambio climático y modificaciones en las formas de aprovechamiento de los recursos naturales. Además de la importancia de la conservación de ecosistemas y la valoración de los servicios ambientales.

El cambio climático probablemente tendrá impactos significativos en el sector agropecuario en Colombia afirma Charlotte, Jarvis y Ramírez¹¹, afectando la mayor fuente de empleo para más de la quinta parte de su población y más de una décima parte del Producto Interno Bruto (PIB). Además Gutiérrez y Espinosa¹² ratifican que Colombia es especialmente sensible al cambio climático debido a sus características fisiográficas y zonas altamente sensibles a eventos hidrometeorológicos extremos como inundaciones, deslizamientos, granizadas, olas de calor que cada año aumentan su frecuencia afectando las actividades económicas, entre ellas la producción de banano. Por lo anterior, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible¹³ ha diseñado un Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) con el objeto de reducir el riesgo y los impactos socioeconómicos asociados a la variabilidad y al cambio climático en Colombia.

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente¹⁴, Ecuador es un país que se ha comprometido desde su política de estado en la mitigación y adaptación al cambio climático ya que ha evidenciado la variabilidad climática y el cambio climático pues en promedio la precipitación anual se incrementó en un 33% en la Región Litoral y

¹¹ LAU, Charlotte. JARVIS, Andy y RAMÍREZ, Julian. Op. cit.,p. 2.

¹²GUTIERREZ, María Elena. ESPINOSA, Tatiana. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Diagnóstico inicial, avances, vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica.[en línea] Septiembre 2010. p. 16. [consultado el 23 abril de 2015] Disponible en internet:<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35404402>

¹³Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático; marco conceptual y lineamientos.[en línea]. Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, p. 6. [consultado el 23 de julio de 2015] Disponible en internet: http://www.sigpad.gov.co/sigpad/archivos/ABC_Cambio_Climatico.pdf

¹⁴Gestión del Cambio Climático en el Ecuador. [en línea]. Ecuador: Ministerio de Ambiente. Noviembre,2013.[consultado el 25 de julio de 2015] Disponible en internet: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/ForosClimaticos/Foros%20Regionales/XI%20Foro/MAE_03.pdf

en un 8% en la Región Interandina. La temperatura media aumento en 0,8°C, la temperatura máxima en 1,4°C y la temperatura mínima en 1 °C y fenómenos como el Niño en 1997 y 1998 afectaron al sector agropecuario en pérdidas por 1.243 millones, así como más de 106.388 familias se vieron directamente afectadas por la ocurrencia de este fenómeno.

En Costa Rica la situación no es diferente, de acuerdo a Gutiérrez y Espinosa¹⁵ al cambio climático se proyecta una disminución de más del 32% anual en el norte del país, lo cual tendrá graves consecuencias en el déficit en el suministro de agua potable en la costa pacífica. A su vez intensificación del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) causando inundaciones en la región Caribe y sequias en el norte y noroeste del país. En los últimos años se han registrado eventos meteorológicos extremos en el norte de Costa Rica, como la tormenta Alma con daños de US\$35 millones para el país¹⁶

Sin embargo, Costa Rica posee una alta capacidad adaptativa, tiene el sexto mejor Índice de Desarrollo Humano de América Latina y el primer lugar en la clasificación del índice de competitividad turística. Además, se destacan las iniciativas en materia ambiental del gobierno y del sector privado, el sistema consolidado de áreas protegidas, la inclusión de temas ambientales como el cambio climático y la iniciativa del gobierno “Paz con la Naturaleza”, que tiene como meta que Costa Rica sea neutral en carbono para el año 2021. Otro elemento importante a considerar es que el país posee una buena red de estaciones hidrometeorológicas (en cantidad y distribución) para la recolección y monitoreo de datos climáticos. Existe desde 1992 un Programa de Cambio Climático liderado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), y el país cuenta con una Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) liderada por el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET).

No obstante, e independiente del país, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación¹⁷ asegura que para lograr que las estrategias de adaptación al cambio climático funcionen deben estar fundamentadas en estudios que permitan entender la variabilidad climática y sus impactos en los cultivos para lograr planes de manejos asertivos, eficaces y acorde con el tipo de evento climático que se presente. El uso eficaz de los datos climáticos y previsiones meteorológicas puede ayudar, a través de sistemas de alerta temprana, al análisis de los impactos del cambio climático en la producción agrícola y en toda la cadena alimentaria

¹⁵GUTIERREZ, María Elena, ESPINOSA, Tatiana. Op. cit. p.28.

¹⁶ Ibíd. p. 29.

¹⁷ Cambio climático y seguridad alimentaria. [En línea]. Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación (FAO). p. 1. [consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.fao.org/climatechange/16615-05a3a6593f26eaf91b35b0f0a320cc22e.pdf>

Por lo anterior, es que en el presente trabajo se estudiará la variabilidad climática y cambio climático en diversas zonas climáticas productoras de banano de Colombia, Ecuador y Costa Rica con el objeto de identificar los eventos extremos y moderados que afectan la producción y, establecer indicadores agroclimáticos que relacionen la los factores climáticos con el cultivo.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 MARCO CONCEPTUAL

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)¹⁸, la variabilidad climática es definida como las variaciones del estado promedio y otros datos estadísticos del clima en escalas temporales y espaciales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a procesos influenciados por fuerzas externas naturales o antropogénicas (variabilidad externa)". Por otro lado el cambio climático es el cambio en el estado del clima que se puede identificar por los promedios del clima y/o la variabilidad de sus propiedades que persiste por un período extenso de tiempo, normalmente por décadas o períodos más largos. El cambio climático es un hecho ligado principalmente a las actividades humanas y procesos naturales persistentes que afectan la composición de la atmósfera y el uso de la tierra.

La variabilidad climática y la producción agrícola están enteramente ligadas, tanto en el desarrollo fisiológico de las planta como en las estrategias de manejo de los cultivos, por ello es importante identificar la frecuencia de eventos climáticos basada en datos históricos, su probabilidad de ocurrencia y afectación sobre la producción de los cultivos, y en el particular de este estudio sobre la producción de banano.

Dentro de la variabilidad climática existen diversos eventos extremos y moderados que generan impactos en la agricultura; las sequías, inundaciones, heladas, tormentas, huracanes entre otros, ocasionan pérdidas de siembras, cosechas y cubierta vegetal alterando los cultivos.

Según el Comité Técnico Interagencial con base a los mandatos de la XI Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe¹⁹, uno de los eventos de variabilidad climática más conocidos son los fenómenos ENSO ("El Niño–Southern Oscillation"); los cuales se producen por la interacción entre el

¹⁸ Variabilidad climática y cambio climático. [en línea]. Banco Interamericano De Desarrollo (BID). [consultado el 5 de marzo de 2015]. Disponible en internet en : <http://kp.iadb.org/Adaptacion/es/Paginas/CentrodeConocimiento/Variabilidad-climatica-y-cambio-climatico.aspx>

¹⁹ Panorama del impacto ambiental de los recientes desastres naturales en América Latina y el Caribe. [en línea]. Comité Técnico Interagencial Del Foro De Ministros De Medio Ambiente De América Latina Y El Caribe, 2000 [consultado el 5 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.pnuma.org/forodeministros/12-barbados/bbdt02e-PanoramalImpactoAmbiental.pdf>

océano y la atmósfera, lo que origina fluctuaciones de la temperatura superficial y presión del aire en el Océano Pacífico, y en cuyo transcurso alternan episodios cálidos y fríos, más conocidos como El Niño y La Niña, respectivamente.

Para identificar la variabilidad climática es fundamental el realizar un análisis de series de tiempo, y Villavicencio²⁰ afirma que es la secuencia de observaciones medidas en determinados momentos, ordenadas cronológicamente en períodos anuales, mensuales, trimestrales o semanales con el fin de identificar la frecuencia de anomalías debidas a eventos moderados o extremos climáticos. Sin embargo, de acuerdo con Allwood, *et al.*²¹, para conocer las variaciones climáticas a futuro es necesario hacer una proyección climática la cual es la respuesta simulada del sistema climático a un escenario de emisión o concentración de gases de efecto invernadero, obtenidos mediante modelos climáticos futuros.

Desde 1992 el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)²² ha realizado estudios para la generación de escenarios de cambio climático nombrados IS92. En su quinto informe (2014) se han definido 4 escenarios de emisión, denominados Trayectorias o Vías de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés “Representative Concentration Pathways”), se caracterizan por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100 que oscila entre 2,6 y 8,5W/m². Las cuatro RCP comprenden un escenario en el que los esfuerzos en mitigación conducen a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP 2.6), 2 escenarios de estabilización (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases efecto invernadero (RCP8.5), los RCP contemplan los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del siglo XX frente a los escenarios de emisión utilizados en el cuarto informe del IPCC (2007) denominados SRES que no contemplaban los efectos de las posibles políticas o acuerdos internacionales tendientes a mitigar las emisiones.

El escenario climático RCP 6.0 representa un mundo sin ningún tipo de política climática global coordinada donde iniciativas de energía limpia para estabilizar las emisiones en la última mitad del siglo, pero los esfuerzos no son suficientes para

²⁰ VILLAVICENCIO, Jhon. Introducción a Series de Tiempo. [en línea] [consultado el 5 de marzo de 2015] Disponible en internet:

http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D

²¹Allwood J.M., V. Bosetti, N.K. Dubash, L. Gómez-Echeverri, and C. von Stechow, 2014: Glossary. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge. University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [en línea] p. 1270. [consultado el 1 de febrero de 2016] Disponible en internet: http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-i.pdf

²²Nuevos escenarios de emisión: RCPs. [en línea] Observatorio De Salud Y Cambio Climático.[consultado el 8 de octubre de 2015] Disponible en internet: http://www.oscc.gob.es/es/general/salud_cambio_climatico/Nuevos_escenarios_emision_RCPs.htm

compensar el crecimiento impulsado por el combustible fósil entre los países en desarrollo²³.

De acuerdo con Vargas, Sánchez y Rolón²⁴, los escenarios climáticos son una representación simplificada del clima futuro basada en un conjunto de relaciones climatológicas que proporcionan alternativas de lo que podría acontecer en un futuro de cercano de continuar con las mismas prácticas en ámbitos demográficos, sociales, económicos, tecnológicos.

El conocer la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos y moderados en una región deber ir ligado al conocimiento del elemento afectado, en este caso el estudio se enfocará en el cultivo de banano y su producción.

Ramírez, *et al.*²⁵, afirman que los bananos (*Musa spp.*) son originarios de Asia y hacen parte de la dieta de millones de personas en el África, Asia, Pacífico y América Latina. Además Arias, *et al.*²⁶, dicen que son uno de los principales cultivos alimenticios del mundo, se cultivan en las zonas tropicales y subtropicales. Después del arroz, el trigo y el maíz se consideran el cuarto producto alimenticio mundial más importante al ser cultivado por más de 100 países y ser la fruta más exportada en cuanto volumen y valor. El banano contribuye a la seguridad alimentaria de millones de personas del mundo en desarrollo por su comercialización en mercados locales, el proporcionar ingresos y empleos a poblaciones rurales pues es consumido en muchas partes del mundo por ser rico en potasio, calcio, magnesio, fósforo, hierro y en vitaminas A, B, C y E.

Según Guarín²⁷, la Familia Musaceae (Bananos y Plátanos) son plantas herbáceas rizomatosas, su altura se encuentra entre los 0,8 metros hasta más de 1,5 metros. Cada retoño de banano produce una serie de hojas hasta que en la

²³What Does the New IPCC Report Say About Climate Change? [en línea]. Serendipity, 8 de octubre de 2013.[consultado el 28 de enero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.easterbrook.ca/steve/2013/10/what-does-the-new-ipcc-report-say-about-climate-change/>

²⁴ VARGAS, Rocío del Carmen,. SÁNCHEZ, Gerardo,. ROLON, Julio Cesar. Proyecciones de cambio en la precipitación mediante vías de concentración representativas a nivel cuenca.[en línea] Octubre 2013. [consultado el 28 de enero de 2016] Disponible en internet: http://www.pincc.unam.mx/congresonacional2013/documentos_descargables/PDF/VargasCastillejaRociodelCarmen.pdf

²⁵RAMIREZ,Julian, JARVIS, Andy, VAN DEN BERGH, Inge, STAVER, Charles, and TURNER, David. Chapter 20: Changing Climates: Effects on Growing Conditions for Banana and Plantain (*Musa spp.*) and Possible Responses. En: Crop Adaptation to Climate Change, Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, p. 426-438.

²⁶ ARIAS, P., DANKERS,C., LIU,P.,PILKAUSKAS,P.Op. cit. p.24

²⁷GUARIN GIRALDO, German W. Impacto de la variabilidad climática en la producción de banano en el Urabá, antioqueño. Tesis de Magister en Ingeniería de recursos Hidráulicos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2011, p. 15.

parte superior emerge del centro de los pseudotallos en posición vertical; semejando un enorme capullo púrpura o violáceo, para iniciar el llenado de la fruta. Cada planta de banano produce una serie de racimos, uno de cada rebrote lateral. Después de que el fruto alcanza su madurez, se cosecha y un nuevo racimo emergerá del siguiente rebrote. Este proceso puede repetirse por 50 generaciones o más ya que es una planta perenne.

Guarín²⁸ también dice que las condiciones climáticas son factores determinantes en la producción del banano pues la temperatura y la humedad del suelo afectan el crecimiento, desarrollo de la planta y el fruto. Además Turner y Fortescue²⁹ aseveran que son sensibles a los cambios en el fotoperíodo. Largos fotoperíodos incrementan la tasa de desarrollo, por lo tanto el banano puede describirse como plantas facultativas de período largo, para las cuales fotoperíodos largos, aunque no esenciales, promueven el florecimiento.

De acuerdo con Calberto, *et al.*³⁰, se han determinado ciertos rangos en los que la temperatura afecta los procesos fisiológicos del banano ya sea en la fotosíntesis, respiración, absorción de nutrientes, tasa de aparición y elongación de nuevas hojas entre otros. Cuando la temperatura se encuentra entre 0°C y 5°C, se presenta un daño en los tejidos de las hojas por heladas, a 6 °C se destruye la clorofila de la hoja. Al igual a una temperatura de 47°C se generan daños térmicos y las hojas mueren por daños a nivel celular, sin embargo el estrés térmico fisiológico inicia con temperaturas de 34 °C y el crecimiento de la planta se detiene a los 38 °C. El crecimiento de la planta disminuye a temperaturas menores de 18 °C y se detiene con temperaturas mínimas de 13 °C³¹.

Según Skully y Elbehri³² a nivel comercial se ha determinado un rango óptimo de productividad entre los 26°C y 28°C, pero las plantas de banano pueden tolerar temperaturas en promedio entre 24 °C y 31°C; por encima y por debajo de estos márgenes, la idoneidad disminuye.

²⁸ *Ibíd.*

²⁹ TURNER, D. W. y FORTESCUE, J. A., THOMAS, D. Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*) *En: Brazilian journal of plant physiology.* Diciembre, 2007, vol. 19, número 4.

³⁰ CALBERTO, G., ALVAREZ, P., SILES, P., ARGUELLO, J., STAVER, C., SOTOMAYOR, I., BUSTAMANTE, A. Cap. 4: Evaluación del Impacto Del Cambio Climático En La Producción Y Aptitud Del Banano En El Ecuador. [en línea] *En: Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. 2015, 198 p. p. 75.

³¹ The Banana Growing. [En Línea] Infoagro Systems, S.L. [Consultado el 2 de febrero de 2106] Disponible en internet: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm

³² SKULLY, David y ELBEHRI, Aziz. Capítulo 3: El Cambio Climático Y Sus Efectos En El Sector Del Banano En El Ecuador. [en línea] *En: Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. 2015, 198 p. p. 64. Disponible en internet : <http://www.fao.org/3/a-i5116s.pdf>

Además Guarín³³ asevera que el período de crecimiento de los racimos depende de la temperatura, el suministro de agua y factores internos de la planta por ello este puede variar entre los 90 y 220 días.

Con base a Bucheli *et al.*³⁴, el cultivo es sensible tanto en el exceso como al déficit de agua en el suelo, y a pesar de que los requerimientos hídricos sean por lo general altos no es siempre el mismo y depende del clon-variedad, radiación solar diaria, densidad poblacional, edad del cultivo y del área foliar. Además, Cigales y Pérez³⁵ afirman que se requiere de suelos profundos, con texturas francas y estructuras que permitan un buen drenaje, con un pH ligeramente ácido a levemente alcalino sin altos contenidos de carbonatos de calcio, ya que la planta de banano al tener alta tasa de crecimiento, raíces poco profundas, baja capacidad para extraer agua y débil fuerza de penetración en el suelo genera una resistencia baja a la sequía y un constante suministro de agua para una producción óptima.

Las musáceas tienen un área foliar extensa que requieren grandes cantidades de agua. En la práctica, se requieren alrededor de 150 mm mensuales de precipitación (1.500 m³/ha) para satisfacer las necesidades hídricas.³⁶ Cigales y Perez³⁷ dicen que el uso consuntivo del cultivo de banano, en regiones con climas cálido-secos, es de aproximadamente 1,300mm anuales. Sin embargo con base a la zonificación agroecológica del banano³⁸ se afirma que con una buena distribución y drenajes se considera un rango de precipitación anual entre los 1200 mm y 2000 mm óptimo para cultivos de banano.

Guarín³⁹ dice que en zonas y épocas en que la precipitación disminuye y la humedad del suelo cae por debajo del 35% del total de agua disponible en condiciones de alta evaporación (5 a 6 mm/día) el crecimiento y la producción

³³ GUARIN, Op. cit., p. 21.

³⁴ BUCHELI, Víctor H., GONZALEZ MANTILLA, Alex S. TRAJADO, Cesar., MESIAS, Rigoberto, MALDONADO, Edmundo, TAPIA, Gustavo., AGUILAR, Dagguin., DE LA TORRE, Francisco., SIMBAÑA, Blanca. Zonificación agroecológica del banano (*Musa sapientum*) en el Ecuador a escala 1:25.000 y 1:250.000. versión 1. Quito, Ecuador: Ministerio De Agricultura, Ganadería, Acuacultura Y Pesca. Diciembre, 2012, p. 26.

³⁵ CIGALES, M. PEREZ, O. Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México. [en línea] Tecomán, Colima. México. 2011, p. 22. [consultado el 5 de diciembre de 2015] Disponible en internet: <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2011/sept/2.pdf>

³⁶ Zonificación agroecológica del banano (*Musa sapientum*) en el Ecuador a escala 1:25.000 y 1:250.000, Op. cit. p. 27.

³⁷ CIGALES, M. PEREZ, O. Op. cit. p. 22.

³⁸ Zonificación agroecológica del banano (*Musa sapientum*) en el Ecuador a escala 1:25.000 y 1:250.000, Op. cit. p. 11.

³⁹ GUARIN, Op. cit., p. 18.

decrecen drásticamente. Lo anterior se debe al cierre prematuro de los estomas durante el día, y la menor difusión de CO₂ a la cavidad sub-estomática afectando el proceso fotosintético, emisión foliar lento, reducción en el tamaño de las hojas e inflorescencias. Además las hojas antiguas se secan al no tolerar déficit hídricos temporales. Cuando la época seca severa se prolonga las hojas se secan rápidamente, las vainas foliares se marchitan y se produce ruptura del seudotallo. Sin embargo el cormo puede resistir sequias prolongadas, conservando la capacidad de emitir hojas cuando la disponibilidad de agua sea posible así sea mucho después de la ruptura del seudotallo. El déficit de agua puede causar distorsiones en la morfología de la planta, originando anomalías como la torsión del eje sobre sí mismo o la emisión lateral de la inflorescencia en el seudotallo⁴⁰.

De acuerdo con Montaldo⁴¹, zonas con vientos frecuentes de más de 40 km/h pueden afectar el desarrollo de la planta al provocar una transpiración anormal debido a la reapertura de los estomas hasta la laceración de la lámina foliar, generando pérdidas en el rendimiento de hasta un 20%. Además Guarín⁴² afirma que vientos mayores a 90 km/h rompen los peciolos de las hojas, se rasgan las hojas, se quiebran los seudotallo y puede generarse un daño mecánico por volcamiento en las plantaciones.

Posteriormente se deberá correlacionar las condiciones climáticas necesarias para el desarrollo del cultivo de banano con los pronósticos de ocurrencia de eventos extremos y moderados. Para ello será necesario el diseño y aplicación de indicadores agroclimáticos los cuales según Ramírez, *et al.*⁴³, son las expresiones cuantitativas que establecen la relación entre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos con los elementos climáticos (temperatura, precipitación, humedad relativa, etc.) y que proporcionan tanto exigencias como relaciones de las plantas con dichos elementos.

⁴⁰ Zonificación agroecológica del banano (*Musa sapientum*) en el Ecuador a escala 1:25.000 y 1:250.000, Op. cit. p. 26.

⁴¹ MONTALDO, Patricio. *Agroecológica Del Trópico Americano*. 1982. [en línea] San José, Costa Rica. p. 172. [consultado el 17 de diciembre de 2015] Disponible en internet: <https://books.google.com.co/books?isbn=9290390352>

⁴² GUARIN, Op. cit., p. 22.

⁴³ RAMIRÉZ GRANADOS, Rebeca., REYNA TRUJILLO, Teresa., SORIA RUIZ, Jesús., FERNANDEZ ORDOÑEZ, Yolanda. *Aptitud agroclimática en la Mesa Central de Guanajuato, México*. En: *Investigaciones Geográficas, Boletín*, número 54, Instituto de Geografía, UNAM, Julio, 2004, p. 26. [consultado el 13 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n54/n54a3.pdf>

3.2 MARCO TEÓRICO

Los efectos de la variabilidad climática y cambio climático en la agricultura son una preocupación a nivel global y ha sido la fuente de motivación para que grandes grupos de investigadores realicen estudios en los cuales se identifiquen los posibles efectos físicos del cambio climático en los rendimientos de cultivos y las consecuencias económicas de los posibles cambios en la productividad agrícola.

En 1998 Adams, R. *et al.*⁴⁴, realizaron un revisión de la literatura sobre los efectos físicos y económicos del cambio climático en la productividad agrícola, donde identificaron que los efectos combinados del calentamiento, la precipitación y fertilización en los rendimientos de los cultivos varían dependiendo del tipo del cultivo y en el lugar donde se encuentre. También que el cambio climático puede afectar la ventaja comparativa de las regiones de producción agrícola ya que se puede esperar que se desplacen geográficamente las áreas de producción de un cultivo específico y se afecten los ingresos y los patrones de comercio entre las regiones. Sin embargo las consecuencias económicas dependerán de las adaptaciones realizadas por los agricultores, consumidores e instituciones. Concluyen que en la mayoría de los estudios económicos, las proyecciones muestran pérdidas económicas importantes relacionadas con el aumento en la temperatura y la duplicación de emisiones de dióxido de carbono.

Un estudio en Bulgaria por V.A. Alexandrov y G. Hoogenboomb⁴⁵ en 1999 investigó la variabilidad climática durante el siglo XX y determinó el impacto global en la agricultura. También desarrollaron varios modelos de regresión estadística, relacionando el rendimiento del cultivo con variables climáticas como la precipitación y la temperatura del aire. Utilizaron el sistema de apoyo a la decisión para la transferencia de agro tecnología (DSSAT) versión 3.5 para evaluar la influencia del cambio climático proyectado en el rendimiento del grano de maíz y del trigo de invierno. En el estudio no encontraron un cambio significativo en la temperatura media anual del aire durante el siglo XX mientras que la precipitación media anual si disminuyó. Bulgaria ha experimentado eventos de sequía sobre todo en la década de 1940 y 1980 con disminución en la precipitación durante los meses de verano de abril a septiembre. Con base a la proyección realizada en escenarios con GCM con un nivel de CO₂ presente en la época se establece que un posible cambio en el clima afectará la producción agrícola, en una disminución en la producción y rentabilidad de trigo y el maíz, posteriormente cuando los

⁴⁴ADAMS, Richard., HURD, Brian., LENHART, Stephanie., LEARY, Neil. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review [en línea]. En: Climate Research. 1998, vol. 11, p.19-30 [consultado el 3 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.int-res.com/articles/cr/11/c011p019>

⁴⁵ V.A. Alexandrov, G. Hoogenboomb. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. En: Agricultural and Forest Meteorology. Septiembre, 2000, vol.104, p.315-327.

efectos directos de CO₂ se incorporaron en el estudio, todos los escenarios resultaron en un aumento en el rendimiento de trigo de invierno.

En el 2005 Challinor AJ, *et al.*⁴⁶, desarrollaron y probaron una parametrización del impacto de la alta temperatura en el rendimiento de un cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L), su objetivo fue el desarrollar tres parámetros para la simulación del impacto del estrés calórico sobre genotipos tolerantes, moderadamente sensibles y delicados. Esta parametrización se ha presentado como una extensión del modelo de cultivos GLAM (Modelo General de Gran Escala para cultivos anuales), demostrando la capacidad de GLAM-HTS para simular tres niveles de tolerancia al estrés por calor y para simular el impacto de la temperatura sobre la duración lo que permite una evaluación de los impactos de la media y la variabilidad de la temperatura estacional en el rendimiento. En conclusión la parametrización desarrollada se puede utilizar en estudios sobre el cambio climático para estimar el impacto del estrés por calor en el rendimiento y para evaluar el potencial de adaptación de los sistemas de cultivo a través de la elección de características del genotipo.

Challinor y Wheeler⁴⁷, en el 2008 realizaron un estudio sobre la reducción del rendimiento de los cultivos en el trópico debido al cambio climático. Primero identificaron los procesos biofísicos importantes en la determinación del rendimiento bajo condiciones de cambio climático, y cuantificaron su impacto. Después identificaron las principales incertidumbres que surgen en la proyección del cambio climático, para finalmente colocar geográficamente valores centrales específicos y márgenes de incertidumbre sobre los cambios en el rendimiento de maní en el marco del Informe 2071-2100 Especial sobre Escenarios de Emisiones escenario (SRES) A2. En el estudio para examinar los procesos y las incertidumbres en la simulación de rendimiento utilizaron un método de modelado de cultivos-parámetro perturbado junto con un modelo climático regional (PRECIS) estimado para el escenario de emisiones SRES A2 2071-2100. Además de dos conjuntos de simulaciones GLAM se llevaron a cabo: simulaciones de control y simulaciones de duración determinada. Los resultados del modelo se compararon con pruebas de sensibilidad utilizando otros dos modelos de cultivos de diferentes niveles de complejidad: CROPGRO, y el modelo de maní de Hammer y un modelo de simulación de maní: Desarrollo Modelo y pruebas (Agron. J. 87, 1085-109). Los valores centrales y rangos de incertidumbres obtenidos por GLAM se proyectaron

⁴⁶ CHALLINOR, AJ, WHEELER, TR, PQ, CRAUFURD, SLINGO, JM. Simulation of the impact of high temperature stress on annual crop yields. En: Agricultural and Forest Meteorology. Diciembre, 2005, vol.135, p.180-189.

⁴⁷ CHALLINOR AJ, WHEELER TR. Crop yield reduction in the tropics under climate change: Processes and uncertainties. En: Agricultural and Forest Meteorology. Marzo, 2008, vol.148, p.343-356.

para la media 2071-2100 rendimiento de los cultivos en la India. En las simulaciones de duración fija, los rendimientos de la media del conjunto subieron en su mayoría en un 10-30%. En las simulaciones de control el rendimiento de la estimulación por elevadas cantidades dióxido de carbono fue compensado por otros procesos. Por lo tanto, la cuantificación de la incertidumbre puede facilitar indicaciones de cambios en el rendimiento de las cosechas en los climas futuros. Concluyeron que se necesitan más estudios de modelación basados en procesos del impacto por déficit de presión de vapor en la simulación y estudios experimentales a temperaturas óptimas.

En el 2010, Reidsma, P, *et al.*⁴⁸, realizaron un estudio que analiza la adaptación de los agricultores y regiones de la Unión Europea a las condiciones climáticas, cambio climático y la variabilidad del clima en las últimas décadas (1990-2003), para ello compararon las respuestas en el rendimiento de los cultivos con la respuesta en los ingresos de los agricultores, luego las respuestas a la variabilidad del clima espacial con las respuestas a la variabilidad climática temporal, las respuestas a nivel de finca con respuestas a nivel regional y por último el potencial impactos del clima (basados en modelos de cultivos) con impactos climáticos reales (basadas en información contable agrícola). Los resultados determinaron que los impactos en el rendimiento de los cultivos no son igual sobre los ingresos de los agricultores. Por otro lado los impactos de las condiciones climáticas sobre la variabilidad espacial en los rendimientos de los cultivos y los ingresos de los agricultores, generalmente son más bajas en los climas más cálidos, mientras que los impactos de la variabilidad temporal en el clima son más heterogéneos entre las distintas regiones de Europa. Además los impactos reales del cambio climático y la variabilidad dependen en gran medida de las características del área de estudio (por ejemplo, la intensidad, tamaño, uso de la tierra), que influyen en la gestión y adaptación. Por ello para lograr comprender los impactos y la adaptación, las evaluaciones de vulnerabilidad deben considerar los diferentes tipos de explotaciones y diferentes mecanismos de adaptaciones los cuales deben ser parte integral de los modelos para simular indicadores relacionados con el rendimiento agrícola.

T.A. Crane, C.Roncoli, y G.Hoogenboom⁴⁹ realizaron un estudio sobre la importancia de la comprensión de los sistemas agrícolas frente a la adaptación al cambio climático y la variabilidad del clima y establecieron métodos de modelización con los enfoques analíticos que ponen en práctica los agricultores

⁴⁸ REIDSMAA, Pytrik, EWERT, Frank, LANSINKC, Alfons Oude, LEEMANSD, Rik Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. En: European Journal of Agronomy. 2010, vol.32, p. 91–102.

⁴⁹CRANE, T.A, RONCOLI, C, y .HOOGENBOOM, G. Adaptation to climate change and climate variability: The importance of understanding agricultura as performance. En: NJAS –Wageningen Journal of Life Sciences. 2011, vol. 57, p.179–185.

según su capacidad de adaptación al cambio climático. Escogieron dos ejemplos, en el primero se explora como están situados los aspectos técnicos de la adaptación al clima en Mali, África en la promulgación de las identidades étnicas y las luchas políticas entre los agricultores y ganaderos. En el segundo ejemplo se muestra como los agricultores del sureste de Estados Unidos se acercan a pronósticos de variabilidad del clima como herramientas de gestión de riesgos. Además se enfocan en la importancia de la investigación etnográfica en los agricultores para conocer las realidades de los sistemas agrícolas, el contexto social para poder lograr llevar a la práctica desarrollo de procesos de adaptación.

En el 2011, Blázquez J, *et al.*⁵⁰, realizaron un estudio de análisis de incertidumbres por medio de proyecciones climáticas sobre Sudamérica utilizando los GCM en el cual se generaron proyecciones futuras a partir de experimentos del modelo climático global JMA/MRI (alta resolución), primero se inició con la evaluación del clima presente usando datos de estaciones meteorológicas. Las incertidumbres se analizaron con el conjunto de los modelos WCRP-CMIP3 y WCRP-CMIP5 con el objetivo de identificar las regiones donde las proyecciones son más robustas.

Schapp, *et al.*⁵¹, realizaron un estudio en la región norte de los Países Bajos para explorar cómo las evaluaciones de riesgo de los impactos del cambio climático en la producción de cultivos pueden resolver varias vulnerabilidades. La metodología la llamaron agro-climático (ACC) la cual incluye las posibles pérdidas de rendimiento, y la calidad del producto y evalúa los riesgos frente a diferentes eventos climáticos moderados y extremos, plagas y enfermedades. En el estudio los eventos climáticos se analizan para dos segmentos de tiempo: 1990 que corresponde a datos históricos desde 1976 hasta 2005 y 2040 comprendiendo la serie de datos generados para el período 2026 al 2055; la frecuencia de ocurrencia de los eventos se comparó para los dos períodos, y los cambios de frecuencia resultantes se presentan en un calendario de cultivos sobre una base mensual, indicando la magnitud y la dirección de los cambios en los eventos extremos, y su incidencia en plagas y enfermedades. Los resultados se presentan para dos cultivos importantes de la región (papa y trigo) y se identifican los riesgos derivados de factores climáticos, las amenazas y oportunidades de los mismos.

⁵⁰ BLASQUEZ, Josefina. Proyecciones climáticas sobre Sudamérica utilizando modelos climáticos globales. Análisis de incertidumbres. Tesis doctoral en ciencias de la atmósfera y los océanos. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Facultad de ciencias exactas y naturales. 2011, 116 p.

⁵¹ SCHAAP, Ben F., BLOM-ZANDSTRA, Margaretha., HERMANS, Christiane., MEERBURG, Jan V. Impact changes of climatic extremes on arable farming in the north of the Netherlands. En: Regional Environmental Change. Septiembre, 2011, vol. 11, p. 731-741.

Otro producto del estudio anteriormente señalado por Schapp, *et al.*⁵², fue el diseño participativo de adaptación a nivel de finca a los riesgos climáticos en la misma región de cultivo en los Países Bajos. Para identificar los principales riesgos e impactos climáticos y desarrollar estrategias de adaptación se siguió un enfoque sema-cualitativo y participativo. Además se realizó un calendario agroclimático (ACC), un análisis de las partes interesadas y talleres de costo y beneficios. Las estrategias de adaptación se realizaron por escenario (frecuencia de ocurrencia de riesgos climáticos), y por actividad económica. Cuando los impactos son altos el riego por goteo fue identificado como la mejor opción.

En el 2012, Rashid S, *et al.*⁵³, en un proyecto realizado en Bangladesh examinan la relación entre el rendimiento de tres cultivos de arroz (Aus, Aman y Boro) y tres variables climáticas principales (temperatura máxima y mínima y precipitación). Para ello utilizaron datos de series de tiempo para el período comprendido entre 1972 y 2009. Sin embargo, en los resultados identificaron que los efectos significativos que afectan a los cultivos varían entre las tres cosechas de arroz y que la influencia ejercida por la temperatura es más significativa en comparación a las precipitaciones.

En Panamá Ruane A, *et al.*⁵⁴, realizaron un proyecto piloto para caracterizar las incertidumbres alrededor de los impactos del cambio climático proyectado en la producción de maíz (*Zea mays*) utilizando el modelo de cultivo CERES-Maíz en una región vulnerable al clima. Determinaron que los cultivos con menos estrés de agua corriente experimentarían los aspectos perjudiciales del cambio climático de manera superior. Tanto en la actualidad como en condiciones futuras los cultivos son muy sensibles a las características y selección del perfil del suelo. En el estudio concluyen que las proyecciones de rendimiento en Panamá bajo las condiciones de cambio climático tendrá un incremento en la producción durante el próximo siglo ya que el desarrollo acelerado de maíz en Panamá ayuda a que el período de llenado del grano completo ocurra antes de las tenciones de agua.

⁵² SCHAAP, Ben F., REIDSMAB, Pytrik., VERHAGENA, Jan., WOLFB, Joost., VAN ITTERSUMB, Martin K. Participatory design of farm level adaptation to climate risks in an arable region in The Netherlands. En: European Journal of Agronomy. Julio, 2013, vol.48, p. 30-42.

⁵³ RASHID S, Md. Abdur, ALAM, Khorsed y GOW, Jeff. Exploring the relationship between climate change and rice yield in Bangladesh: An analysis of time series data. En: Agricultural Systems. Octubre, 2012, vol.112, p. 11-16.

⁵⁴ RUANE, Alex C., DEWAYNE, L., HORTON, Radley M., GORDÓN, Román., MCCOLLUM, Raymond., BROWNE, Douglas., KILLOUGH, Brian., GOLDBERG, Richard., GREELEY, Adam., ROSENZWEIG, Cynthia. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. En: Agricultural and Forest Meteorology. Marzo, 2013, vol.170, p.132–145.

En el 2014 Roy, Gachon y Laprise⁵⁵ estudiaron la sensibilidad de la temporada de precipitaciones extremas en el este de Canadá a través de simulaciones históricas, utilizando el modelo climático regional canadiense (CRCM) con 16 simulaciones en el período de 1961 a 1990 y considerando cuatro fuentes de incertidumbre; el tamaño del dominio, la conducción Modelos Atmósfera-Océano Climático Global (AOGCM, por sus siglas en inglés) y la variabilidad interna del CRCM. Las simulaciones se aplicaron en dos tamaños de dominio (AMNO, cubriendo todo Norte América y QC que se centra en la provincia de Quebec en Canadá. Además caracterizan los diferentes tipos de variabilidad y extremos de precipitación por medio de tres índices estacionales; número de días de lluvia, el número máximo de días secos consecutivos, y el percentil 95 de la precipitación diaria. Finalmente el estudio muestra que la mayor fuente de incertidumbre en verano viene del modelo atmosfera-oceano climático global en la selección y elección del tamaño del dominio.

Leng, G., Tang, Q. y Rayburg, S⁵⁶, en el 2015 realizaron un estudio en China sobre los impactos de diferentes tipos de sequías, meteorológica, agrícola e hidrológica a nivel regional con el fin de coordinar estrategias de adaptación y mitigación. En el estudio examinaron series diarias de la humedad del suelo y la escorrentía en una cuadrícula de 0,5 grados en la conducción del modelo CIV y las propiedades de las sequías que ocurren en diferentes partes del ciclo hidrológico se examinaron exhaustivamente en las series de tiempo de precipitación, y la humedad del suelo modelado y la escorrentía. Los resultados obtenidos muestran que las sequias serán más severas, prolongadas y frecuentes en el futuro, sin embargo hay grandes variaciones en las diferentes regiones. En cuanto los resultados del modelo las áreas de la mayoría de Xinjiang, la meseta del Tíbet, y amplias zonas de la provincia de Yunnan tendrán sequías más intensas, más frecuentes y de mayor duración en el futuro cercano. Con ello concluyen que los desafíos a los que se enfrentará la productividad agrícola en estas regiones secas son escasez de agua y el continuo aumento de la población.

Luego de la revisión de los diferentes estudios sobre los efectos de la variabilidad climática y cambio climático en la productividad agrícola es importante mencionar los estudios que han identificados los impactos específicamente en la producción bananera.

⁵⁵ ROY, Philippe GACHON, Philippe y LAPRISE, Rene. Sensitivity of seasonal precipitation extremes to model configuration of the Canadian Regional Climate Model over eastern Canada using historical simulations. En: Clim Dyn, 2014, vol.43, p. 2431–2453.

⁵⁶ LENG, B, Guoyong , TANG, Qihong, y RAYBURGC, Scott. Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. En: Global and Planetary Change. Marzo, 2015, vol.126, p. 23–34.

Un estudio realizado por Ramírez J, *et al.*⁵⁷, analizan los efectos del cambio climático y variabilidad climática en las condiciones del cultivo del banano y el plátano (*Musa spp.*) en el cual se inicia con el análisis de la situación actual del cultivo en zonas productoras utilizando la temperatura y precipitación requerida de la cosecha durante la estación de crecimiento, luego modelaron las limitaciones climáticas actuales de los cultivos, describiendo los cambios previstos en el clima en las regiones importantes en producción de banano y plátano. Por último la modelación de la adaptabilidad prevista y los cambios en la adaptabilidad del banano y plátano en todas las regiones del mundo. Los resultados que obtuvieron sugieren que para lograr sacar provecho del cambio climático y superar los efectos negativos, los cultivares deben ser resistentes a enfermedades y tolerar fluctuaciones de temperatura y mantener un abastecimiento de agua. La pérdida de rendimiento se asocia a la expansión de enfermedades para ambos cultivos y las reducciones de opciones para el uso de pesticidas debido a la resistencia de las plagas, las regulaciones ambientales y de salud humana.

Van Asten,Pj. Fermont Am y Taulya,G⁵⁸, realizaron un estudio sobre el impacto de la sequía en los cultivos de banano en los Antiplaños de África Oriental, sus objetivos fueron cuantificar las pérdidas de rendimientos causadas por la sequía y si dichas perdidas están relacionadas con el estado de fertilidad del suelo y la gestión de fertilizantes. Para ello utilizaron datos de producción de plantas individuales en un período de 1996 a 2002 para un ensayo y un período de 2004 al 2009 en dos ensayos. La precipitación acumulativa en 12 meses antes de la cosecha la calcularon por planta a partir de mediciones de precipitación diaria. En sus resultados observaron que existen relaciones lineales entre la cosecha observada y el máximo peso de racimos de manera que cada descenso de 100 mm de precipitación causaba perdidas de pesos máximos en el racimo. También identificaron que las pérdidas de rendimiento causadas por la sequía fueron independientes de la fertilidad del suelo. En conclusión el estudio indica que las pérdidas de rendimiento causadas por sequias en las zonas altas del este de África con precipitaciones anuales inferiores a los 1.100 mm son quizás de un 20% a un 65% en comparación con las zonas húmedas de la región

En el 2011, Guarín⁵⁹ realizó un estudio sobre los impactos de la variabilidad climática en la producción de banano en la región del Urabá antioqueño, Colombia, con el cual simulo la dinámica poblacional de plantaciones de banano en 10 fincas productoras de Urabá por medio de la implementación del modelo SIMBA-POP. Estudió la variabilidad anual e interanual de las series de

⁵⁷ RAMIREZ, Julian, JARVIS, Andy, VAN DEN BERGH, Inge, STAVER, Charles, and TURNER, David. Op. cit. p.31

⁵⁸ VAN ASTEN,PJ. FERMONT,AM y TAULYA ,G. Drought is a major yield loss factor for rainfed East African highland banana. *En: Agricultural Water Management*. Febrero, 2011, vol.98, p. 541–552.

⁵⁹ GUARIN, Op. cit., p. 5.

precipitación, temperaturas máxima, media y mínima para el clima y las series de embolse, producción y ratio como indicadores del comportamiento del cultivo comercial de banano. También estudió el efecto de la precipitación en los ciclos de producción, embolse y ratio para ello construyo series de tiempo de precipitación acumulada y se relacionaron con el embolse, ratio y cajas exportadas. Se realizó una clasificación según análisis de frecuencia bivariada. Por otro lado el efecto de la temperatura se estudió con el modelo SIMBA – POP, en escenarios El NIÑO y LA NIÑA. Los resultados obtenidos demostraron que SIMBA-POP es capaz de reproducir el ciclo anual de producción, durante El NIÑO el modelo muestra un adelantamiento de entre 1 y 2 semanas en el pico del ciclo anual de embolse respecto a lo que ocurre en condiciones Normales del ENSO lo cual se debe a una disminución en la temperatura.

En los ciclos de cosecha para los escenarios El NIÑO y La NIÑA se advierte la presencia de picos y valles anómalos. De esta manera en un cultivo donde la programación de cosecha es realizada por calendario, independientemente de las condiciones climáticas, es posible cosechar racimos con un grado de madurez diferente al esperado, lo que puede ocasionar pérdida de fruta por maduración en el proceso de transporte hasta el sitio de destino. Por lo tanto, la gestión del cultivo debería incorporar herramientas de simulación como SIMBA-POP en la programación de actividades de manejo, especialmente ante El NIÑO, La NIÑA y el cambio climático.

Van den Bergh, *et al.*⁶⁰, estudiaron los impactos del cambio climático con promedios proyectados y variabilidad climática en la producción de banano en áreas subtropicales seleccionadas, para ello implementaron dos modelos; el modelo EcoCrop para las condiciones de crecimiento actuales y 19 modelos climáticos globales (MCG) bajo el escenario de emisiones SRES-A2 para el 2020 y 2050.

Los resultados del modelo mostraron que la adaptabilidad actual de la producción de banano en los subtrópicos es mucho menor que en las zonas tropicales con una gran variación en la adaptabilidad dentro de las zonas subtropicales ello se debe a que la producción de banano Subtropical enfrenta bajas temperaturas, la sequía y las altas temperaturas en ocasiones excesivas es así como el estudio mostró que la capacidad en los subtropicos aumentara especialmente en las zonas más septentrionales o meridionales, con aumento de las áreas adecuadas.

⁶⁰ VAN DEN Bergh, I., RAMIREZ, J., STAVEN, C., TURNER, D.W., JARVIS, A. and BROWN, D Climate Change in the Subtropics: the Impacts of Projected Averages and Variability on Banana Productivity. En: VI International Symposium on Banana.(28, febrero, 2012, Lisbon, Portugal VI International Symposium on Banana: XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Citrus, Bananas and other Tropical Fruits under Subtropical Conditions.

Por otro lado, los mayores retos en estos sitios son los cortos períodos de temperaturas muy altas que perjudican racimos y hojas. Finalmente se determinó que los principales impactos a enfrentar son aquellos relacionados con las bajas temperaturas y sequias prolongada, pues en el futuro se proyecta un aumento en las temperaturas en las regiones subtropicales investigadas, así como variaciones en los patrones de precipitación.

Aguirre, S, Piraneque,N y Menjivar. J⁶¹ realizaron un estudio en Colombia con el fin de determinar la relación entre el clima, propiedades edáficas y la incidencia de la enfermedad la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis Morelet*) en cultivares de banano. Utilizaron sistemas de información geográfica, digitalizaron los datos de las variables edáficas, los registros de las estaciones meteorológicas y la información de incidencia del patógeno. Mediante el método de Thiessen establecieron el área de incidencia de cada estación en el área de estudio. En sus resultados evidenciaron una correlación positiva entre la incidencia de la enfermedad con la precipitación, el magnesio intercambiable, la microporosidad, el contenido de arcilla y la evaporación, estableciendo que existen condiciones edáficas que inciden en la presencia de la enfermedad las cuales se deben tener en cuenta en el manejo de los cultivos.

En el 2013, Marchovina,B, Feeley,K⁶² realizaron un trabajo sobre el cambio climático en la extensión y localización de zonas aptas para la producción de banano de exportación. Utilizaron proyecciones climáticas a escala reducida para 2060 de siete modelos climáticos globales, para luego predecir los desplazamientos geográficos en las zonas aptas para la producción de banano tanto convencional como orgánico. Como resultados obtuvieron que aproximadamente la mitad de las plantaciones convencionales existentes incluidos en el análisis se encuentran en áreas que tienden a convertirse en no aptas para la producción de banano para el año 2060. El alcance general de las zonas aptas para el cultivo del banano convencional se prevé que disminuya en un 19%, pero todos los países se prevé que mantener algunas áreas adecuadas. La extensión de las áreas aptas para el cultivo de banano orgánico se prevé que casi el doble debido principalmente a la desecación climática. Varios países (por ejemplo, Colombia y Honduras) se prevé que experimentaran grandes disminuciones netas en la extensión de las áreas aptas para el cultivo del banano. Algunos países (por ejemplo, México) se pronostica que experimentaran grandes aumentos netos en la extensión de las áreas adecuadas. Los cambios en la localización de las áreas

⁶¹AGUIRRE F,Sonia E. PIRANEQUE, Nelson. MENJIVAR, Juan C. Relación entre las propiedades edafoclimáticas y la incidencia de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis Morelet*) en la zona bananera del Magdalena-Colombia. En: Revista de Investigación Agraria y Ambiental. 2012, vol. 3, p. 25.

⁶² MACHOVINA, Brian, FEELEY,Kenneth J. Climate change driven shifts in the extent and location of areas suitable for export banana production. En: Ecological Economics. Noviembre, 2013, vol.95, p. 83-95.

que serán aptas para el cultivo del banano se prevé que se producen principalmente en las áreas fuera de las áreas protegidas y que ya están en producción agrícola.

Calberto.G, *et al.*⁶³, realizaron la valoración del posible impacto de cambio climático en la producción y aptitud para banano en Ecuador y una valoración global de la producción y aptitud para el banano bajo escenarios de cambio climático, en el cual se plasman cuatro sub-estudios en las implicaciones del cambio climático y variabilidad climática, la producción, el rendimiento y la aptitud en el Ecuador. Analizaron el papel del cambio climático y la variabilidad en la productividad del banano y la incidencia de enfermedades foliares, estrategias de manejo actuales por parte de los cultivadores frente a los eventos climáticos moderados y extremos y finalmente, las relaciones entre clima y las fluctuaciones en las exportaciones de banano. En los estudios se logró concluir que aún en el 2070 las condiciones climáticas proyectadas seguirán siendo favorables en las principales áreas productoras de banano para exportación Ecuador. A pesar de que se esperan ciclos vegetativos más cortos debido al aumento de la temperatura, lo cual afecta el tamaño de los racimos reduciéndolos pero incrementando el número de racimos por hectáreas. Dicho incremento de temperaturas a través del año, demandara mayor cantidad de agua entre un 12 y 15% especialmente en las épocas secas. Por lo tanto, el cambio climático proyectado en la costa del Ecuador no será una mayor amenaza para el sector bananero y problemáticas de plagas como la Sigatoka Negra tendrá un crecimiento del tubo germinativo de las esporas. Y el picudo y nemátodos tendrán un crecimiento acelerado con temperaturas más altas lo cual resulta en un ciclo de reproducción más corto con un potencial de daño mayor con poblaciones más explosivas.

En el 2014, Zhang, Yu, *et al.*⁶⁴, modelan los impactos del cambio climático en las exportaciones agrícolas de Estados Unidos, para ello consideran cuatro escenarios climáticos alternativo y muestran que considerando o ignorando el resto de impactos climáticos mundiales se genera cambios significativos en las proyecciones de producción y las exportaciones estadounidenses. Así es que recomiendan que los estudios de impactos del cambio climático deban tener en cuenta no solo los efectos en el país sino también sobre la productividad en el resto del mundo para lograr captar los efectos en mercados de productos básicos.

⁶³ Calberto,G.,Alvarez,P.,Siles,P.,Arguello,J.,Staver,C.,Sotomayor,I.,Bustamante,A. Op. cit. p.32

⁶⁴ ZHANG, Yu, CAI, Yong-xia, BEACH Robert H, MCCARL Bruce A. Modeling Climate Change Impacts on the US Agricultural Exports. En: Journal of Integrative Agriculture. Abril, 2014, vol. 13, p.666–676.

Jarvis, A *et al.*⁶⁵, presentan un análisis sobre los impactos del cambio climático en los sistemas de producción de banano. Consultan los posibles sitios con impacto en la producción de banano utilizando 18 modelos climáticos globales (MCG) para el año 2050 obtenidos del cuarto informe de evaluación del IPCC. Luego presentaron los cambios en diferentes países productores del mundo, demostrando como en unos hay tendencia de sequía y en otros sitios aumento en las precipitaciones. Después se aplicaron modelos de adaptación generales, en este caso específico se usó ECOCROP para evaluar la aptitud del cultivo de banano bajo condiciones actuales y futuras; mostrando pérdidas significativas en la adaptabilidad climática para el banano en muchas áreas de las zonas bajas de América Latina (por ejemplo, Amazonía, Venezuela) y África (La Costa Occidental de África), mientras que incrementó en zonas aptas (pero con altos niveles de incertidumbre) para muchas zonas subtropicales (Sur Brasil, Australia, China) y las zonas costeras de Ecuador, Perú y Colombia. En promedio, la adaptabilidad del banano se incrementa en un 6%. Por último, analizaron los impactos del cambio climático en el hongo, Sigatoka Negra y se determinó que debido al aumento de las temperaturas en algunas regiones se disminuirá la aparición de Sigatoka Negra, mientras que, en otras regiones como el sur de Brasil, el sureste de Paraguay, el norte de Vietnam y el centro de Myanmar se prevé en un aumento del hongo.

3.3 MARCO LEGAL

El cambio climático es una realidad inevitable y sus efectos están obligando a la sociedad a buscar la mejor forma de adaptación. En 1990, el IPCC completó su primer reporte en la cual señala que existe evidencia suficiente para asegurar que el cambio climático ya había iniciado, y que las posibilidades de un calentamiento global deberían considerarse seriamente⁶⁶.

En las últimas décadas todos los países del mundo han asumido compromisos para mitigar los efectos del cambio climático. En 1992 se celebró la Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro, Brasil y se firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático la cual regula el problema del clima y calentamiento global de una manera integral. A partir de 1995 cada año se reúnen

⁶⁵JARVIS, Andy, RAMIREZ, Julian, GUEVARA, Edward, ZAPATA, Emmanuel. Global Impacts of Climate Change on agriculture production. En: Capitulo 3. Are Climate Change Adaptation and Mitigation Options Eco-Efficient?, p. 33.

⁶⁶ I parte el marco institucional y jurídico internacional en cambio climático. [en línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, p. 12. [consultado el 7 de marzo de 2015]. Disponible en internet: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/AD444S/AD444s02.pdf>

representantes de todos los gobiernos a evaluar los avances logrados en las acciones comprometidas⁶⁷.

En 1995 se realizaron negociaciones las cuales culminaron en la adopción del Protocolo de Kioto en 1997, el cual establece el compromiso de los países desarrollados de cumplir metas de reducción de emisiones de gases efecto invernadero. Sin embargo entro en vigor en el 2005 y se ratificó en el 2009.

En el 2007 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrada en Bali (Indonesia), 187 países se comprometieron en fortalecer las actividades destinadas en abordar la problemática del calentamiento global. De ello se estableció un plan de Acción en el cual se abordan los pilares de mitigación, adaptación, tecnologías y financiación como fortalecimiento a la respuesta mundial al cambio climático. Posteriormente en el 2009, 114 países suscribieron el Acuerdo de Copenhague el cual establece la importancia en reducir las emisiones tanto en países desarrollados como en países en desarrollo y la necesidad de mecanismos de financiación hacia los esfuerzos de mitigación.

Al siguiente año la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrada en Cancún (México) recalcó la importancia que los gobiernos tomen decisiones respecto a las emisiones de carbono y las actividades antrópicas relacionadas con el cambio climático.

En el 2011, de acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto⁶⁸, en la Conferencia sobre Cambio Climático de la ONU celebrada en Durban, Sudáfrica se estableció un segundo período de compromisos bajo el protocolo de Kioto y se dio apertura al fondo verde para el clima. Un año después se celebró la Conferencia de desarrollo sostenible de Naciones Unidas Río+20, la cual tuvo como objetivos; renovar un acuerdo político en desarrollo sostenible, evaluar los progresos en la implementación de los acuerdos firmados y abordar nuevos retos.

Colombia ha ratificado mediante leyes la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ley 164 de 1994) y el Protocolo de Kyoto (Ley 629 de 2000). Colombia ha desarrollado un Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático con el objeto de reducir el riesgo y los impactos socioeconómicos asociados a la variabilidad y al cambio climático en Colombia. Para ello se llevó a cabo un proyecto piloto y una estrategia institucional para la

⁶⁷. Ibíd. p. 12.

⁶⁸ Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. [En línea] Portal De La Labor Del Sistema De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático. [consultado el 7 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.un.org/es/climatechange/kyoto.shtml>

venta de servicios ambientales derivados de la mitigación de cambio climático (Conpes 3242)⁶⁹.

A pesar de que Colombia no aporta una cantidad significativa de gases efecto invernadero con relación con otros países, se ha desarrollado e implementado diferentes políticas que promueven el desarrollo sostenible asociado a bajas emisiones de dichos gases, reflejando así una evolución en materia de mitigación a nivel nacional.

De acuerdo con la síntesis para maestros sobre la segunda comunicación nacional de Colombia ante la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el cambio climático⁷⁰, en el sector de agricultura, la gestión ambiental agrícola se establece con dos instrumentos de planificación; La Agenda Ambiental Interministerial entre el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (MAVDT) y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR); y el segundo, el Plan Estratégico Ambiental del Sector Agropecuario (PEASA).

Colombia asume que el tema del cambio climático en la educación es clave para generar conciencia y responsabilidad. Por esto el país ha generado una “Estrategia Nacional de Educación, Formación y Sensibilización de Públicos sobre Cambio Climático”, que brinde directrices a las instituciones gubernamentales y no gubernamentales para que orienten sus acciones respecto al tema.

Según la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático⁷¹, Ecuador ha contribuido a la mitigación de los efectos del cambio climático y la generación de gases de efecto invernadero desde la constitución de 2008, en el capítulo segundo hace referencia a la adopción de medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, limitando las emisiones de GEI, de la deforestación y de la contaminación atmosférica, requiriendo medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y la protección de la población en riesgo.

⁶⁹Introducción a la legislación Internacional y Nacional vigente.[en línea] Universidad tecnológica de Pereira.[consultado el 26 julio de 2015] Disponible en internet: <http://media.utp.edu.co/centro-gestion-ambiental/archivos/curso-taller-cambio-climatico/02.pdf>

⁷⁰Educación para enfrentar el Cambio climático. Síntesis para maestros sobre la segunda comunicación nacional de Colombia ante la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el cambio climático.[en línea]Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo De Colombia [consultado el 25 de julio de 2015] Disponible en internet: http://www.pnud.org.co/img_upload/36353463616361636163616361636163/SEGUNDA_COMUNICACION.pdf

⁷¹ Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. [en línea] Quito, Ecuador: Ministerio Del Ambiente, 2011. [consultado el 25 de julio de 2015]Disponible en internet: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc2.pdf>

En el Decreto Ejecutivo 1815 (julio de 2009) se declara la mitigación y la adaptación al cambio climático como política de Estado. Define al Ministerio de ambiente como el encargado de la formulación de la estrategia nacional y el plan de cambio climático. Después mediante el decreto ejecutivo 495 de 2010 crean el Comité Interinstitucional de Cambio Climático (CICC), conformado por el Ministerio del Ambiente, el Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración, la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, los Ministerios Coordinadores de Patrimonio, Desarrollo Social, Sectores Estratégicos y Producción, Empleo y Competitividad, y las Secretarías Nacionales de Agua y Gestión de Riesgos el cual aplicara la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

De acuerdo a Ludeña y Wilk⁷², la política de fomento a la adaptación y mitigación a la variabilidad climática define lineamientos estratégicos en el área de adaptación al cambio climático y reducción de vulnerabilidad en los sectores energético, industrial, de transporte, de cambios y usos del suelo, de gestión de residuos y agropecuario; en la adaptación a las alteraciones climáticas e impactos vinculados con la soberanía alimentaria y energética; valoración del impacto del cambio climático sobre los bienes y servicios de los ecosistemas; incorporación de variables de cambio climático en el diseño de proyectos y en la evaluación de impactos ambientales; aumento en actividades educativas y de participación ciudadana; análisis, modelación y sistemas de información.

El Plan Nacional Buen Vivir 2013-2017 dentro de sus objetivos plantea el garantizar los de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global con una política en la cual busca implementar medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático para reducir la vulnerabilidad económica y ambiental.

Además en su Política Ambiental Nacional se busca la gestión de adaptación y mitigación al Cambio Climático para disminuir la vulnerabilidad social, económica y ambiental y la estrategia Nacional de Cambio Climático 2012-2025, contribuye a la adopción transversa de del cambio climático en los diferentes sectores de la economía⁷³.

⁷²LUDEÑA, Carlos, WILK, David. Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Marco de la preparación de la Estrategia 2012-2017 del BID en Ecuador.[en línea]. Septiembre, 2012, p.3. [consultado el 25 de julio de 2015] Disponible en internet: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6027/Ecuador%20-%20IDB-TN-619.pdf?sequence=1>

⁷³Gestión del Cambio Climático en el Ecuador. Ministerio de Ambiente. Ecuador. Op. cit. p. 16. Disponible en internet: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/ForosClimaticos/Foros%20Regionales/XI%20Foro/MAE_03.pdf

De acuerdo con el marco normativo ambiental⁷⁴ Costa Rica, es un país que ha procurado ir adelante en lo relativo a la protección del medio ambiente. Desde 1973, Costa Rica comenzó a legislar sobre cambio climático, a través de la Ley General de Salud, en la cual se dedicó un Capítulo con el propósito de regular las descargas de emisiones a la atmósfera. En 1995, se promulgó la denominada “Ley Orgánica del Ambiente” (Ley No. 7554), la cual recoge y sintetiza los principios modernos de la legislación internacional en un todo orgánico que vincula la actuación de los órganos estatales y particulares. En 1997 se emitió el reglamento de la Ley Forestal, en la cual se reglamenta el mecanismo de pago de servicios ambientales.

Costa Rica ratificó como Ley Superior de la República (Ley No.7513 publicada el 6 de julio de 1995), el Convenio Regional sobre Cambio Climático, suscrito por los países centroamericanos. También ha ratificado convenios internacionales como el convenio de Viena, Protocolo de Montreal, Convenio de Diversidad Biológica, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Convención de Lucha contra la Desertificación y Protocolo de Kyoto. A nivel regional Costa Rica aprobó el Convenio Regional de Cambio Climático, Convenio para la Conservación de la Biodiversidad y Protección de Áreas Silvestres Prioritarias de América Central, Convenio Regional para el Manejo y Conservación de los Ecosistemas Naturales, Forestales y el Desarrollo de Plantaciones Forestales.

Actualmente Costa Rica cuenta con el Plan de Acción Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC)⁷⁵ con el objeto de lograr la neutralidad para el 2021.

⁷⁴ Marco Normativo Ambiental. Costa Rica.[en línea] En: Marco Normativo Ambiental en los Países de la CIER 2011.[consultado el 25 de julio de 2015] Disponible en internet: <https://sites.google.com/site/marconormativoambiental/costa-rica>

⁷⁵Estrategia Nacional de Cambio Climático. Costa Rica. [en línea] Dirección De Cambio Climático. [consultado el 25 julio de 2015]Disponible en internet: <http://cambioclimaticocr.com/2012-05-22-19-42-06/estrategia-nacional-de-cambio-climatico>

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 ÁREAS DE ESTUDIO

El estudio sobre los impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre el cultivo de banano se realizó en zonas productoras de Colombia, Ecuador y Costa Rica.

A continuación se describirán las áreas productoras de banano seleccionadas para el estudio en cada uno de los países.

4.1.1. Colombia. Se encuentra en la zona tropical al extremo norte de Suramérica, ubicado entre la selva amazónica, Panamá y los océanos Pacífico y Atlántico cruzado por la cordillera andina⁷⁶. Es un país con diversas regiones productoras de banano y según el Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas⁷⁷ genera 95 millones de cajas al año contribuyendo al 0,4 % del Producto interno Bruto de Colombia.

De las áreas productoras en Colombia se escogieron para el presente estudio las ubicadas en; Apartadó (Antioquia), Armenia (Quindío), Ciénaga (Magdalena) y Riohacha (La Guajira). En la tabla 1 se observan las coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas y en la figura 1 la ubicación de las estaciones en áreas productoras de banano en Colombia.

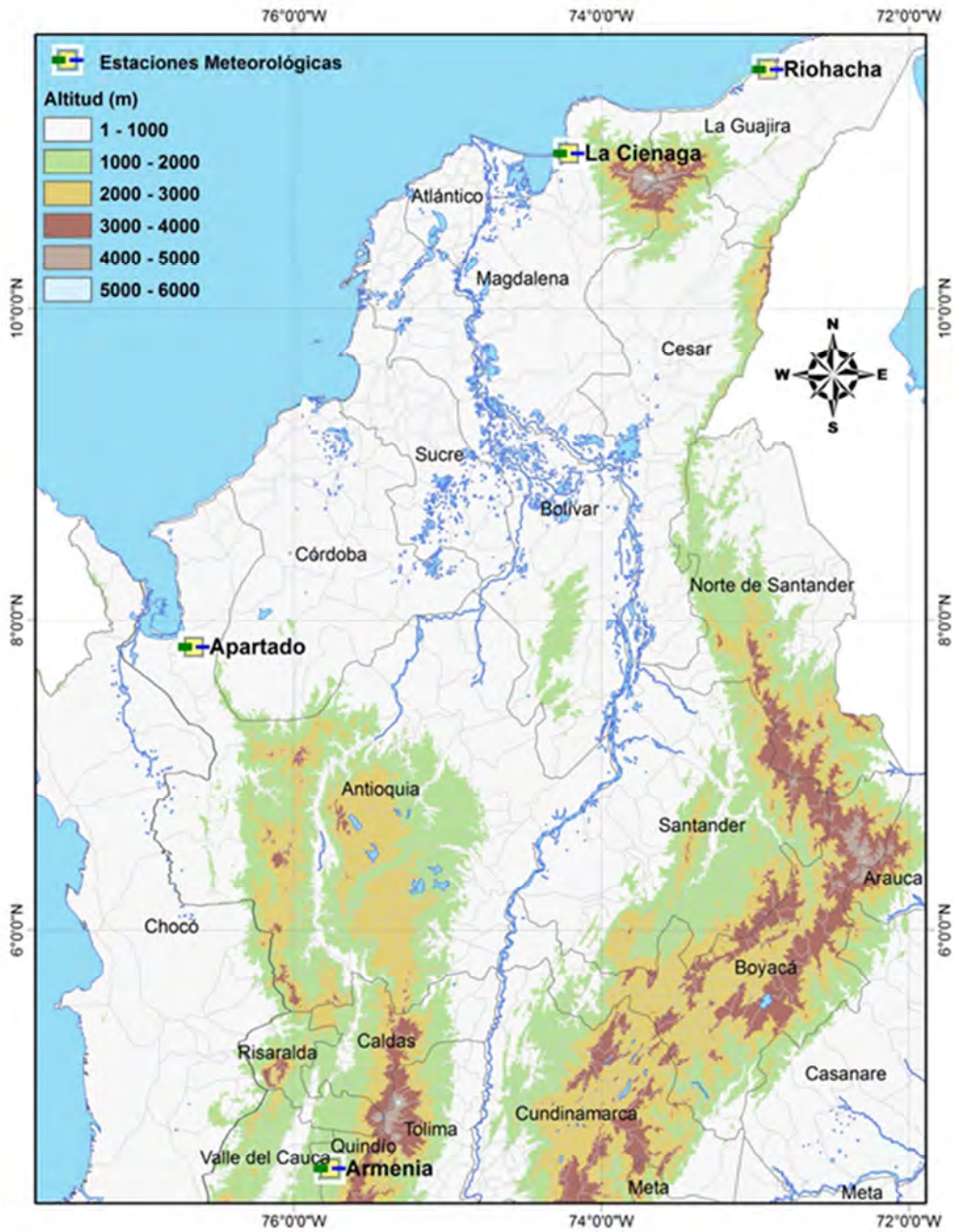
Tabla 1 Localización de las estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Colombia.

Municipio	Departamento	Altitud (m)	Coordenadas GMS	
			Longitud	Latitud
Apartadó	Antioquia	23	76°39'5.0"W	7°49'34.0"N
Armenia	Quindío	1229	75°45'59.0"W	4°27'16.8"N
Ciénaga	Magdalena	20	74°12'40.1"W	10°59'32.7"N
Riohacha	La Guajira	4	72°55'3.7"W	11°31'41.6"N

⁷⁶ Portal: Colombia.[en línea] Wikipedia Foundation,2011.[consultado el 5 de marzo de 2015] Disponible en internet: <https://es.wikipedia.org/wiki/Portal:Colombia>

⁷⁷Banano. Sistema De Información De Gestión Y Desempeño De Organizaciones De Cadenas. Op. cit. p. 25. Disponible en internet: <http://sioc.minagricultura.gov.co/index.php/art-inicio-cadena-banano/?ide=24>

Figura 1 Ubicación de estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Colombia.



Fuente: Carvajal, Mónica. Ubicación de estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Colombia. [Mapa]. Escala no vista. Marzo 2016. Software: ArcGIS [software GIS]. Versión 10.1.

4.1.1.1 Descripción áreas de estudio en Colombia.

- **Apartadó, Antioquia.** Es un municipio del departamento de Antioquia, Colombia. Tiene una altitud de 30 m y está localizado en la subregión de Urabá, región Andina. La economía del municipio se centra en la agricultura siendo el cultivo de banano, plátano, maíz, yuca, y cacao los más promisorios⁷⁸.
- **Armenia, Quindío.** Es la capital del departamento del Quindío, y uno de los principales municipios del eje cafetero, se localiza a 290 kilómetros al suroeste de Bogotá a una altura de 1.483 msnm. Las actividades económicas principales son el comercio, la agricultura y el turismo. Dentro de sus productos se destaca el plátano, el maíz y los frutales. Además la comercialización e industrialización del café es fundamental en su desarrollo económico⁷⁹.
- **Ciénaga, Magdalena.** Se encuentra localizado en la subregión Norte del departamento del Magdalena, la cual la integran además los municipios de Pueblo Viejo, Zona Bananera, Aracataca, El Retén y Fundación, y el distrito de Santa Marta. La extensión del territorio es de 1.267,97 km²; de los cuales, el 7,4% (9,36 km²) corresponde al área urbana, mientras que el perímetro rural abarca 20.284 km. El perímetro total del municipio es de 249.095 km.⁸⁰
- **Riohacha, La Guajira.** Se ubica en el centro del mar Caribe y en el delta del río Ranchería. Las corrientes de aire provenientes de los vientos alisios, modifican ligeramente la temperatura de acuerdo con la época del año. Cabe destacar que la ciudad se encuentra relativamente cerca de la Sierra Nevada de Santa Marta, jugando este otro factor y enriqueciendo más el clima.

4.1.1.2 Producción de banano en Colombia. La producción de banano en Colombia tiene gran importancia por ser un generador de empleo y de divisas para el país. Se generan aproximadamente 30.000 empleos directos y cerca de 90.000 indirectos. Las exportaciones en 2014 fueron de un valor cercano a los US\$728 millones⁸¹.

⁷⁸ Nuestro municipio. [en línea]. Alcaldía de Apartadó- Antioquia, 2015 [consultado el 23 de mayo de 2015] Disponible en internet: <http://www.apartado-antioquia.gov.co/index.shtml>

⁷⁹ Armenia (Quindío). [en línea]. Wikimedia foundation, inc, 2016 [consultado el 19 de abril de 2016] Disponible en internet: [https://es.wikipedia.org/wiki/Armenia_\(Quind%C3%ADo\)#Geograf.C3.ADA](https://es.wikipedia.org/wiki/Armenia_(Quind%C3%ADo)#Geograf.C3.ADA)

⁸⁰ Nuestro municipio. [en línea] Alcaldía De Ciénaga-Magdalena, 2015 [consultado el 23 de mayo de 2015] Disponible en internet: http://www.cienaga-magdalena.gov.co/informacion_general.shtml

⁸¹ Distrito de riego mejorará vida y productividad en Urabá. [en línea]. El Mundo, 2015 [consultado el 23 de mayo de 2015] Disponible en internet: http://www.elmundo.com/portal/noticias/economia/distrito_de_riego_mejorara_vida_y_productividad_en_uraba.php#.VcatD_IVikp

El banano es uno de los principales productos agrícolas exportables de la economía colombiana. En la figura 2 se observa la producción histórica de Colombia desde 1990 hasta el 2013, la producción se encuentra alrededor de las 1700 toneladas al año. En la actualidad los rendimientos promedios han disminuido, ya que en la región de Magdalena y La Guajira antes de la ola invernal registró promedios de 2.200 cajas/ha/año. Actualmente, de las 14.352 ha en producción de la región, se perdieron 2.331,92 ha de cultivo, (400 predios inundados: 387 en el Magdalena con 1.522,49 ha y 13 en La Guajira con 809,43 ha) afectando la mano de obra e ingresos en la región⁸².

Figura 2 Producción de banana de Exportación en Colombia (1990-2013)



Fuente: Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA).Producción de banano exportación en Colombia. 2013.

⁸²Diagnóstico del sector bananero 2007 – 2011.[en línea] Asociación De Bananeros De Magdalena Y La Guajira. p. 1.[consultado el 27 de julio de 2015] Disponible en internet: <http://asbama.com/wp-content/uploads/2013/05/DIAGNOSTICO-DEL-SECTOR-BANANERO-2007-2011.pdf>

4.1.2 Ecuador. Es un país ubicado en la región noroccidental de América del Sur sobre la línea ecuatorial terrestre por lo cual su territorio se encuentra en ambos hemisferios⁸³. El cultivo de banano se encuentra ubicado en diversas zonas climáticas y en su mayoría en dos provincias; Los Ríos la cual genera un 36,5% y el Oro un 31,6% de la producción total de banano del país⁸⁴.

En la tabla 2 se observan las coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas y en la figura 3 la ubicación de las estaciones seleccionadas en áreas productoras de banano en Ecuador.

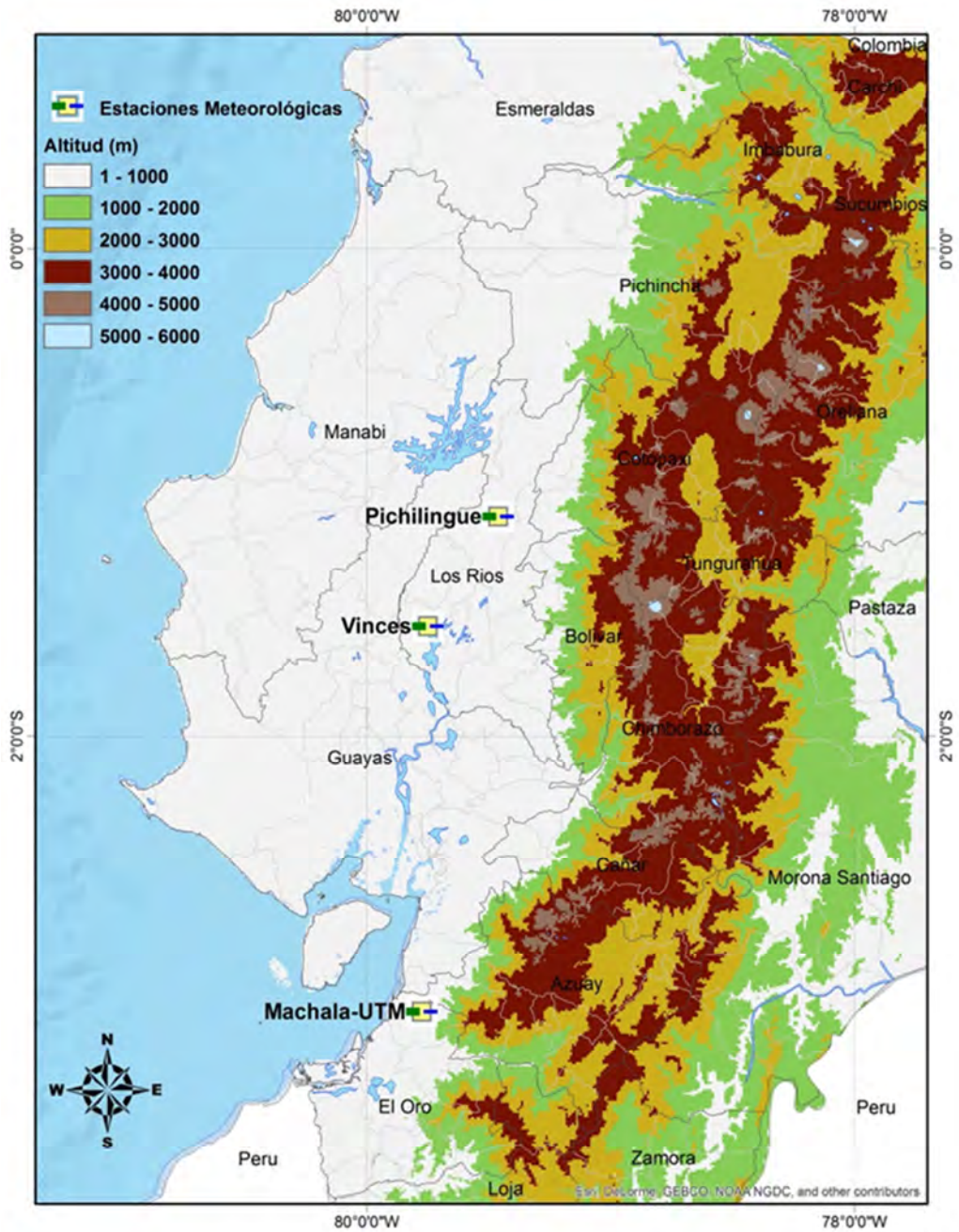
Tabla 2 Localización de las estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Ecuador.

Cantón	Provincia	Nombre de la estación	Altitud (m)	Coordenadas GMS	
				Longitud	Latitud
Vinces	Los Ríos	Vinces	14	79° 45' 0" W	1° 32' 57" S
Quevedo	Los Ríos	Pichilingue	120	79° 27' 42" W	1° 6' 0" S
El Guabo	El Oro	Machala UTM	13	79° 44' 0" W	3° 3' 0" S

⁸³ Datos y geografía de Ecuador.[en línea] Embajada de Ecuador en Washington DC-2007.[consultado el 27 de julio de 2015] Disponible en internet: http://web.archive.org/web/20121031112532/http://www.ecuador.org/esp/datos_ecuador.htm

⁸⁴ SOTOMAYOR HERRERA, Ignacio. Programa Nacional del Banano y Plátano.[en línea] Quito, Ecuador: Instituto Nacional de investigaciones agropecuarias.[consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.iniap.gob.ec/web/banano-platano-y-otras-musaceas/>

Figura 3 Ubicación de estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Ecuador.



Fuente: Carvajal, Mónica. Ubicación de estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Ecuador. [Mapa]. Escala no vista. Marzo 2016. Software: ArcGIS [software GIS]. Versión 10.1.

4.1.2.1 Descripción áreas de estudio en Ecuador.

- **Vinces, Los Ríos.** Es uno de los cantones más antiguos de la provincia de Los Ríos. La cabera Vinces se encuentra en la costa ecuatoriana, aproximadamente a 100 km al norte de la ciudad de Guayaquil. Se estima una población de 72.000 habitantes, el 61% reside en el área rural⁸⁵.
- **Quevedo, Los Ríos.** Se encuentra en el centro del litoral, por su posición geográfica y vial permite un intenso tráfico terrestre y fluvial. Es el mayor centro económico y comercial de la provincia de Los Ríos, entregando divisas de la exportación de sus productos agrícolas como: banano, café, cacao, palo de balsa, caucho, palma africana, frutales, soya, maíz, entre otros. Es considerada la nueva capital bananera de Ecuador por ser el centro de operaciones de la mayoría de compañías bananeras que operan en el país y por la prestigiosa calidad de su fruta de exportación⁸⁶.
- **El Guabo, El Oro.** Se encuentra al noroeste de la provincia de El Oro, tiene una superficie de 498 km², a una distancia de 18 km de Machala. Se encuentra en la región costanera, con un clima húmedo tropical, el cultivo más importante es el banano para exportación⁸⁷.

4.1.2.2 Producción de banano en Ecuador. El cultivo de banano constituye la actividad agrícola de mayor importancia para la economía del Ecuador. Según el instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones (2013) las principales variedades de banano que se exportan son “Cavendish, orito o baby banana, y banano rojo⁸⁸”.

Las exportaciones de banano del Ecuador representan un tercio de las exportaciones mundiales generando un ingreso de \$ 1.900 millones de dólares por concepto de divisas, y otros \$ 90 millones de dólares por concepto de impuestos al estado. Los ingresos generados por la actividad bananera representan el 3,84% del PIB total; el 50% del PIB agrícola y el 20% de las exportaciones

⁸⁵ Información censal catonal. [en línea] Instituto Nacional De Estadística Y Censos. [consultado el 26 de julio de 2015] Disponible en internet: http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_content&view=article&id=232&Itemid=129&lang=es

⁸⁶ Quevedo, Ecuador. [en línea]. Wikipedia Foundation, 2015 [consultado el 26 de julio de 2015] Disponible en internet : [https://es.wikipedia.org/wiki/Quevedo_\(Ecuador\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Quevedo_(Ecuador))

⁸⁷ El Guabo. [en línea] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Del Cantón El Guabo [consultado el 28 de julio de 2015] Disponible en internet: www.elguabo.gob.ec

⁸⁸ GONZABAY, Roberto. Cultivo del banano en el Ecuador. [en línea] [consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet : www.afese.com/img/revistas/revista58/cultivobanano.pdf

privadas del país⁸⁹. En la tabla 3, se observa la producción, superficie y rendimiento por provincias de la producción de banano del año 2012.

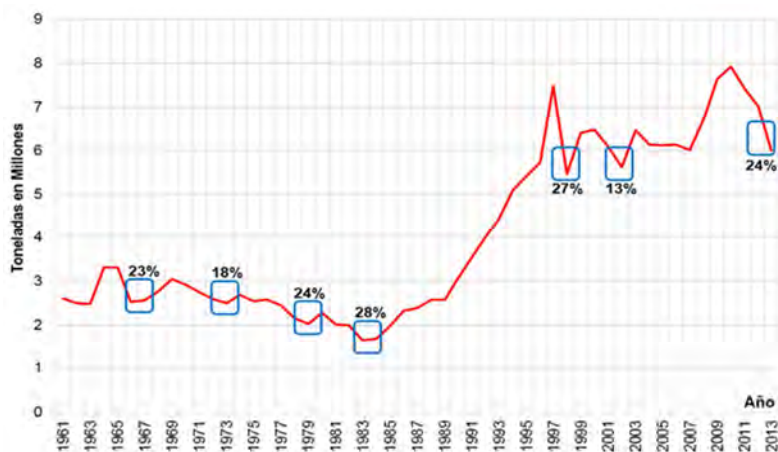
Tabla 3 Superficie, producción y rendimientos provinciales.

Superficie, Producción y Rendimientos Provinciales de Ecuador				
Provincia	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tm)	Rendimiento (tm/ha)
Total Nacional	221.775	210.894	7.012.244	33,25
Los Ríos	63.866	65.536	2.753.742	44,03
El Oro	63.883	62.828	2.269.901	36
Guayas	41.775	40.264	1.585.131	39
Otros	52.25	45.268	403.486	8,91

Fuente: INSTITUTO DE PROMOCIÓN DE EXPORTACIONES E INVERSIONES PRO ECUADOR. Análisis del sector Banano.2013.

La producción de banano en el Ecuador a través de los años se ha visto afectada por eventos climáticos como el fenómeno del niño, bajas temperaturas, entre otros, y cambios económicos como en el precio internacional del banano, introducción de variedades, desaparición de empresas del mercado, restricción arancelaria⁹⁰, como se observa en la figura 4.

Figura 4 Caídas de la producción de banano en el Ecuador (1961-2013)



Fuente:CALBERTO,G.,ALVAREZ,P.,SILES,P.,ARGUELLO,J.,STAVAR,C.,SOTOMAYOR,I.,BUST AMANTE,A. Cap. 4: Evaluación del Impacto Del Cambio Climático En La Producción Y Aptitud Del Banano En El Ecuador.[en línea] En: Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia.2015, p. 109.

⁸⁹SOTOMAYOR HERRERA, Ignacio. Op. cit. p. 54.

⁹⁰ Calberto,G.,Alvarez,P.,Siles,P.,Arguello,J.,Stavar,C.,Sotomayor,I.,Bustamante,A. Op. cit. p. 109.

4.1.3 Costa Rica. Es un país tropical de Centroamérica. La mayor parte de plantaciones bananeras destinadas a la exportación se encuentran en la región caribe. En el 2014 la productividad bananera nacional alcanzó 2,564 cajas por hectárea⁹¹.

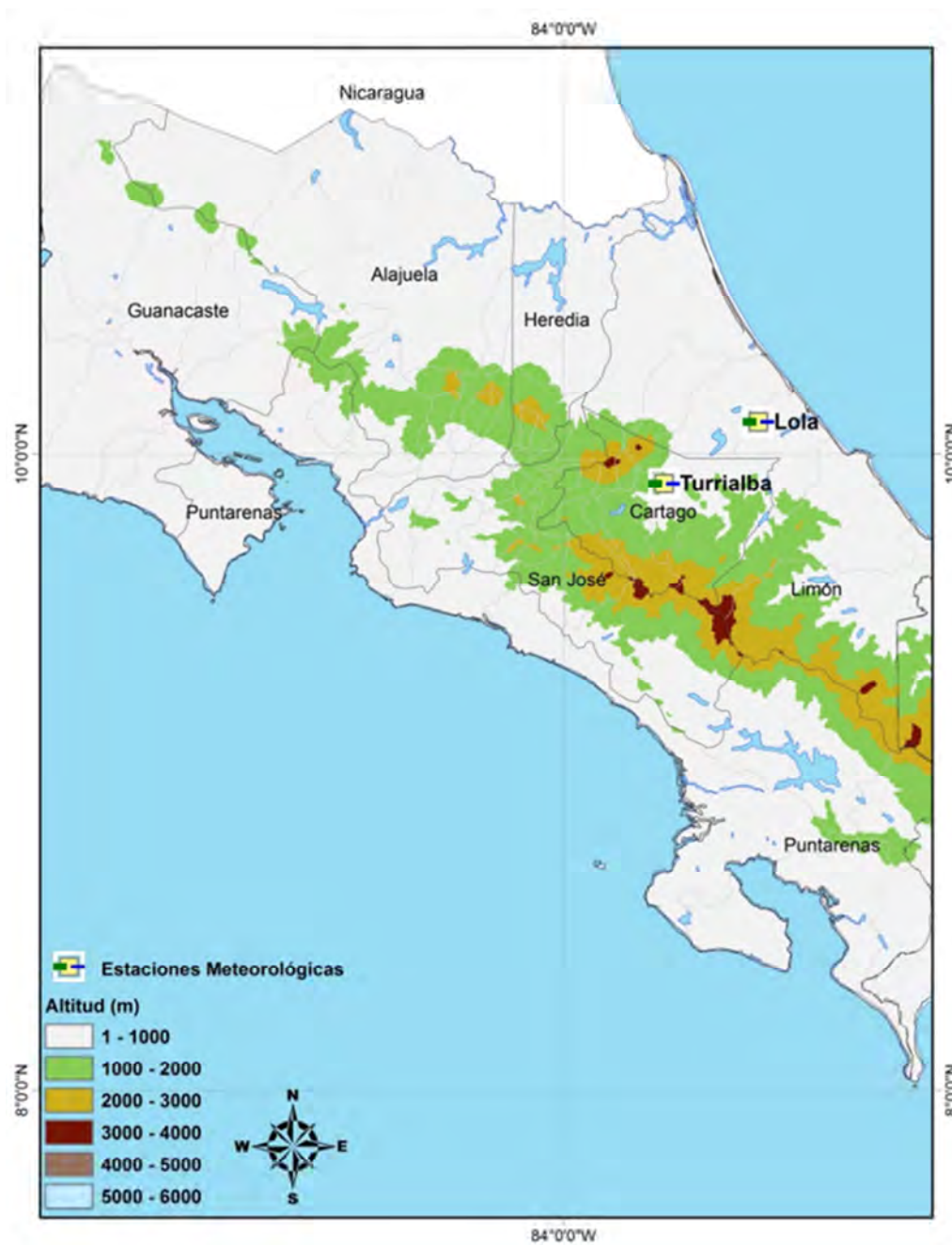
En la tabla 4, se observan las coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas y en la figura 5 la ubicación de las estaciones seleccionadas en áreas productoras de banano en Costa Rica.

Tabla 4 Localización de las estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Costa Rica.

Cantón	Provincia	Nombre de la Estación	Altitud (m)	Coordenadas GMS	
				Longitud	Latitud
Matina	Limón	Lola	40	83° 23 W	10°06'N
Turrialba	Cartago	Turrialba	602	83° 38' W	9° 53' N

⁹¹ Industria Bananera en Costa Rica.[en línea] Corporación bananera nacional. [consultado el 6 de marzo de 2015]Disponible en internet: https://www.corbana.co.cr/categories/categoria_1348243853

Figura 5 Ubicación estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano de Costa Rica.



Fuente: Carvajal, Mónica. Ubicación de estaciones meteorológicas en áreas productoras de banano en Costa Rica. [Mapa]. Escala no vista. Marzo 2016. Software: ArcGIS [software GIS]. Versión 10.1.

4.1.3.1 Descripción áreas de estudio en Costa Rica.

- **Cantón Matina, Provincia de Limón.** Es el quinto de la provincia de Limón, tiene una superficie de 576,48 km², la amplitud máxima es de cuarenta y siete kilómetros, en dirección norte a sur, desde la desembocadura del estero Madre de Dios, en el mar Caribe hasta unos 1.500 metros aguas arriba de la confluencia del río Boyei⁹². El principal ingreso del cantón lo aporta la agricultura, especialmente la producción bananera y en menor medida la ganadería⁹³.
- **Cantón Turrialba, Provincia de Cartago.** Es uno de los cantones más extensos del país, con un área aproximada de 1.657 km², lo que equivale a alrededor del 52% de la superficie total de la provincia de Cartago. El territorio es uno de los más montañosos del país y su altitud promedio es de 1000 metros. La actividad económica se concentra en procesamiento de productos agrícolas, explotación de cal, producción de cemento y las maquilas⁹⁴.

4.1.3.2 Producción de banano en Costa Rica. Costa Rica ha sido líder a nivel mundial en productividad bananera, en el 2013 alcanzó un valor de 2.571 cajas por hectárea (46,6 toneladas métricas), un 0,5% por debajo de las 2.585 cajas/ha/año que se lograron en el 2012. El ingreso proveniente de las exportaciones de banano en el 2013 fue de US\$842,7 millones, lo que representa un 2,3% por encima de los US\$823,4 millones alcanzados en el 2012. Las exportaciones bananeras representaron el 7,3% dentro del total de exportaciones nacionales.⁹⁵ La agroindustria bananera es la principal fuente de empleo en la zona caribeña, brindando alrededor de 40.000 puestos de trabajo de forma directa y 100.000 empleos de forma indirecta⁹⁶. En la figura 6 se observa la producción en toneladas anual.

⁹² Matina.[en línea] ECURED.[consultado el 7 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.ecured.cu/Matina>

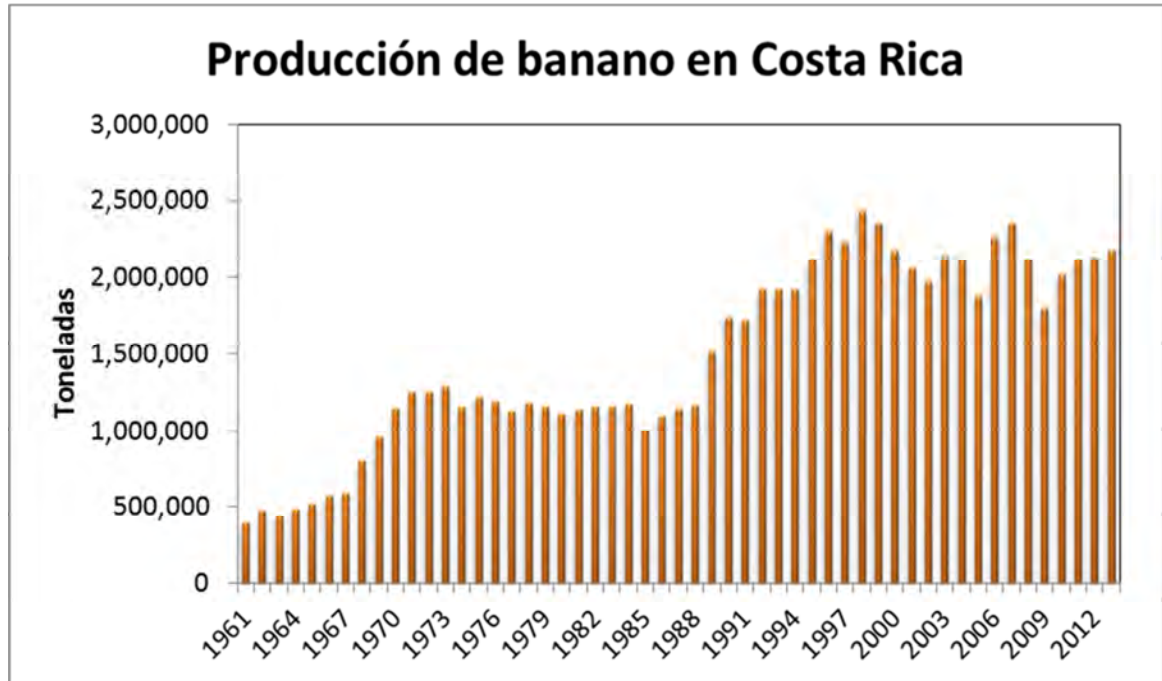
⁹³ Cantón de Matina.[en línea] Wikipedia Foundation.[consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_de_Matina

⁹⁴ Cantón de Turrialba.[en línea] Wikipedia Foundation [consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_de_Turrialba

⁹⁵ Estadísticas Bananeras.[en línea] Corporación bananera nacional.[consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet:https://www.corbana.co.cr/categories/categoria_1348243853

⁹⁶ Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para Reducir el Esguerrimiento de Plaguicidas en el Cultivo del Banano de la Región Caribe Costarricense. [en línea] Corporación Bananera Nacional. Abril 2011 [consultado el 21 julio de 2015] Disponible en internet: <http://cep.unep.org/repcar/proyectosdemostrativos/costarica1/publicacionescorbana/Estudio%20de%20caso%20Corbana.pdf>

Figura 6 Producción de banano en Costa Rica.



Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA. Producción de banano en Costa Rica. 2016.

4.2 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA

4.2.1 Recolección de datos e información. Se recopiló registros históricos diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación de estaciones meteorológicas para cada una de las áreas de estudio. La información fue proporcionada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) del Ecuador y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) de Costa Rica.

También se recopilaron datos de las series cronológicas de la Unidad de investigación climática de la Universidad de East Anglia (CRU, por sus siglas en inglés "Climate Research Unit") para cada una de las áreas de estudio en Colombia, Ecuador y Costa Rica.

De acuerdo con Harris, *et al.*⁹⁷, los datos CRU son datos espaciales que contienen variaciones mes a mes en el clima durante el último siglo. Estos se calculan en grillas de alta resolución (0,5 x 0,5 grados), que se basan en un archivo de temperaturas medias mensuales proporcionados por más de 4000 estaciones meteorológicas distribuidas por todo el mundo. Los datos permiten estudiar las variaciones en el clima, e incluye variables tales como la cobertura de nubes, rango de temperaturas diurnas, frecuencia de días con heladas, precipitación, temperatura media, máxima y mínima promediada mensualmente, la presión de vapor de agua y la frecuencia de días húmedos.

Por otro lado los datos de proyecciones para las áreas de estudio se recopilieron de portal de CCAFS (El programa de investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria), con resolución de 30 segundos (~1km) .

4.2.2 Proceso de control de calidad de datos. Se identificaron las bases de datos con más de 15 años diarios de temperatura mínima, máxima y precipitación para cada una de las áreas de estudio. Las bases de datos se organizaron según los formatos de entrada requeridos por el programa RClimTool.

En este programa se realizó el proceso de análisis descriptivo de las variables (total de datos (n), valor mínimo y valor máximo, varianza, desviación estándar, mediana, porcentaje de coeficiente de variación, cantidad (NA) y porcentaje de datos faltantes (NA%), y se generaron gráficas del comportamiento y distribución de los datos.

Después se realizó la normalización de los datos y se identificó el porcentaje de datos atípicos y datos fuera del rango especificado para cada una de la variables con base a conocimientos previos de cada una zonas. Además se aplicó pruebas no paramétricas (Test de Mann-Kendall) para las distribuciones que no cumplieron con el supuesto de normalidad.

4.2.3 Perfil climático de áreas de estudio. Con base a los datos normalizados de estaciones meteorológicas y los datos descargados de CRU) se realizó un análisis de tendencia histórica de las variables temperatura máxima, mínima y precipitación para cada una de las áreas de estudio.

Los datos espaciales mensuales de CRU se descargaron para el período de 1950 – 2012 para cada una de las áreas. Con las bases de datos obtenidas se crearon

⁹⁷HARRIS, I., JONES, P.D., OSBORN, T.J., AND LISTER, D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. En: International Journal of Climatology. Marzo, 2014, vol.34, p. 529–928.

perfiles climáticos mensuales históricos con el objeto de comparar la información espacial con los registros diarios de las estaciones meteorológicas respectivas de cada zona.

4.2.4 Variabilidad histórica climática. Para identificar y analizar la variabilidad histórica climática de las áreas productoras de banano del estudio se utilizaron datos normalizados con un período de 30 años de las estaciones meteorológicas, en áreas con un período inferior se utilizaron los datos de la unidad de investigación climática (CRU).

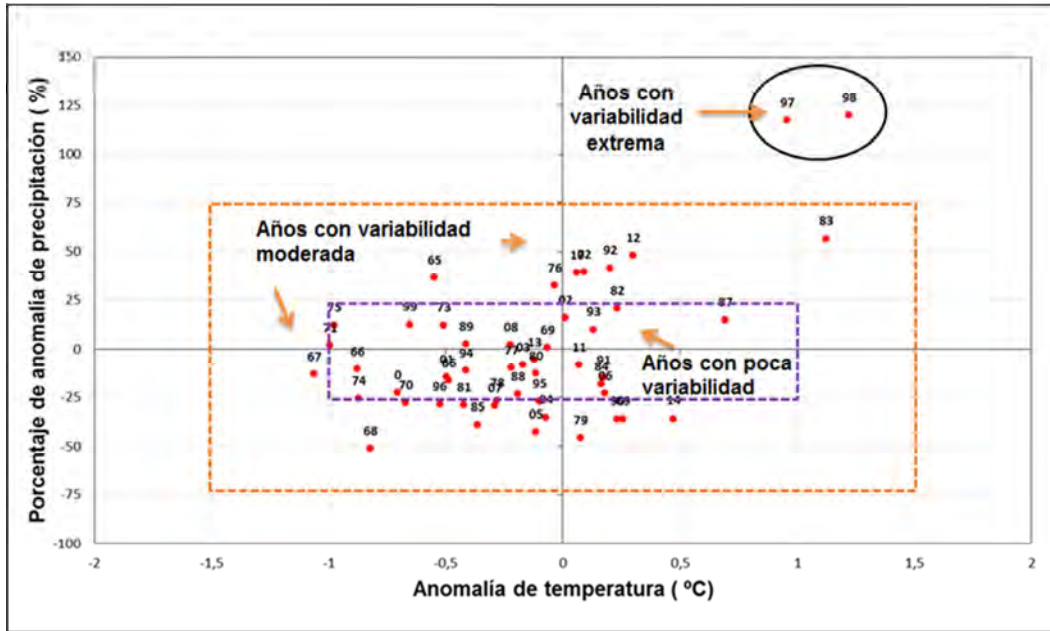
Se calculó el porcentaje de anomalía de precipitación y anomalía de temperatura del período histórico de datos de cada una de las áreas comparando los datos con base al promedio histórico de 30 años (1980-2010).

En la figura 7 se explica como se visualiza el porcentaje de anomalía de precipitación y anomalía de temperatura en las gráficas de variabilidad histórica climática de cada una de las áreas de estudio.

Así como lo explica Calberto, *et al.*⁹⁸, los puntos más cercanos al punto 0 de los ejes, son años cercanos al promedio histórico. Los puntos que se encuentran dentro del cuadrante de color morado, son años con un $\pm 25\%$ de variabilidad en precipitación y ± 1 °C en temperatura. Los puntos por fuera del cuadro de borde morado y dentro del cuadro de borde naranja, son años con variabilidad moderada, porcentaje de anomalía de precipitación entre $\pm 25\%$ y $\pm 75\%$ y anomalía de temperatura entre ± 1 °C y $\pm 1,5$ °C. Los puntos por fuera del cuadro de borde naranja son años con variabilidad extrema, porcentaje de anomalía de precipitación $\pm 75\%$ y anomalía de temperatura $\pm 1,5$ °C con respecto al promedio base de 30 años anteriormente mencionado.

⁹⁸ Calberto, G., Alvarez, P., Siles, P., Arguello, J., Staver, C., Sotomayor, I., Bustamante, A. Op. cit. p. 93.

Figura 7 Diagrama explicativo de variabilidad histórica climática.



4.2.5 Proyecciones climáticas. Del portal de CCAFS, se descargaron los datos que sirven como base de comparación y las proyecciones climáticas para los años 2030, 2050 y 2070 con resolución de 30 segundos (~1km). La extracción de los datos a escala mensual bajo el escenario de Trayectorias de Concentración Representativas 6.0 (RCP 6.0 por sus siglas en inglés de “Representative Concentration Pathways”) se realizó por medio de un Script usando el lenguaje de programación R.

Una vez organizadas las bases de datos se graficaron las variaciones de temperatura y precipitación para las proyecciones y el clima actual. En las gráficas se utilizaron abreviaciones donde,

- PREC: precipitación actual
- TMAX: Temperatura máxima actual
- TMIN: Temperatura mínima actual
- TMEAN: Temperatura promedio actual

Luego se diferencian las variables con el año proyectado por ejemplo, PREC2030, TMAX2050, TMEAN2070.

4.2.6 Generación de datos diarios proyectados. La generación de datos diarios proyectados para los años 2030, 2050 y 2070 bajo el escenario RCP 6.0 se realizó por medio del programa de simulación MarkSim™ el cual deriva datos de WorldClim a una escala de 30 arcosegundos, para patrones de precipitación y

temperatura máxima y mínima diaria simulado⁹⁹, el programa se ejecutó 10 veces para cada una de las variables y se promediaron los valores y así obtener un dato diario único para cada uno de los años proyectados en cada una de las áreas de estudio.

4.2.7 Diseño y aplicación de Indicadores agroclimáticos. Con base en revisión de literatura se identificaron los requerimientos fisiológicos y los factores del clima que inciden en el desarrollo fenológico de la planta de banano, como lo son los umbrales de temperaturas en los cuales la planta detiene su desarrollo y su requerimiento hídrico diario. También por medio de fuentes secundarias se identificaron los eventos meteorológicos que afectan los cultivos de banano.

Una vez identificados los eventos meteorológicos más significativos se diseñaron indicadores que indican la probabilidad de ocurrencia de dichos eventos en las áreas de estudio, definiendo el indicador, la unidad de medida y la escala temporal.

La aplicación de los indicadores se realizó por medio de tablas dinámicas en Excel de las bases de datos históricos homogeneizados y las proyecciones diarias generadas para los años 2030, 2050 y 2070. Algunos indicadores se obtuvieron por medio de la herramienta RCLimTool en la sección de indicadores, la cual permite identificar el comportamiento de las variables temperatura y precipitación diaria.

4.2.8 Zonificación agroclimática. La zonificación agroclimática de las áreas de estudio se realizó de acuerdo con la clasificación de zonas agroclimáticas basadas en parámetros específicos para banano propuesta por Calberto, *et al.*¹⁰⁰, realizada por medio de una modelación espacial desarrollada e implementada en ArcGIS (ESRI Inc.) utilizando ESRI Model Builder para un conjunto de datos geoespaciales globales ambientales y otros.

Los conjuntos de datos geoespaciales globales y ambientales utilizados fueron:

- Temperatura media mensual efectiva (Resolución espacial: 5 kilómetros -2.5 arc-min)
- Precipitación media mensual efectiva (Resolución espacial: 5 kilómetros – 2.5 arc-min)

De acuerdo con Calberto, *et al.*¹⁰¹, las zonas no aptas para la producción de banano son aquellas que presentan tres o más meses de temperaturas inferiores

⁹⁹ *Ibíd.*p. 98.

¹⁰⁰ *Ibíd.*p 77.

¹⁰¹ *Ibíd.*p 78.

a 13°C o uno o más meses con temperaturas superiores a 35 °C. Las zonas óptimas se categorizaron en zonas tropicales y subtropicales.

Las áreas actuales de producción de banano se obtuvieron de <http://www.crop-mapper.org/banana/>.

Una vez identificados las zonas agroclimáticas de las áreas de estudio se identificaron zonas homólogas y heterogéneas, seguidamente y con base a los resultados de los indicadores agroclimáticos se analizó la ocurrencia de eventos meteorológicos y sus efectos en el cultivo en cada una de las zonas.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 CONTROL DE CALIDAD DE BASES DE DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

El control de calidad de los registros diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación se realizó a cada estación meteorológica seleccionada por área de estudio.

Por medio de gráficas de distribución, histogramas, diagramas de cajas y análisis estadísticos se identificaron datos atípicos, datos faltantes, análisis de tendencia y frecuencias de los datos previos al control de calidad y después del proceso de homogenización.

A continuación se expondrá el proceso de control de calidad de una estación ubicada en Apartadó, Antioquia (Colombia) como ejemplo de la información que se obtiene por medio del control de calidad. En la figura 8 se observa las gráficas de distribución, al lado izquierdo el comportamiento diario de las variables temperatura máxima, mínima y precipitación a través de los años, y al lado derecho los histogramas correspondientes a cada variable en los cuales se observa la frecuencia de los datos. Los datos atípicos se encuentran señalados con un círculo rojo y los datos faltantes por flechas rojas. En la figura 9 se observan las gráficas anteriores con los datos de la estación normalizados, lo que quiere decir que ya se han revisado y corregido datos atípicos, sin embargo el número de datos faltantes no cambia.

Es fundamental comprender que las variables de temperatura tienen a ser más constantes y sin mayores variaciones en el tiempo mientras que en la variable de precipitación de la variabilidad de los datos es significativa.

Los diagramas de cajas anuales y mensuales de los datos sin normalizar se encuentran en la figura 10 y en la figura 11 los diagramas de cajas de los datos después del proceso de normalización.

Figura 8 Gráficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar

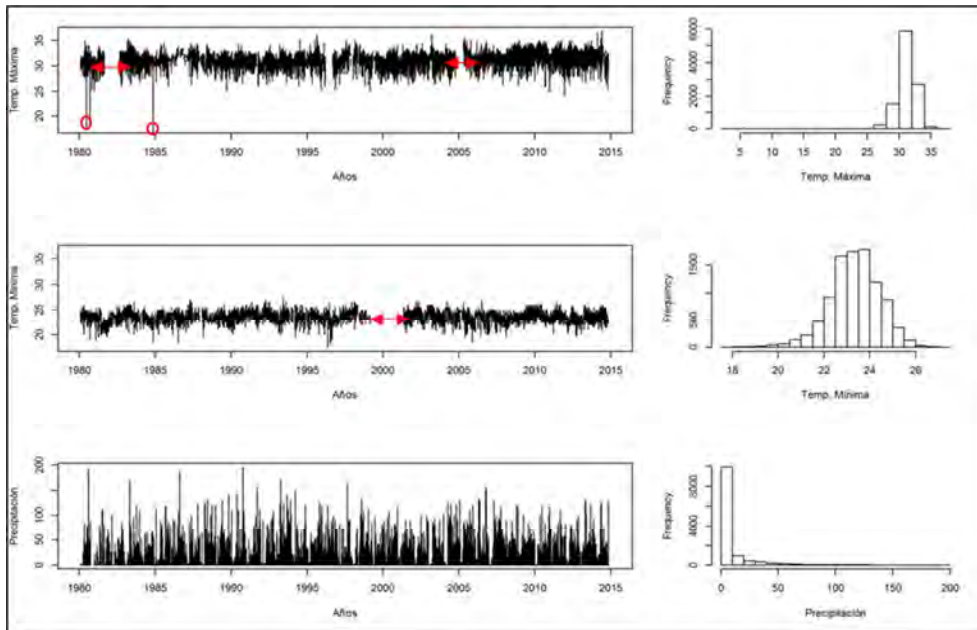


Figura 9 Gráficas de distribución e histogramas de datos normalizados.

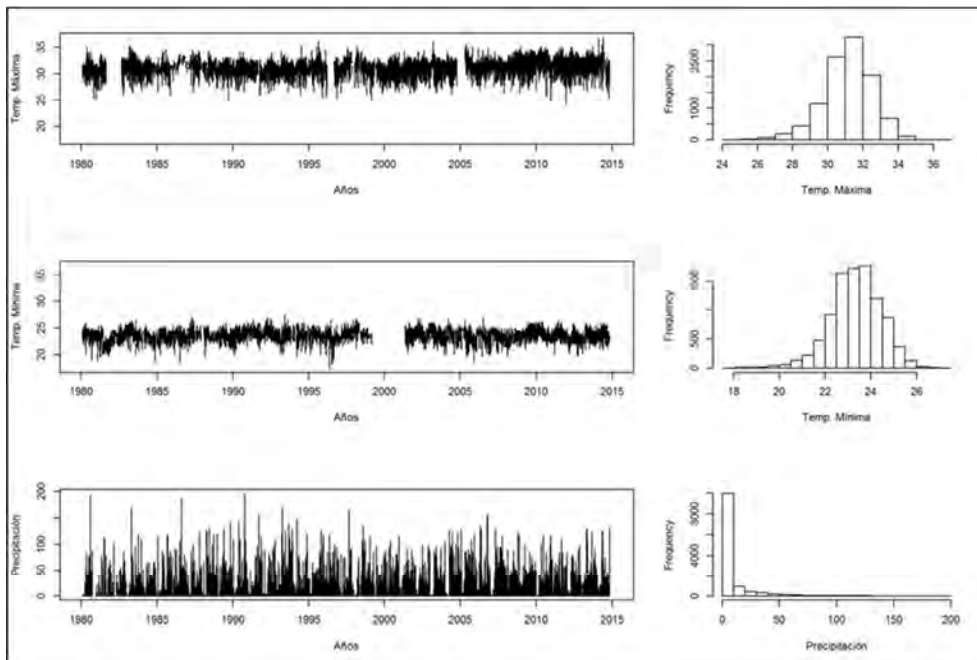


Figura 10 Diagrama de caja datos sin normalizar

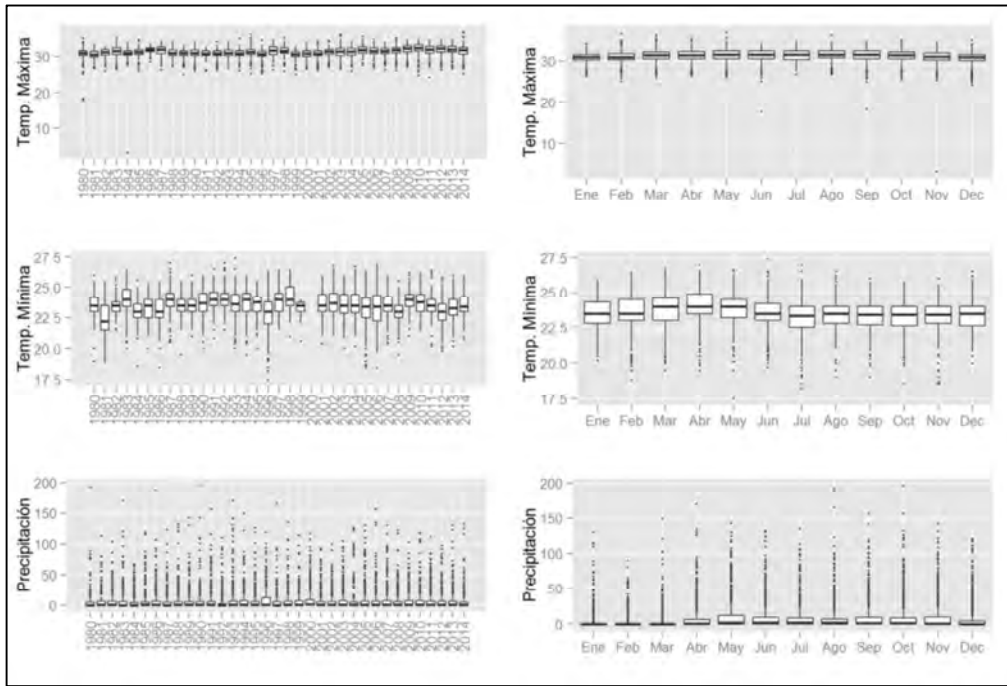
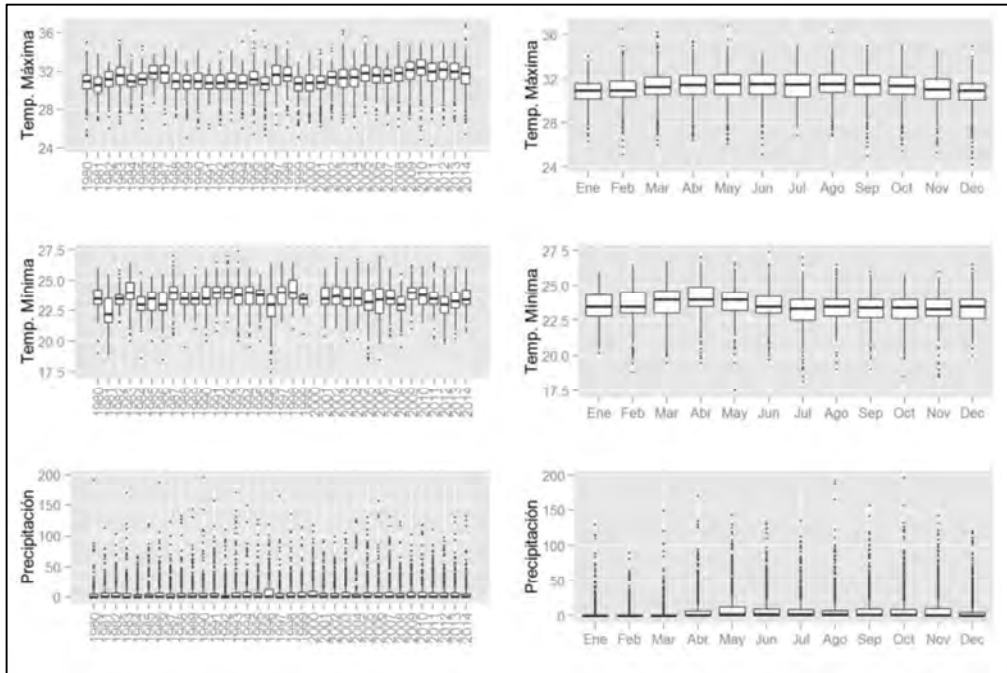


Figura 11 Diagrama de datos normalizados



Finalmente a los datos normalizados se le aplicaron una serie de medidas estadísticas como se observa en tabla 5. En esta se puede identificar el total de datos estudiados, para cada una de las variables los valores mínimos y máximos, la media o promedio, mediana, la varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, cantidad y porcentaje de datos faltantes, porcentaje de datos atípicos y la tendencia.

Tabla 5 Estadísticas datos normalizados

Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	12784 datos		
Valor mínimo	24,2	17,5	0
Valor máximo	36,8	27,4	196
Media	31,258	23,491	7,524
Varianza	1,924	1,255	297,52
Desviación estándar	1,387	1,12	17,249
Mediana	31,4	23,5	0,5
Coeficiente de Variación %	4,438	4,769	229,25
Datos faltantes (NA)	2240	3187	539
Porcentaje de datos faltantes (NA)	17,522	24,93	4,216
% Datos atípicos	0,7	0,7	2,64
Tendencia Mann-Kendall	Tendencia	No Tendencia	Tendencia

Los valores en la tabla 5 corresponden a los resultados estadísticos de la estación meteorológica ubicada en Apartadó. El total de datos se refiere a cada uno de los registros diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación. Los valores mínimo y máximo permiten establecer el rango de oscilación de la variable temperatura, y en la precipitación la cantidad máxima registrada. La media es el promedio del conjunto de datos para cada una de las variables climáticas (temperatura máxima y mínima, y precipitación). La mediana corresponde al valor central sobre el cual la distribución del conjunto de datos se encuentra un 50% por encima o por debajo del total de datos.

El grado de dispersión o variabilidad de los datos se observa con la desviación estándar, varianza y coeficiente de variación, entre mayor sea el valor, más variación existe en la serie de datos. La variable temperatura tiende a tener baja variabilidad y a ser homogénea, mientras que el comportamiento de la variable precipitación por su naturaleza tiende a tener alta variación.

La cantidad de datos faltantes y su porcentaje, es fundamental para establecer la calidad de la base de datos y su confiabilidad para el estudio. Estaciones con un

porcentaje de datos faltantes superior al 20% deben ser cuidadosamente tratadas para evitar sesgo en los resultados estadísticos.

El porcentaje de datos atípicos se utiliza para identificar los valores de temperatura por fuera del intervalo $[\bar{x} \pm 3 s]$, donde \bar{x} es el promedio muestral y s la desviación estándar. No se recomienda analizar para la variable precipitación por su distribución asimétrica.¹⁰²

También se observa la prueba de tendencia Mann-Kendall para detectar una tendencia ascendente o descendente de la serie de datos.

En el Anexo A se encontrarán las gráficas, histogramas, diagramas de cajas y estadísticas de los datos previo al control de calidad y después del proceso de normalización para cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas en las áreas de estudio.

5.2 INDICADORES

Al conocer las condiciones climáticas de cada zona de producción a través de los registros climáticos se identificaron mediante el diseño de indicadores agroclimáticos los posibles eventos extremos y moderados meteorológicos que puedan afectar la producción del cultivo de banano para cada área de estudio.

De acuerdo con un sondeo, sobre los eventos meteorológicos que afectan la producción de banano, realizado a expertos en América Latina, se identificaron los eventos meteorológicos y sus efectos en los cultivos de musáceas. Los eventos más significativos fueron los relacionados a altas precipitaciones, prolongación de la estación de lluvias, atrasos en el inicio de la época de lluvias, adelanto en el inicio de época seca, épocas secas severas, probabilidad de estrés hídrico por disminución en la precipitación, período seco en estación de lluvias, temperaturas altas y bajas¹⁰³.

¹⁰² LLANOS, Lizeth. RClimTool manual de usuario. [en línea] 2015 [consultado el 3 de septiembre de 2105]. Disponible en internet : http://www.aclimatecolombia.org/download/Investigacion%20Uno/RClimTool_Manual_V01_FINAL.pdf

¹⁰³ CALBERTO, Germán., CARVAJAL, Mónica, .STAVER, Charles. Resultados Del Sondeo I: Eventos Meteorológicos Que Afectan La Producción De Banano Y Plátano.[en línea] febrero,2016.[consultado el 28 de febrero de 2016] Disponible en internet:http://banana-networks.org/musalac/files/2016/02/resultadosSondeo1_CCAFS_LAC_Banano.pdf

Se diseñaron indicadores agroclimáticos que relacionen condiciones climáticas que afectan el desarrollo y rendimiento del cultivo de banano para 12 eventos meteorológicos.

A continuación se dará una descripción del evento y luego los indicadores para identificar su ocurrencia en las series de datos históricas y en las proyecciones para los años 2030, 2050 y 2070.

Las variables para la medición de los indicadores son temperatura máxima, mínima, promedio y precipitaciones diarias. La precipitación tiene un comportamiento muy variable, por lo cual aplicar la medida de promedio o media aritmética en los indicadores no sería adecuado, pues es una medida muy sensible a valores extremos, por ello se usa la mediana (50% de los datos). En cambio, la temperatura es una variable con una variación muy ligera por lo cual se aplicó la media aritmética o promedio para los cálculos.

5.2.1 Indicadores agroclimáticos relacionados por eventos meteorológicos que afectan el cultivo de banano.

5.2.1.1 Altas precipitaciones. De acuerdo con Ramírez, *et al.*¹⁰⁴, el banano se cultiva en zonas con precipitaciones anuales entre los 1300 mm y 2500 mm con diversos tipos de suelos los cuales presentan diferentes índices de saturación, pero de acuerdo a los parámetros de cultivo de la base de datos de la FAO-ECOCROP¹⁰⁵ la mínima cantidad de agua de lluvia necesaria para que crezca el cultivo es de 650 mm.

Por otro lado, Guarín¹⁰⁶ asevera que cuando las lluvias son frecuentes y moderadas (mayores a 2 mm/h y menores o iguales a 15 mm/h) con un acumulado promedio superior a los 80 mm diarios y un ineficiente sistema de drenaje se podría iniciar un deterioro del sistema radicular y a mediano y largo plazo efectos en el ciclo reproductivo de la planta.

Siguiendo con Guarín¹⁰⁷, la presencia de un exceso de agua en la planta de banano inicia una inducción de estrés por deficiencia de oxígeno en la zona radicular, ocasionando desordenes fisiológicos y daños en el sistema radicular. Si este exceso de agua supera las 48 horas se podría presentar una disminución en

¹⁰⁴ RAMIREZ, Julian, JARVIS, Andy, VAN DEN BERGH, Inge, STAVEN, Charles, and TURNER, David. Op. cit. p. 31

¹⁰⁵ Expert cross checking and validation of crop niche predictions.[en línea]. Centro Internacional de Agricultura Tropical [consultado el 7 de agosto de 2016]. Disponible en internet: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/ClimateChange/EcoCropFB/>

¹⁰⁶ GUARIN, Op. cit., p. 31

¹⁰⁷ *Ibíd.* p. 31

el crecimiento y en períodos entre las 72 y 96 horas se podrían presentar daños irreversibles.

En la tabla 6 se define los indicadores agroclimáticos y su unidad de medida para los análisis usando registros históricos y en la tabla 7 los utilizados para los datos provenientes de las proyecciones.

Tabla 6 Indicadores agroclimáticos de altas precipitaciones para el período histórico

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	$\left[\frac{N^{\circ} \text{ de años con precipitación anual } > 2500 \text{ mm}}{\text{total de años periodo histórico}} \right] * 100$	%
Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diaria mayores a 80 mm.	$\left[\frac{N^{\circ} \text{ de años con al menos un día de precipitación } > 80 \text{ mm}}{\text{total de años periodo histórico}} \right] * 100$	%
Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Máximo número de días al año con precipitación diaria > 80 mm.	Días

Tabla 7 Indicadores agroclimáticos de altas precipitaciones para proyecciones.

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Precipitación acumulada anual	Cantidad en milímetros de precipitación acumulada anual.	mm
Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Máximo número de días al año con precipitación diaria > 80 mm.	Número de días

5.2.1.2 Prolongación de la época de lluvia. En zonas con fuertes y frecuentes lluvias una prolongación de la época de lluvia podría generar excesos de humedad, encharcamiento superficial e inundaciones lo cual de acuerdo con Guarín¹⁰⁸ detiene el crecimiento de las raíces, reducción del rendimiento y tamaño de las plantas e inclusive muerte de las raíces, hojas pálidas y reducción en el peso y tamaño del racimo.

¹⁰⁸ GUARIN, Op. cit., p. 31

Sin embargo, en zonas con épocas secas severas una prolongación del período de lluvias generaría disponibilidad de agua y disminuirá el estrés hídrico en la época seca.

En la tabla 8 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y para las proyecciones (tabla 9).

Tabla 8 Indicadores agroclimáticos de prolongación de la época de lluvia para el período histórico.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	$\left[\frac{N^{\circ} \text{ de años con } P_1 \geq P_0}{\text{Total de años periodo histórico}} \right] * 100$ <p>Dónde: P₁: Precipitación del mes de inicio de época seca del año a analizar. P₀: Precipitación histórica del último mes de época de lluvias.</p>	%

Tabla 9 Indicadores agroclimáticos de prolongación de la época de lluvia para proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	Resultado
Presencia de prolongación de la época de lluvia	<p>Si ($P_1 > P_0$) = <i>Se presenta</i> Si ($P_1 \leq P_0$) = <i>No se presenta</i></p> <p>Dónde: P₁: Precipitación del mes de inicio de época seca del año proyectado. P₀: Precipitación histórica del último mes de época de lluvias.</p>	SI / NO

5.2.1.3 Lluvias en época seca. La cantidad de precipitación estimada mensual requerida para el desarrollo normal del cultivo de banano es de 150 mm mensuales en una distribución regular de las lluvias. La presencia de lluvias en época seca trae beneficios para el cultivo de banano al disminuir la probabilidad de estrés hídrico y evitar costos de riego, sin embargo en zonas de alta pluviosidad podría ocasionar daños severos al saturar los suelos.

En la tabla 10 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y en la tabla 11 para las proyecciones.

Tabla 10 Indicadores agroclimáticos de lluvias en época seca para el período histórico.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	$\left[\frac{\text{N}^\circ \text{ de años con } P_1 \geq P_0}{\text{Total de años periodo histórico}} \right] * 100$ <p>Dónde: P₁: Precipitación acumulada de meses secos del año a analizar. P₀: Precipitación acumulada histórica de meses secos.</p>	%

Tabla 11 Indicadores agroclimáticos de lluvias en época seca para proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	RESPUESTA
Presencia de lluvias en época seca	<p>Si ($P_1 > P_0$) = <i>Se presenta</i> Si ($P_1 \leq P_0$) = <i>No se presenta</i></p> <p>Dónde: P₁: Precipitación acumulada de meses época seca del año proyectado. P₀: Precipitación acumulada histórica de meses época seca.</p>	SI / NO

5.2.1.4 Adelanto en el inicio de la época seca. Con base a la zonificación agroecológica del banano¹⁰⁹ se asevera que el adelanto de la época seca puede ocasionar un déficit hídrico temporal que afecta principalmente las hojas más antiguas al secarse rápidamente. Si el adelanto ocurre con precipitaciones muy bajas se puede generar un atraso en la floración y el desarrollo de los racimos, además de una disminución en el rendimiento del cultivo por el cierre prematuro de los estomas durante el día.

En la tabla 12 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y en la tabla 13 para las proyecciones.

¹⁰⁹ Zonificación agroecológica del banano (*Musa sapientum*) en el Ecuador a escala 1:25.000 y 1:250.000, Op. cit. p.33

Tabla 12 Indicadores agroclimáticos de adelanto en el inicio de la época seca para el período histórico.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	$\left[\frac{N^{\circ} \text{ de años con } P_1 \leq P_0}{\text{Total de años periodo histórico}} \right] * 100$ <p>Dónde: P₁: Precipitación del último mes de época de lluvia del año a analizar. P₀: Precipitación histórica del mes de inicio de época seca.</p>	%

Tabla 13 Indicadores agroclimáticos de adelanto en el inicio de la época seca para proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	RESPUESTA
Adelanto en el inicio de la época seca	<p>Si ($P_1 \leq P_0$) = <i>Se presenta</i> Si ($P_1 > P_0$) = <i>No se presenta</i></p> <p>Dónde: P₁: Precipitación del último mes de época de lluvia del año proyectado. P₀: Precipitación histórica del mes de inicio de época seca.</p>	SI / NO

5.2.1.5 Atraso en el inicio de la época de lluvias. Según Guarín¹¹⁰, la planta de banano tiene un área foliar extensa y por ello un requerimiento alto de agua, al atrasarse el inicio de la época de lluvias en zonas sin sistema de riego se prolonga el estrés hídrico y con ello el crecimiento y producción decrecen pues cuando la disponibilidad hídrica es inferior a los 5 mm diarios se retrasa la emergencia de hojas, floración de racimos, tamaño y cantidad de racimos¹¹¹, si no se cuenta con sistemas de riego.

En la tabla 14 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y en la tabla 15 para las proyecciones.

¹¹⁰ GUARIN,G Op, cit.,p. 18.

¹¹¹ Ibíd.p18

Tabla 14 Indicadores agroclimáticos de atraso en el inicio de la época de lluvias para el período histórico.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	$\left[\frac{N^{\circ} \text{ de años con } P_1 \leq P_0}{\text{Total de años periodo histórico}} \right] * 100$ <p>Dónde: P₁: Precipitación del mes de inicio de época de lluvias del año a analizar. P₀: Precipitación histórica del último mes de época seca.</p>	%

Tabla 15 Indicadores agroclimáticos de atraso en el inicio de la época de lluvias para proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	RESPUESTA
Atraso en el inicio de la época de lluvias	<p>Si ($P_1 < P_0$) = <i>Se presenta</i> Si ($P_1 \geq P_0$) = <i>No se presenta</i></p> <p>Dónde: P₁: Precipitación del mes de inicio de época de lluvias del año proyectado P₀: Precipitación histórica del último mes de época seca.</p>	SI / NO

5.2.1.6 Época seca severa. El cultivo de banano es afectado por la deficiencia hídrica, Guarín¹¹² asevera que un período con un 80% de los días del mes sin lluvia podría ocasionar la muerte prematura de hojas, aborto de racimos, reducción en la emisión foliar (una hoja cada 12 o 16 días), formación de etileno generando maduración de la fruta de manera prematura, disminución de la toma de nutrientes e inclusive por sequias prolongadas la muerte de las raíces. De acuerdo con el mismo estudio, después de períodos de sequía mayores a 8 semanas, se requiere entre 24 y 26 semanas del inicio de lluvias para recuperar la productividad.

En la tabla 16 se definen los indicadores agroclimáticos y su unidad de medida para el período histórico y en la tabla 17 para las proyecciones.

¹¹² *Ibíd.* p. 19.

Tabla 16 Indicadores agroclimáticos de época seca severa para el período histórico.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	$\left[\frac{\text{N}^\circ \text{ de años con al menos un 80\% de los días sin lluvias}}{\text{total de años periodo histórico}} \right] * 100$	%
Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Máximo número de días consecutivos con precipitación igual a 0 mm en el período de estudio.	Número de Días

Tabla 17 Indicadores agroclimáticos de época seca severa para proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	RESPUESTA
Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Al menos un 80% de los días de los meses de época seca con precipitación igual a 0 mm.	SI / NO
Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Máximo número de días consecutivos con precipitación igual a 0 mm en el período de estudio	Número de Días

5.2.1.7 Probabilidad de déficit hídrico. El cultivo de banano pueden presentar un déficit hídrico si la disponibilidad hídrica en el suelo es inferior a los 6 mm diarios, el cual puede causar distorsiones en la morfología de la planta, originando anomalías como la torsión del eje sobre sí mismo o la emisión lateral de la inflorescencia en el seudotallo¹¹³

En la tabla 18 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y en la tabla 19 para las proyecciones.

¹¹³ Zonificación agroecológica del banano (*Musa sapientum*) en el Ecuador a escala 1:25.000 y 1:250.000, Op. cit. p. 27.

Tabla 18 Indicadores agroclimáticos de probabilidad de déficit hídrico para el período histórico.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días durante la época seca con precipitación menor a 6 mm.	$\left[\frac{N^{\circ} \text{ de años con al menos un } 98\% \text{ de los días con precipitación } \leq 6\text{mm}}{\text{total de años periodo histórico}} \right] * 100$	%

Tabla 19 Indicadores agroclimáticos de probabilidad de déficit hídrico para proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	RESPUESTA
Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Al menos un 98% de los días de los meses de época seca con precipitación menor a 6 mm.	SI / NO

5.2.1.8 Período seco en estación de lluvias. En los meses lluviosos la ausencia prolongada de lluvias en el período podría generar un déficit hídrico, según Guarín¹¹⁴ retardando el crecimiento de la planta, frutos de bajo peso, delgados y por fuera de las especificaciones de calidad exigidas por el mercado.

En la tabla 20 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y en la tabla 21 para las proyecciones.

Tabla 20 Indicadores agroclimáticos de período seco en estación de lluvia para el período histórico.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Porcentaje de al menos un 50% de los días durante la época de lluvia sin precipitación.	$\left[\frac{N^{\circ} \text{ de años con al menos un } 50\% \text{ de los días de los meses de época de lluvia con precipitación igual a } 0\text{ mm}}{\text{total de años periodo histórico}} \right] * 100$	%

¹¹⁴ GUARIN,G. Op, cit. p. 18.

Tabla 21 Indicadores agroclimáticos de período seco en estación de lluvia para proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	RESPUESTA
Ocurrencia de al menos un 50% de los días durante la época de lluvia sin precipitación.	Al menos un 50% de los días de los meses de época de lluvia con precipitación igual a 0 mm.	SI / NO

5.2.1.9 Altas temperaturas. La planta de banano tolera un amplio rango de temperaturas pero es exigente en su rango óptimo de producción. Skully y Elbehri¹¹⁵ afirman que cuando la temperatura es superior a los 34 °C se comienza a afectar los procesos fisiológicos de la planta tales como la fotosíntesis, respiración, absorción de nutrientes, aparición y elongación de nuevas hojas, y daños severos a nivel celular a temperaturas superiores a los 40 °C.

En la tabla 22 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y para las proyecciones.

Tabla 22 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas para el período histórico y proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Máximo número de días consecutivos con temperatura máxima mayor o igual a 34 °C en el período o año.	Días

5.2.1.10 Altas temperaturas sin precipitaciones. De acuerdo con Deuter, White y Putland¹¹⁶, cuando las temperaturas exceden los 30°C la planta disminuye su óptimo de producción y sin suficiente suministro hídrico puede entrar en un estrés hídrico afectando el período de crecimiento del fruto y la pérdida de hojas.

En la tabla 23 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y en la tabla 24 para las proyecciones.

¹¹⁵ SKULLY,D.,ELBEHRI,A. Op. cit. p. 65.

¹¹⁶DEUTER,Peter.,WHITE,Neil.,PUTLAND,David. Critical temperature thresholds.Case study Banana.[en línea] managingclimate

[consultado el 7 de junio de 2015] Disponible en internet: http://www.managingclimate.gov.au/wp-content/uploads/2012/03/Critical-temperature-thresholds_Banana_V2.pdf

Tabla 23 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas sin precipitaciones para el período histórico.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	$\left[\frac{\text{N}^\circ \text{ de años con al menos un día al mes con temperatura } \geq 30^\circ\text{C} \text{ y precipitación igual a } 0 \text{ mm}}{\text{total de años periodo histórico}} \right] * 100$	%

Tabla 24 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas sin precipitaciones para proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	RESPUESTA
Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Al menos un día al mes con temperatura promedio mayor o igual a 30 °C y con precipitación igual a 0 mm	SI / NO

5.2.1.11 Altas temperaturas con altas precipitaciones. En el cultivo de banano la proliferación de plagas y enfermedades está ligada a temperaturas cálidas y la distribución de las lluvias. En cuanto a Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) su presencia es dependiente de la temperatura y de la humedad de la hoja, y plagas como el picudo y los nemátodos podrían presentar un crecimiento acelerado con el aumento proyectado de las temperaturas¹¹⁷.

En la tabla 25 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y en la tabla 26 para las proyecciones.

Tabla 25 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas con altas precipitaciones para el período histórico.

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	$\left[\frac{\text{N}^\circ \text{ de años con al menos un día al mes con temperatura } \geq 30^\circ\text{C} \text{ y precipitación } \geq 60 \text{ mm}}{\text{total de años periodo histórico}} \right] * 100$	%

¹¹⁷Calberto,G.,Alvarez,P.,Siles,P.,Arguello,J.,Staver,C.,Sotomayor,I.,Bustamante,A. Op. cit. p.85.

Tabla 26 Indicadores agroclimáticos de altas temperaturas con altas precipitaciones para proyecciones.

INDICADOR	DEFINICIÓN	RESPUESTA
Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Al menos un día al mes con temperatura promedio mayor o igual a 30 °C y con precipitación igual o mayor a 60 mm	SI / NO

5.2.1.12 Bajas temperaturas. El banano es una especie susceptible a las heladas. La planta de banano empieza a disminuir su crecimiento a medida que decrece la temperatura, al ser menor a 18 °C la actividad metabólica es lenta, siendo 13 °C la temperatura mínima para el crecimiento de la planta. Cuando la temperatura disminuye se retrasa la frecuencia de emisión de hojas, el ritmo de brotación de colinos y el desarrollo de los racimos.¹¹⁸

En la tabla 27 se define el indicador agroclimático y su unidad de medida para el período histórico y para las proyecciones.

Tabla 27 Indicadores agroclimáticos de bajas temperaturas para el período histórico y las proyecciones

INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Número de Días

¹¹⁸Ibíd. p. 75.

5.3 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SUS EFECTOS EN ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE BANANO EN COLOMBIA

5.3.1 Apartadó, Antioquia.

5.3.1.1 Perfil climático. De la estación meteorológica ubicada en Apartadó, Antioquia, se analizaron datos del período de 1980 al 2012 y se comparó el mismo período con los datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

De acuerdo con los datos normalizados de la estación meteorológica (Ver Anexo A, 1.1) la temperatura promedio es de 27 °C, con tendencia constante y un ligero aumento en los meses de abril a septiembre. La temperatura mínima oscila entre 17 °C y 27 °C con un promedio de 23 °C, y la temperatura máxima oscila entre 24 °C y 36 °C con promedio de 31°C.

La precipitación tiene una distribución unimodal con un promedio anual de 2663 mm, una época de lluvias en los meses de abril a noviembre con precipitaciones mensuales superiores a los 200 mm, y se reducen en un 50% entre enero y marzo con precipitaciones inferiores a los 100 mm, siendo los meses más secos. El mes más seco es febrero con un promedio por debajo de 70 mm y el mes de mayo y octubre son los meses más lluviosos con un promedio por encima de los 300 mm. En la figura 12 se observa el comportamiento mensual de la temperatura y precipitación.

En comparación a los datos de la Unidad de investigación climática (CRU) la diferencia de precipitación anual en promedio es de 500 mm, la temperatura máxima en promedio tiene una diferencia de 0,5 °C, la mínima de 1,1 °C y la temperatura en promedio de 0,8 °C.

Según los datos CRU la temperatura promedio para la zona es de 26°C con tendencia constante, los meses más cálidos son de marzo a agosto. La temperatura mínima oscila entre 20 °C y 24 °C con un promedio de 22 °C, la temperatura máxima oscila entre 28 °C y 34 °C con un promedio de 31 °C.

La precipitación en promedio anual es de 3176 mm, con lluvias superiores a los 200 mm en los meses de mayo a diciembre y precipitaciones inferiores a los 100 mm en los meses de enero a marzo. Los meses de mayo, octubre y noviembre presentan en promedio precipitaciones superiores a los 400 mm. En la figura 13 se observa el perfil climático de datos de la unidad de investigación climática.

Figura 12 Perfil climático Apartadó, Antioquia (1980-2012) con datos de la estación meteorológica.

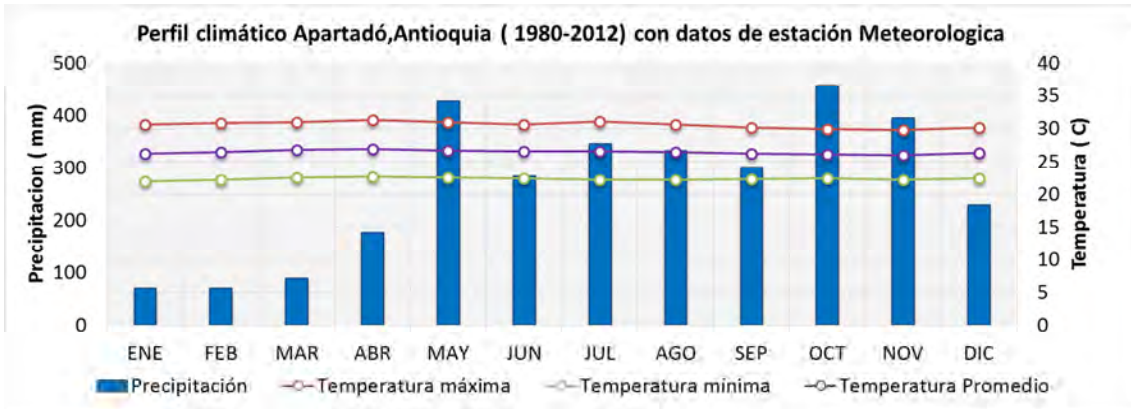
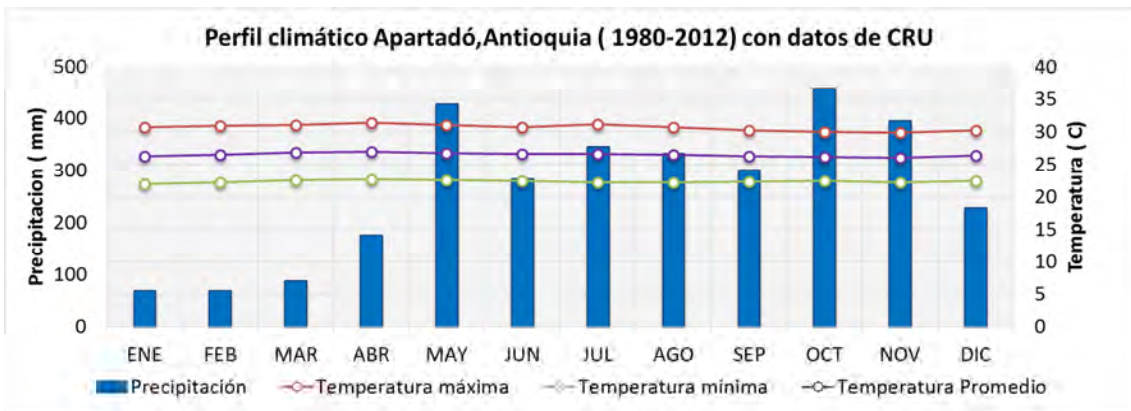


Figura 13 Perfil climático Apartadó, Antioquia (1980-2012) con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)



5.3.1.2 Variabilidad histórica climática. Las anomalías anuales de temperatura y precipitación para el período histórico de 1980 al 2014 se obtuvieron a partir del promedio de datos del período de 1980 al 2010 con datos de la estación meteorológica. El promedio histórico de precipitación anual es de 2693 mm y de temperatura es de 27 °C. En la figura 14 se relaciona el porcentaje de anomalía de precipitación y la anomalía de temperatura para cada uno de los años.

Al realizar los análisis de anomalías de temperatura y precipitación se observó que en los años de 1980 a 1982 presentan más de 3 meses consecutivos sin datos de precipitación por lo tanto se excluyeron del análisis. Al igual se observó que los años 1999 y 2000 los datos faltantes de temperatura promedio son superiores al 50% de los datos.

La variabilidad extrema en temperatura se presenta en los años 1986 y 1996 con una variación de $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ con respecto al promedio. También se presenta variabilidad moderada en temperatura en los años 2009 y 2010 con una variación mayor a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

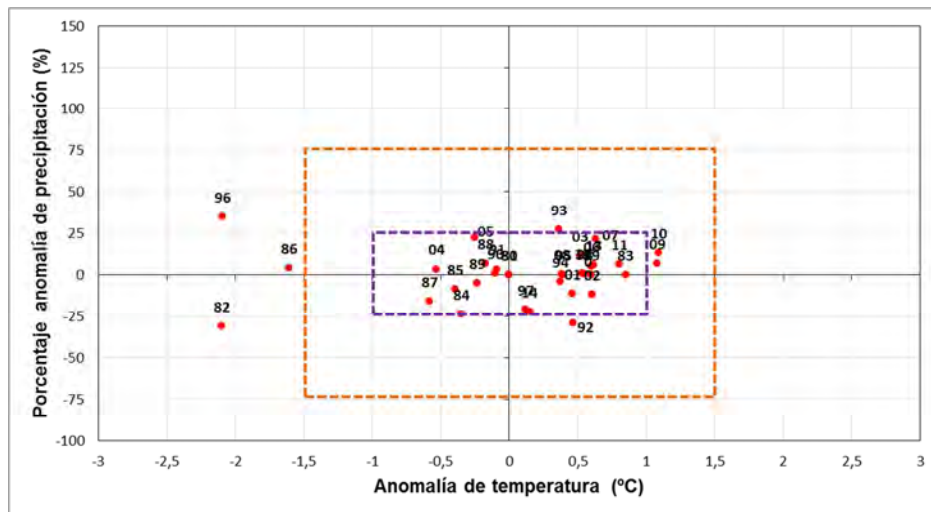
En cuanto a variabilidad moderada en precipitación, en 1992 se presenta una variación de -25% con respecto a la precipitación promedio y en los años 1993, 1996 una variación del 25% por encima del promedio.

El resto de años del período de 1980 al 2014 presentan poca variabilidad con respecto al promedio.

La variabilidad climática en Apartadó se ha visto influenciada por el fenómeno de El Niño y La Niña los cuales se asocian a anomalías de la temperatura a lo largo del pacífico tropical y en anomalías en precipitaciones.¹¹⁹

La mayoría de años con variabilidad extrema en temperatura se han visto influenciado por el fenómeno El Niño, y la mayoría de años con variabilidad moderada en precipitación se han visto influenciado por tanto el fenómeno El Niño en la disminución de la precipitación y el fenómeno La Niña en el aumento de las lluvias.

Figura 14 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Apartadó, Antioquia.



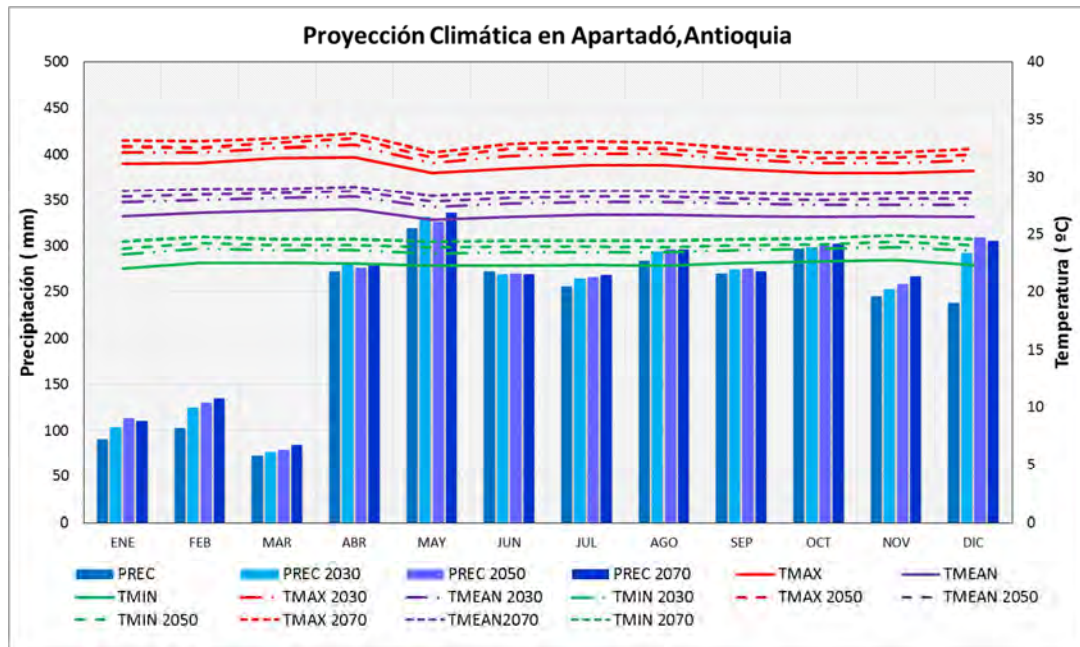
¹¹⁹ ¿Qué es el niño y la niña? [en línea]. Departamento de ciencias de la atmosfera y los océanos, Universidad de Buenos Aires.[consultado el 15 de noviembre de 2015] Disponible en internet: <http://www-atmo.at.fcen.uba.ar/enso/enso-que.htm>

5.3.1.3 Proyecciones climáticas. En Apartadó la temperatura en promedio actual es de 27 °C, con temperaturas máximas de 31 °C y mínimas de 22 °C, tiene un comportamiento constante con ligeros incrementos en los meses de marzo y abril. Para el 2030 y 2050 se proyecta un incremento de la temperatura en 1 °C y para el 2070 en 2 °C. En el 2070 se proyectan temperaturas entre los 24 °C y 33 °C con un promedio de 29 °C.

La precipitación no presenta cambios en su distribución unimodal, para el 2030, 2050 y 2070 se proyecta un incremento anual de 144 mm, 170 mm y 206 mm respectivamente, con relación a la precipitación anual promedio de 2725 mm. En los meses de enero a marzo (época seca) la tendencia es al aumento de precipitaciones entre los 20 mm y 30 mm con respecto al promedio actual, pero el mes de marzo, el más seco, presenta un aumento ligero con precipitación promedio mensual menor a los 100 mm.

En los meses lluviosos de abril a noviembre el incremento es ligero, y en el mes de diciembre se proyecta un aumento para el 2030 de 55 mm, 71 mm para el 2050 y 68 mm para el 2070 comparado con la precipitación actual, con precipitaciones en promedio por encima de los 300 mm. En la figura 15 se observa la proyección climática.

Figura 15 Proyecciones climáticas (2030,2050 y 2070) Apartadó, Antioquia.



5.3.1.4 Indicadores Agroclimáticos. Los resultados obtenidos con los datos provenientes de Apartadó, se resumen en el cuadro 1 y 2. En el cuadro 1 se observan los indicadores agroclimáticos por evento meteorológico aplicados en el período histórico y en el cuadro 2 los indicadores aplicados a las proyecciones.

Acorde a lo anterior, el cultivo de banano en Apartadó tienen probabilidad de verse afectado por altas precipitaciones ya que el 69% de los años entre 1980 y 2014 presentan precipitaciones anuales superiores a los 2500 mm y el 97% de los años presentan al menos un día con lluvias moderadas. Pese a esto en los años proyectados el aumento no es muy significativo.

Las lluvias en época seca es uno de los eventos con mayor ocurrencia y con presencia en los años proyectados lo cual podría beneficiar al cultivo de banano y disminuir costos en riego. Además el 43% de años tiene un período seco en la estación de lluvias lo cual también podría beneficiar al cultivo pues disminuiría el riesgo de saturación del suelo por excesos de agua.

Los eventos relacionados con la alteración de la distribución de las lluvias como la prolongación de la época de lluvias, el adelanto en el inicio de la época seca y el atraso en el inicio de la época de lluvias se presentan en menos de un 20% en los años históricos y no se presenta en las proyecciones.

Es una zona con lluvias durante todo el año sin épocas secas severas significativas ni probabilidades de déficit hídrico que perjudiquen el cultivo de banano.

Las temperaturas altas en Apartadó en el período estudiado se han presentado durante 7 días consecutivos en un año y en las proyecciones tienen tendencia a incrementarse, lo cual puede afectar el rendimiento del cultivo y disminuir la producción. La ocurrencia de temperaturas altas sin precipitaciones es baja al igual que altas temperaturas con altas precipitaciones, lo cual es positivo para el cultivo pues disminuye la probabilidad de presencia de enfermedades y plagas al igual que estrés en las plantas por déficit hídrico y estrés térmico. Además no se presenta ni en el período histórico ni en las proyecciones temperaturas mínimas bajas que afecten el cultivo de banano.

Cuadro 1 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2014) en Apartadó, Antioquia.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados
Altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	Abril- Noviembre	69%
	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm.	Anual	97%
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	13 días
Prolongación de la época de lluvia	Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	Enero	17%
Lluvias en época seca	Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	Enero-Marzo	60%
Adelanto en el inicio de la época seca	Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	Diciembre	14%
Atraso en el inicio de época de lluvias	Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Abril	0%
Época seca severa	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Enero-Marzo	11%
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Período histórico	38 días
Probabilidad de déficit hídrico	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Enero-Marzo	9%
Período seco en estación de lluvias	Porcentaje de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Abril- Noviembre	43%
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Período histórico	7 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	14%
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	3%

Cuadro 1. (Continuación)

Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	0 días
--------------------	---	-------	--------

Cuadro 2 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Apartadó, Antioquia.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados		
			2030	2050	2070
Altas precipitaciones	Precipitación acumulada anual	Abril- Noviembre	2775 mm	2705 mm	2787 mm
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	No se presenta		
Prolongación de la época de lluvia	Presencia de prolongación de la época de lluvia	Enero	No se presenta		
Lluvias en época seca	Presencia de lluvias en época seca	Enero- Marzo	Si se presenta		
Adelanto en el inicio de la época seca	Presencia de adelanto en el inicio de la época seca	Diciembre	No se presenta		
Atraso en el inicio de época de lluvias	Presencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Abril	No se presenta		
Época seca severa	Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Enero- Marzo	No se presenta		
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Anual			
Probabilidad de déficit hídrico	Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Enero- Marzo	No se presenta		

Cuadro 2. (Continuación)

Período seco en estación de lluvias	Ocurrencia de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Abril- Noviembre	No se presenta		
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Anual	2 días	3 días	5 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	No se presenta		
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	No se presenta		
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	No se presenta		

5.3.2 Armenia, Quindío.

5.3.2.1 Perfil Climático. De la estación meteorológica ubicada en Armenia, Quindío se analizaron datos del período de 1980 al 2009 y se comparó el mismo período con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

De acuerdo con los datos normalizados de la estación meteorológica (Ver Anexo A, 1.2), la temperatura promedio es de 22 °C, los meses de julio a septiembre son un poco más cálidos. La temperatura máxima oscila entre 20 °C y 34 °C con un promedio de 27 °C. La temperatura mínima oscila entre los 10 °C y 30 °C con un promedio de 17 °C. La precipitación tiene una distribución bimodal con una precipitación anual en promedio de 2085 mm. La época seca se presenta en dos períodos, enero-febrero con lluvias inferiores a los 150 mm y en julio a agosto con lluvias menores a 100 mm. La época de lluvias inicia en los meses de marzo a junio y en los meses de septiembre a diciembre con precipitaciones mayores a 150 mm. El mes de abril es el más lluvioso con un promedio superior a los 250

mm. En la figura 16 se observa el perfil climático con base a registros de una estación meteorológica.

En comparación a los datos de la Unidad de investigación climática la diferencia de precipitación anual en promedio es de 100 mm, la temperatura máxima en promedio tiene una diferencia de 0,9 °C y la mínima de 0,2 °C

Según los datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU), la temperatura promedio es de 22 °C con un ligero aumento en los meses de julio a septiembre. La temperatura máxima oscila entre 24 °C y 29 °C con un promedio de 26 °C. La temperatura mínima oscila entre 15 °C y 20 °C con un promedio de 17 °C. La precipitación tiene una distribución bimodal con un promedio anual de 1961 mm, lluvias superiores a los 150 mm en los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre. Los meses de enero y febrero precipitaciones por debajo de los 150 mm y los meses de junio a julio con lluvias inferiores a los 100 mm.

En la figura 17 se observa el comportamiento mensual de los datos de la unidad de investigación climática.

Figura 16 Perfil Climática Armenia, Quindío (1980-2009) con datos de la estación meteorológica.

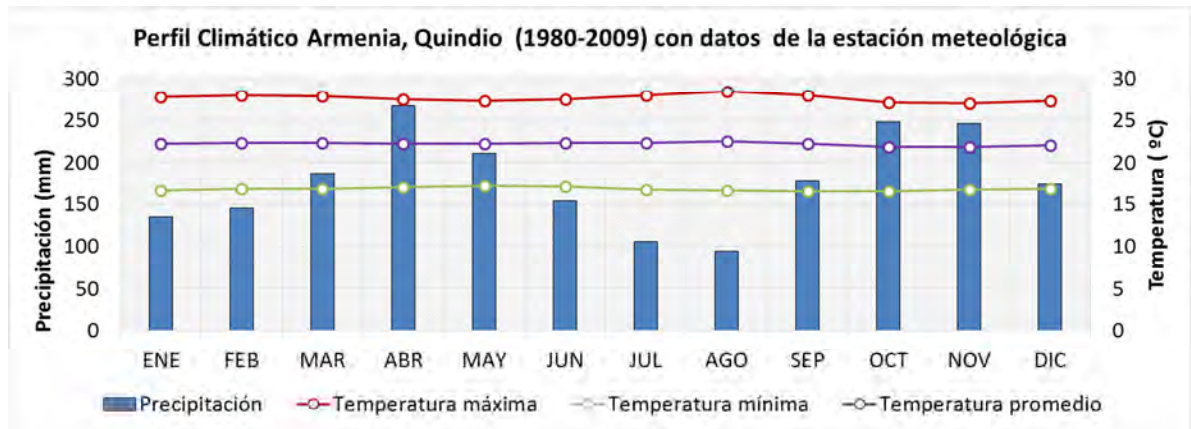
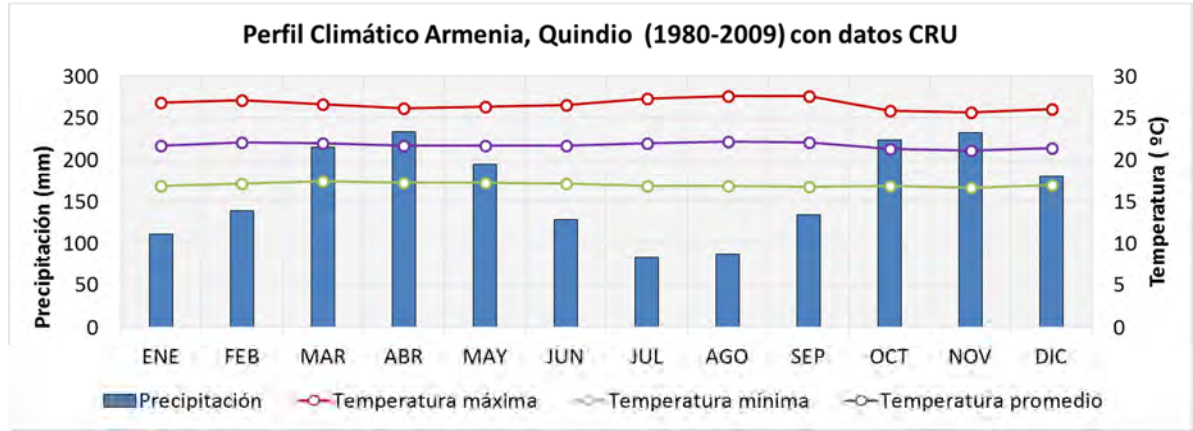


Figura 17 Perfil Climático Armenia, Quindío (1980-2009) datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)

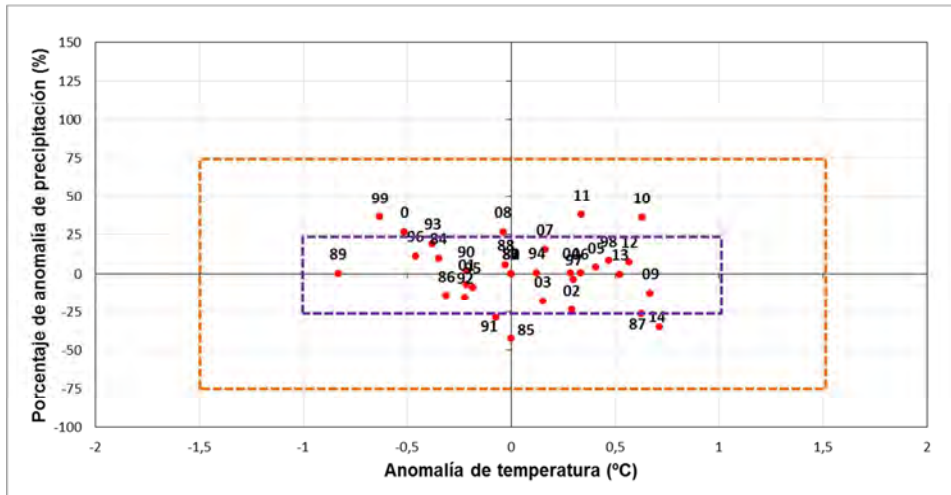


5.3.2.2 Variabilidad histórica climática. Las anomalías anuales de temperatura y precipitación para el período de 1980 al 2014 se obtuvieron a partir del promedio de datos del período de 1980-2010 con datos de la estación meteorológica. El promedio histórico de temperatura anual es de 22 °C y la precipitación en promedio anual de 2143 mm.

Al realizar los análisis de anomalías de temperatura se observó que en los años de 1980 a 1983 más del 70% de los datos son faltantes por lo tanto se excluyeron del análisis.

En la figura 18 se observa que los años no presentan variabilidad extrema. Los años 1999, 2000, 2008, 2010 y 2011 tienen variabilidad moderada de precipitación con una variación mayor al 25 % con relación al promedio y una fuerte influencia del fenómeno La Niña. Por otro lado los años 1985, 1987, 1991 y 2014 tienen una variación de precipitación moderada con menos del 25% de lluvias esperadas en promedio y en la mayoría de los años una influencia del fenómeno El Niño.

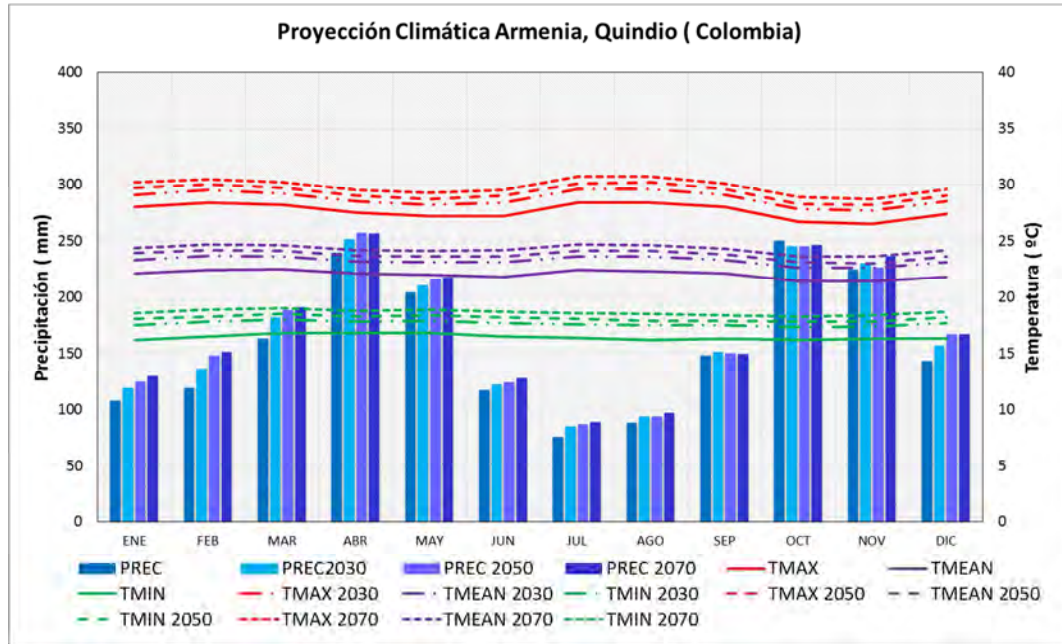
Figura 18 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Armenia, Quindío.



5.3.2.3 Proyecciones climáticas. En Armenia la temperatura promedio actual es de 22 °C, con temperaturas máximas de 28 °C y mínimas de 16 °C, el comportamiento mensual es constante con un ligero incremento en los meses de febrero a julio y una ligera disminución de octubre a diciembre. En el 2030 y 2050 con respecto al promedio actual se proyecta un aumento de 1 °C en la temperatura máxima y promedio, y un aumento de 2 °C en la temperatura mínima, mientras en el 2070 se proyecta un aumento de 3°C para la temperatura mínima y 2 °C en la temperatura máxima y promedio.

La precipitación no presenta cambios en su distribución bimodal, para el 2030 se proyecta un incremento anual de 104 mm, 148 mm y 178 mm para el 2050 y 2070 respectivamente con respecto a la precipitación anual promedio de 2085 mm. En los meses de noviembre a julio la tendencia es al aumento de precipitaciones entre 20-30 mm con respecto al promedio actual. En los meses de septiembre y octubre no se observan cambios significativos. En la figura 19 se observa la proyección climática.

Figura 19 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Armenia, Quindío



5.3.2.4 Indicadores Agroclimáticos. Los resultados obtenidos con los datos provenientes de Armenia, se resumen en el cuadro 3 y 4. En el cuadro 3 se observan los indicadores agroclimáticos por evento meteorológico aplicados en el período histórico y en el cuadro 4 los indicadores aplicados a las proyecciones.

El cultivo de banano en esta área se puede ver perjudicado principalmente por bajas temperaturas en un período de más de 200 días consecutivos. Sin embargo en las proyecciones los días máximos consecutivos con temperaturas bajas se reducen en un 85% en el 2030 y en un 93% en el 2070 y no se presentan en el 2050.

Las altas precipitaciones anuales ocurren en un 17%, sin embargo en un 51% de los años si se presentan por lo menos una vez al año precipitaciones diarias mayores a 80 mm que dependiendo de su intensidad (mm/h) podrían ocasionar encharcamientos, saturación de los suelos e inclusive inundaciones sin un buen drenaje. En cuanto a las proyecciones se estiman precipitaciones mayores a los 2500 mm en el 2050.

Los eventos meteorológicos que alteran la duración de las estaciones lluviosas o secas como la prolongación de la época de lluvias, adelantos de la época seca, atrasos en el inicio de la época de lluvias se presentan en menos del 35% de los años y no se proyectan al 2030,2050 ni 2070.

Por otro lado, las lluvias en época seca se presentan en el 50% de los años en el período de enero a febrero y en un 34% en el período de julio a agosto lo cual puede ser benéfico para el cultivo de banano y su producción al disminuir los costos de riego.

El período seco en estación de lluvia es uno de los eventos con mayor porcentaje de ocurrencia en el período histórico, en el 60% de los años se presenta en los meses de septiembre a diciembre y en un 57% en el período de marzo a junio, lo cual podría ser benéfico para el cultivo al prevenir la saturación de los suelos. Sin embargo, en las proyecciones no se presenta.

La probabilidad de déficit hídrico y una época seca severa no son eventos que se presenten significativamente en esta área pero se observó en el período histórico 32 días consecutivos sin precipitaciones que podría afectar el cultivo si no cuenta con un sistema de riego. Tampoco es significativa la presencia eventos asociados a altas temperaturas.

Cuadro 3 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2014) en Armenia, Quindío.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados
Altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	Anual	17%
	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm.	Anual	51%
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	3 días
Prolongación de la época de lluvia	Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	Julio	26%
		Diciembre	26%
		Ambos meses	11%
Lluvias en época seca	Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	Julio-Agosto	34%
		Enero-Febrero	57%
		Ambos períodos	17%

Cuadro 3. (Continuación)

Adelanto en el inicio de la época seca	Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	Mayo	20%
		Diciembre	31%
		Ambos meses	6%
Atraso en el inicio de época de lluvias	Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Marzo	26%
		Septiembre	9%
		Ambos meses	0%
Época seca severa	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Enero-Febrero	0%
		Septiembre	9%
		Ambos meses	0%
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Período histórico	32 días
Probabilidad de déficit hídrico	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Enero-Febrero	0%
		Julio-Agosto	0%
		Ambos períodos	0%
Período seco en estación de lluvias	Porcentaje de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Marzo-Junio	57%
		Septiembre-Diciembre	60%
		Ambos períodos	40%
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Período histórico	0 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	3%
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	0%
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	227 días

Cuadro 4 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Armenia, Quindío.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados		
			2030	2050	2070
Altas precipitaciones	Precipitación acumulada anual	Anual	1922 mm	2705 mm	2041 mm
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	No se presenta		
Prolongación de la época de lluvia	Presencia de prolongación de la época de lluvia	Julio	No se presenta		
		Diciembre			
		Ambos			
Lluvias en época seca	Presencia de lluvias en época seca	Julio-Agosto	No se presenta		
		Enero-Febrero	SI	No se presenta	
		Ambos	No se presenta		
Adelanto en el inicio de la época seca	Presencia de adelanto en el inicio de la época seca	Mayo	No se presenta		
		Diciembre			
		Ambos			
Atraso en el inicio de época de lluvias	Presencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Marzo	No se presenta		
		Septiembre			
		Ambos			
Época seca severa	Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Enero-Febrero	No se presenta		
		Julio-Agosto			
		Ambos			
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Anual			
Probabilidad de déficit hídrico	Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Enero-Febrero	No se presenta		
		Julio-Agosto			
		Ambos			
Período seco en estación de lluvias	Ocurrencia de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Marzo-Junio	No se presenta		
		Septiembre-Diciembre			
		Ambos			

Cuadro 4. (Continuación)

Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Anual	No se presenta	3 días	No se presenta
Altas temperaturas sin precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	No se presenta		
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	No se presenta		
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	31 días	No se presenta	15 días

5.3.3 Ciénaga, Magdalena.

5.3.3.1 Perfil climático. De la estación meteorológica ubicada en Ciénaga, Magdalena se analizaron datos del período de 1980 al 2012 y se comparó el mismo período con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

De acuerdo con los datos normalizados de la estación meteorológica (Ver Anexo A 1.3) la temperatura es constante con un promedio de 27 °C con un muy ligero incremento en los meses de marzo a abril y disminuye un poco en los meses de diciembre a febrero, la temperatura máxima oscila entre los 25°C y 39 °C con un promedio de 33 °C y la temperatura mínima oscila entre los 12°C y 27°C con un promedio de 22 °C. La precipitación anual en promedio es de 603 mm con una distribución bimodal, la época seca se presenta entre diciembre a abril, y en el mes de julio con precipitaciones en promedio menores a 25 mm. La época de lluvia se presenta en los meses de mayo a junio y agosto a noviembre, siendo el mes de octubre el más lluvioso con una precipitación en promedio mayor a 100 mm. En la figura 20 se observa el comportamiento mensual de las variables temperatura mínima, máxima y precipitación.

En el análisis de datos se identifica que el porcentaje de datos faltantes es superior al 20% en las tres variables lo cual se considera alto y altera el análisis.

También la desviación estándar para las tres variables es mayor a 1,3 lo cual se consideran series de datos heterogéneos.

En comparación a los datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU) la diferencia de precipitación anual en promedio es de 959 mm, y de 0,7 °C de diferencia entre las temperaturas.

Según los datos de la unidad climática de investigación para la misma zona, la temperatura promedio es de 27 °C. La temperatura máxima oscila entre 29 °C y 36 °C con un promedio de 32 °C, la temperatura mínima oscila entre 19 °C y 24 °C con un promedio de 22 °C. La precipitación anual es de 1562 mm y la distribución es bimodal, lluvias superior a los 150 mm en los meses de mayo, junio y de agosto a noviembre, los meses de mayo y octubre son los más lluviosos con lluvias mayores a 200 mm. El período seco de diciembre a marzo con un promedio de lluvias inferior a 50 mm y julio con un promedio inferior a 150 mm. En la figura 21 se observa el perfil climático con base a datos de la unidad climática.

Figura 20 Perfil Climático Ciénaga, Magdalena (1980-2012) con datos de la estación meteorológica.

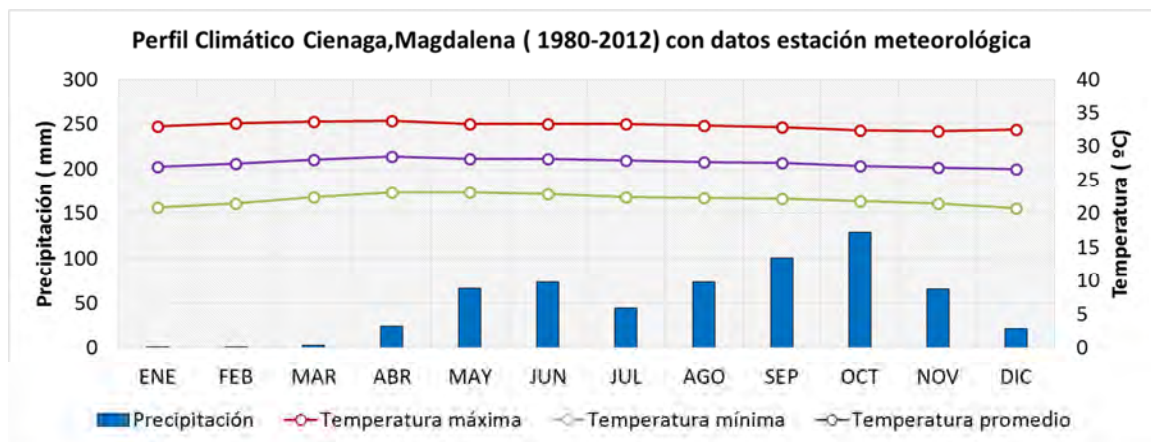
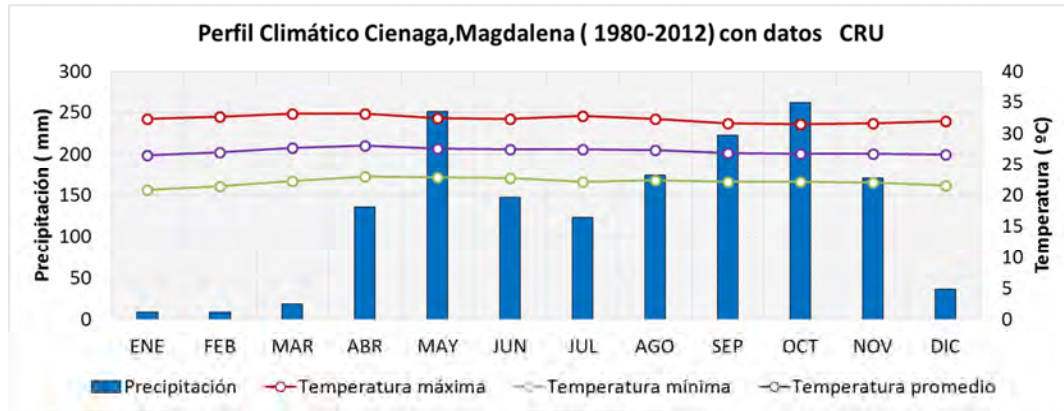


Figura 21 Perfil Climático Ciénaga, Magdalena (1980-2012) de datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)

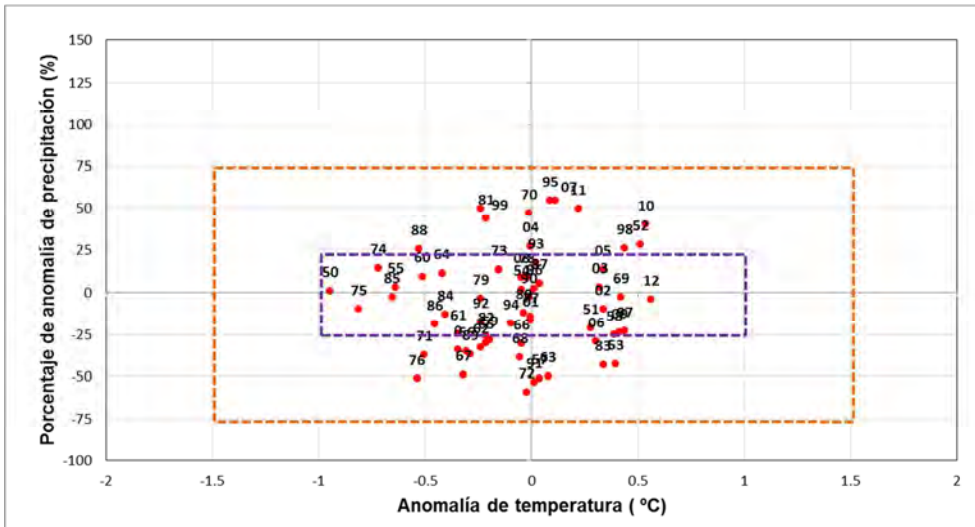


5.3.3.2 Variabilidad histórica climática. Para visualizar las anomalías de temperatura y precipitación en esta área se utilizaron los datos de la unidad climática de investigación para el período histórico de 1950-2012 a partir del promedio del período de 1980-2010. La precipitación histórica anual en promedio es de 1547 mm y la temperatura promedio anual es de 27 °C.

En la figura 22 se observa que no se presenta variabilidad extrema ni variaciones moderadas en la temperatura. La variabilidad moderada en precipitación se presenta en el 32% de los años con una variación de -25% de la precipitación anual con respecto al promedio. También se presenta variaciones moderadas de un 25% por encima del promedio anual de precipitación en el 17% de los años.

Los años con variabilidad moderada por variaciones por encima del 25% de precipitación en su mayoría se han visto influenciados por el fenómeno La Niña, mientras que los años con variaciones menores al 25% de precipitación por el fenómeno El Niño.

Figura 22 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Ciénaga, Magdalena

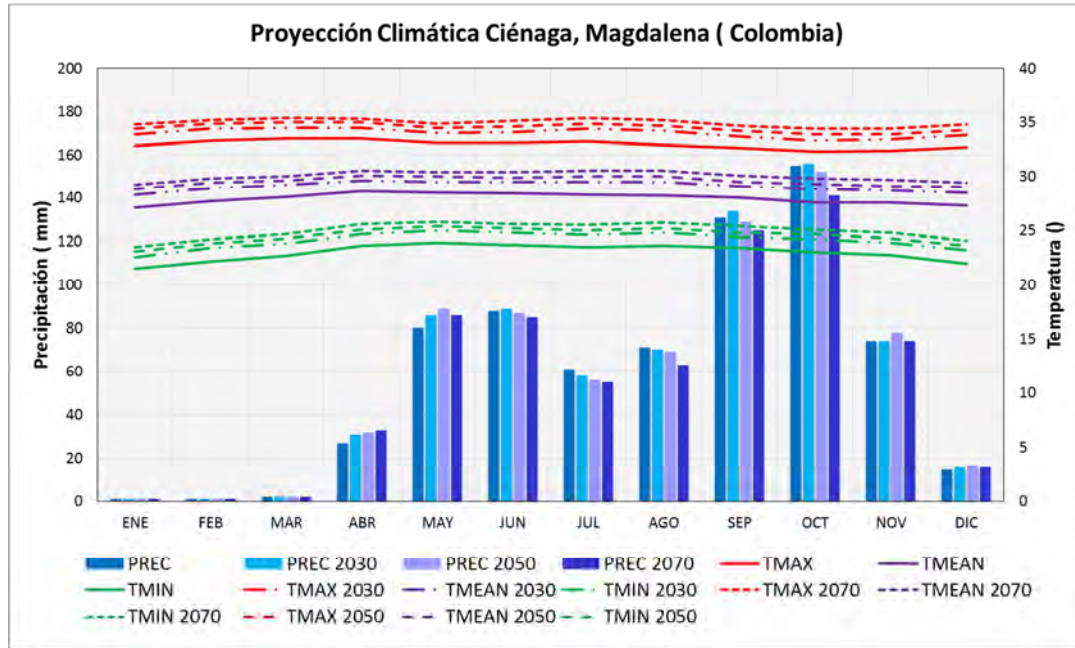


5.2.3.3 Proyecciones climáticas. En Ciénaga la temperatura actual es de 28 °C, con máximas de 33 °C y mínimas de 23 °C. Los meses de enero a abril son los más cálidos y los meses de diciembre y enero con temperaturas más bajas. Para el 2030 se espera un incremento de 1 °C y para el 2050 y 2070 de 2 °C con respecto al promedio actual.

La precipitación actual en Ciénaga es de 706 mm anuales con una distribución bimodal, el primer período de meses seco de diciembre a abril con precipitaciones en promedio por debajo de 40 mm mensuales y el segundo período de julio a agosto con precipitaciones en promedio menores a 70 mm. Para el 2030 se espera un aumento en la precipitación anual de 12 mm con respecto al promedio actual, pero en el 2050 y 2070 se proyecta una tendencia a una ligera disminución en las precipitaciones con respecto al 2030.

En los meses de junio a octubre la tendencia es a la disminución de precipitaciones de 10 mm con respecto al promedio actual. En los meses de abril a mayo un ligero incremento en los años proyectad, y en los meses de noviembre a marzo no se proyectan cambios significativos. En la figura 23 se observa la proyección climática.

Figura 23 Proyección Climática (230,2050 y 2070) Ciénaga, Magdalena



5.3.3.4 Indicadores Agroclimáticos. Los resultados obtenidos con los datos provenientes de Ciénaga, se resumen en el cuadro 5 y 6. En el cuadro 5 se observan los indicadores agroclimáticos por evento meteorológico aplicados en el período histórico y en el cuadro 6 los indicadores aplicados a las proyecciones.

Para la aplicación de los indicadores fue necesario no tener en cuenta algunos años por la cantidad significativa de datos faltantes que alterarían los indicadores. Los años que no se incluyeron fueron 1987, 2006, 2007, 2008, 2009 y 2010. Por lo anterior, el análisis de indicadores se basó en un total de 28 años.

Las áreas productoras de banano en Ciénaga se enfrentan a eventos meteorológicos en su mayoría relacionados al déficit hídrico por la presencia de épocas secas severas y períodos secos en estación de lluvias. En el 82% de los años en el período de diciembre a julio se presenta una época severa y en los meses de enero a abril una época seca severa en el 2030, 2050 y 2070. El cultivo en el área también se enfrenta a un máximo de 150 días consecutivos sin precipitaciones, aunque en las proyecciones la tendencia a días sin lluvias consecutivos se reduce en un 57% al 2070.

La presencia de un período seco durante la estación de lluvias en los años históricos es de un 71% lo cual podría afectar significativamente al cultivo de banano al incrementar el riesgo de déficit hídrico si no se cuenta con un sistema de riego. Este mismo indicador en los años proyectados no se presenta. Sin

embargo en el 46% de los años y en las proyecciones se presentaron lluvias en época seca lo cual beneficia al cultivo reduciendo la probabilidad de estrés hídrico.

Los efectos en el cultivo por temperaturas altas en el área son negativos y en las proyecciones la tendencia es en un aumento en el máximo de días consecutivos en un 122% en el 2070 con relación al máximo de días consecutivos del período histórico. La presencia de altas temperaturas sin precipitaciones ocurre en el 71% de los años y se presenta en las proyecciones con tendencia a aumentar el número de días al año de 2 días en el 2030, 9 días en el 2050 y 22 días en el 2070.

En cuanto a bajas temperaturas el máximo número de días observados históricamente fue de 8 días consecutivos los cuales podrían afectar el rendimiento de la planta, aunque en las proyecciones las bajas temperaturas no se presentan.

Cuadro 5 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2013) en Ciénaga, Magdalena.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados
Altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	Anual	0%
	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm.	Anual	50%
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	2 días
Prolongación de la época de lluvia	Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	Julio	11%
		Diciembre	21%
		Ambos meses	0%
Lluvias en época seca	Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	Diciembre-Abril	50%
		Julio	50%
		Ambos períodos	46%
Adelanto en el inicio de la época seca	Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	Noviembre	29%
		Junio	11%
		Ambos períodos	4%
Atraso en el inicio de época de lluvias	Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Abril	7%
		Agosto	29%
		Ambos meses	4%

Cuadro 5. (Continuación)

Época seca severa	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Diciembre-Abril	82%
		Julio	21%
		Ambos meses	18%
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Período histórico	150 días
Probabilidad de déficit hídrico	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Diciembre-Abril	68%
		Julio	43%
		Ambos períodos	32%
Período seco en estación de lluvias	Porcentaje de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Mayo-Junio	96%
		Agosto- Noviembre	71%
		Ambos períodos	71%
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Período histórico	18 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	71%
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	4%
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Período histórico	8 días

Cuadro 6 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Ciénaga, Magdalena.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados		
			2030	2050	2070
Altas precipitaciones	Precipitación acumulada anual	Anual	713 mm	700 mm	825 mm
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	No se presenta		

Cuadro 6. (Continuación)

Prolongación de la época de lluvia	Presencia de prolongación de la época de lluvia	Julio	No se presenta		
		Diciembre			
		Ambos			
Lluvias en época seca	Presencia de lluvias en época seca	Diciembre-Abril	Si se presenta		
		Julio			
		Ambos			
Adelanto en el inicio de la época seca	Presencia de adelanto en el inicio de la época seca	Noviembre	No se presenta		
		Junio			
		Ambos			
Atraso en el inicio de época de lluvias	Presencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Abril	No se presenta		
		Agosto			
		Ambos			
Época seca severa	Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Diciembre-Abril	Se presenta		
		Julio	No se presenta		
		Ambos	No se presenta		
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Anual	92 días	87 días	65 días
Probabilidad de déficit hídrico	Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Diciembre abril	Si se presenta		
		Julio			
		Ambos			
Período seco en estación de lluvias	Ocurrencia de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Mayo-Junio	No se presenta		
		Agosto-Noviembre			
		Ambos			
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Anual	9 días	24 días	40 días

Cuadro 6. (Continuación)

Altas temperaturas sin precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	2 días	9 días	22 días
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	No se presenta		
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	No se presenta		

5.3.4 Riohacha, La Guajira.

5.3.4.1 Perfil Climático. De la estación meteorológica ubicada en Riohacha, La Guajira se analizaron datos del período de 1980 al 2012 y se comparó el mismo periodo con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

De acuerdo con los datos normalizados de la estación meteorológica (Ver Anexo A, 1.4), la temperatura promedio es de 29 °C. La temperatura máxima oscila entre los 24 °C y 40 °C con un promedio de 33 °C. La temperatura mínima oscila entre los 14°C y 30°C con un promedio de 24 °C. Los meses de junio a agosto son los más cálidos y disminuye ligeramente la temperatura en los meses de diciembre a febrero.

La precipitación anual es de 646 mm con una distribución bimodal, la época seca se presenta en los meses de enero a marzo con precipitaciones en promedio menor a 6 mm y el mes de julio con precipitaciones menores a 20 mm. La época de lluvias se presenta en los meses de abril a junio y agosto a diciembre. El mes de octubre es el más lluvioso, 140 mm en promedio.

En la serie de datos se identificó un porcentaje mayor al 20% de datos faltantes para las variables temperatura máxima y mínima lo cual afectan los análisis. También una alta desviación estándar, determinando que las variables de temperatura tienen tendencia pero son series heterogéneas. En la figura 24 se observa el perfil climático de Riohacha, la Guajira de una estación meteorológica.

En comparación con los datos de la Unidad de investigación climática la diferencia de precipitación anual en promedio es de 900 mm, la temperatura máxima en promedio tiene una diferencia de 0,4 °C y la mínima de 0,5 ° C.

Según los datos de la unidad de investigación climática para la misma zona, la temperatura promedio es de 28 °C. La temperatura máxima oscila entre 29 °C y 36°C con un promedio de 33°C. La temperatura mínima oscila entre 21°C y 26°C con un promedio de 24°C. La precipitación anual es de 1590 mm y tiene una distribución bimodal, los meses de lluvias son de abril a junio y agosto a noviembre con precipitaciones mayores a 100 mm. Los meses de enero a marzo son los más secos con lluvias inferiores a 50 mm, mientras los meses de julio y diciembre con lluvias entre 50 mm y 100 mm. En la figura 25 se observa el perfil climático de Riohacha, la guajira con datos de la unidad de investigación climática.

Figura 24 Perfil Climático Riohacha, La Guajira (1980-2012) con datos de la estación meteorológica

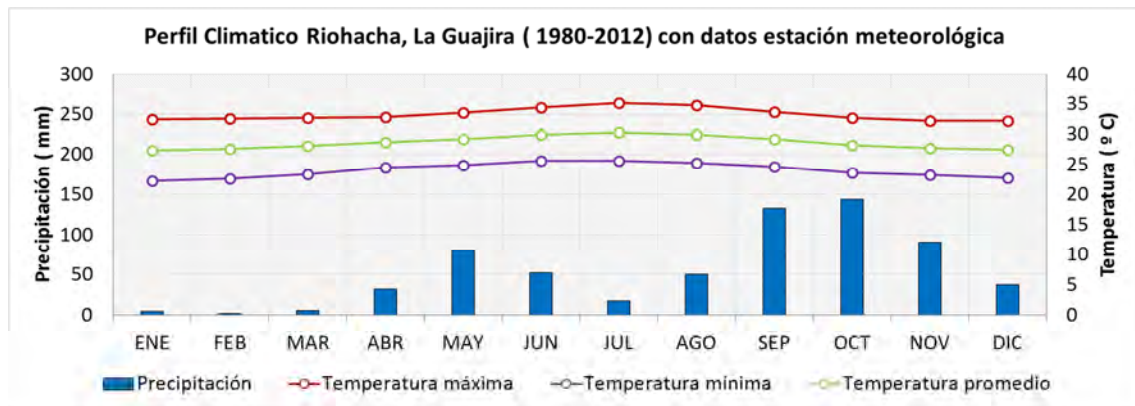
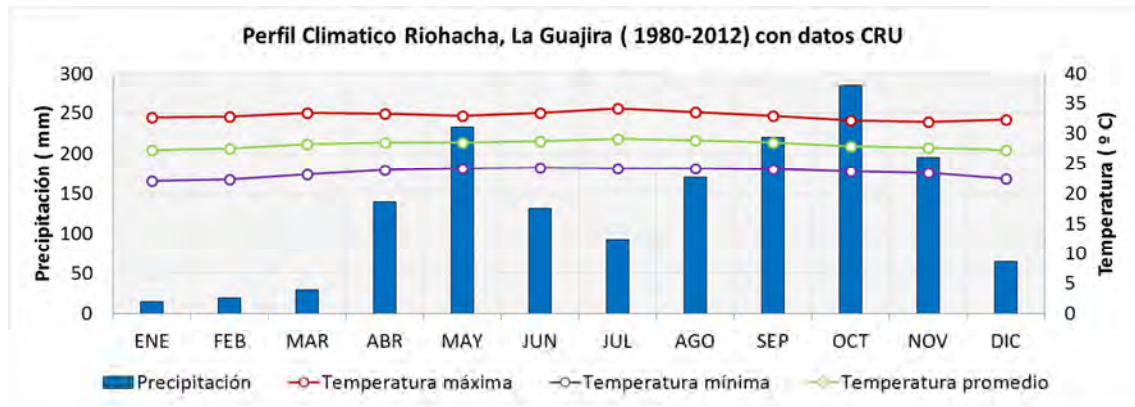


Figura 25 Perfil Climático Riohacha, La Guajira (1980-2012) Con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)

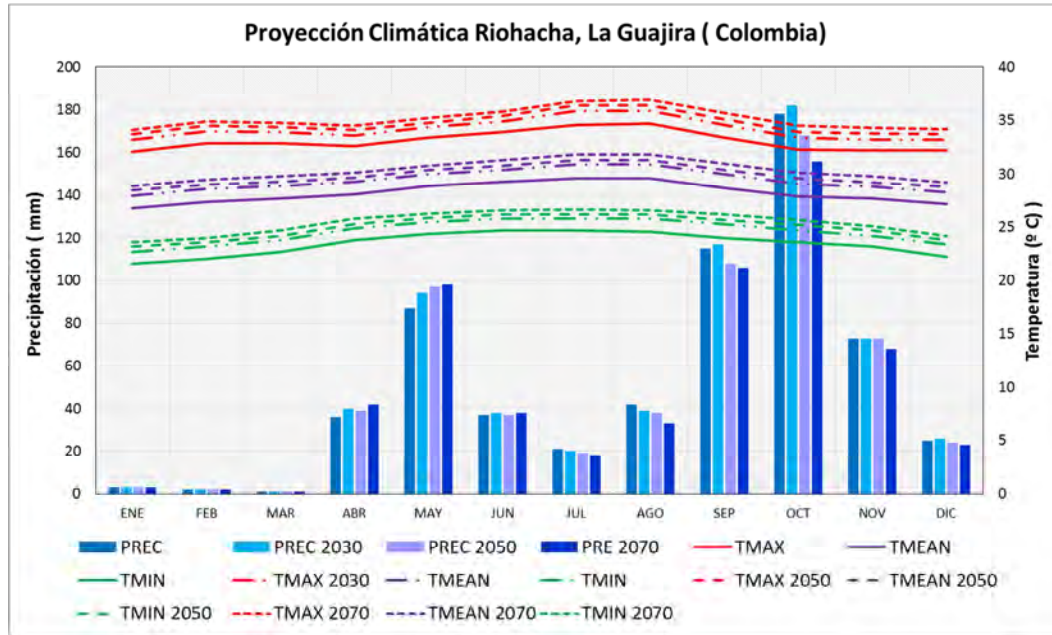


5.3.4.2 Variabilidad histórica climática. Con base en los datos obtenidos de la unidad climática de investigación a partir del promedio de 1980-2010 se graficó las anomalías de temperatura y precipitación para cada año del período histórico de 1950-2012. El promedio de precipitación anual es de 1578 mm y temperatura promedio de 28 °C.

En la figura 26 se observa que no se presenta una variabilidad extrema en temperatura ni en precipitación. El 32% de los años presentan una variabilidad moderada en precipitación con una variación de -25% con respecto al promedio, influenciados en un 47% de los años por el fenómeno de El Niño y el resto de años por otros eventos meteorológicos. También se presenta una variación de un 25% de lluvias por encima del promedio en un 14% de los años con influencia en la mayoría de los años por el fenómeno la Niña.

Por otro lado los años 1950 y 1955 presentan una variabilidad moderada con variación de 1°C por debajo del promedio histórico y con influencia de el fenómeno La Niña.

Figura 27 Proyección Climática (2030, 2050,2070) Riohacha, La Guajira.



5.3.4.4 Indicadores agroclimáticas. Los resultados obtenidos con los datos provenientes de Riohacha, se resumen en el cuadro 7 y 8. En el cuadro 7 se observan los indicadores agroclimáticos por evento meteorológico aplicados en el período histórico y en el cuadro 8 los indicadores aplicados a las proyecciones.

Para la aplicación de los indicadores no se tuvieron en cuenta años con alto número de datos faltantes que alterarían la medición de los indicadores. Los años que no se incluyeron fueron 1987, 1988, 1990, 2004 y 2013. Por lo anterior el análisis de indicadores se basó en un total de 29 años.

El área productora de banano en Riohacha se enfrenta a eventos meteorológicos en su mayoría relacionados al déficit hídrico por la presencia de épocas secas severas y períodos secos en estación de lluvias. En el 90% de los años en el período de enero a marzo se presenta una época severa y en el mes de julio en el 86% de los años, además de presentarse en ambos períodos de época seca en el 76% de los años. Sin embargo no se presenta en ninguno de los períodos en las proyecciones. El cultivo en el área también se enfrenta a un máximo de 133 días consecutivos sin precipitaciones, y se reduce el máximo número de días en un 67% en los años proyectados.

En todos los años históricos se presenta un período seco en estación de lluvias lo cual podría afectar significativamente al cultivo de banano y su producción en el área al incrementar el riesgo de déficit hídrico si no se cuenta con un sistema de riego. Pero en las proyecciones no se presenta.

Los efectos en el cultivo por temperaturas altas en el área son negativos, el máximo número de días consecutivos en el período histórico es de 64 días, en el 2030 se reduce el máximo número de días consecutivos en un 38% comparado con el histórico pero se incrementa un 13% en el 2050 comparado con el 2030 y en un 36% en el 2070 con respecto al 2050.

La presencia de altas temperaturas sin precipitaciones ocurre en el 90% de los años y se presenta en las proyecciones con tendencia a aumentar el número de días al año de 1 día en el 2030, 6 días en el 2050 y 16 días en el 2070.

En cuanto a alteraciones en la distribución de las lluvias, el cultivo se puede beneficiar de la presencia de lluvias en época seca, lo cual en el 45% de los años ocurre para ambos períodos de época seca y también se presenta en ambos períodos de las proyecciones. La prolongación de la época de lluvias se presenta en el 21% de los años en cualquiera de los dos períodos y también podría beneficiar el cultivo al disminuir el riesgo de déficit hídrico, aunque solo se presenta en las proyecciones al 2030 y 2050.

A pesar de que no es una zona con altas precipitaciones se observa que el 41% de los años presenta por lo menos una vez al año precipitación diaria mayor a 80 mm. Por otro lado el adelanto en el inicio de la época de lluvias y el atraso en el inicio de la época de lluvias se presenta en un porcentaje bajo de los años y no se presenta en los años proyectados.

Cuadro 7 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2013) en Riohacha, La Guajira.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados
Altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	Anual	0%
	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm.	Anual	41%
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	2 días
Prolongación de la época de lluvia	Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	Julio	21%
		Diciembre	21%
		Ambos meses	10%

Cuadro 7. (Continuación)

Lluvias en época seca	Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	Enero-Marzo	83%
		Julio	48%
		Ambos períodos	45%
Adelanto en el inicio de la época seca	Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	Noviembre	34%
		Junio	17%
		Ambos períodos	0%
Atraso en el inicio de época de lluvias	Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Abril	21%
		Agosto	3%
		Ambos meses	0%
Época seca severa	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Enero-Marzo	90%
		Julio	86%
		Ambos meses	76%
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Período histórico	133 días
Probabilidad de déficit hídrico	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Enero-Marzo	86%
		Julio	83%
		Ambos períodos	69%
Período seco en estación de lluvias	Porcentaje de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Abril-Junio	100%
		Agosto-Noviembre	83%
		Ambos períodos	83%
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Período histórico	64 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	90%
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	3%
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Período histórico	0 días

Cuadro 8 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Riohacha, La Guajira.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados		
			2030	2050	2070
Altas precipitaciones	Precipitación acumulada anual	Anual	783 mm	715 mm	692 mm
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	No se presenta		
Prolongación de la época de lluvia	Presencia de prolongación de la época de lluvia	Julio	Se presenta	Se presenta	No se presenta
		Diciembre			
		Ambos			
Lluvias en época seca	Presencia de lluvias en época seca	Enero-Marzo	Si se presenta		
		Julio			
		Ambos			
Adelanto en el inicio de la época seca	Presencia de adelanto en el inicio de la época seca	Noviembre	No se presenta		
		Junio			
		Ambos			
Atraso en el inicio de época de lluvias	Presencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Abril	No se presenta		
		Agosto			
		Ambos			
Época seca severa	Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Enero-Marzo	No se presenta		
		Julio			
		Ambos			
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Anual	44 días	44 días	44 días
Probabilidad de déficit hídrico	Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Abril-Junio	Si se presenta		
		Julio			
		Ambos			
Período seco en estación de lluvias	Ocurrencia de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Abril-Junio	No se presenta		
		Agosto-Noviembre			
		Ambos			

Cuadro 8. (Continuación)

Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Anual	40 días	45 días	61 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	1 días	6 días	16 días
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	No se presenta		
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	No se presenta		

5.4 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SUS EFECTOS EN ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE BANANO EN ECUADOR

5.4.1 Vinces, Los Ríos.

5.4.1.1 Perfil Climático. De la estación meteorológica ubicada en Vinces, Los Ríos se analizaron datos del período de 1993 al 2011 y se comparó el mismo período con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

De acuerdo con los datos normalizados de la estación meteorológica (Ver Anexo A, 2.1), la temperatura promedio es de 25 °C con tendencia a disminuir en los meses de junio a agosto. La temperatura máxima oscila entre los 24 °C y 35 °C con un promedio de 30 °C. La temperatura mínima oscila entre los 10°C y 25 °C con un promedio de 20 °C. La precipitación tiene una distribución unimodal con una precipitación en promedio anual de 1398 mm. La estación de lluvias se presenta en los meses de diciembre a mayo, siendo los meses de febrero y marzo los más lluviosos con precipitaciones superiores a los 280 mm. La época seca es en los meses de junio a noviembre con una precipitación inferior a 30 mm.

En la figura 28 se observa el comportamiento mensual de las variables temperatura mínima, máxima y precipitación.

Al realizar los análisis estadísticos se identificó que el porcentaje de datos faltantes de la serie es mayor al 20% en las variables de temperaturas lo cual altera los análisis. También la desviación estándar es mayor a 1,3 por tanto las series se consideran heterogéneas.

En comparación con los datos de la Unidad de investigación climática la diferencia de precipitación anual en promedio es de 235 mm, la temperatura máxima en promedio tiene una diferencia de 1,9 °C y la mínima de 0,2 °C.

Según los datos de la unidad de investigación climática la temperatura en promedio es de 26 °C. La temperatura máxima oscila entre 29 °C y 35 °C con un promedio de 32 °C. La temperatura mínima oscila entre 17 °C y 23 °C con un promedio de 20 °C. La precipitación anual es de 1522 mm y tiene una distribución unimodal, en los meses de enero a abril, las lluvias son superiores a 250 mm. Los meses secos con precipitación inferior a 50 mm son de junio a noviembre. En la figura 29 se observa el perfil climático de Vinces de los datos de la unidad climática de investigación.

Figura 28 Perfil Climático Vinces, Los Ríos (1993-2011) con datos de la estación meteorológica.

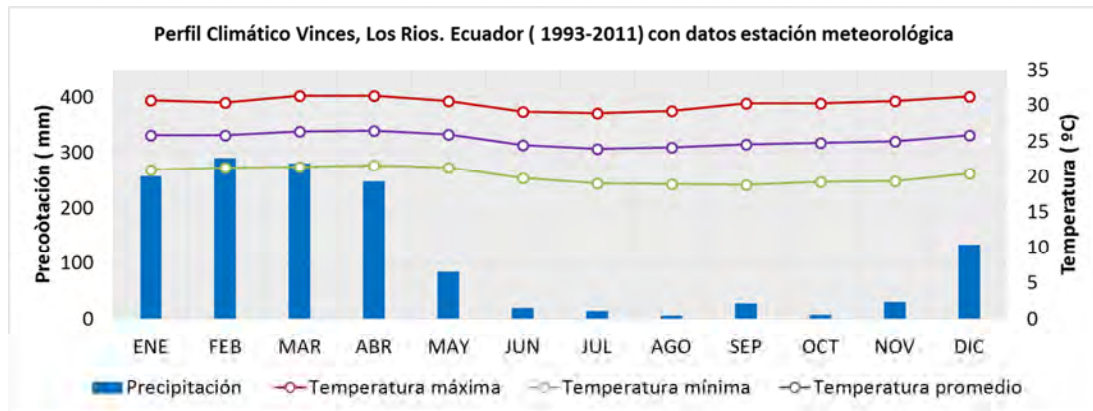
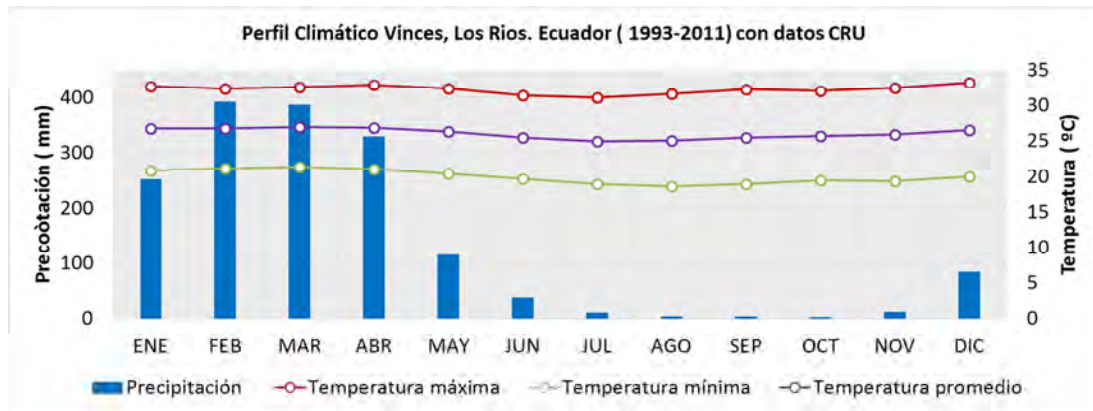


Figura 29 Perfil Climático Vinces, Los Ríos (1993-2011) con datos de la Unidad de Investigación Climática.



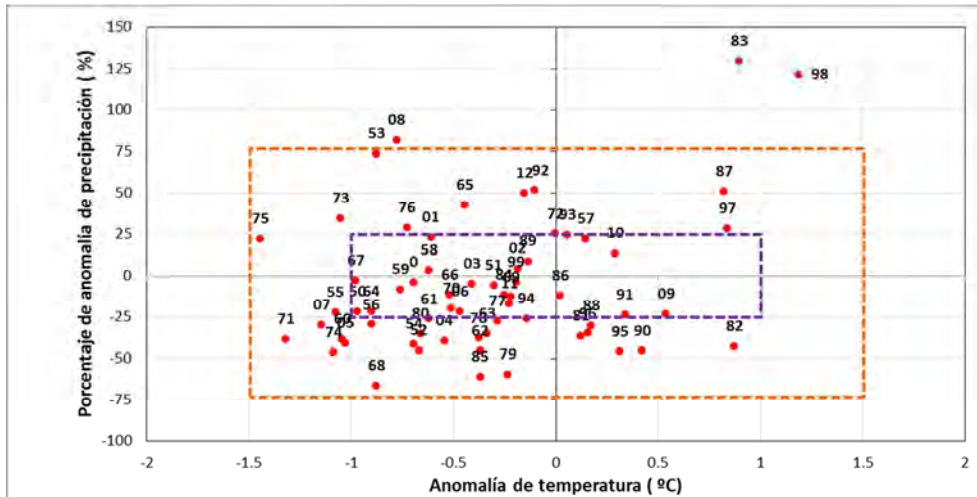
5.4.1.2 Variabilidad histórica climática. Para visualizar las anomalías de temperatura y precipitación en esta área se utilizaron los datos de la Unidad climática de investigación (CRU) para el período histórico de 1950-2012 a partir del promedio del período de 1980-2010. La temperatura en promedio anual es de 26 °C y la precipitación anual en promedio de 1629 mm.

En la figura 30 se observa que los años 1983,1998 y 2008 presentan variabilidad extrema en precipitación con variaciones mayores al 75% con respecto al promedio. En un 14% de los años se presenta variabilidad moderada en precipitación con variaciones mayores al 25% con relación al promedio. Además en un 40% de los años se presentan variaciones de -25% con respecto a la precipitación promedio.

Por otro lado se presenta variabilidad moderada en temperatura en el año 1998 con una variación de 1 °C por encima del promedio.

Los fenómenos El Niño y La Niña influyen en las anomalías de temperatura y precipitación, en Vinces el 78% de los años con lluvias moderadas por encima del promedio se ven influenciados por el fenómeno El Niño, mientras que el 48% de los años con variaciones moderadas de lluvias menores al promedio se ven influenciados por el fenómeno La Niña.

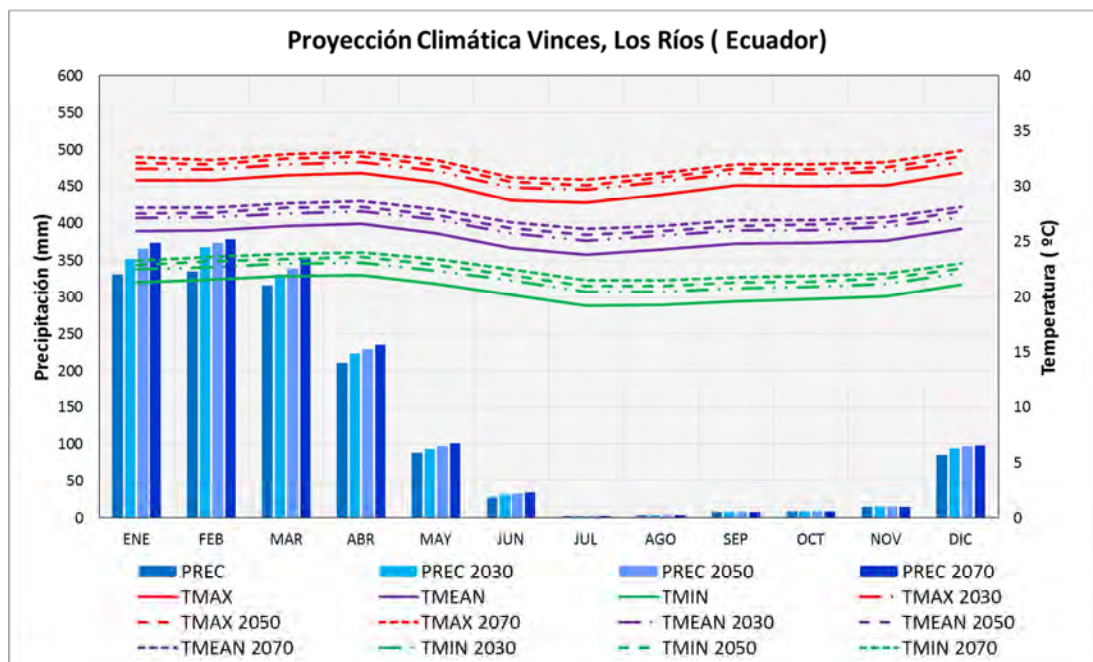
Figura 30 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Vinces, Los Ríos.



5.4.1.3 Proyecciones climáticas. En Vinces, la temperatura actual en promedio es de 25 °C con oscilaciones máxima de 30 °C y mínimas de 21 °C. Los meses con temperaturas en promedio más altas son marzo y abril y con temperaturas más bajas junio, julio y agosto. Para el 2030 se espera un incremento en la temperatura de 1°C y 2°C para el 2050 y 2070.

La precipitación actual en Vinces es en promedio 1426 mm al año con una distribución unimodal, época seca en los meses de julio a noviembre y una época lluviosa en los meses de diciembre a mayo. En el 2030 se espera un aumento en promedio de 98 mm, en el 2050 140 mm y en el 2070 180 mm comparado con la precipitación actual anual. En los meses de enero a marzo el aumento de la precipitación es de 30 a 40 mm en promedio, en los meses de diciembre, abril, mayo y junio el incremento es ligero, mientras que en los meses de época seca de junio a noviembre la precipitación es constante. En la figura 31 se observa la proyección climática.

Figura 31 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Vinces, Los Ríos.



5.4.1.4 Indicadores agroclimáticos. Los resultados obtenidos con los datos provenientes de Vinces, se resumen en el cuadro 9 y 10. En el cuadro 9 se observan los indicadores agroclimáticos por evento meteorológico aplicados en el período histórico y en el cuadro 10 los indicadores aplicados a las proyecciones.

Para la aplicación de los indicadores no se tuvieron en cuenta años con alto número de datos faltantes que alterarían la medición de los indicadores. Los años que no se incluyeron fueron 1993, 2001 y 2004. Por lo anterior el análisis de indicadores se basó en un total de 16 años.

En Vinces, la presencia de eventos relacionados al déficit hídrico es significativa al igual que alteraciones en la distribución de las lluvias.

En el 88% de los años se presenta una época seca severa y un máximo de 144 días consecutivos sin precipitaciones lo cual sin un sistema de riego generaría un estrés hídrico y reducción en el rendimiento del cultivo. Sin embargo en los años proyectados no se presenta una época seca severa y se reducen en más de un 90% el máximo número de días sin precipitaciones con relación al período histórico.

También se presenta en un 94% de los años un período seco en estación de lluvias lo cual podría afectar significativamente al cultivo de banano, al igual que

un alto porcentaje de ocurrencia de probabilidad de déficit hídrico sin presencia significativa en años proyectados.

Los efectos en el cultivo por temperaturas bajas en el área son negativos, el máximo número de días consecutivos en el período histórico es de 124 días, sin presencia en proyecciones.

En cuanto a alteraciones en la distribución de las lluvias, el cultivo se puede beneficiar de la presencia de lluvias en época seca, lo cual en el 69% de los años ocurre al igual que en las proyecciones. La prolongación de la época de lluvias se presenta en el 75% de los años y en años proyectados lo cual también beneficia al cultivo al disminuir el riesgo de déficit hídrico.

A pesar de que no es una zona con altas precipitaciones anuales se observa que el 88% de los años presenta por lo menos una vez al año precipitación diaria mayor a 80 mm, en un período máximo de 12 días al año. Pese a lo anterior no se presenta en años proyectados.

Cuadro 9 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1993-2011) en Vinces, Los Ríos.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados
Altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	Abril- Noviembre	13%
	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm.	Anual	88%
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	12 días
Prolongación de la época de lluvia	Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	Mayo	75%
Lluvias en época seca	Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	Junio- Noviembre	69%
Adelanto en el inicio de la época seca	Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	Mayo	19%
Atraso en el inicio de época de lluvias	Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Diciembre	0%

Cuadro 9. (Continuación)

Época seca severa	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Junio- Noviembre	88%
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Período histórico	144 días
Probabilidad de déficit hídrico	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Junio- Noviembre	56%
Período seco en estación de lluvias	Porcentaje de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Diciembre- Mayo	94%
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Período histórico	2 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	0%
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	0%
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	124 días

Cuadro 10 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Vinces, Los Ríos.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados		
			2030	2050	2070
Altas precipitaciones	Precipitación acumulada anual	Anual	1626 mm	1767 mm	1867 mm
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	No se presenta		
Prolongación de la época de lluvia	Presencia de prolongación de la época de lluvia	Mayo	Si se presenta		
Lluvias en época seca	Presencia de lluvias en época seca	Junio- Noviembre	Si se presenta		

Cuadro 10, (Continuación)

Adelanto en el inicio de la época seca	Presencia de adelanto en el inicio de la época seca	Mayo	No se presenta		
Atraso en el inicio de época de lluvias	Presencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Diciembre	No se presenta		
Época seca severa	Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Junio- Noviembre	No se presenta		
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Anual	12 días	7 días	12 días
Probabilidad de déficit hídrico	Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Junio- Noviembre	NO	SI	NO
Período seco en estación de lluvias	Ocurrencia de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Diciembre- Mayo	No se presenta		
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Anual	1 días	2 días	5 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	No se presenta		
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	No se presenta		
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	No se presenta		

5.4.2 Quevedo, Los Ríos.

5.4.2.1 Perfil Climático. De la estación meteorológica ubicada en Quevedo, Los Ríos se analizaron datos del período de 1965-2012 y se comparó el mismo período con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

De acuerdo con los datos normalizado de la estación meteorológica (Ver Anexo A, 2.2), la temperatura en promedio es de 25 °C, la temperatura máxima oscila entre los 22 °C y 37 °C con un promedio de 30 °C. La temperatura mínima oscila entre los 14 °C y 30 °C con un promedio de 21 °C, la tendencia de la temperatura es constante y en los meses de mayo a julio disminuye ligeramente. La precipitación tiene una distribución unimodal con una precipitación anual de 2136 mm en promedio. La época seca se presenta en los meses de junio a noviembre, con precipitaciones inferiores a los 60 mm en promedio, siendo los meses de julio a octubre los más secos con lluvias menores a 30 mm. La época de lluvia en los meses diciembre a abril, con lluvias por encima de los 150 mm, con meses muy lluviosos (febrero y marzo) con precipitaciones mayores a 430 mm en promedio. En la figura 32 se observa el comportamiento mensual de las variables temperatura mínima, máxima y precipitación.

En comparación con los datos de la Unidad de investigación climática la diferencia de precipitación anual en promedio es de 546 mm, la temperatura máxima en promedio tiene una diferencia de 1,4 °C y la mínima de 6 °C.

En comparación con los datos de la unidad de investigación climática para la misma zona, la temperatura promedio es de 21 °C, la temperatura máxima oscila entre 25 °C y 31 °C con un promedio de 28 °C, la temperatura mínima oscila entre 13 °C y 18°C con un promedio de 15 °C. La precipitación tiene una distribución unimodal, período de lluvias superiores a los 200 mm en los meses de diciembre a mayo y un período con lluvias menores a 100 mm de julio a noviembre. En la figura 33 se observa el perfil climático de datos de la unidad de investigación climática.

Figura 32 Perfil Climático Quevedo, Los Ríos (1965-2012) con datos de la estación meteorológica.

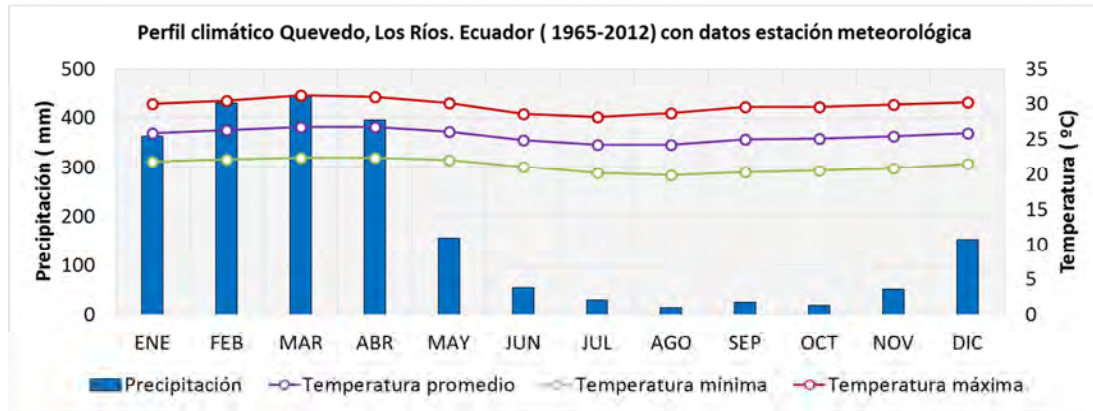
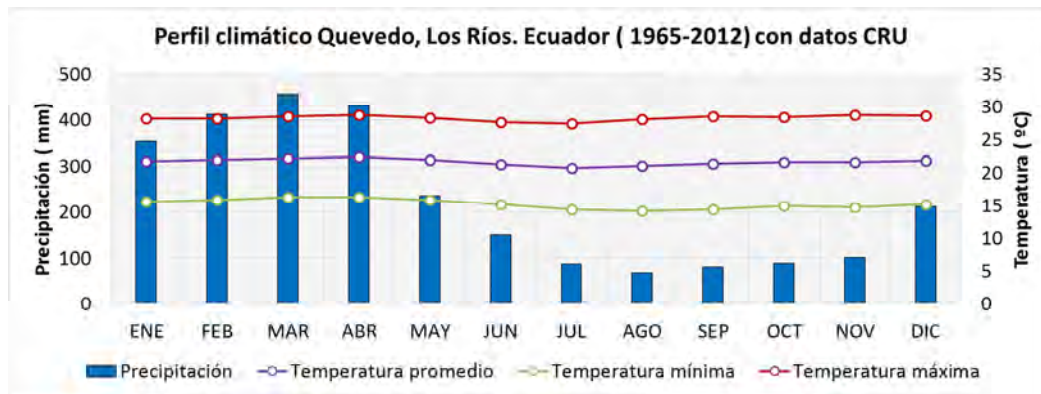


Figura 33 Perfil Climático Quevedo, Los Ríos (1965-2012) con datos de la Unidad de Investigación Climática-

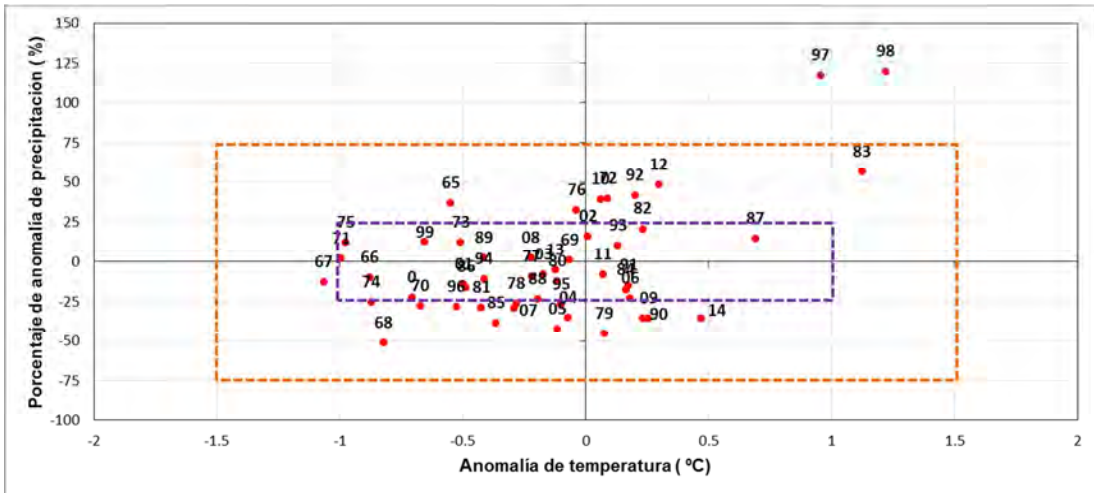


5.4.2.2 Variabilidad histórica climática. Las anomalías anuales de temperatura y precipitación para el período histórico de 1965-2014 se obtuvieron a partir del promedio de datos del período de 1980 al 2010 con datos de la estación meteorológica. El promedio histórico de precipitación anual es de 2179 mm y de temperatura es de 26 °C.

En la figura 34 se observan los años 1997 y 1998 con variabilidad extrema en precipitación con una variación superior al 75% del promedio. El 30% de los años tienen una variabilidad moderada en precipitación con variaciones -25% del promedio y el 14% de los años con variaciones mayores al 25%. También se presentan años con variabilidad moderada de temperatura en los años 1983 y 1998 con más de 1 °C por encima del promedio y el año 1967 con menos 1 °C del promedio.

Los años con variabilidad extrema en precipitación se han visto influenciados por el fenómeno El Niño, y la mayoría de años con variabilidad moderada en precipitación se han visto influenciado por tanto el fenómeno El Niño en el aumento de la precipitación y el fenómeno La Niña en la disminución de las lluvias.

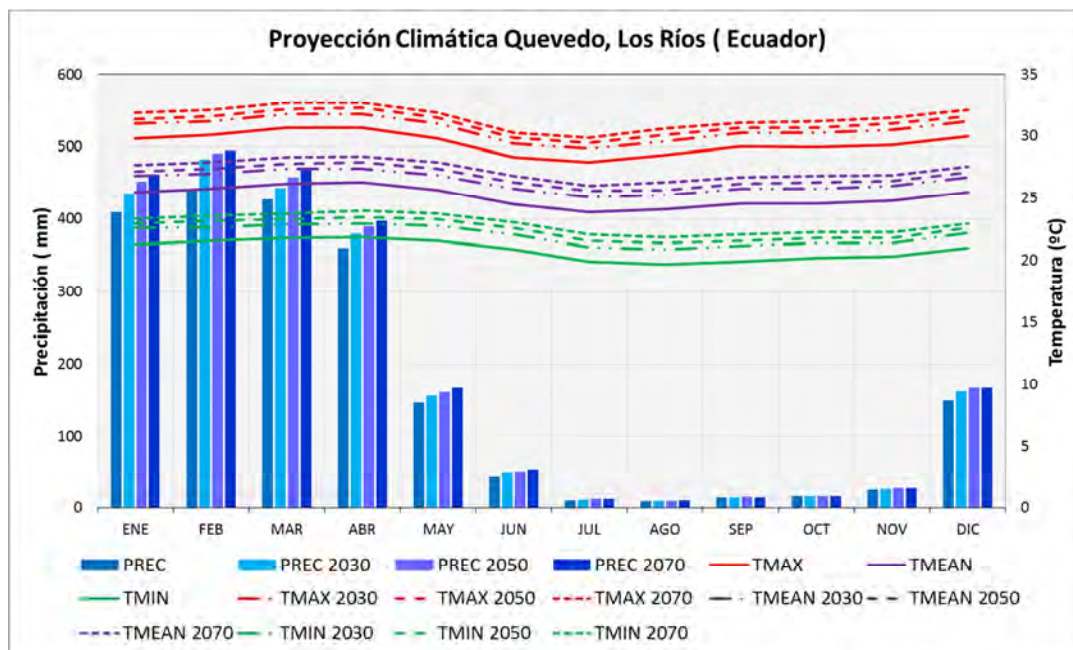
Figura 34 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación Quevedo, Los Ríos.



5.4.2.3 Proyecciones climáticas. En Quevedo la temperatura promedio actual es de 25 °C, con temperaturas máximas en promedio de 29 °C y mínimas de 21°C. En los meses de marzo y abril las temperaturas son un poco más altas y en los meses de julio a septiembre la temperatura disminuye ligeramente. Para el 2030 se espera un aumento de 1°C, en el 2050 un aumento de 2°C en temperaturas máximas y en un 1°C en temperaturas mínimas. Para el 2070 el incremento en la temperatura es de 2°C.

La precipitación anual en promedio es de 2049 mm, en las proyecciones se observa un incremento en la precipitación de 136 mm en el 2030, 199 mm en el 2050 y 241 mm en el 2070 con relación al promedio actual. La distribución no presentara cambios y es unimodal, en los meses de época seca no se presentan cambios significativos, pero en los meses de época de lluvias se espera un aumento en los meses de enero a marzo de más de 40 mm al 2070 y en diciembre, abril y mayo un incremento entre los 20 y 30 mm al 2070. En la figura 35 se observa la proyección climática.

Figura 35 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Quevedo, Los Ríos.



5.4.2.4 Indicadores Agroclimáticos. Los resultados obtenidos con los datos provenientes Quevedo, se resumen en el cuadro 11 y 12. En el cuadro 11 se observan los indicadores agroclimáticos por evento meteorológico aplicados en el período histórico y en el cuadro 12 los indicadores aplicados a las proyecciones.

El cultivo de banano en Quevedo, se puede ver perjudicado principalmente por eventos relacionados con el déficit hídrico. El 56% de los años presenta una época seca severa y un máximo de 45 días consecutivos sin precipitaciones lo cual podría generar un estrés hídrico si no se cuenta con un sistema de riego. Sin embargo, en los años proyectados no se presenta. También es alta la probabilidad de déficit hídrico en época seca con presencia en las proyecciones.

Otro de los eventos relacionados al déficit hídrico es un período seco en estación de lluvias el cual en las áreas productoras de Quevedo se presenta en un 68% de los años.

Por otro lado, también se puede ver perjudicado el cultivo de banano en esta área por lluvias moderadas diarias que dependiendo de su intensidad (mm/h) puede generar saturación del suelo, encharcamientos e incluso inundaciones. El máximo número de días con lluvias moderadas al año en el período histórico es de 17 días. Sin embargo tan solo el 12% de los años tiene una precipitación anual superior a los 2500 mm.

En cuanto a eventos relacionados con temperaturas en esta área tan solo en el 12% de los años del período histórico se presentaron temperaturas altas sin precipitaciones

Cuadro 11 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1965-2014) en Quevedo, Los Ríos

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados
Altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	Diciembre-Abril	12%
	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm.	Anual	90%
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	17 días
Prolongación de la época de lluvia	Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	Mayo	6%
Lluvias en época seca	Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	Junio- Noviembre	74%
Adelanto en el inicio de la época seca	Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	Mayo	14%
Atraso en el inicio de época de lluvias	Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Diciembre	2%
Época seca severa	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Julio- Octubre	56%
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Período histórico	45 días
Probabilidad de déficit hídrico	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Junio- Noviembre	46%
Período seco en estación de lluvias	Porcentaje de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Diciembre- Mayo	68%
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Período histórico	4 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	12%

Cuadro 11. (Continuación)

Altas temperaturas con altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	4%
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	9 días

Cuadro 12 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Quevedo, Los Ríos.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados		
			2030	2050	2070
Altas precipitaciones	Precipitación acumulada anual	Anual	2453 mm	2541 mm	2408 mm
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	No se presenta		
Prolongación de la época de lluvia	Presencia de prolongación de la época de lluvia	Mayo	No se presenta		
Lluvias en época seca	Presencia de lluvias en época seca	Junio- Noviembre	Si se presenta		
Adelanto en el inicio de la época seca	Presencia de adelanto en el inicio de la época seca	Mayo	No se presenta		
Atraso en el inicio de época de lluvias	Presencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Diciembre	No se presenta		
Época seca severa	Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Julio- Octubre	No se presenta		
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Anual	2 días	2 días	2 días
Probabilidad de déficit hídrico	Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Junio- Noviembre	Si se presenta		

Cuadro 12. (Continuación)

Período seco en estación de lluvias	Ocurrencia de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Diciembre-Mayo	No se presenta		
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Anual	1 día	1 día	1 día
Altas temperaturas sin precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	No se presenta		
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	No se presenta		
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	No se presenta		

5.4.3 El Guabo, El Oro.

5.4.3.1 Perfil Climático. De la estación meteorológica ubicada en el Guabo, El Oro se analizaron datos del período de 1985 al 2005 y se comparó el mismo período con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

De acuerdo con los datos normalizados de la estación meteorológica (Ver Anexo A, 2.3) la temperatura promedio es de 24 °C, la temperatura máxima oscila entre los 21 °C y 35 °C con un promedio de 28 °C. La temperatura mínima oscila entre los 16 °C y 26 °C con un promedio de 21 °C. La temperatura disminuye ligeramente en los meses de julio a septiembre. La precipitación anual es de 1160 mm con una distribución unimodal, la época de lluvias se presenta en los meses de octubre a abril, pero los meses de enero a marzo son los más lluviosos con precipitaciones superiores a 150 mm. En la época seca, los meses de mayo a septiembre, las precipitaciones son menores a 60 mm. En la figura 36 se observa

el comportamiento mensual de las variables temperatura mínima, máxima y precipitación.

Las series de datos cuentan con porcentaje de datos faltantes superior al 20% lo cual es significativo y altera el análisis y se consideran las series de datos heterogéneas.

En comparación con los datos de la Unidad de investigación climática (CRU) la diferencia de precipitación anual en promedio es de 132 mm, la temperatura máxima en promedio tiene una diferencia de 1,1 °C y la mínima de 6 ° C.

Según los datos de la Unidad de Investigación Climática la temperatura en promedio es 22 °C. La temperatura mínima oscila entre 12 °C y 18 °C con un promedio de 15 °C. La temperatura máxima oscila entre 27 °C y 32 °C con un promedio de 29 °C. La precipitación anual es de 1028 mm con una distribución unimodal, período de lluvias superiores a 150 mm en los meses de febrero a abril y un período seco con lluvias inferiores a los 100 mm en los meses de mayo a diciembre. En la figura 37 se observa el perfil climático de los datos de la unidad de investigación climática.

Figura 36 Perfil Climático del El Guabo, El Oro (1985-2005) con datos de la estación meteorológica.

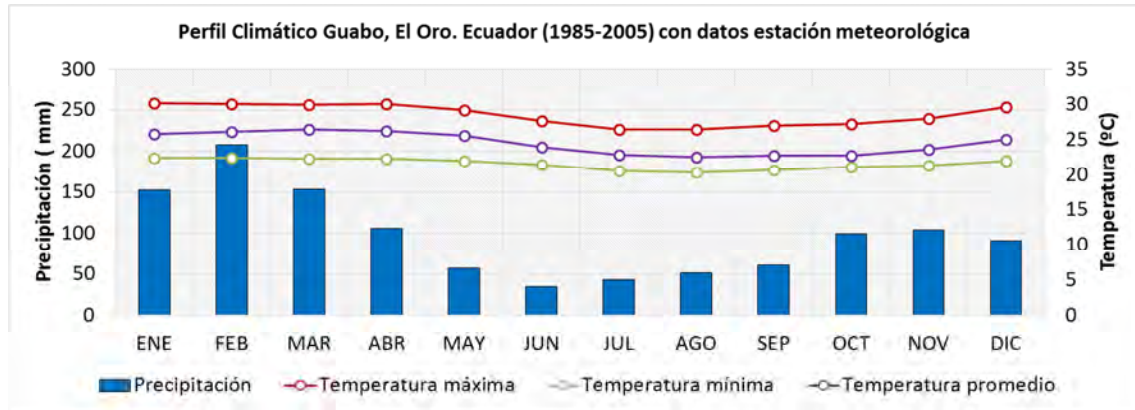
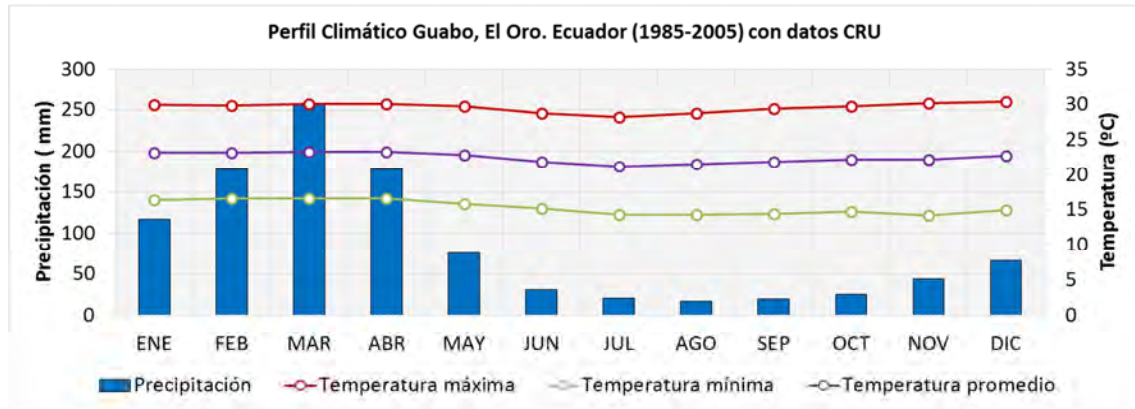


Figura 37 Perfil Climático El Guabo, El Oro (1985-2005) con datos de la Unidad de Investigación Climática.



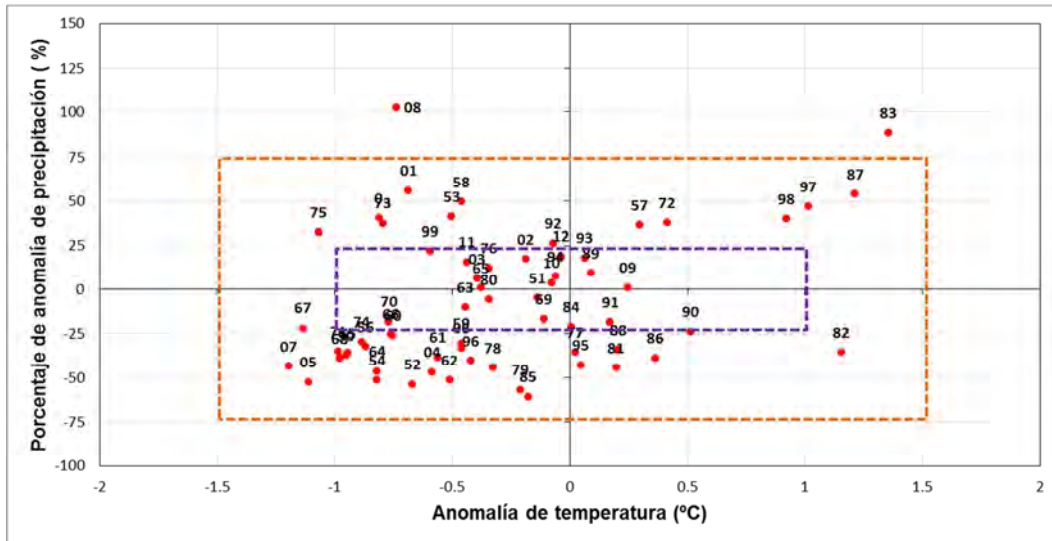
5.4.3.2 Variabilidad histórica Climática. Las anomalías anuales de temperatura y precipitación para el período histórico de 1950-2012 se obtuvieron a partir del promedio de datos del período de 1980 al 2010 con datos de la unidad climática de investigación. La temperatura promedio anual es de 22 °C y la precipitación anual en promedio de 1037 mm.

En la figura 38 se observan los años 1983 y 2008 con variabilidad extrema en precipitación con una variación superior al 75% del promedio. También se presenta una variabilidad moderada en precipitación en el 63% de los años, de los cuales en un 19% presentan variación mayor a un 25% de la precipitación y en un 44% de los años variación en menos del 25% de precipitación con respecto al promedio.

En cuanto a variabilidad por temperatura, en 1982,1983,1987 y 1997 se presentan variaciones en 1 °C por encima del promedio y en los años 1967,1975,2005 y 2007 en 1 °C por debajo del promedio.

Los años con variabilidad extrema en precipitación se han visto influenciado por el fenómeno El Niño y La Niña. En un 67% de los años con precipitaciones moderadas mayores al promedio la influencia ha sido por el fenómeno El Niño y en el 50% de los años con precipitaciones moderadas inferiores ha influenciado el fenómeno La Niña.

Figura 38 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en El Guabo, El Oro.

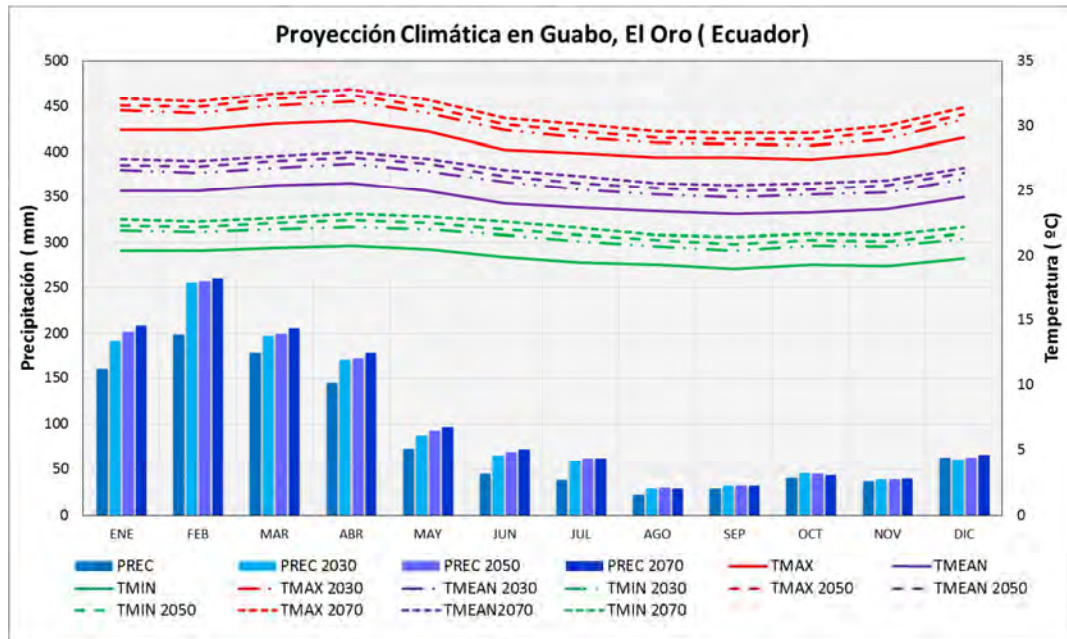


5.4.3.3 Proyecciones climáticas. En el Guabo la temperatura en promedio actual es de 24 °C con temperaturas máximas en promedio de 28 °C y mínimas de 20 °C. Los meses de marzo y abril son más cálidos y en los meses de agosto a noviembre la temperatura disminuye ligeramente.

Para el 2030 se proyecta un incremento de 1 °C en la temperatura mínima y máxima en promedio y un aumento de 2 °C en la temperatura promedio con respecto a la temperatura actual. Para el 2050 comparado con la temperatura actual, se proyecta un aumento de 1 °C en la temperatura máxima y promedio, mientras que 2 °C en la temperatura mínima. En el 2070 se espera un incremento de 2 °C.

La precipitación actual en promedio anual es de 1032 mm y una distribución unimodal. En los años proyectados con respecto al promedio anual se observa un aumento constante de la precipitación, 202 mm en el 2030, 233 mm en el 2050 y 264 mm en el 2070. El aumento de lluvias se evidencia en los meses de enero a marzo (meses más lluviosos) y en los meses de mayo a julio (época seca). En los meses de agosto a diciembre no se proyectan cambios significativos. En la figura 39 se observa la proyección climática.

Figura 39 Proyección Climática (2030, 2050,2070) El Guabo, El Oro.



5.4.3.4 Indicadores agroclimáticos. Los resultados obtenidos con los datos provenientes del Guabo, se resumen en el cuadro 13 y 14. En el cuadro 13 se observan los indicadores agroclimáticos por evento meteorológico aplicados en el período histórico y en el cuadro 14 los indicadores aplicados a las proyecciones.

Los eventos que afectan el cultivo de banano en esta zona están relacionados en alteraciones de la distribución de las lluvias que podrían generar un déficit hídrico en caso de no contar con un sistema de riego. En el 68% de los años del período histórico se presenta un período seco en estación de lluvias, en el 53% de los años un adelanto en el inicio de la época seca y en un 7% de los años atrasos en el inicio de la época de lluvias. Sin embargo en las proyecciones solo se proyecta un atraso en el inicio de la época de lluvias al 2030,2050 y 2070.

Por otro lado el porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca mayor al 50% lo cual puede generar beneficios al cultivo disminuyendo la probabilidad de déficit hídrico, al igual que la prolongación de la época de lluvias podría disminuir costos de riego al suministrar el requerimiento hídrico mensual del cultivo.

En cuanto a altas precipitaciones en el período histórico ni en las proyecciones es alta la ocurrencia de precipitaciones anuales superiores a 2500 mm, pero si se presenta en el 67% de los años al menos un día con precipitaciones mayores a 80 mm y un máximo de 12 días al año que podrían ocasionar daños al cultivo dependiendo de su duración e intensidad.

La época seca severa no se presenta en esta área productora lo cual es positivo y a pesar de que se observó en el período histórico un máximo de 16 días consecutivos sin precipitaciones en los meses de agosto a septiembre y un máximo de 2 días consecutivos en las proyecciones no es significativo.

Por otro lado en el área no se presenta significativamente eventos que perjudiquen el cultivo con relación a temperaturas altas y bajas.

Cuadro 13 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1985-1999) en Guabo, el Oro.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados
Altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	Octubre-Abril	7%
	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm.	Anual	67%
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	12 días
Prolongación de la época de lluvia	Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	Mayo	27%
Lluvias en época seca	Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	Mayo-Septiembre	53%
Adelanto en el inicio de la época seca	Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	Mayo	53%
Atraso en el inicio de época de lluvias	Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Octubre	7%
Época seca severa	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Mayo-Septiembre	0%
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Período histórico	16 días
Probabilidad de déficit hídrico	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Mayo-Septiembre	27%
Período seco en estación de lluvias	Porcentaje de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Diciembre-Mayo	68%

Cuadro 13. (Continuación)

Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Período histórico	0 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	0%
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	0%
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	2 días

Cuadro 14 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Guabo, El Oro.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados		
			2030	2050	2070
Altas precipitaciones	Precipitación acumulada anual	Anual	736 mm	736 mm	837 mm
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	No se presenta		
Prolongación de la época de lluvia	Presencia de prolongación de la época de lluvia	Mayo	No se presenta		
Lluvias en época seca	Presencia de lluvias en época seca	Mayo-Septiembre	No se presenta		
Adelanto en el inicio de la época seca	Presencia de adelanto en el inicio de la época seca	Mayo	No se presenta		
Atraso en el inicio de época de lluvias	Presencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Octubre	Si se presenta		
Época seca severa	Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Mayo-Septiembre	No se presenta		
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Anual	2 días	2 días	2 días

Cuadro 14. (Continuación)

Probabilidad de déficit hídrico	Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Mayo-Septiembre	Si se presenta		
Período seco en estación de lluvias	Ocurrencia de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Diciembre-Mayo	No se presenta		
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Anual	1 día	5 días	5 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	No se presenta		
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	No se presenta		
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	No se presenta		

5.5 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SUS EFECTOS EN ÁREAS DE PRODUCCIÓN DE BANANO EN COSTA RICA

5.5.1 Matina, Limón.

5.5.1.1 Perfil Climático .De la estación meteorológica ubicada en Matina, el Limón se analizaron datos del período de 1998 al 2012 y se comparó el mismo período con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

Según los datos normalizados de la estación meteorológica (Ver Anexo A, 3.1), la temperatura promedio es de 25 °C, la temperatura máxima oscila entre los entre 20 °C y 38 °C con un promedio de 30 °C. La temperatura mínima oscila entre los 13 °C y 27 °C con un promedio de 21 °C. En los meses de agosto a octubre se incrementa un poco la temperatura y en el período de noviembre a enero disminuye ligeramente. La precipitación tiene una distribución bimodal, con un promedio anual de 3686 mm. La época seca se presenta en los meses de febrero a abril y septiembre a octubre con precipitaciones menores a los 250 mm en promedio. La época de lluvias en los meses de noviembre a enero y de mayo a agosto, con precipitaciones en promedio superiores a los 260 mm. En la figura 40 se observa el comportamiento mensual de las variables temperatura mínima, máxima y precipitación.

En comparación con los datos de la Unidad de investigación climática la diferencia de precipitación anual en promedio es de 616 mm, la temperatura máxima en promedio tiene una diferencia de 0,7 °C y la mínima de 1 °C.

De acuerdo con los datos de la unidad climática de investigación la temperatura promedio es de 26°C, la temperatura máxima oscila entre 28 °C y 34 °C con un promedio de 31°C, la temperatura mínima oscila entre 19 °C y 25 °C con un promedio de 22 °C. La precipitación anual en promedio es de 4302 mm y su distribución es bimodal, los meses de mayo a agosto y de noviembre a enero son los períodos lluviosos con promedios mayores a 300 mm, y la época seca en los meses de febrero a abril y septiembre a octubre con precipitaciones menores a 300 mm. En la figura 41 se observa el perfil climático de los datos de la unidad de investigación climática.

Figura 40 Perfil Climático Matina, Limón (1998-2012) con datos de la estación meteorológica.

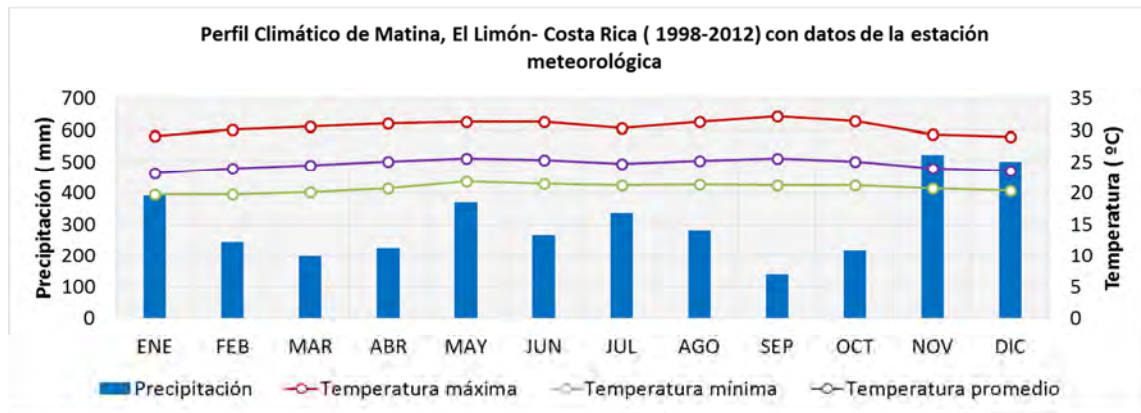
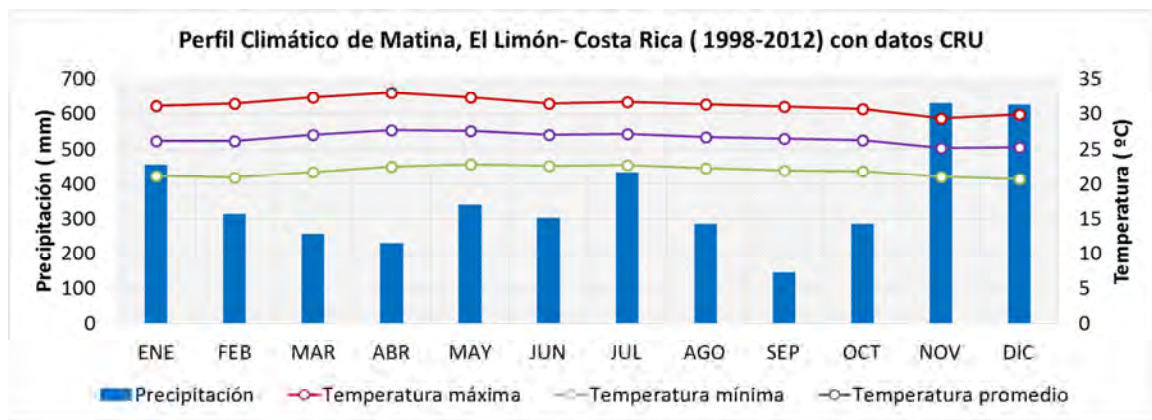


Figura 41 Perfil Climático Matina, Limón (1998-2012) con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU)



5.5.1.2 Variabilidad histórica climática. Con base en los datos obtenidos de la unidad climática de investigación a partir del promedio de 1980-2010 se graficaron las anomalías de temperatura y precipitación para cada año del período histórico de 1950-2012. El promedio histórico de temperatura es de 26 °C y 4088 mm de precipitación anual.

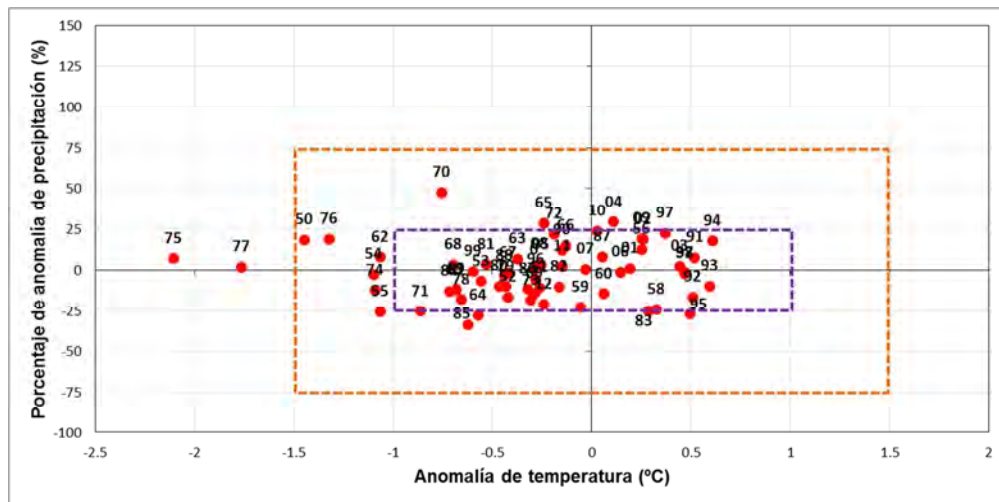
En la figura 42 se observa que en los años 1975 y 1977 se presenta una variabilidad extrema de temperatura con una variación en -1,5 °C del promedio. También se observa una variabilidad moderada en temperatura en los años 1950, 1954, 1955, 1962, 1974 y 1976, con una variación en 1 °C por debajo del promedio. En los años 1955, 1964, 1971, 1983, 1985 y 1995 se presentan una variabilidad moderada en un 25% de precipitación por debajo del promedio, y en

los años 1965, 1970 y 2004, una variabilidad moderada en un 25% de precipitación por encima del promedio.

La influencia del fenómeno El Niño y La Niña se evidencia en años con variabilidad moderada de precipitación, en años con un aumento en la precipitación promedio están ligados al fenómeno El Niño y en años con una disminución moderada de precipitación al fenómeno La Niña. Al igual, temperaturas por encima de lo normal se ven ligadas al fenómeno El Niño y temperaturas por debajo de lo esperado ligadas al fenómeno La Niña.

En el caso de Costa Rica la influencia del fenómeno ENSO es muy variada, aunque la variabilidad extrema en años con presencia del fenómeno El Niño fuerte coincide con el déficit de lluvias, ello no siempre ocurre así y la influencia está más relacionada a la cantidad de huracanes¹²⁰.

Figura 42 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Matina, Limón.

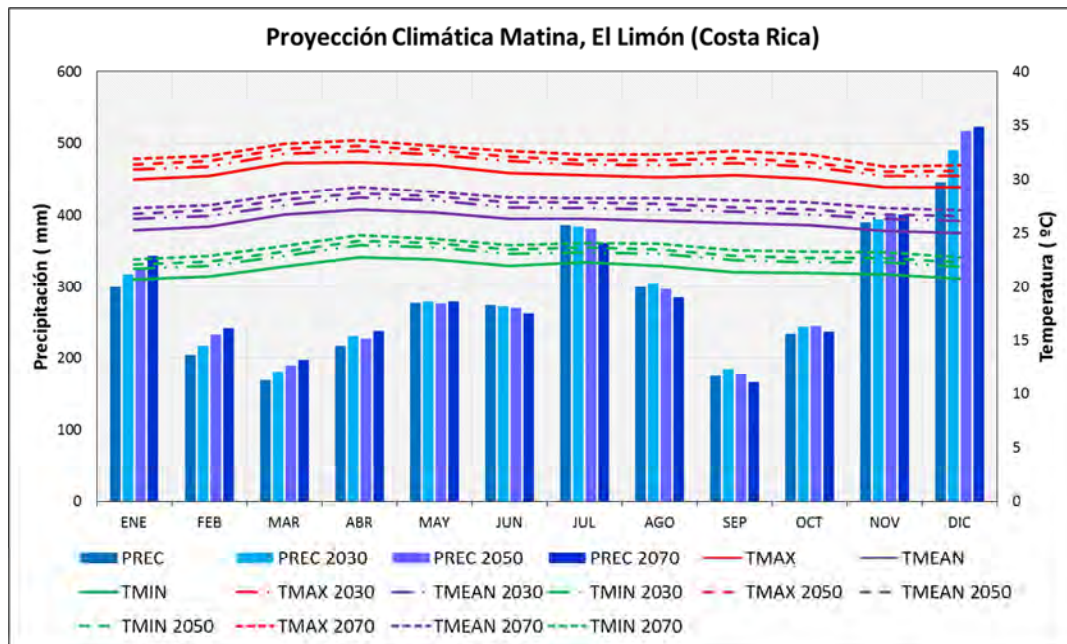


5.5.1.3 Proyecciones climáticas. En Matina la temperatura en promedio actual es de 26 °C, la temperatura máxima es de 30 °C y la mínima 22 °C. Los meses de marzo y abril presentan un ligero incremento de la temperatura y los meses de diciembre y enero una disminución en la temperatura. En los años proyectados con respecto a la temperatura promedio actual se observa un incremento en 1 °C para el 2030, y 2 °C para el 2050 y 2070.

¹²⁰El ENOS y sus efectos en Costa Rica.[en línea] Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.[consultado el 13 de febrero de 2016] Disponible en internet: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/8EL+ENOS+Y+SUS+EFECTOS+EN+COSTA+RIC+A.pdf/f8428009-149b-4395-b38a-af231350baac>

La precipitación anual actual es de 3372 mm con una distribución bimodal, en los años proyectados se observa un incremento ligero, para el 2030 un aumento de 128 mm, en el 2050 de 43 mm y en el 2070 a 37 mm comparado con la precipitación actual. En los meses de diciembre a abril se evidencia un incremento ligero en la precipitación mensual, siendo diciembre uno de los meses más lluviosos y con un aumento al 2070 de más de 70 mm. Por otro lado, en los meses de julio a septiembre se observa una ligera disminución en la precipitación mensual. Los meses de mayo-junio y octubre-noviembre no presentan cambios significativos en las proyecciones. En la figura 43 se observa la proyección climática

Figura 43 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Matina, Limón.



5.5.1.4 Indicadores agroclimáticos. Los resultados obtenidos con los datos provenientes de Matina, se resumen en el cuadro 15 y 16. En el cuadro 15 se observan los indicadores agroclimáticos por evento meteorológico aplicados en el período histórico y en el cuadro 16 los indicadores aplicados a las proyecciones.

El cultivo de banano en Matina, de acuerdo con los indicadores agroclimáticos aplicados tienen probabilidad de verse afectados por altas precipitaciones ya que el 94% de los años entre 1998 y 2014 presentan precipitaciones anuales superiores a los 2500 mm y en todos los años presentan al menos un día con lluvias moderadas. Pese a esto en los años proyectados la precipitación anual tiende a disminuir.

La prolongación de la época de lluvias en el mes de agosto es uno de los eventos con mayor ocurrencia y con presencia en los años proyectados lo cual podría beneficiar al cultivo de banano y disminuir costos en riego. Además el 50% de años tiene lluvias en época seca en ambos períodos, con mayor presencia en el período de agosto a octubre lo cual con un buen sistema de drenaje beneficiaría el cultivo.

Los eventos relacionados con la alteración de la distribución de las lluvias como el adelanto en el inicio de la época seca y el atraso en el inicio de la época de lluvias se presentan en menos de un 25% en los años históricos y no se presenta en las proyecciones.

Es una zona con lluvias durante todo el año sin épocas secas severas significativas ni probabilidades de déficit hídrico que perjudiquen el cultivo de banano.

En cuanto a efectos perjudiciales por temperaturas altas, se identificó un máximo de 9 días consecutivos y con tendencia a aumentar en las proyecciones, ello podría incidir en el rendimiento del cultivo y disminuir la producción. Por otro lado, en el período histórico se identificó un máximo de 8 días consecutivos con bajas temperaturas y sin presencia en las proyecciones.

Cuadro 15 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1980-2013) en Matina, Limón.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados
Altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	Anual	94%
	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm.	Anual	100%
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	14 días

Cuadro 15. (Continuación)

Prolongación de la época de lluvia	Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	Febrero	19%
		Agosto	94%
		Ambos meses	19%
Lluvias en época seca	Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	Febrero-Abril	75%
		Septiembre- Octubre	63%
		Ambos períodos	50%
Adelanto en el inicio de la época seca	Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	Julio	25%
		Enero	13%
		Ambos meses	0%
Atraso en el inicio de época de lluvias	Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Mayo	19%
		Noviembre	6%
		Ambos meses	6%
Época seca severa	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Febrero-Abril	0%
		Septiembre- Octubre	0%
		Ambos meses	0%
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Período histórico	16 días
Probabilidad de déficit hídrico	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Febrero-Abril	0%
		Septiembre- Octubre	0%
		Ambos períodos	0%
Período seco en estación de lluvias	Porcentaje de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Noviembre-Enero	6%
		Mayo-Agosto	0%
		Ambos períodos	0%
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Período histórico	9 días

Cuadro 15. (Continuación)

Altas temperaturas sin precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	0%
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	0%
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	8 días

Cuadro 16 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Matina, Limón.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados		
			2030	2050	2070
Altas precipitaciones	Precipitación acumulada anual	Anual	3466 mm	3391 mm	3465 mm
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	No se presenta		
Prolongación de la época de lluvia	Presencia de prolongación de la época de lluvia	Febrero	NO	SI	NO
		Agosto	Si se presenta		
		Ambos	NO	SI	NO
Lluvias en época seca	Presencia de lluvias en época seca	Febrero-Abril	NO	NO	SI
		Septiembre-October	Si se presenta		
		Ambos	NO	NO	SI
Adelanto en el inicio de la época seca	Presencia de adelanto en el inicio de la época seca	Julio	No se presenta		
		Enero			
		Ambos			
Atraso en el inicio de época de lluvias	Presencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Mayo	No se presenta		
		Noviembre			
		Ambos			

Cuadro 16. (Continuación)

Época seca severa	Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Febrero-Abril	No se presenta		
		Septiembre-Octubre			
		Ambos			
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Anual			
Probabilidad de déficit hídrico	Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Febrero-Abril	No se presenta		
		Septiembre-Octubre			
		Ambos			
Período seco en estación de lluvias	Ocurrencia de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Noviembre-Enero	No se presenta		
		Mayo-Agosto			
		Ambos			
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Anual	1 día	3 días	8 días
Altas temperaturas sin precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	No se presenta		
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	No se presenta		

Cuadro 16. (Continuación)

Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	No se presenta
--------------------	---	-------	----------------

5.5.2 Turrialba, Cartago

5.5.2.1 Perfil Climático. De la estación meteorológica ubicada en Turrialba, Cartago se analizaron datos del período de 1968 a 2012 y se comparó el mismo período con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

Según los registros diarios de la estación meteorológica la temperatura promedio es de 23 °C, la temperatura máxima oscila entre los 19 °C y 35 °C con un promedio de 27 °C. La temperatura mínima oscila entre los 11 °C y 22 °C con un promedio de 18 °C. En los meses de abril a junio se presenta un aumento ligero en la temperatura y disminuye ligeramente en los meses de noviembre a enero.

La precipitación tiene una distribución unimodal con un promedio anual de 2770 mm. La época seca se presenta en los meses de enero a abril, lluvias inferiores a 200 mm, y la época de lluvias en los meses de mayo a diciembre con lluvias superiores a los 200 mm en promedio. En la figura 44 se observa el comportamiento mensual de las variables temperatura mínima, máxima y precipitación.

En comparación con los datos de la Unidad de investigación climática la diferencia de precipitación anual en promedio es de 1935 mm, la temperatura máxima en promedio tiene una diferencia de 3,3 °C y la mínima de 6 °C.

De acuerdo con los datos de la Unidad de Investigación Climática la temperatura promedio es de 18 °C, la temperatura máxima oscila entre 20°C y 27°C con un promedio de 24 °C, la temperatura mínima oscila entre 7 °C y 16 °C con un promedio de 13 °C. La temperatura presenta un ligero incremento en los meses de marzo a mayo y disminuye un poco en los meses de diciembre a febrero.

La precipitación tiene una distribución unimodal y el promedio anual es de 4706 mm, con un período de lluvias superiores a los 300 mm en los meses de mayo a diciembre y un período con lluvias menores a 300 de enero a abril. En la figura 45 se observa el perfil climático de datos en la unidad de investigación climática.

Figura 44 Perfil Climático Turrialba, Cartago (1968-2014) con datos de la estación meteorológica.

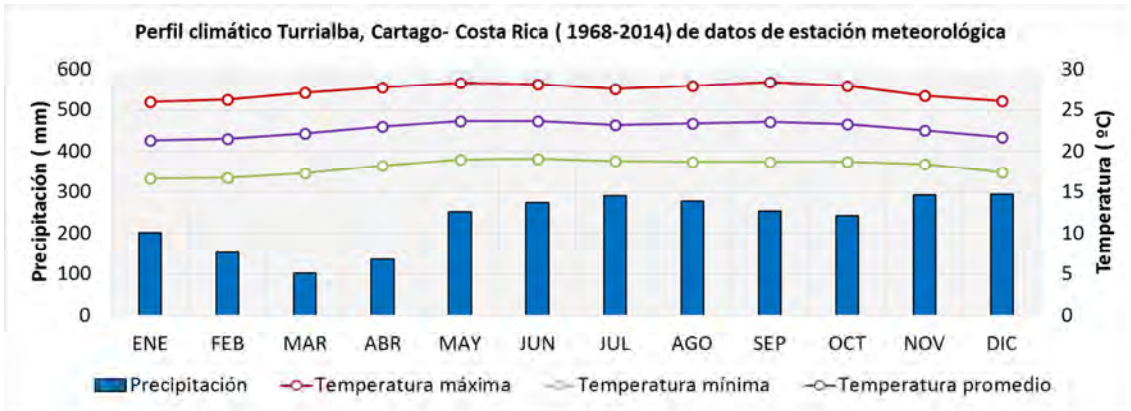
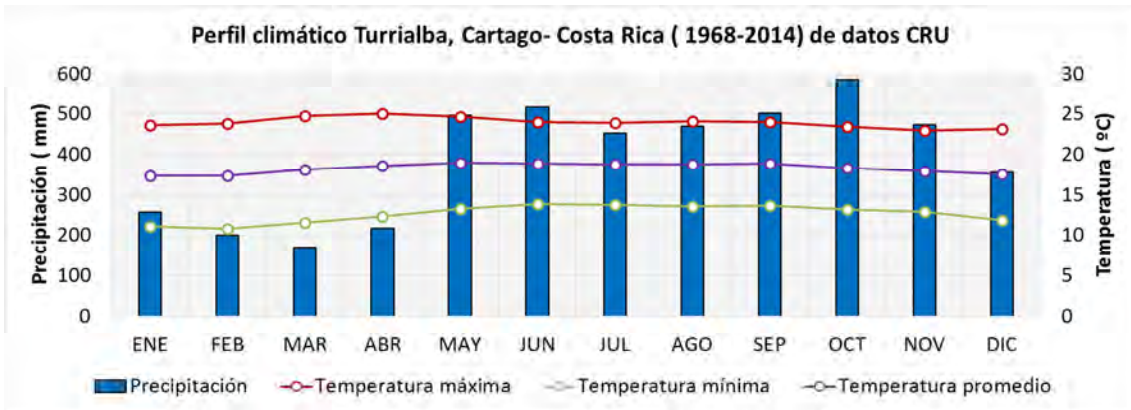


Figura 45 Perfil Climático Turrialba, Cartago (1968-2014) con datos de la Unidad de Investigación Climática (CRU).

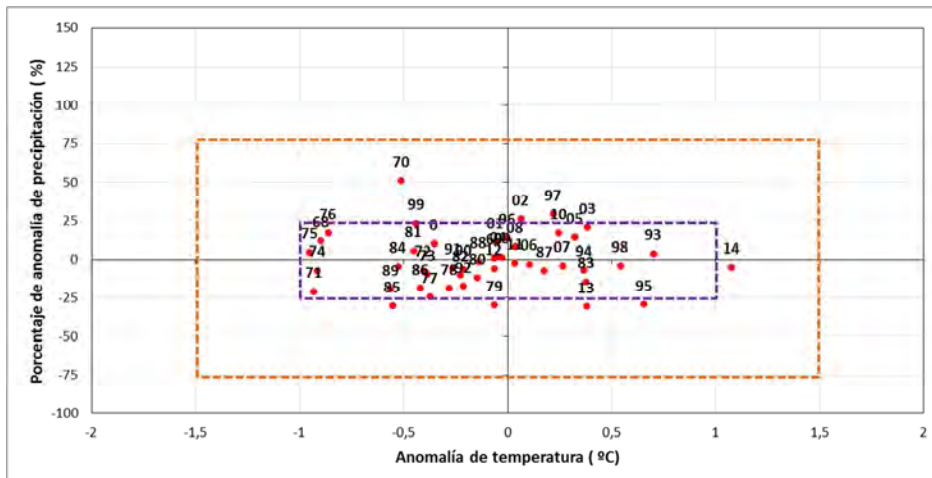


5.5.2.2 Variabilidad histórica climática. Con base en los datos de la estación meteorológica a partir del promedio de 1980-2010 se graficó las anomalías de temperatura y precipitación para cada año del período histórico de 1968-2014. El promedio histórico de temperatura es de 22 °C y 2803 mm de precipitación anual.

En la figura 46 se observa que no se presenta variabilidad extrema en los años. En 1970,1997 y 2002 se presenta una variabilidad moderada de precipitación con más de un 25% por encima del promedio y los años 1979, 1985,1995 y 2013 variaciones moderadas de precipitación con 25% por debajo del promedio. Por otro lado, se observa una variabilidad moderada de temperatura con una variación de más de 1 °C en el 2014.

La influencia del fenómeno El Niño y La Niña se evidencia en años con variabilidad moderada de precipitación, en años con un aumento en la precipitación promedio están ligados al fenómeno El Niño y en años con una disminución moderada de precipitación al fenómeno La Niña. Sin embargo, otros efectos ligados como huracanes y tormentas tropicales tienen una mayor incidencia en la variabilidad climática en Costa Rica.

Figura 46 Variabilidad histórica de temperatura y precipitación en Turrialba, Cartago.

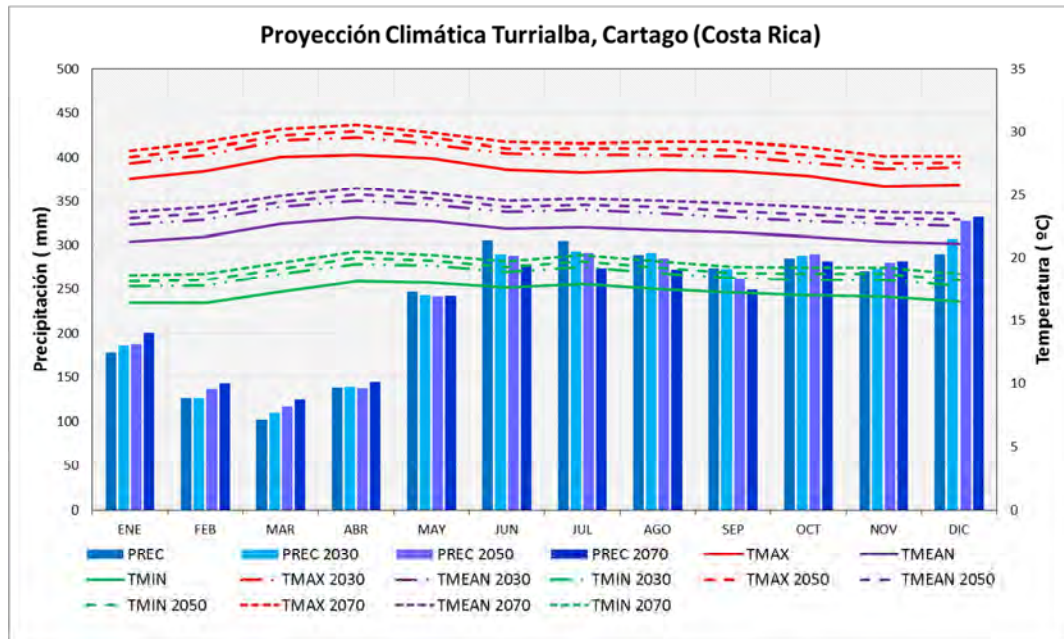


5.5.2.3 Proyecciones climáticas. En Turrialba la temperatura actual en promedio es de 22 °C, temperaturas máximas de 27 °C y mínimas de 17 °C. En los meses de marzo y abril se presentan temperaturas más altas y en los meses de diciembre a febrero temperaturas más bajas. En las proyecciones con respecto al promedio de temperatura anual se proyecta un aumento 1°C para el 2030 y de 2 °C para 2050 y 2070.

La precipitación en Turrialba anual actual es de 2811 mm con una distribución unimodal. En las proyecciones se observa un ligero incremento de la precipitación anual para el 2030 y 2050 con respecto al promedio, pero en el 2070 una disminución en la precipitación con respecto al 2050.

En los meses secos de enero a marzo se observa un incremento entre 15 mm y 20 mm en la precipitación mensual, al igual un incremento ligero en el mes de noviembre y un aumento en más de 40 mm en el mes de diciembre. Sin embargo se observa una disminución ligera de precipitación en los meses de junio a septiembre. En la figura 47 se observa la proyección climática.

Figura 47 Proyección Climática (2030,2050 y 2070) Turrialba, Cartago.



5.5.2.4 Indicadores agroclimáticos. Los resultados obtenidos con los datos provenientes de Turrialba, se resumen en el cuadro 17 y 18. En el cuadro 17 se observan los indicadores agroclimáticos por evento meteorológico aplicados en el período histórico y en el cuadro 18 los indicadores aplicados a las proyecciones.

El cultivo de banano en Turrialba, de acuerdo con los indicadores agroclimáticos aplicados tienen probabilidad de verse afectados por bajas temperaturas, en el período histórico estudiado se identificó un máximo de 96 días consecutivos, sin embargo en los años proyectados, el máximo de días consecutivos es 8 días y tienden a disminuir al 2070.

También se podría ver perjudicado por altas precipitaciones ya que el 74% de los años presentan precipitaciones anuales superiores a los 2500 mm y en el 94% de los años presentan al menos un día con lluvias moderadas. Pese a esto en los años proyectados la precipitación anual tiende a aumentar en los años 2030 y 2050 y a disminuir al 2070. Además se presenta prolongación de la época de lluvias en el 36% de los años lo cual aumenta los efectos negativos por saturación de los suelos por exceso hídrico si no cuenta con un sistema de drenaje.

Las lluvias en época seca es uno de los eventos con mayor ocurrencia y con presencia en los años proyectados lo cual podría beneficiar al cultivo de banano y disminuir costos en riego. A pesar de que la época seca no es severa, se observó un máximo de 28 días consecutivos sin precipitación en los registros históricos.

Los eventos relacionados con la alteración de la distribución de las lluvias como el adelanto en el inicio de la época seca y el atraso en el inicio de la época de lluvias se presentan en menos de un 24% en los años históricos y no se presenta en las proyecciones.

Cuadro 17 Indicadores agroclimáticos aplicados al período histórico (1968-2014) en Turrialba, Cartago

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados
Altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones anuales mayores a 2500 mm.	Mayo-Diciembre	74%
	Porcentaje de ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm.	Anual	94%
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	9 días
Prolongación de la época de lluvia	Porcentaje de ocurrencia de prolongación de la época de lluvia	Febrero	36%
Lluvias en época seca	Porcentaje de ocurrencia de lluvias en época seca	Enero-Abril	66%
Adelanto en el inicio de la época seca	Porcentaje de ocurrencia de adelanto en el inicio de la época seca	Diciembre	23%
Atraso en el inicio de época de lluvias	Porcentaje de ocurrencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Mayo	9%
Época seca severa	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Enero-Abril	0%
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Período histórico	28 días
Probabilidad de déficit hídrico	Porcentaje de ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Enero-Abril	0%
Período seco en estación de lluvias	Porcentaje de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Mayo-Diciembre	0%
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Período histórico	1 día

Cuadro 17. (Continuación)

Altas temperaturas sin precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	0%
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Porcentaje de ocurrencia de temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	0%
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	96 días

Cuadro 18 Indicadores agroclimáticos aplicados a proyecciones climáticas en Turrialba, Cartago.

Evento Meteorológico	Indicador	Período Vulnerable	Resultados		
			2030	2050	2070
Altas precipitaciones	Precipitación acumulada anual	Anual	2851 mm	2890 mm	2816 mm
	Máximo número de días con precipitaciones mayores a 80 mm	Anual	No se presenta		
Prolongación de la época de lluvia	Presencia de prolongación de la época de lluvia	Febrero	No se presenta		
Lluvias en época seca	Presencia de lluvias en época seca	Enero-Abril	Si se presenta		
Adelanto en el inicio de la época seca	Presencia de adelanto en el inicio de la época seca	Diciembre	No se presenta		
Atraso en el inicio de época de lluvias	Presencia de atraso en el inicio de la época de lluvias	Mayo	No se presenta		
Época seca severa	Ocurrencia de al menos un 80% de días sin precipitación.	Enero-Abril	No se presenta		
	Máximo número de días consecutivos sin precipitación	Anual	1 día	No se presenta	1 día

Cuadro 18. (Continuación)

Probabilidad de déficit hídrico	Ocurrencia de al menos un 98% de los días de época seca con precipitación menor a 6 mm.	Enero-Abril	No se presenta		
Período seco en estación de lluvias	Ocurrencia de al menos un 50% de los días de época de lluvia sin precipitación.	Mayo-Diciembre	No se presenta		
Altas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperaturas mayores o iguales a 34 °C.	Anual	No se presenta		
Altas temperaturas sin precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C sin precipitaciones.	Anual	No se presenta		
Altas temperaturas con altas precipitaciones	Ocurrencia de al menos un día al mes con temperatura promedio mayor a 30 °C y precipitación mayor a 60 mm.	Anual	No se presenta		
Bajas temperaturas	Máximo número de días consecutivos con temperatura menor a 18 °C.	Anual	8 días	7 días	6 días

5.6 ZONIFICACIÓN AGROCLIMÁTICA Y EFECTOS SOBRE EL CULTIVO DE BANANO

De acuerdo con la zonificación agroclimática en zonas de producción de banano tropicales y subtropicales categorizadas por Calberto, *et al.*¹²¹, se clasificaron las áreas de estudio y con base en los indicadores agroclimáticos se identificaron los eventos meteorológicos extremos y moderados, y sus efectos sobre el cultivo. En

¹²¹ Calberto, G., Alvarez, P., Siles, P., Arguello, J., Staver, C., Sotomayor, I., Bustamante, A. Op. cit. p.29

el cuadro 19 se explica cómo es la asignación del código para cada una de las zonas agroclimáticas, el primer dígito se refiere a la cantidad de precipitación anual, el segundo dígito al rango de temperaturas y el tercer dígito a la duración de la época seca.

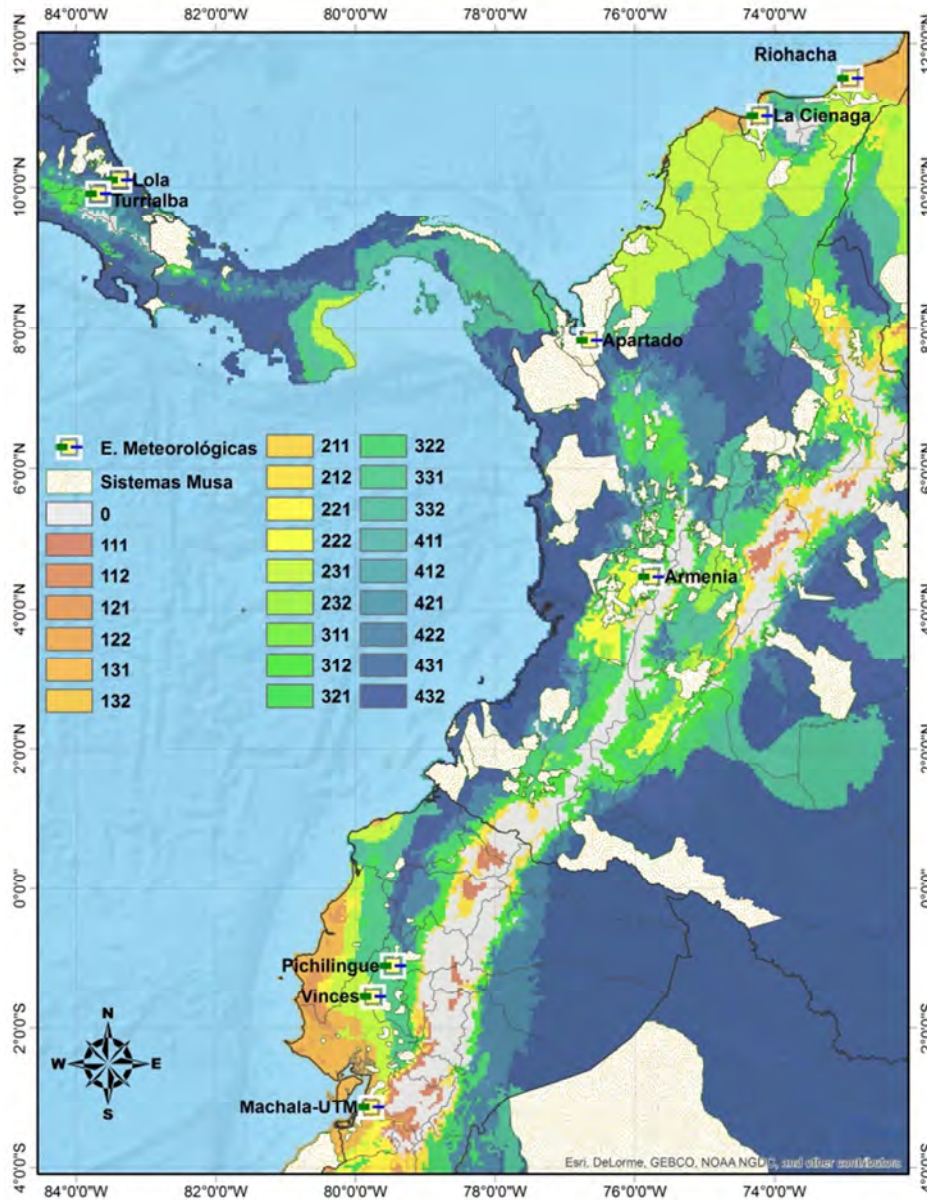
Cuadro 19 Categorización de zonas agroclimáticas idóneas para la producción de banano.

Áreas no aptas: ≥ 3 meses con temperaturas menor a 13 °C & > 1 mes con temperaturas mayores a 35 °C				
Precipitación (mm) (1 ^{er} dígito)	1: <900	2: 900-1500	3: 1500-2500	4: >2500
Temperatura (°C) (2 ^{do} dígito)	1: 13-18	2: 18-24°C	3: >24°C	4: >35°C
Duración de la época seca (3 ^{er} dígito)	1: > 3 meses secos*	2: <3 meses secos		

Fuente: CALBERTO, G., ALVAREZ, P., SILES, P., ARGUELLO, J., STAVAR, C., SOTO MAYOR, I., BUSTAMANTE, A. Cap. 4: Evaluación del Impacto Del Cambio Climático En La Producción Y Aptitud Del Banano En El Ecuador. En: Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. 2015, 198 p.

En la figura 48 se observa la ubicación de las estaciones meteorológicas de cada una de las áreas de estudio y su ubicación en acorde con la matriz agroclimática anteriormente descrita. Cada código es representado con un único color, el cual hace referencia a una zona agroclimática productora de banano. Adicionalmente se incluyen las áreas productoras de banano y su distribución en los tres países.

Figura 48 Zonificación agroclimática de las áreas de estudio.



Fuente: Carvajal, Mónica. Zonificación agroclimática de las áreas de estudio.[Mapa]. Escala 1cm: 69km. Marzo de 2016. Con base a: Calberto,G., Alvarez,P., Siles,P., Arguello, J., Staver,C., Sotomayor,I., Bustamante,A. Cap. 4: Evaluación del Impacto Del Cambio Climático En La Producción Y Aptitud Del Banano En El Ecuador.[en línea] En: Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia.2015, 198 p.

5.6.1 Zonas agroclimáticas homólogas.

Entre las áreas de estudio se identificaron dos zonas agroclimáticas homólogas, en la primera zona se encuentran las áreas productoras en Riohacha (Colombia), Ciénaga (Colombia) y El Guabo (Ecuador), y en la segunda zona, las áreas productoras en Apartadó (Colombia) y Matina (Costa Rica).

5.6.1.1 Zona agroclimática código 131. Las zonas productoras de banano ubicadas en Riohacha (Colombia), Ciénaga (Colombia) y El Guabo (Ecuador) se encuentran categorizadas en la misma zona agroclimática con temperaturas mayores a 24 °C, épocas secas mayores a 3 meses y precipitación anual menor a 900 mm.

En esta zona uno de los eventos con mayor ocurrencia es el período seco en estación de lluvias lo cual perjudica al cultivo de banano al aumentar la probabilidad de déficit hídrico y disminuir el rendimiento de la planta, además de aumento de costos en riego. La ocurrencia de épocas secas severas y probabilidad de déficit hídrico es alta en Ciénaga y Riohacha, lo cual es un evento que perjudica el rendimiento del cultivo y sin un buen sistema de riego podría generar un estrés hídrico por déficit hídrico y con ello afectación en la producción.

A pesar de lo anterior, en las tres áreas la ocurrencia de al menos un día en el año precipitaciones mayores a los 80 mm, se presenta en más del 40% de los años con un máximo de dos días en Riohacha y Ciénaga, y un máximo de doce días en El Guabo.

Por otro lado, uno de los eventos con ocurrencia en las tres áreas son lluvias en época seca lo cual es benéfico para el cultivo de banano pues reduce la probabilidad de déficit hídrico y costos en riego. También se presenta en las tres zonas la prolongación de la época de lluvias, que aunque la probabilidad de ocurrencia es baja, pues se identificó en el 20% de los años, es un evento que reduciría la probabilidad de estrés hídrico.

En cuanto a la ocurrencia de eventos que incidan en cambios en la distribución de la lluvias, en estas tres áreas se identifica un adelanto en el inicio de la época seca y un atraso en el inicio de la época de lluvias, lo cual al ser zonas con más de tres meses de estación seca se ven perjudicadas por déficit hídrico.

Los efectos sobre el cultivo por altas temperaturas en días consecutivos y altas temperaturas sin lluvias son significativos en Riohacha y Ciénaga con probabilidad de estrés hídrico y térmico por calor en la planta. En Ciénaga se presentan más de 15 días consecutivos con temperatura máxima mayor a 34 °C y en más de 60 días consecutivos en Riohacha con tendencia a incrementarse en los años

proyectados. En más de un 70% de los años de ambas áreas se presenta al menos un día con temperatura promedio mayor a 30 °C y sin lluvias.

5.6.1.2 Zonificación agroclimática, código 432. Las zonas productoras de banano en Apartadó (Colombia) y Matina (Costa Rica) se encuentran categorizadas en la misma zona agroclimática con temperaturas mayores a 24 °C, épocas secas menores a 3 meses y precipitación anual mayor a 2500 mm.

En estas áreas la ocurrencia de altas precipitaciones es significativa en la actualidad y en las proyecciones realizadas. En ambas zonas se identificó un máximo de al menos de 15 días al año con precipitaciones moderadas con probabilidad de generar saturación de los suelos, encharcamiento y en un período prolongado pudrición de las raíces afectando a la planta.

También es frecuente la ocurrencia de lluvias en época seca y prolongación de la estación de lluvias con efectos de exceso de agua en las plantaciones sin un buen sistema de drenaje.

En cuanto a eventos relacionados con la temperatura, para estas dos zonas se identificó un máximo de menos de 10 días consecutivos con temperaturas mayores a 34 °C y tendencia a un incremento de días en las proyecciones, por lo anterior se considera un evento meteorológico que a mediano y largo plazo afectaría el rendimiento de la planta por estrés térmico.

5.6.2 Zonas Agroclimáticas heterogéneas.

El área productora de banano en Armenia (Colombia) se encuentra dentro de la categoría de zonificación agroclimática con temperaturas entre los 18 °C y 24 °C, con menos de tres meses secos y precipitación anual entre los 1500 mm y 2500 mm, y aunque en Turrialba (Costa Rica) también tienen temperaturas entre el mismo rango y menos de tres meses secos, la precipitación anual es mayor a los 2500 mm.

A pesar de encontrarse en diferentes zonas agroclimáticas, la ocurrencia de bajas temperaturas que perjudiquen la planta es alta para ambas zonas, en Armenia se identificó un período consecutivo mayor a 200 días con temperaturas mínimas iguales o menores a 18 °C, y 96 días consecutivos en Turrialba. Pero la tendencia en las proyecciones es en la disminución de días con temperaturas bajas.

En Turrialba la ocurrencia de altas precipitaciones anuales es significativa pero con tendencia a disminuir al 2070, mientras que la ocurrencia de precipitaciones diarias mayores a 80 mm es uno de los eventos a los que al igual el cultivo en Armenia se ve afectado.

En cuanto a eventos que beneficien el cultivo, en ambas zonas se identifican lluvias en época seca lo cual disminuiría la probabilidad de déficit hídrico, aunque la ocurrencia de épocas secas severas no sea significativa.

Los eventos relacionados con cambios en la distribución de las lluvias como el adelanto en el inicio de la época seca y el atraso en el inicio de la época de lluvias, la ocurrencia en estas dos zonas es de menos del 50% de los años.

Por otro lado, las áreas productoras de banano en Ecuador, la provincia Los Ríos ubicadas en Vinces y Quevedo tienen temperatura promedio mayor a 24 °C y un período seco mayor a tres meses, pero se diferencian en que la precipitación anual en Vinces fluctúa entre 900 mm y 1500 mm, mientras en Quevedo entre 1500 mm y 2500 mm.

Los eventos que afectan el cultivo de banano en estas zonas son extremos, ya que presentan meses con altas precipitaciones y una época seca severa con alta probabilidad de déficit hídrico. Además la ocurrencia de un período seco en estación de lluvias es alto lo cual podría mejorar la distribución de las lluvias reduciendo la probabilidad de saturación de los suelos en la estación lluviosa pero en un período prolongado perjudicar el rendimiento de la planta por déficit hídrico.

En ambas áreas la ocurrencia de lluvias diarias mayores a 80 mm por lo menos 12 días en el año, es alta y con efectos negativos en las plantaciones por encharcamientos y saturación de los suelos. Además las lluvias en época seca son frecuentes y con tendencia a incrementarse en los años proyectados, lo cual beneficia al cultivo pues evitaría el estrés hídrico y reduciría costos en riego en época seca.

Por otra parte, a diferencia de Quevedo, en Vinces uno de los eventos con mayor ocurrencia y afectación sobre el cultivo son las bajas temperaturas, que afectan el rendimiento de la planta y aún más en períodos mayores a 100 días consecutivos.

6. CONCLUSIONES

El análisis de series de tiempo de registros históricos diarios provenientes de estaciones meteorológicas realizado por medio del programa RClimTool permitió identificar que la variable temperatura en el tiempo tiene una tendencia más constante y homogénea con menos variaciones diarias que la variable precipitación, puesto que las fluctuación mensuales dependen del régimen bimodal o unimodal de las áreas de estudio. Además por medio del programa se identificó el porcentaje de datos faltantes de las variables, lo que permitió excluir del estudio bases de datos con más de 50% de datos faltantes ya que alteran la confiabilidad del estudio.

No obstante, para el análisis de series de tiempo se utilizaron registros históricos con un porcentaje de datos faltantes menor al 25% y períodos históricos de al menos 10 años. En el análisis de variabilidad histórica se utilizaron los registros históricos de cinco estaciones meteorológicas al tener registros de por lo menos 30 años, y en las otras áreas de estudio se utilizaron los datos de la unidad de investigación climática.

Al realizar una comparación de tendencias históricas en un mismo período entre los datos normalizados de los registros históricos diarios de las estaciones meteorológicas y los datos espaciales mensuales de la Unidad de Investigación Climática, se identificó una diferencia significativa en algunos de los promedios mensuales de temperaturas y precipitación. Lo anterior podría explicarse por el tamaño y resolución de la grilla (0,5 x 0,5 grados) que utiliza la Unidad de Investigación Climática y que la generación de datos depende de la interpolación de registros proporcionadas por estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.

De esta manera, se ratifica la importancia de tener estaciones meteorológicas distribuidas en todos los países y proporcionar registros climáticos diarios que permitan estudios como el presente.

En los análisis de variabilidad histórica, se identificaron los años con variabilidad extrema y moderada en cada una de las áreas productoras de banano y la influencia del fenómeno ENSO (por sus siglas en inglés). La variabilidad extrema se evidenció en los años 1986 y 1996 en Apartado (Colombia) y en 1975 y 1977 en Matina (Costa Rica) con variaciones en la temperatura por debajo de lo normal. En cambio, en Ecuador en las tres áreas productoras de banano estudiadas se presenta variabilidad extrema en los años 1983, 1997, 1998 y 2008 con variaciones en la precipitación por encima de lo normal, y se refleja la influencia del fenómeno

el Niño con alta intensidad pues ocasionó inundaciones y pérdidas en más de la mitad del territorio.

En las mayores zonas productoras de banano en Colombia, el fenómeno El Niño influye en la presencia de sequías mientras que en Ecuador en la ocurrencia de inundaciones. En el caso de Costa Rica el fenómeno El Niño es muy variado, se ha relacionado con el déficit hídrico, sin embargo no siempre es así y se vincula más en la incidencia de huracanes.

Las proyecciones generadas bajo el escenario climático RCP 6.0 para los años 2030, 2050 y 2070 se analizaron mensual y diariamente. En las proyecciones mensuales se estimó un incremento promedio de temperatura en 1 °C para el 2030, y en 2 °C para el 2050 y 2070, lo cual ampliaría las zonas potenciales para el cultivo de banano.

En cuanto a las proyecciones en precipitación, las fluctuaciones son específicas en cada área. Sin embargo a nivel general, en las áreas de estudio en Ecuador se estima un aumento en la precipitación mensual, mientras que en Colombia se estima un incremento de las lluvias en Apartadó y Armenia, y una disminución de la precipitación en Ciénaga y Riohacha. En las áreas de estudio de Costa Rica, se estima un incremento ligero de lluvias en los meses de diciembre a abril y una disminución en los meses de junio a diciembre.

Por lo anterior se concluiría que a futuro a pesar que el un aumento en las temperatura es favorable para el cultivo del banano, los cambios en las precipitaciones probablemente aumenten el riesgo a la presencia de enfermedades, ya que el incremento de precipitaciones y humedad favorece la presencia de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). Adicionalmente, al presentarse sequías prolongadas podría aumentar la susceptibilidad frente al hongo causante de mal de Panamá (*Fusarium oxysporum f. sp. Cubense*)¹²².

Sin embargo, las proyecciones globales no permiten identificar los impactos locales en los cultivos de banano, mientras que al analizar la variabilidad climática y proyecciones diarias y locales se identifican eventos con mayor probabilidad de ocurrencia en el área que sirvan como base en la realización de planes de adaptación y mitigación al cambio climático a nivel local.

Los eventos meteorológicos con mayor impacto y probabilidad de presentarse a futuro en las zonas bananeras estudiadas en Colombia, Ecuador y Costa Rica basado en los indicadores agroclimáticos aplicados a registros históricos diarios

¹²² SKULLY,D.,ELBEHRI,A. Op. cit. p. 67.

son épocas secas severas, períodos secos en estación de lluvias, altas precipitaciones y lluvias en época seca.

Al 2030, 2050 y 2070 bajo el escenario climático RCP 6.0, se estima que los eventos meteorológicos con mayor impacto sean las altas y bajas temperaturas, la época seca severa, prolongación de la época de lluvias y lluvias en época seca.

La precipitación es un factor limitante en el cultivo de banano y su variabilidad es ligada a fenómenos como El Niño y La Niña. Los eventos relacionados al déficit hídrico y a altas precipitaciones fueron los de mayor ocurrencia en las áreas de producción de banano del presente estudio.

De las áreas productoras de banano en Colombia, Ecuador y Costa Rica, se identificaron dos zonas agroclimáticas homogéneas las cuales a pesar de ubicarse en diferentes regiones comparten condiciones de temperatura y precipitación similares para el cultivo de banano, al igual la ocurrencia eventos extremos y moderados que incrementan los riesgos de alteraciones en la productividad con consecuencias para la seguridad alimentaria y los ingresos de miles de millones de hogares.

Los impactos de la variabilidad y cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos, en las condiciones del suelo y en las variaciones de temperatura afecta directamente la eficiencia en el uso de insumos con efectos en los costos de producción que terminan afectando la mano de obra, los ingresos locales, y la economía de países, en los cuales el banano es un producto principal de exportación y de consumo local¹²³.

Para concluir, es un hecho que los impactos de la variabilidad y cambio climático en el cultivo de banano deben prevenirse a diario y representan un reto para los científicos, productores, comercializadores y gobierno de cada uno de los países, pero al identificar la probabilidad de ocurrencia de eventos meteorológicos moderados y extremos similares que perjudiquen o beneficien el cultivo en diferentes regiones, se lograría una mejor planificación e implementación de medidas de adaptación y manejo al intercambiar tecnológicas, conocimientos y prácticas que disminuyan los riesgos económicos, sociales y ambientales, y fortalezcan la resiliencia de los sistemas de producción de banano.

¹²³ Ibid. p. 66.

7. RECOMENDACIONES

Al realizar el control de calidad a los registros históricos diarios de estaciones meteorológicas se encontró un número significativo de datos faltantes que alteran los análisis de tendencia. Si en las zonas de producción de banano se contara con registros diarios de por lo menos 10 estaciones meteorológicas se recomienda realizar un llenado de datos faltantes y realizar nuevamente el cálculo de los indicadores agroclimáticos para las áreas de estudio.

Siguiendo con lo anterior es necesario que las estaciones meteorológicas tengan un seguimiento y control en su funcionamiento, con lo cual se asegure una mejor calidad de los registros climáticos.

También se recomienda para futuros estudios profundizar en la incidencia de los fenómenos El Niño y La Niña determinando su periodicidad y correlación con cada uno de los diferentes eventos meteorológicos que afectan el cultivo. Al igual profundizar en los efectos de los eventos extremos y moderados en el rendimiento productivo de la planta mediante la correlación de datos climáticos, con datos de manejo y de producción.

Finalmente, se recomienda que estudios como el presente se utilicen como base para la planificación de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y en planes de manejo del cultivo para así aprovechar eventos meteorológicos que beneficien el cultivo en ciertas temporadas del año y prevenir daños severos ante eventos extremos.

BIBLIOGRAFÍA

ADAMS, Richard., HURD, Brian., LENHART, Stephanie., LEARY, Neil. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review [en línea]. En: Climate Research. 1998, vol. 11, p.19-30 [consultado el 3 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.int-res.com/articles/cr/11/c011p019>

AGUIRRE F, Sonia E. PIRANEQUE, Nelson. MENJIVAR, Juan C. Relación entre las propiedades edafoclimáticas y la incidencia de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en la zona bananera del Magdalena-Colombia. En: Revista de Investigación Agraria y Ambiental. 2012, vol. 3, p. 25.

Allwood J.M., V. Bosetti, N.K. Dubash, L. Gómez-Echeverri, and C. von Stechow, 2014: Glossary. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [en línea] [consultado el 1 de febrero de 2016] Disponible en internet: http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-i.pdf

ARIAS, P., DANKERS, C., LIU, P., PILKAUSKAS, P. La economía mundial del banano 1985-2002. Panorama general de la producción y el comercio mundial de banano. [en línea] 2004. 104 p. [consultado el 21 julio de 2015] Disponible en internet: <http://www.fao.org/docrep/007/y5102s/y5102s04.htm>

Armenia (Quindío). [en línea] 2016. Wikimedia foundation, inc. [consultado el 19 de abril de 2016] Disponible en internet: [https://es.wikipedia.org/wiki/Armenia_\(Quind%C3%ADo\)#Geograf.C3.ADa](https://es.wikipedia.org/wiki/Armenia_(Quind%C3%ADo)#Geograf.C3.ADa)

Banano. [en línea]. Bogotá: Sistema De Información De Gestión Y Desempeño De Organizaciones De Cadenas, 2012 [consultado el 4 de enero de 2016] Disponible en internet: <http://sioc.minagricultura.gov.co/index.php/art-inicio-cadena-banano/?ide=24>

BLASQUEZ, Josefina. Proyecciones climáticas sobre Sudamérica utilizando modelos climáticos globales. Análisis de incertidumbres. Tesis doctoral en ciencias de la atmósfera y los océanos. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Facultad de ciencias exactas y naturales. 2011, 116 p.

BUCHELI, Víctor H., GONZALEZ MANTILLA, Alex S. TRAJADO, Cesar., MESIAS, Rigoberto, MALDONADO, Edmundo., TAPIA, Gustavo., AGUILAR, Dagguin., DE LA TORRE, Francisco., SIMBAÑA, Blanca. Zonificación agroecológica del banano (*Musa sapientum*) en el Ecuador a escala 1:25.000 y 1:250.000. versión 1. Quito,

Ecuador: Ministerio De Agricultura, Ganadera, Acuacultura Y Pesca. Diciembre, 2012.

CALBERTO, Germán., CARVAJAL, Mónica, STAVAR, Charles. Resultados Del Sondeo I: Eventos Meteorológicos Que Afectan La Producción De Banano Y Plátano.[en línea] febrero,2016.[consultado el 28 de febrero de 2016] Disponible en internet: http://banana-networks.org/musalac/files/2016/02/resultadosSondeo1_CCAFS_LAC_Banano.pdf

CALBERTO,G.,ALVAREZ,P.,SILES,P.,ARGUELLO,J.,STAVAR,C.,SOTOMAYOR,I.,BUSTAMANTE,A. Cap. 4: Evaluación del Impacto Del Cambio Climático En La Producción Y Aptitud Del Banano En El Ecuador.[en línea] En: Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia.2015, 198 p.

Cambio climático 2013. [en línea]: Base de ciencia física. Intergovernmental Panel on Climate Change.[consultado 30 mayo de 2015] Disponible en internet: http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf

Cambio climático y seguridad alimentaria. [En línea]. Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación (FAO).[consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.fao.org/climatechange/16615-05a3a6593f26eaf91b35b0f0a320cc22e.pdf>

Cantón de Matina.[en línea] Wikipedia Foundation.[consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_de_Matina

Cantón de Turrialba.[en línea] Wikipedia Foundation [consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_de_Turrialba

CASTILLO VÉLEZ, María José. Consultoría sobre productividad del sector agropecuario ecuatoriano con énfasis en banano, cacao, arroz y maíz duro. [en línea] [consultado el 8 de marzo de 2015] Disponible en internet: http://rimisp.org/2015/wp-content/files_mf/1373468645DocEcuador9julio.pdf

CHALLINOR, AJ, WHEELER, TR, PQ, CRAUFURD, SLINGO, JM. Simulation of the impact of high temperature stress on annual crop yields. En: Agricultural and Forest Meteorology. Diciembre, 2005, vol.135, p.180-189.

CHALLINOR AJ, WHEELER TR. Crop yield reduction in the tropics under climate change: Processes and uncertainties. En: Agricultural and Forest Meteorology. Marzo, 2008, vol.148, p.343-356.

CIGALES, M. PEREZ ,O. Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México.[en línea] Tecomán, Colima. México.2011 [consultado el 5 de diciembre de 2015] Disponible en internet: <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2011/sept/2.pdf>

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto .[En línea] Portal De La Labor Del Sistema De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático. [consultado el 7 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.un.org/es/climatechange/kyoto.shtml>

Corporación Bananera Nacional. Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para Reducir el Escurrimiento de Plaguicidas en el Cultivo del Banano de la Región Caribe Costarricense. Abril 2011 [consultado el 21 julio de 2015] Disponible en: <http://cep.unep.org/repcar/proyectos-demostrativos/costa-rica-1/publicaciones-corbana/Estudio%20de%20caso%20Corbana.pdf>

CRANE, T.A, RONCOLI, C, y .HOOGENBOOM, G. Adaptation to climate change and climate variability: The importance of understanding agricultura as performance. En: NJAS –Wageningen Journal of Life Sciences. 2011, vol. 57, p.179–185.

Datos y geografía de Ecuador.[en línea] Embajada de Ecuador en Washington DC-2007.[consultado el 27 de julio de 2015] Disponible en internet: http://web.archive.org/web/20121031112532/http://www.ecuador.org/esp/datos_ecuador.htm

SKULLY, David y ELBEHRI, Aziz. Capítulo 3: El Cambio Climático Y Sus Efectos En El Sector Del Banano En El Ecuador.[en línea] En: Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. 2015, 198 p. Disponible en internet : <http://www.fao.org/3/a-i5116s.pdf>

DEUTER, Peter., WHITE, Neil., PUTLAND, David. Critical temperature thresholds. Case study Banana. [en línea] [consultado el 7 de junio de 2015]. Disponible en internet: http://www.managingclimate.gov.au/wp-content/uploads/2012/03/Critical-temperature-thresholds_Banana_V2.pdf

Diagnóstico del sector bananero 2007 – 2011.[en línea] Asociación De Bananeros De Magdalena Y La Guajira.[consultado el 27 de julio de 2015] Disponible en internet: <http://asbama.com/wp-content/uploads/2013/05/DIAGNOSTICO-DEL-SECTOR-BANANERO-2007-2011.pdf>

Distrito de riego mejorará vida y productividad en Urabá.[en línea]. El Mundo.2015[consultado el 23 de mayo de 2015] Disponible en internet: http://www.elmundo.com/portal/noticias/economia/distrito_de_riego_mejorara_vida_y_productividad_en_uraba.php#.VcatD_IVikp

Educación para enfrentar el Cambio climático. Síntesis para maestros sobre la segunda comunicación nacional de Colombia ante la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el cambio climático.[en línea]Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo De Colombia[consultado el 25 de julio de 2015] Disponible en internet:

http://www.pnud.org.co/img_upload/36353463616361636163616361636163/SEGUNDA_COMUNICACION.pdf

El ENOS y sus efectos en Costa Rica.[en línea] Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.[consultado el 13 de febrero de 2016] Disponible en internet: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/8EL+ENOS+Y+SUS+EFECTOS+EN+COSTA+RICA.pdf/f8428009-149b-4395-b38a-af231350baac>

El Guabo. [En línea] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Del Cantón El Guabo [consultado el 28 de julio de 2015] Disponible en internet: www.elguabo.gob.ec

Estadísticas Bananeras.[en línea] Corporación bananera nacional.[consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: https://www.corbana.co.cr/categories/categoria_1348243853

Estrategia Nacional de Cambio Climático. Costa Rica.[en línea] Dirección De Cambio Climático. [consultado el 25 julio de 2015]Disponible en internet: <http://cambioclimaticocr.com/2012-05-22-19-42-06/estrategia-nacional-de-cambio-climatico>

Expert cross checking and validation of crop niche predictions. [En línea]. Centro Internacional de Agricultura Tropical [consultado el 7 de agosto de 2016]. Disponible en internet: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/ClimateChange/EcoCropFB/>

Geografía. [En línea] Alcaldía De Armenia. 2015 [consultado el 23 de mayo de 2015] Disponible en internet: http://www.armenia-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml#geografia

Gestión del Cambio Climático en el Ecuador. [En línea] Ministerio de Ambiente. Ecuador. Noviembre,2013.[consultado el 25 de julio de 2015] Disponible en internet: http://186.42.174.231/foroclima/2013/Foros%20Regionales/XI%20Foro/MAE_03.pdf

GONZABAY, Roberto. Cultivo del banano en el Ecuador. [En línea] [consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: www.afese.com/img/revistas/revista58/cultivobanano.pdf

GUARIN GIRALDO, German W. Impacto de la variabilidad climática en la producción de banano en el Urabá, antioqueño. Tesis de Magister en Ingeniería de recursos Hidráulicos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2011, 150 p.

GUTIERREZ, María Elena. ESPINOSA, Tatiana. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Diagnóstico inicial, avances, vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica.[en línea]. Septiembre 2010.[consultado el 23 abril de 2015] Disponible en internet:<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35404402>

HARRIS, I., JONES, P.D., OSBORN, T.J., AND LISTER, D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. En: International Journal of Climatology. Marzo,2014, vol.34, p. 529–928.

Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas para Reducir el Escurrimiento de Plaguicidas en el Cultivo del Banano de la Región Caribe Costarricense.[en línea] Corporación Bananera Nacional. Abril 2011.[consultado el 21 julio de 2015] Disponible en internet: <http://cep.unep.org/repcar/proyectosdemostrativos/costarica1/publicacionescorbana/Estudio%20de%20caso%20Corbana.pdf>

Industria bananera en Costa Rica. Estadísticas Bananeras. [En línea].Corporación Bananera Nacional.2013 [consultado el 21 de julio de 2015] Disponible en internet: https://www.corbana.co.cr/categories/categoria_1348243853

Industria Bananera en Costa Rica.[en línea] Corporación bananera nacional.[consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: https://www.corbana.co.cr/categories/categoria_1348243853

Información censal catonal.[en línea] Instituto Nacional De Estadística Y Censos. [consultado el 26 de julio de 2015] Disponible en internet: http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_content&view=article&id=232&temid=129&lang=es

Introducción a la legislación Internacional y Nacional vigente.[en línea] Universidad tecnológica de Pereira.[consultado el 26 julio de 2015] Disponible en internet: <http://media.utp.edu.co/centro-gestion-ambiental/archivos/curso-taller-cambio-climatico/02.pdf>

JARVIS, Andy, RAMIREZ, Julian, GUEVARA, Edward, ZAPATA, Emmanuel. Global Impacts of Climate Change on agriculture production. En: Capitulo 3. Are Climate Change Adaptation and Mitigation Options Eco-Efficient?, p. 33-34

LAU, Charlotte. JARVIS, Andy y RAMÍREZ, Julian. Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático. [en línea] Febrero 2013. [consultado el 5 mayo de 2015] Disponible en internet: http://dapa.ciat.cgiar.org/wpcontent/uploads/2014/08/politica_sintesis1_colombia_cambio_climatico.pdf

LENGA, B, Guoyong , TANGA, Qihong, y RAYBURGC, Scott. Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. En: Global and Planetary Change. Marzo, 2015, vol.126, p. 23–34.

LUDEÑA, Carlos, WILK, David. Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Marco de la preparación de la Estrategia 2012-2017 del BID en Ecuador.[en línea]. Septiembre, 2012 [consultado el 25 de julio de 2015] Disponible en internet: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6027/Ecuador%20-%20IDB-TN-619.pdf?sequence=1>

LLANOS, Lizeth. RClimTool manual de usuario. [en línea] 2015. [consultado el 3 de septiembre de 2105] Disponible en internet: http://www.aclimatecolombia.org/download/Investigacion%20Uno/RClimTool_Manual_V01_FINAL.pdf

MACHOVINA, Brian, FEELEY,Kenneth J. Climate change driven shifts in the extent and location of areas suitable for export banana production. En: Ecological Economics. Noviembre, 2013, vol.95, p. 83-95.

Marco Normativo Ambiental. Costa Rica.[en línea] En: Marco Normativo Ambiental en los Países de la CIER 2011.[consultado el 25 de julio de 2015] Disponible en internet: <https://sites.google.com/site/marconormativoambiental/costa-rica>

Matina.[en línea] ECURED.[consultado el 7 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.ecured.cu/Matina>

MONTALDO, Patricio. Agroecológica Del Trópico Americano.1982.[en línea] San José, Costa Rica. [consultado el 17 de diciembre de 2015] Disponible en internet: <https://books.google.com.co/books?isbn=9290390352>

Nuestro municipio. [En línea] 2015. Alcaldía de Apartadó- Antioquia. [consultado el 23 de mayo de 2015] Disponible en internet: <http://www.apartado-antioquia.gov.co/index.shtml>

Nuestro municipio. [En línea] Alcaldía De Ciénaga-Magdalena. 2015 [consultado el 23 de mayo de 2015] Disponible en internet: http://www.cienaga-magdalena.gov.co/informacion_general.shtml

Nuestro municipio. [En línea] Alcaldía De Ciénaga-Magdalena. 2015 [consultado el 23 de mayo de 2015] Disponible en internet: http://www.cienaga-magdalena.gov.co/informacion_general.shtml

Nuevos escenarios de emisión: RCPs.[en línea] Observatorio De Salud Y Cambio Climático.[consultado el 8 de octubre de 2015] Disponible en internet: http://www.oscc.gob.es/es/general/salud_cambio_climatico/Nuevos_escenarios_emision_RCPs.htm

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN. I parte el marco institucional y jurídico internacional en cambio climático. [En línea] [consultado el 7 de marzo de 2015] Disponible en internet: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/AD444S/AD444s02.pdf>

Panorama del impacto ambiental de los recientes desastres naturales en América Latina y el Caribe. [en línea]. Comité Técnico Interagencial Del Foro De Ministros De Medio Ambiente De América Latina Y El Caribe, 2000 [consultado el 5 de marzo de 2015] Disponible en internet:<http://www.pnuma.org/forodeministros/12-barbados/bbdt02e-PanoramalImpactoAmbiental.pdf>

Parte I el marco institucional y jurídico internacional en cambio climático. [en línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, [consultado el 7 de marzo de 2015]. Disponible en internet: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/AD444S/AD444s02.pdf>

PICQ, C., FOURE, E., E.A, Frison. Banana and Food Security: Les productions bananières : un enjeu économique majeur pour la sécurité alimentaire. En: International Symposium (10-14, noviembre, 1998:Douala, Cameroon).

Portal: Colombia.[en línea] Wikipedia Foundation,2011.[consultado el 5 de marzo de 2015] Disponible en internet: <https://es.wikipedia.org/wiki/Portal:Colombia>

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático; marco conceptual y lineamientos. Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible [en línea] [consultado el 23 de julio de 2015] Disponible en internet: http://www.sigpad.gov.co/sigpad/archivos/ABC_Cambio_Climatico.pdf

PRADA, Víctor. ¿Por qué es tan importante la existencia de un Foro Mundial Bananero? [En línea]. En: Agro noticias América Latina y el Caribe. 31, agosto, 2014. [consultado el 21 julio de 2015] Disponible en internet: <http://www.fao.org/agronoticias/agro-editorial/detalle/es/c/242510/>

¿Qué es el niño y la niña?[en línea]. Departamento de ciencias de la atmosfera y los océanos, Universidad de Buenos Aires.[consultado el 15 de noviembre de 2015] Disponible en internet: <http://www-atmo.at.fcen.uba.ar/enso/enso-que.htm>

Quevedo, Ecuador.[en línea] 2015.Wikipedia Foundation.[consultado el 26 de julio de 2015] Disponible en internet : [https://es.wikipedia.org/wiki/Quevedo_\(Ecuador\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Quevedo_(Ecuador))

RAMIRÉZ GRANADOS, Rebeca., REYNA TRUJILLO, Teresa., SORIA RUIZ, Jesús., FERNANDEZ ORDOÑEZ, Yolanda. Aptitud agroclimática en la Mesa Central de Guanajuato, México. En: Investigaciones Geográficas, Boletín, número 54, Instituto de Geografía, UNAM, Julio, 2004, p.24-35 [consultado el 13 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n54/n54a3.pdf>

RAMIREZ, Julian, JARVIS, Andy, VAN DEN BERGH, Inge, STAVIER, Charles, and TURNER, David. Chapter 20: Changing Climates: Effects on Growing Conditions for Banana and Plantain (Musa spp.) and Possible Responses. En: Crop Adaptation to Climate Change, Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011, p. 426-438.

RASHID S,Md.Abdur,ALAM,Khorsesed y GOW,Jeff. Exploring the relationship between climate change and rice yield in Bangladesh: An analysis of time series data. En: Agricultural Systems. Octubre, 2012, vol.112, p. 11-16.

REIDSMAN, Pytrik, EWERT, Frank, LANSINKA, Alfons Oude, LEEMANS, Rik Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: The importance of farm level responses. En: European Journal of Agronomy. 2010, vol.32, p. 91–102.

ROY, Philippe GACHON, Philippe y LAPRISE, Rene. Sensitivity of seasonal precipitation extremes to model configuration of the Canadian Regional Climate Model over eastern Canada using historical simulations. En: Climate Dynamics, 2014, vol.43, p. 2431–2453.

RUANE, Alex C., DEWAYNE, L., HORTON, Radley M., GORDÓN, Román., MCCOLLUM, Raymond., BROWNE, Douglas., KILLOUGH, Brian., GOLDBERG, Richard., GREELEY, Adam., ROSENZWEIG, Cynthia. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. En: Agricultural and Forest Meteorology. Marzo, 2013, vol.170, p.132–145.

SCHAAP, Ben F., BLOM-ZANDSTRA, Margaretha., HERMANS, Christiane., MEERBURG, Jan V. Impact changes of climatic extremes on arable farming in the north of the Netherlands. En: Regional Environmental Change. Septiembre, 2011, vol. 11, p. 731-741.

SCHAAP, Ben F., REIDSMAN, Pytrik., VERHAGENA, Jan., WOLFB, Joost., VAN ITTERSUM, Martin K. Participatory design of farm level adaptation to climate

risks in an arable region in The Netherlands. En: European Journal of Agronomy. Julio, 2013, vol.48, p. 30-42.

Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.[en línea] Quito, Ecuador: Ministerio Del Ambiente, 2011. [consultado el 25 de julio de 2015] Disponible en internet: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc2.pdf>

SOTOMAYOR HERRERA, Ignacio. Programa Nacional del Banano y Plátano.[en línea] Quito, Ecuador: Instituto Nacional de investigaciones agropecuarias.[consultado el 6 de marzo de 2015] Disponible en internet: <http://www.iniap.gob.ec/web/banano-platano-y-otras-musaceas/>

The Banana Growing. [En Línea] Infoagro Systems, S.L. [consultado el 2 de febrero de 2106] Disponible en internet: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm

TURNER, D. W. y FORTESCUE, J. A., THOMAS, D. Environmental physiology of the bananas (Musa spp.) En: Brazilian journal of plant physiology. Diciembre, 2007, vol. 19, número 4.

V.A. Alexandrov, G. Hoogenboomb. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. En: Agricultural and Forest Meteorology. Septiembre, 2000, vol.104, p.315-327.

VAN ASTEN,PJ. FERMONT,AM y TAULYA ,G. Drought is a major yield loss factor for rainfed East African highland banana. En: Agricultural Water Management. Febrero, 2011, vol.98, p. 541–552.

VAN DEN Bergh, I., RAMIREZ, J., STAVER, C., TURNER, D.W., JARVIS, A. and BROWN, D Climate Change in the Subtropics: the Impacts of Projected Averages and Variability on Banana Productivity. En: VI International Symposium on Banana.(28, febrero, 2012, Lisbon, Portugal VI International Symposium on Banana: XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Citrus, Bananas and other Tropical Fruits under Subtropical Conditions.

VARGAS, Rocío del Carmen,. SÁNCHEZ, Gerardo,. ROLON, Julio Cesar. Proyecciones de cambio en la precipitación mediante vías de concentración representativas a nivel cuenca.[en línea] Octubre 2013. [consultado el 28 de enero de 2016] Disponible en internet: http://www.pincc.unam.mx/congresonacional2013/documentos_descargables/PDF/VargasCastillejaRociodelCarmen.pdf

Variabilidad climática y cambio climático. [en línea]. Banco Interamericano De Desarrollo (BID). [consultado el 5 de marzo de 2015]. Disponible en internet:

<http://kp.iadb.org/Adaptacion/es/Paginas/CentrodeConocimiento/Variabilidad-climatica-y-cambio-climatico.aspx>

VILLAVICENCIO, Jhon. Introducción a Series de Tiempo. [en línea] [consultado el 5 de marzo de 2015] Disponible en internet: http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D

What Does the New IPCC Report Say About Climate Change?[en línea].Serendipity, 8 de octubre de 2013.[consultado el 28 de enero de 2016] Disponible en internet: <http://www.easterbrook.ca/steve/2013/10/what-does-the-new-ipcc-report-say-about-climate-change/>

ZHANG, Yu, CAI, Yong-xia, BEACH Robert H, MCCARL Bruce A. Modeling Climate Change Impacts on the US Agricultural Exports. En: Journal of Integrative Agriculture. Abril, 2014, vol. 13, p.666–676.

ANEXOS

Anexo A. Control de calidad de bases de datos

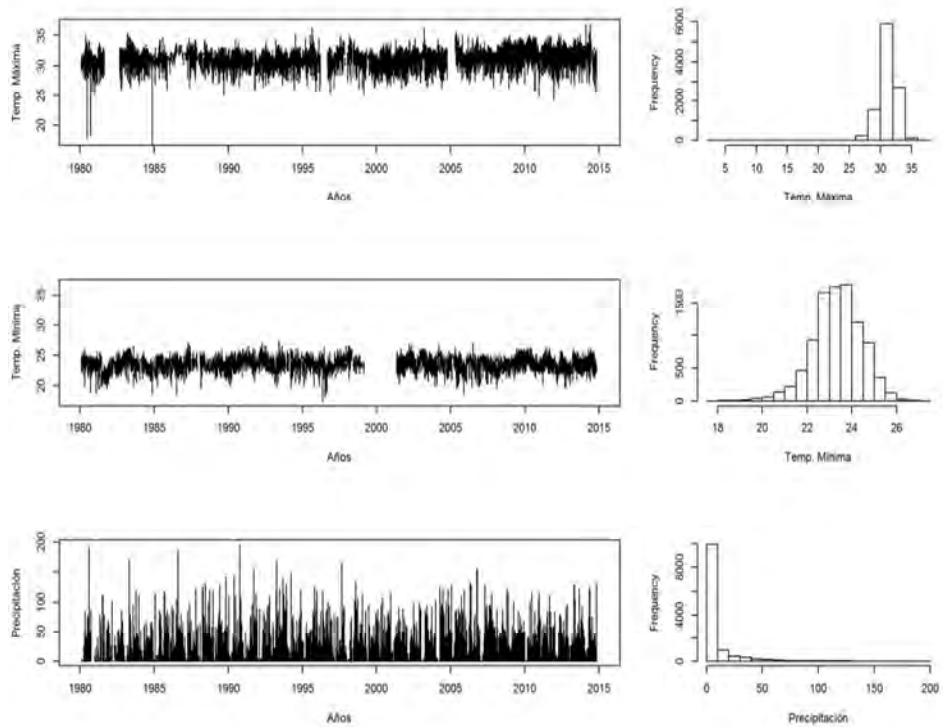
Para cada una de las áreas de estudio se observara lo siguiente :

- Gráficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar
- Gráficas de distribución e histogramas de datos normalizados
- Diagrama de cajas de datos sin normalizar
- Diagrama de cajas de datos normalizados
- Tabla de estadísticas de datos normalizados

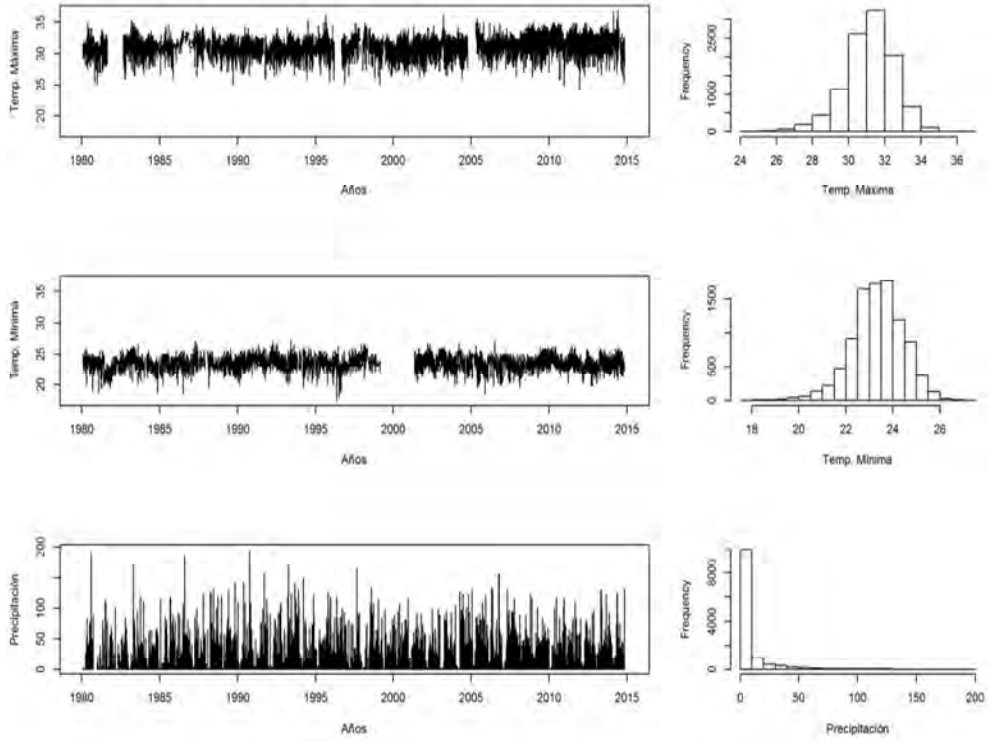
1.COLOMBIA

1.1 Apartadó, Antioquia

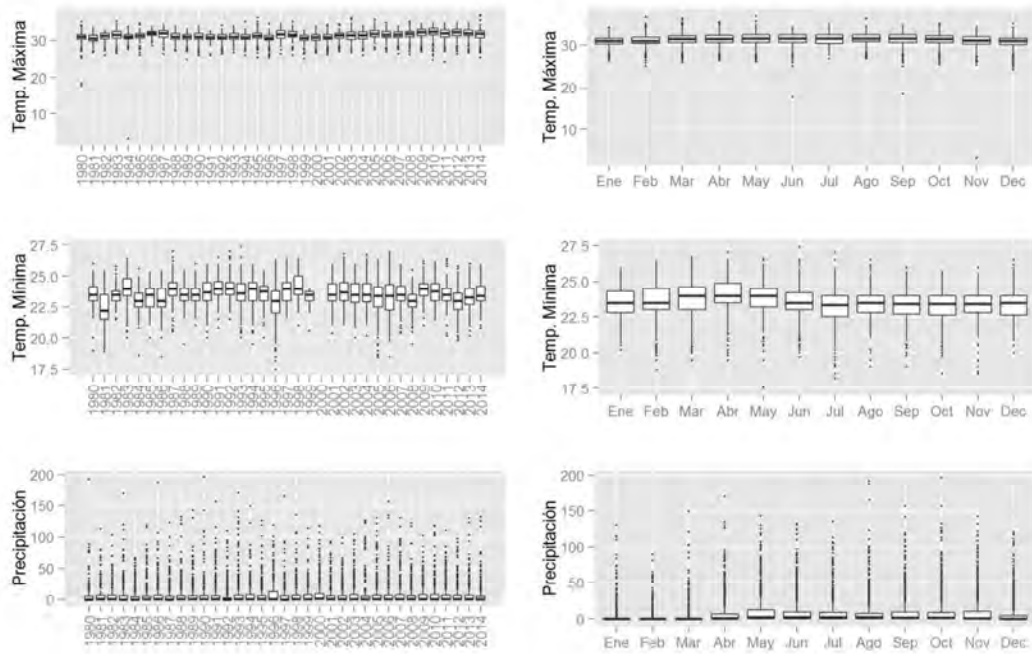
A) Gráficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar



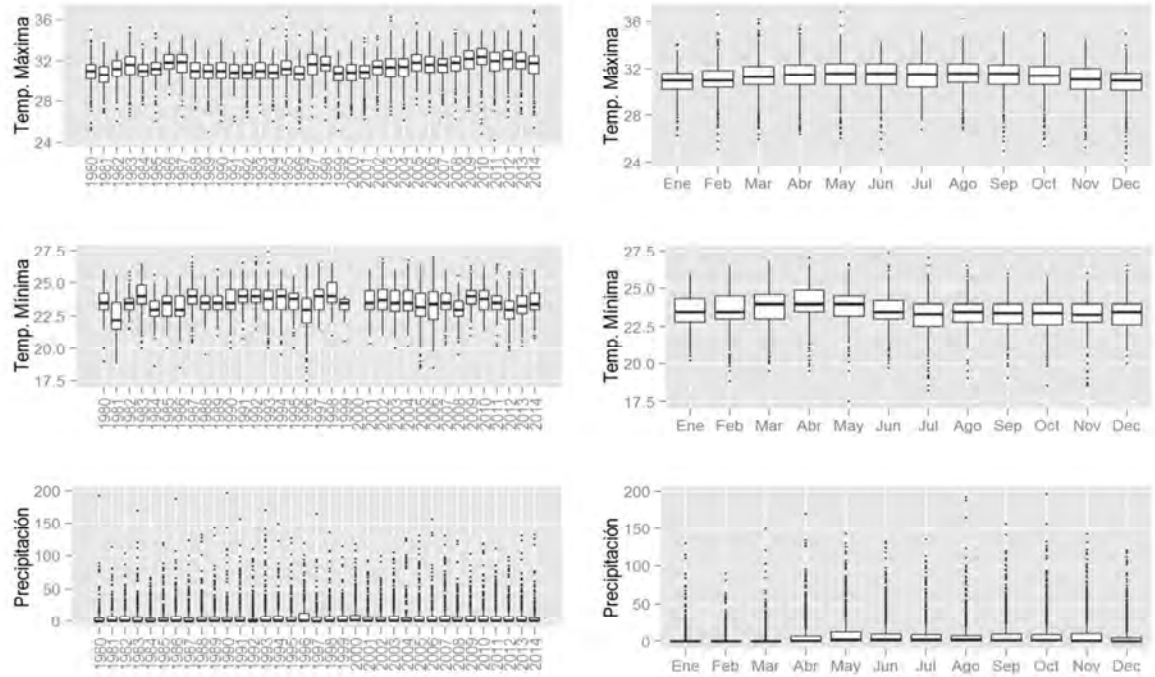
B) Gráficas de distribución e histogramas de datos normalizados



C) Diagramas de cajas de datos sin normalizar



D) Diagramas de cajas dedatos normalizados

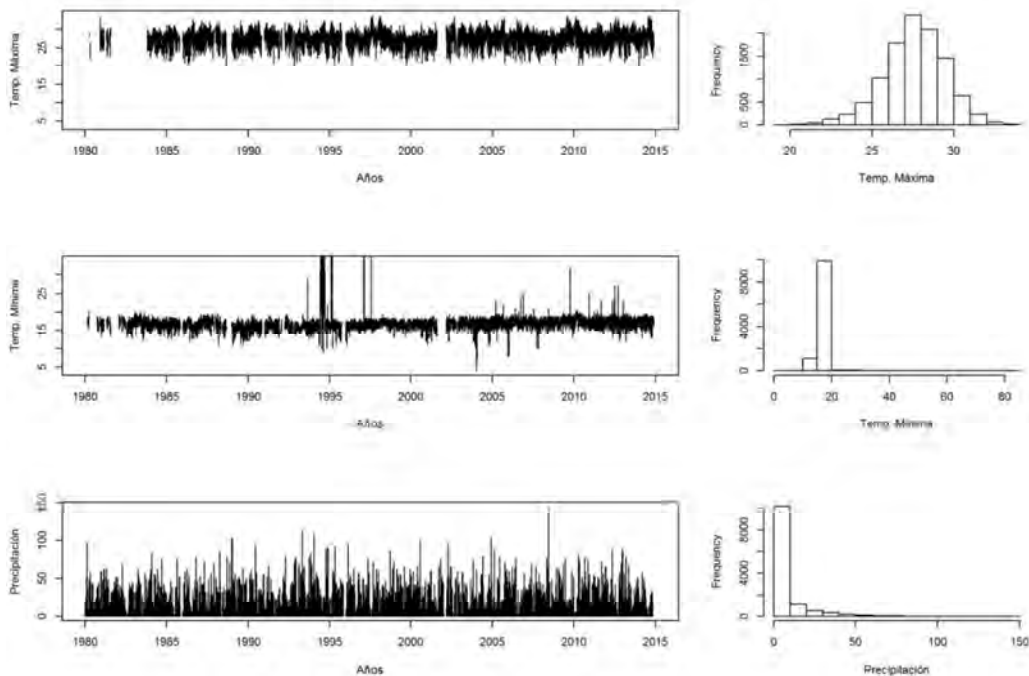


E) Tabla de estadísticas de datos normalizados

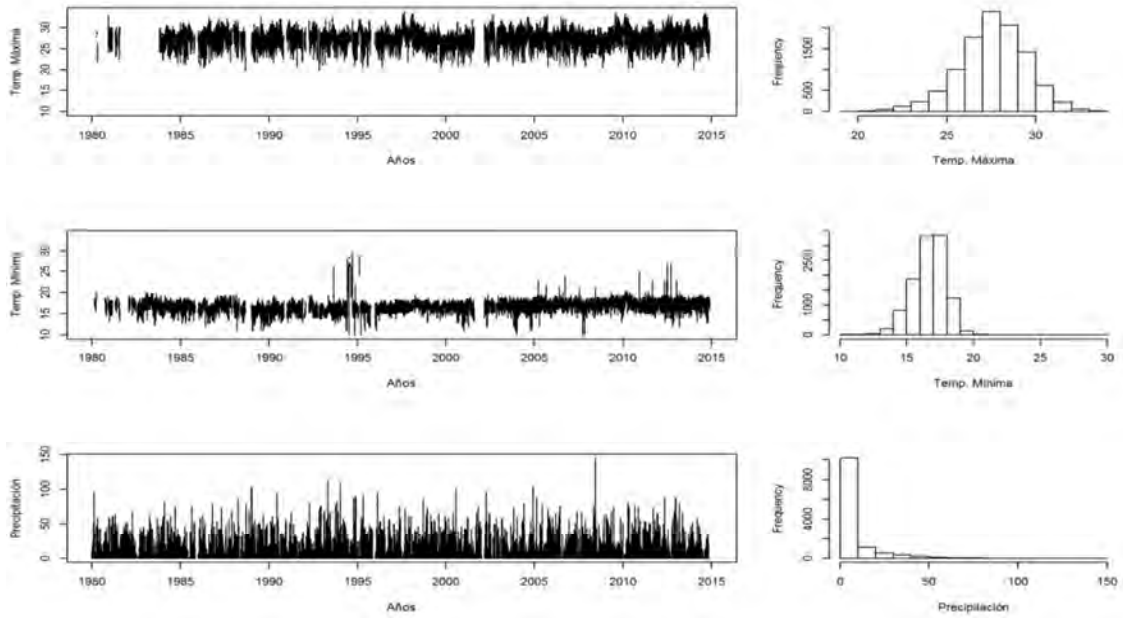
Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	12784 datos		
Valor mínimo	24.2	17.5	0
Valor máximo	36.8	27.4	196
Media	31.258	23.491	7.524
Varianza	1.924	1.255	297.52
Desviación estándar	1.387	1.12	17.249
Mediana	31.4	23.5	0.5
Coefficiente de Variación %	4.438	4.769	229.25
Datos faltantes (NA)	2240	3187	539
Porcentaje de datos faltantes (NA)	17.522	24.93	4.216
% Datos atípicos	0.7	0.7	2.64
Test de Mann-Kendall	Tendencia	No Tendencia	Tendencia

1.2 Armenia, Quindío

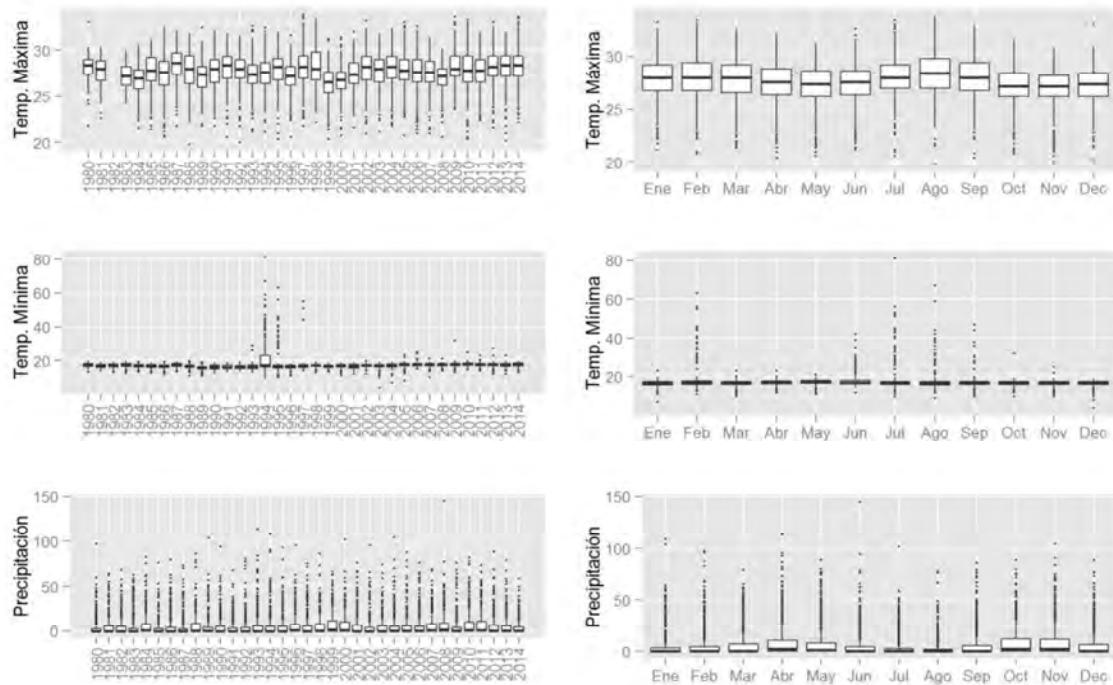
A) Graficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar



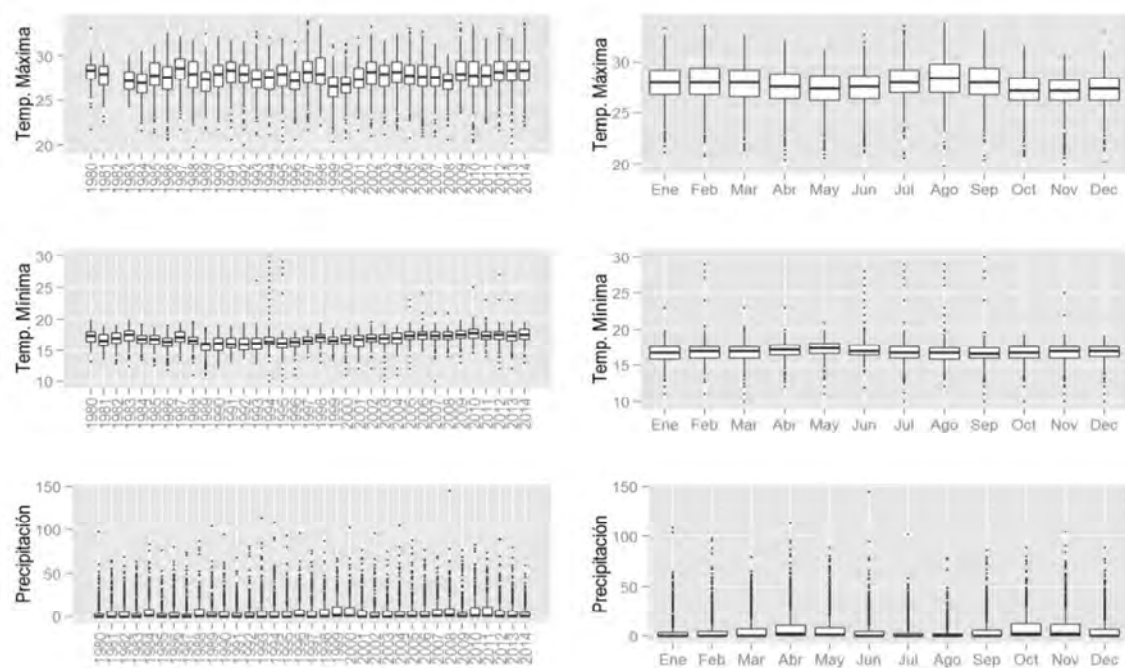
B) Graficas de distribución e histogramas de datos normalizados



C) Diagramas de cajas de datos sin normalizar



D) Diagramas de cajas de datos normalizados

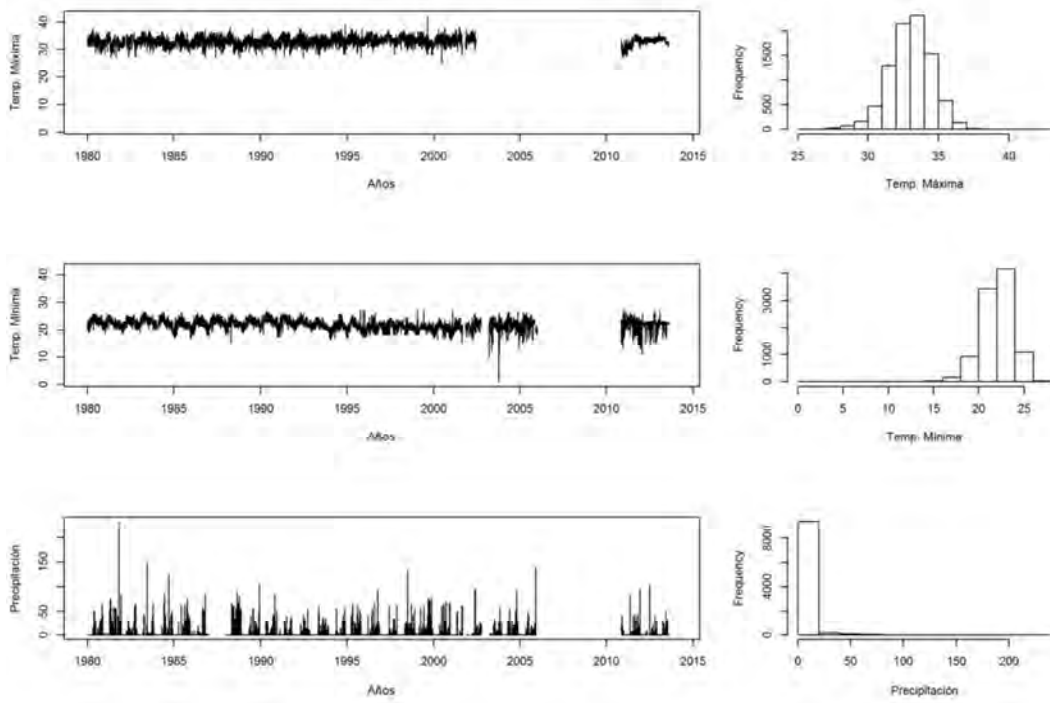


E) Tabla de estadísticas de datos normalizados

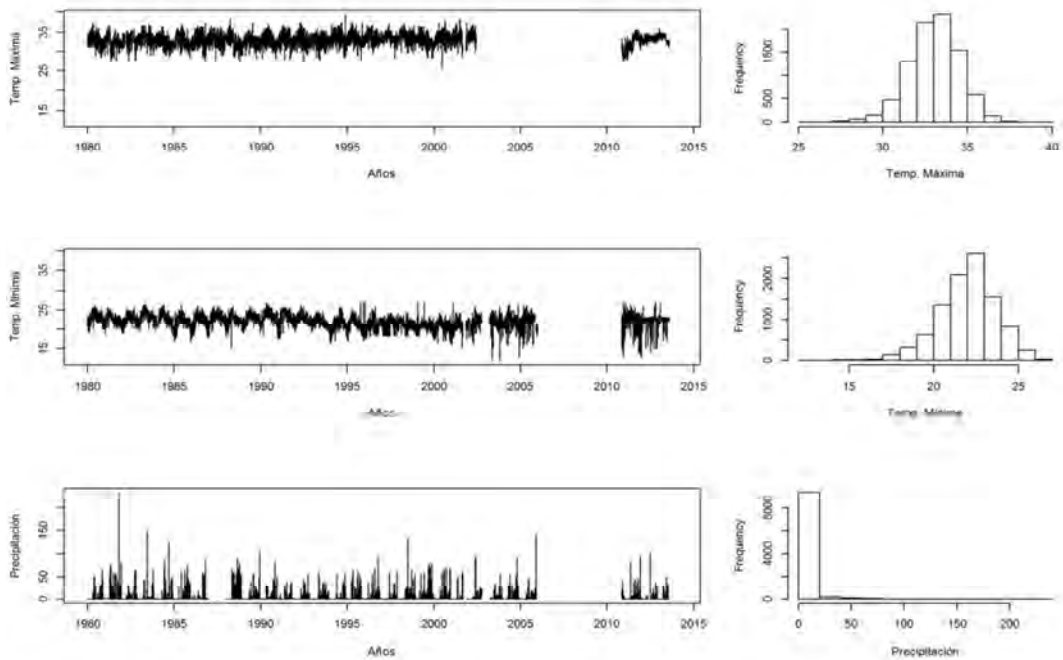
Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	12784		
Valor mínimo	19,8	10	0
Valor máximo	33,8	30	144,6
Media	27,6	16,8	5,9
Varianza	3,6	1,8	145,3
Desviación estándar	1,8	1,3	12
Mediana	27,8	17	0,3
Coficiente de Variación %	6,8	8	202
Datos faltantes (NA)	2325	1692	308
Porcentaje de datos faltantes (NA)	18,18	13,2	2,4
% Datos atípicos	0,52	0,84	2,61
Test de Mann-Kendall	Tendencia	Tendencia	Tendencia

1.3 Ciénaga, Magdalena

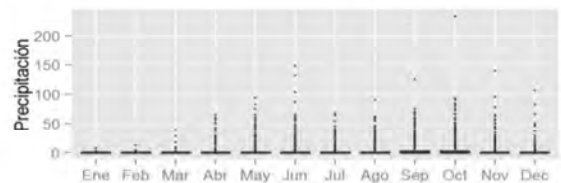
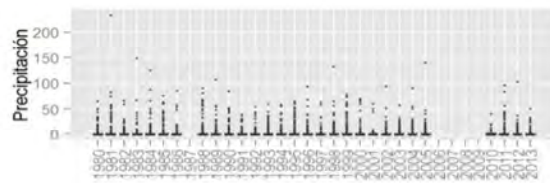
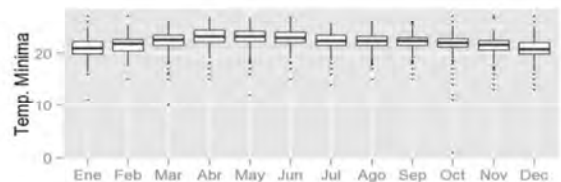
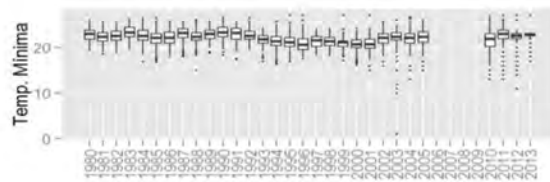
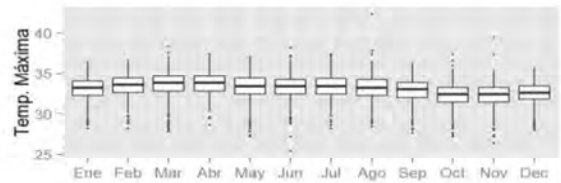
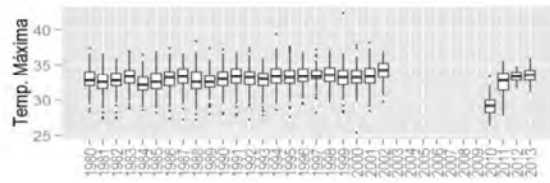
A) Gráficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar



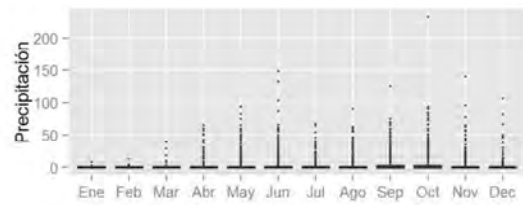
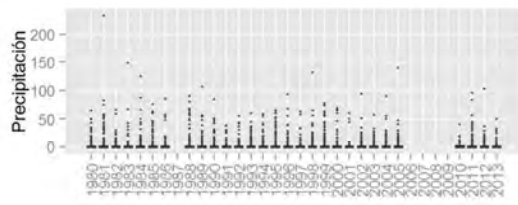
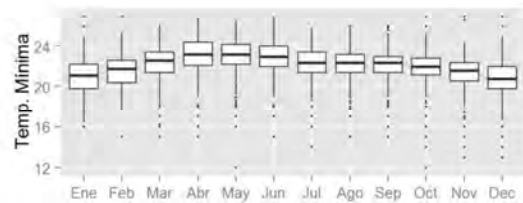
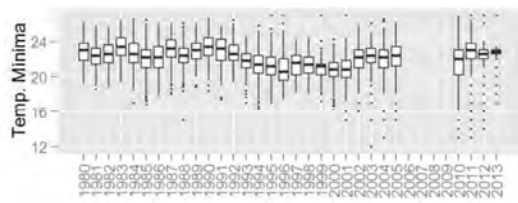
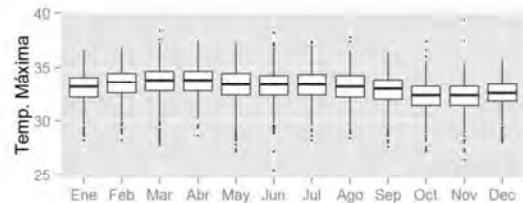
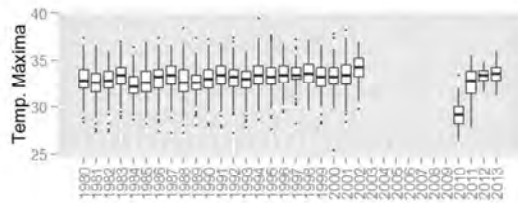
B) Graficas de distribución e histogramas de datos normalizados



C) Diagramas de cajas de datos sin normalizar



D) Diagramas de cajas de datos normalizados

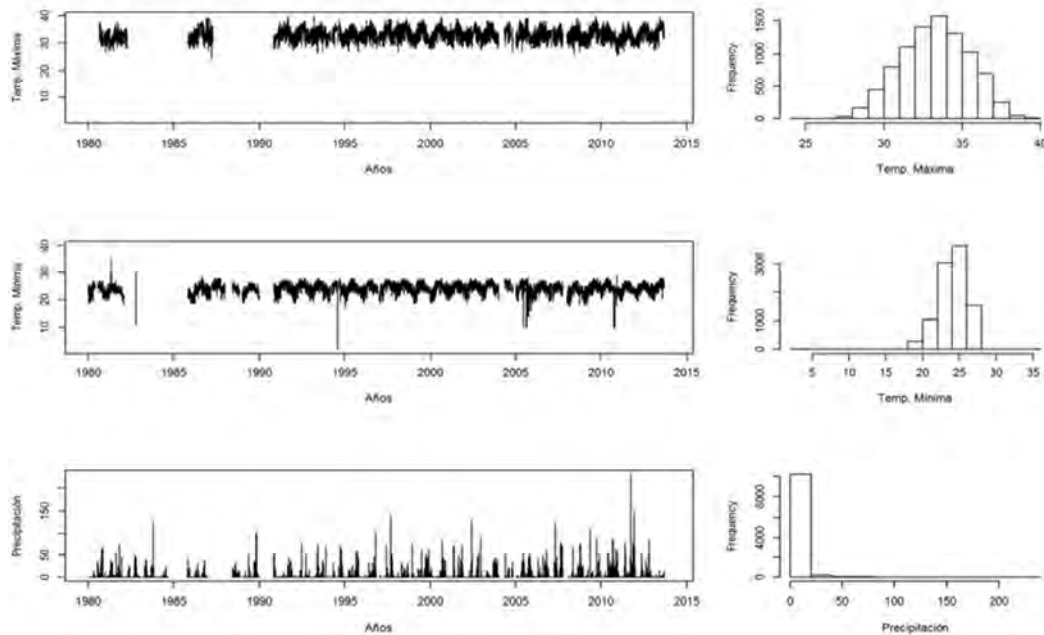


E) Tabla de estadísticas de datos normalizados

Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	12419 datos		
Valor mínimo	25,4	12	0
Valor máximo	39,4	27	232
Media	33	22	2,03
Varianza	2,2	2,98	75
Desviación estándar	1,4	1,7	8,6
Mediana	33,2	22,2	0
Coefficiente de Variación %	4,5	7,8	425
Datos faltantes (NA)	3705	2560	2750
Porcentaje de datos faltantes (NA)	29,8	20,6	22,14
% Datos atípicos	0,53	0,39	1,69
Test de Mann-Kendall	Tendencia	Tendencia	No tendencia

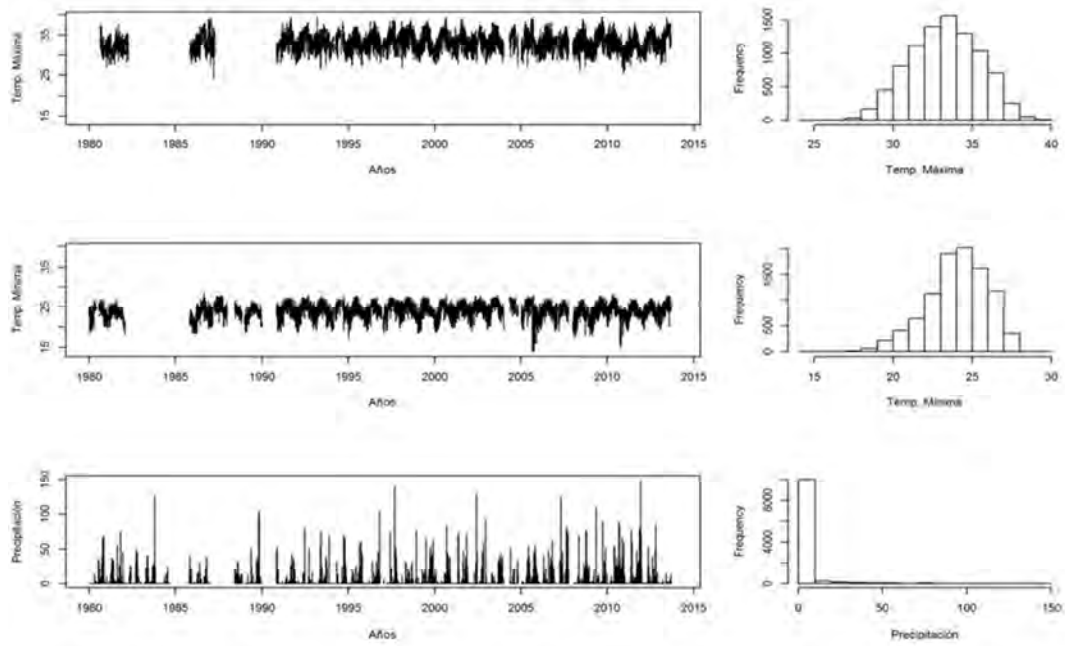
1.4 Riohacha, La Guajira

A) Gráficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar

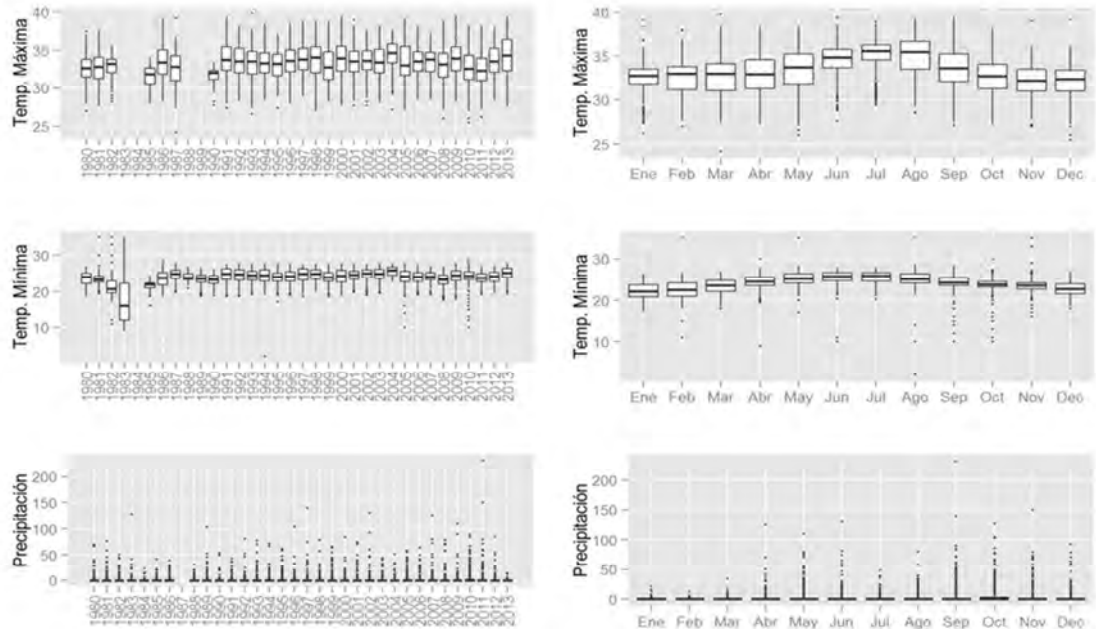


B) Gráficas de distribución e histogramas de datos normalizados

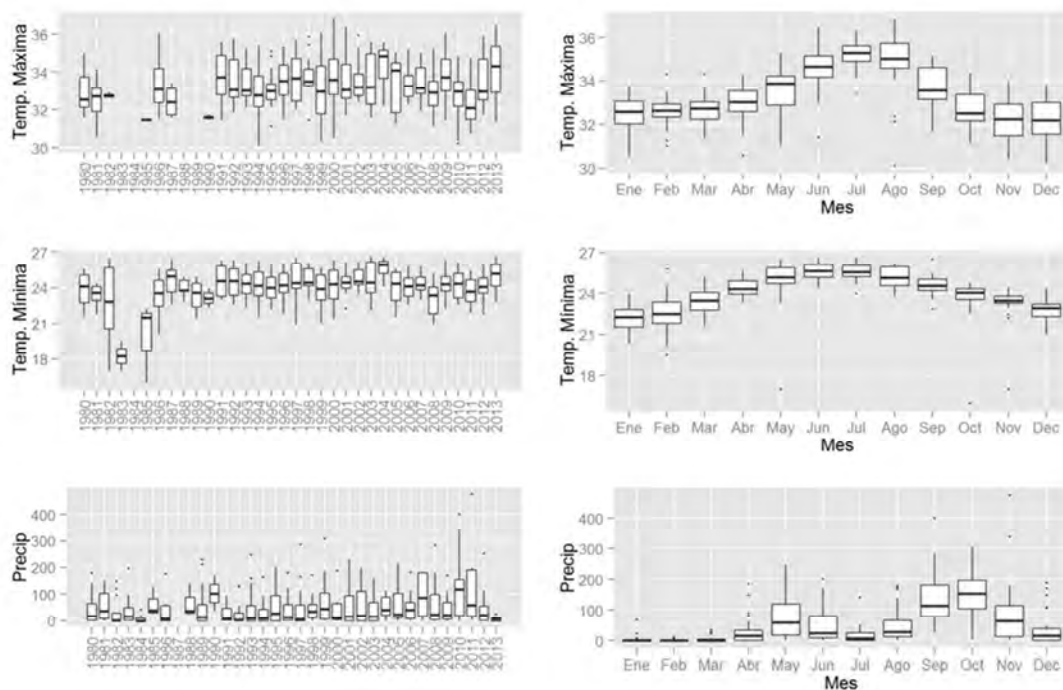
estacion_15065010



C) Diagramas de cajas de datos sin normalizar



D) Diagramas de cajas de datos normalizados



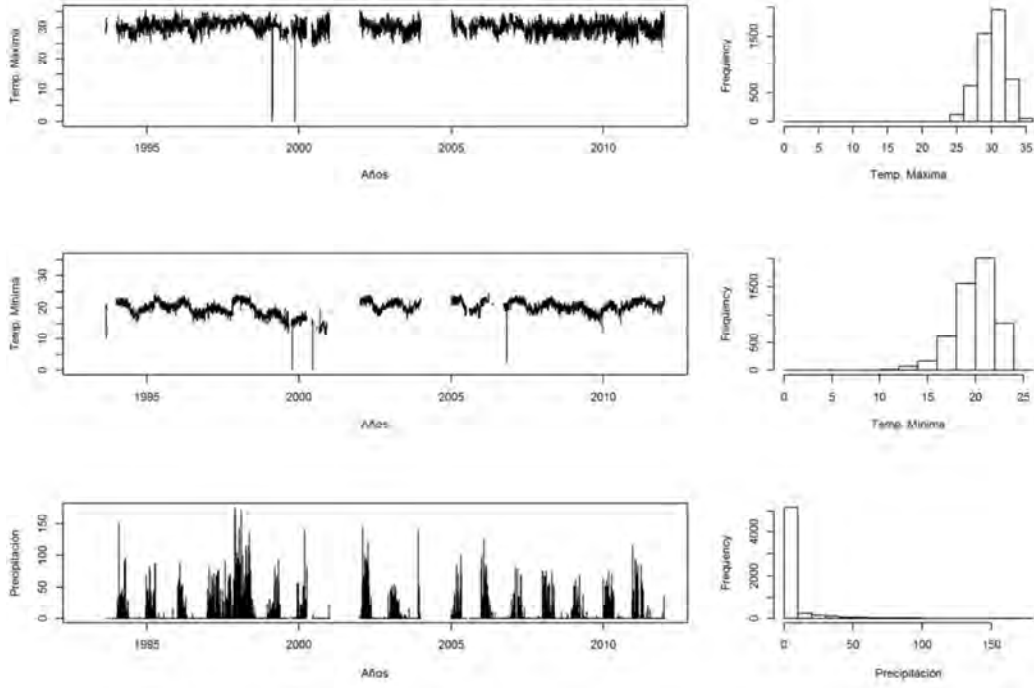
E) Tabla de estadísticas de datos normalizados

Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	12419 datos		
Valor mínimo	24,2	14	0
Valor máximo	39,8	30	150
Media	33,33	24,1	1,7
Varianza	4,7	3,5	61,9
Desviación estándar	2,1	1,8	7,8
Mediana	33,4	24,2	0
Coefficiente de Variación %	6,5	7,8	446
Datos faltantes (NA)	3567	2855	1932
Porcentaje de datos faltantes (NA)	28,7	22,9	15,5
% Datos atípicos	0,05	0,24	1,69
Test de Mann-Kendall	Tendencia	Tendencia	Tendencia

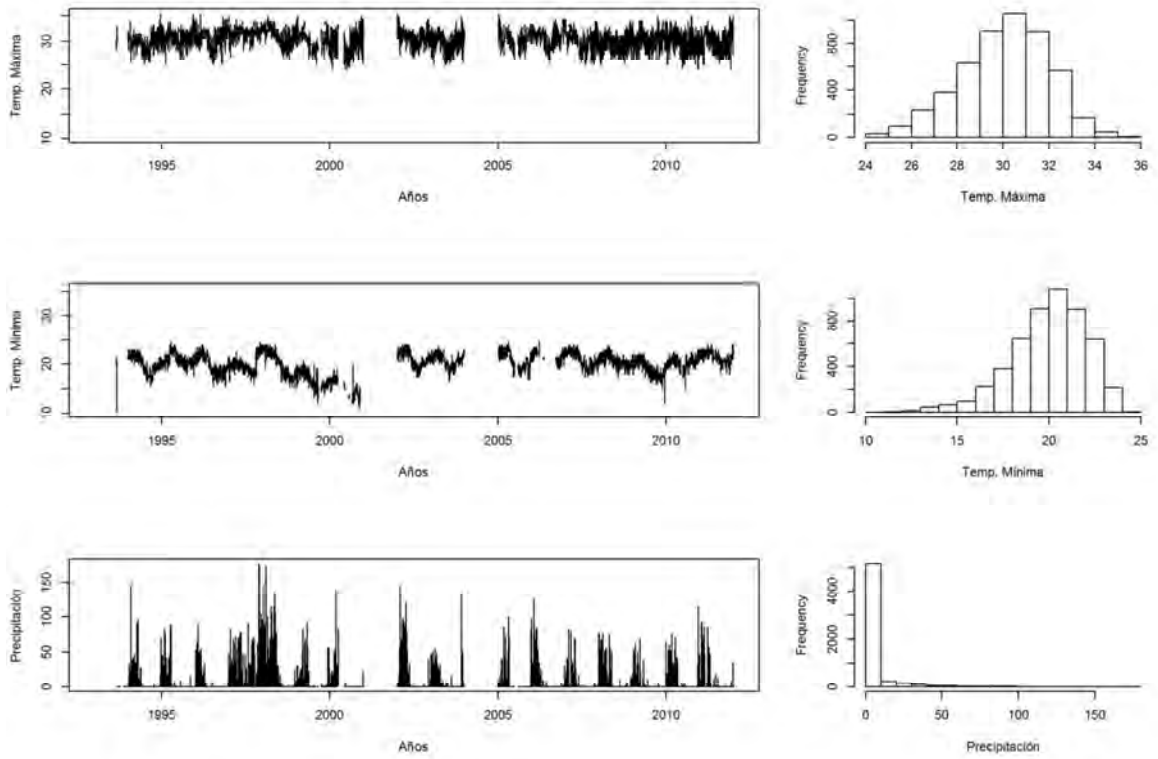
2. ECUADOR

2.1 Vinces, Los Ríos

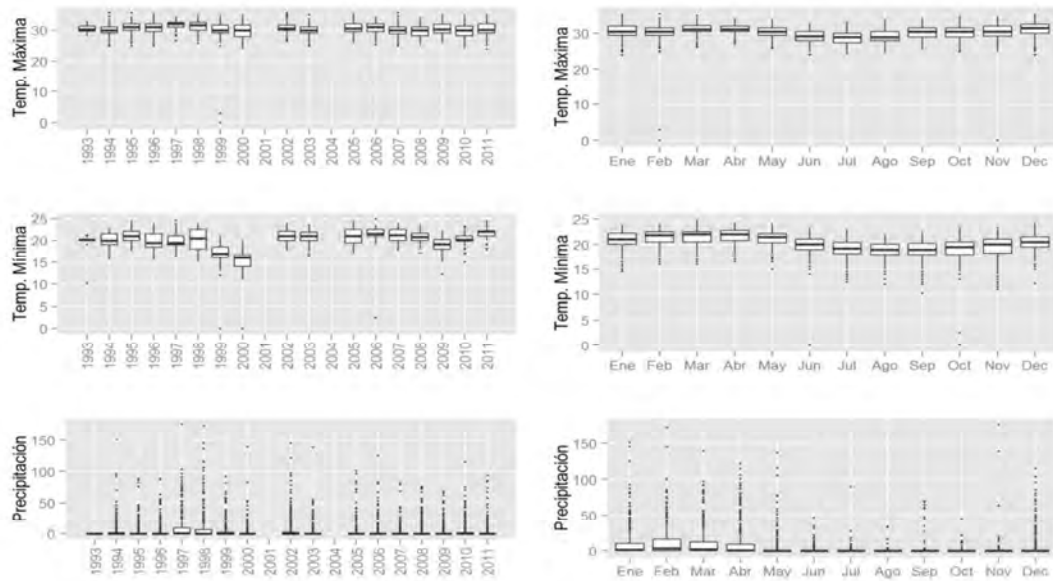
A) Graficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar



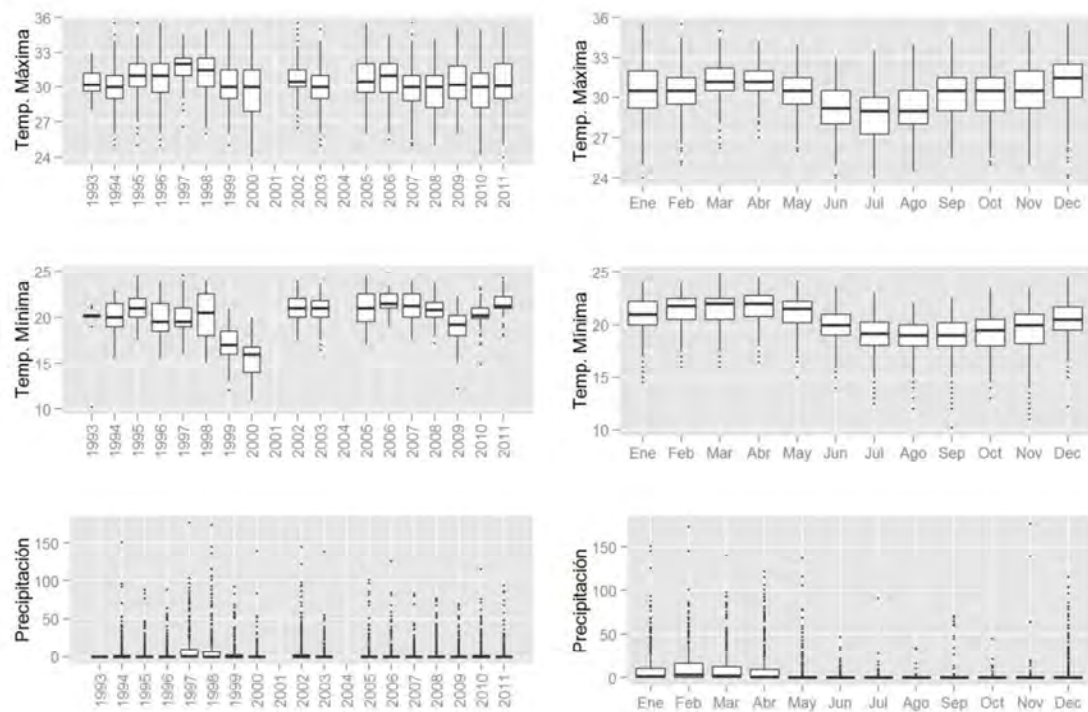
B) Graficas de distribución e histogramas de datos normalizados



C) Diagramas de cajas de datos sin normalizar



D) Diagramas de cajas de datos normalizados

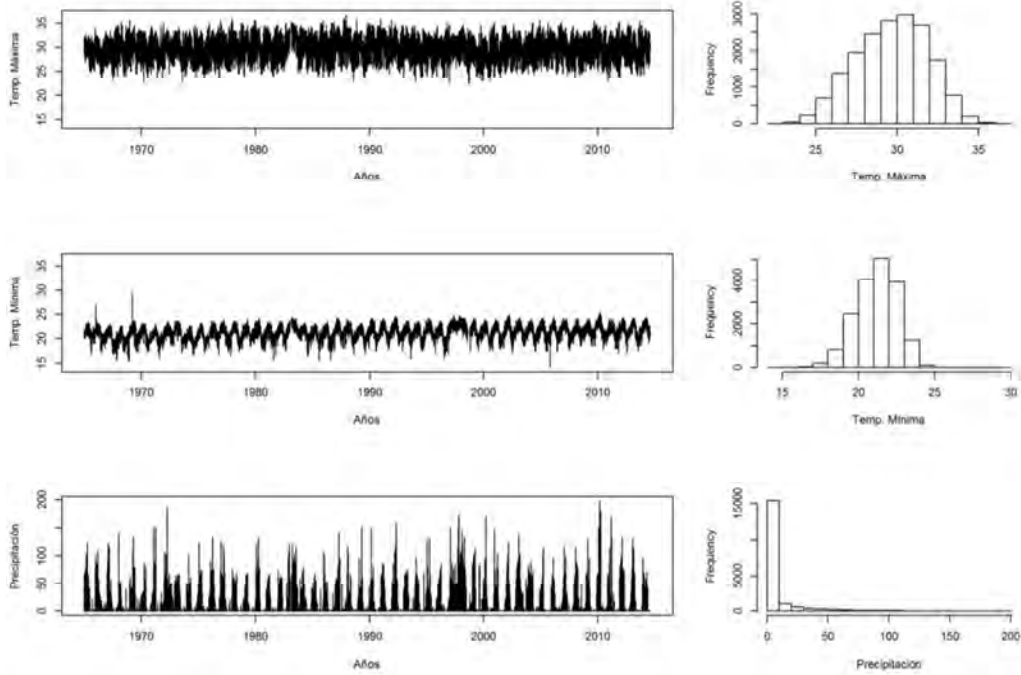


E) Tabla de estadísticas de datos normalizados

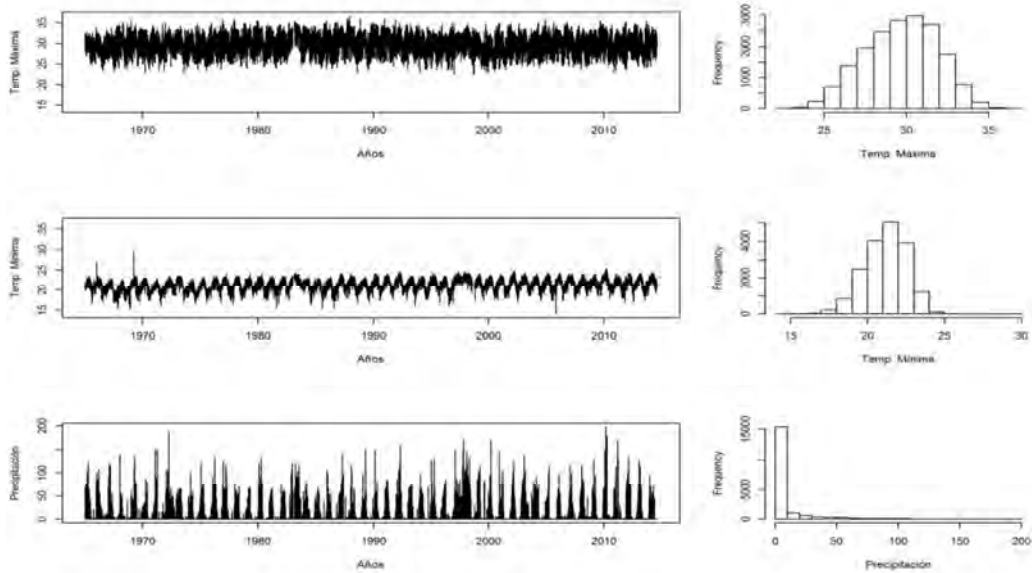
Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	6939		
Valor mínimo	24	10,2	0
Valor máximo	35,5	24,8	176,3
Media	30,2	20,1	4,5
Varianza	3,7	4,4	203,07
Desviación estándar	1,9	2,1	14,2
Mediana	30,5	20,5	0
Coefficiente de Variación %	6,4	10,4	311,55
Datos faltantes (NA)	1903	1691	1129
Porcentaje de datos faltantes (NA)	27,42	24,3	16,2
% Datos atípicos	0,1	0,59	2,31
Test de Mann-Kendall	Tendencia	Tendencia	Tendencia

2.2 Quevedo, Los Ríos

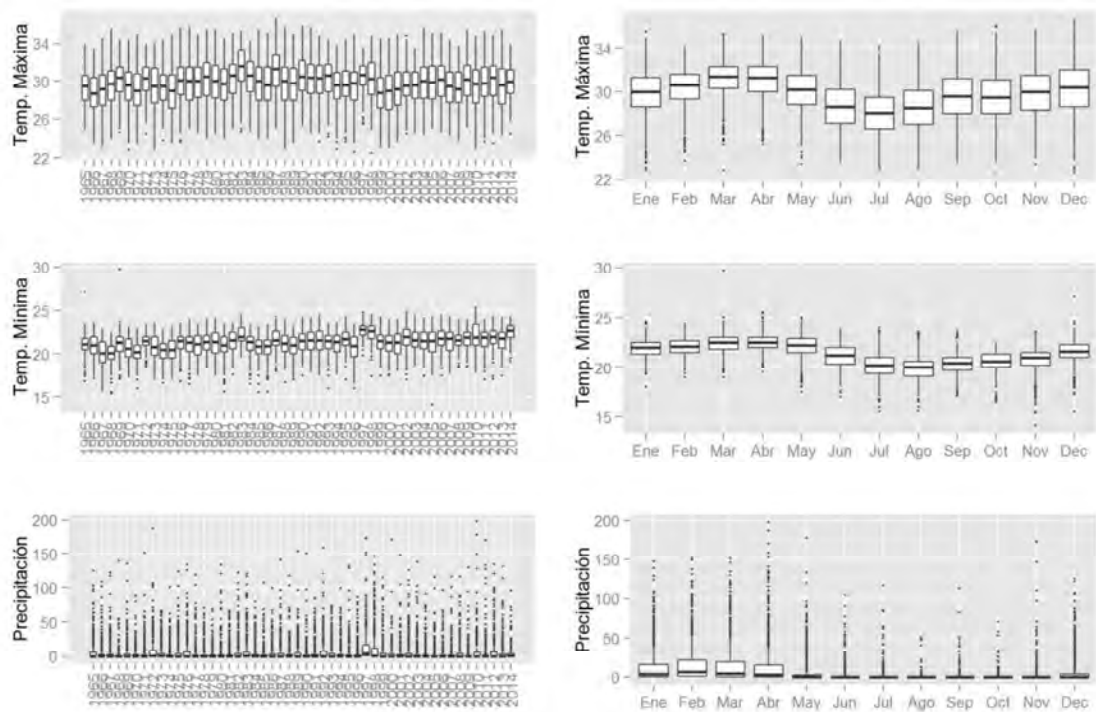
A) Graficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar



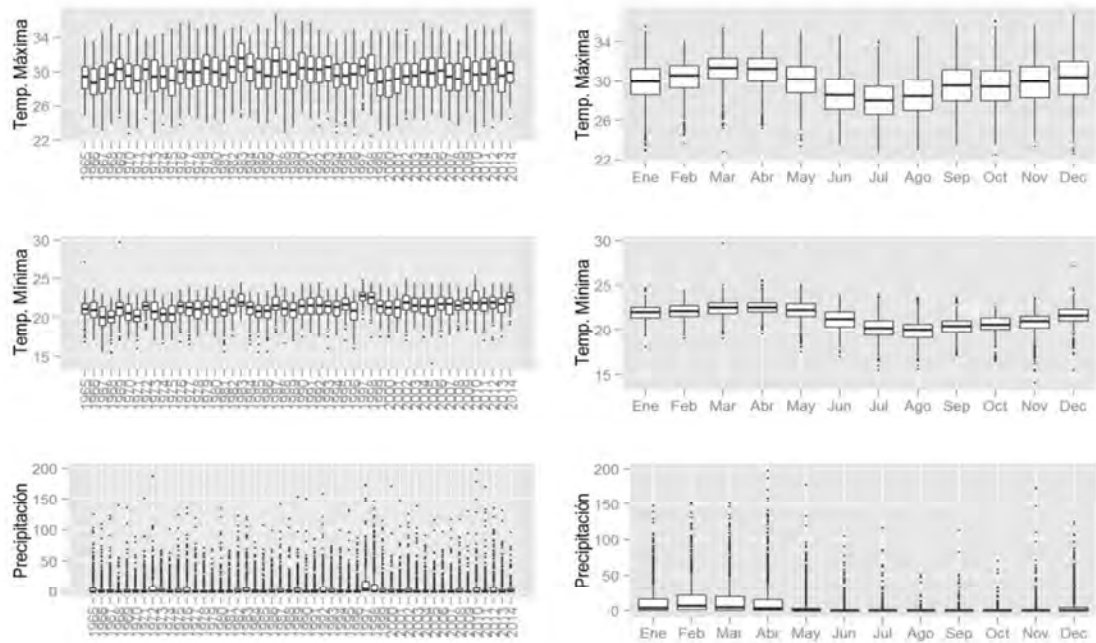
B) Graficas de distribución e histogramas de datos normalizados



C) Diagramas de cajas de datos sin normalizar



D) Diagramas de cajas de datos normalizados

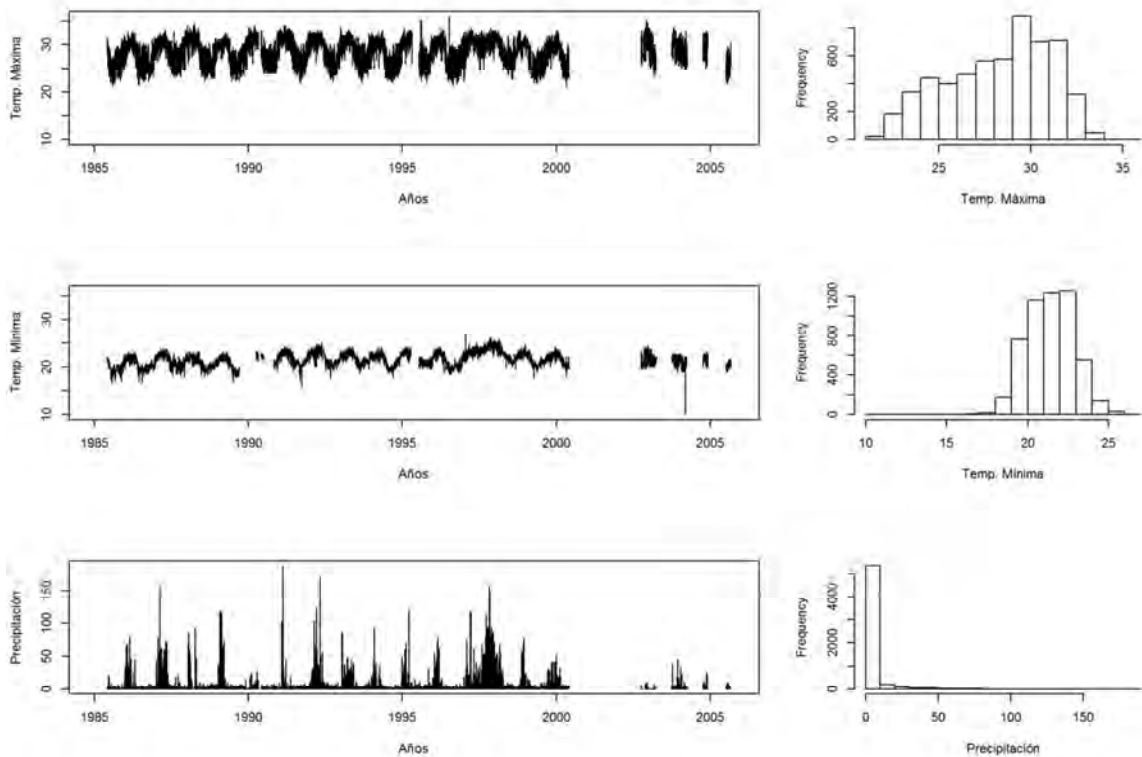


E) Tabla de estadísticas de datos normalizados

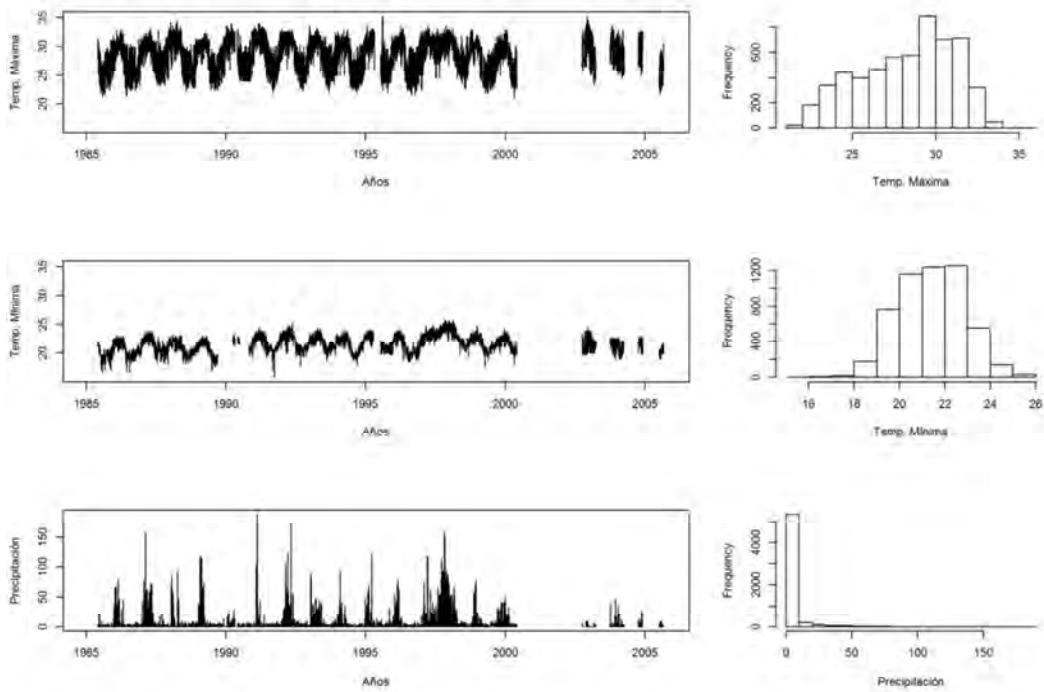
Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	18109		
Valor mínimo	22,5	14,1	0
Valor máximo	36,7	29,7	197,6
Media	29,7	21,2	5,9
Varianza	4,8	1,8	242,3
Desviación estándar	2,2	1,3	15,5
Mediana	30	21,4	0
Coefficiente de Variación %	7,41	6,3	262,9
Datos faltantes (NA)	81	180	24
Porcentaje de datos faltantes (NA)	0,44	0,99	0,13
% Datos atípicos	0,06	0,35	2,68
Test de Mann-Kendall	Tendencia	Tendencia	No tendencia

2.3 Machala, El Oro

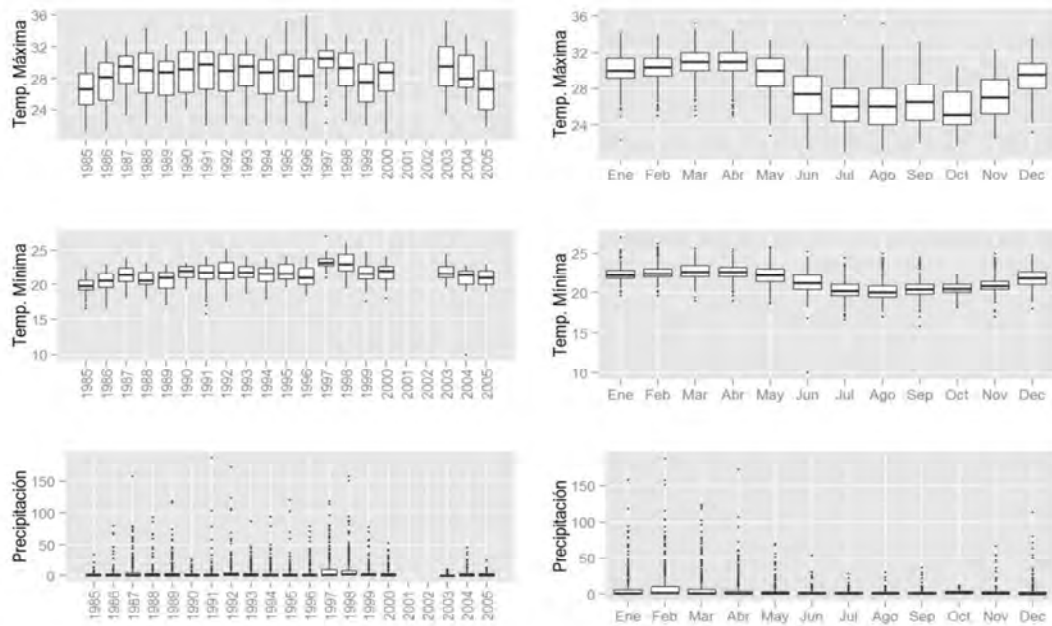
A) Graficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar



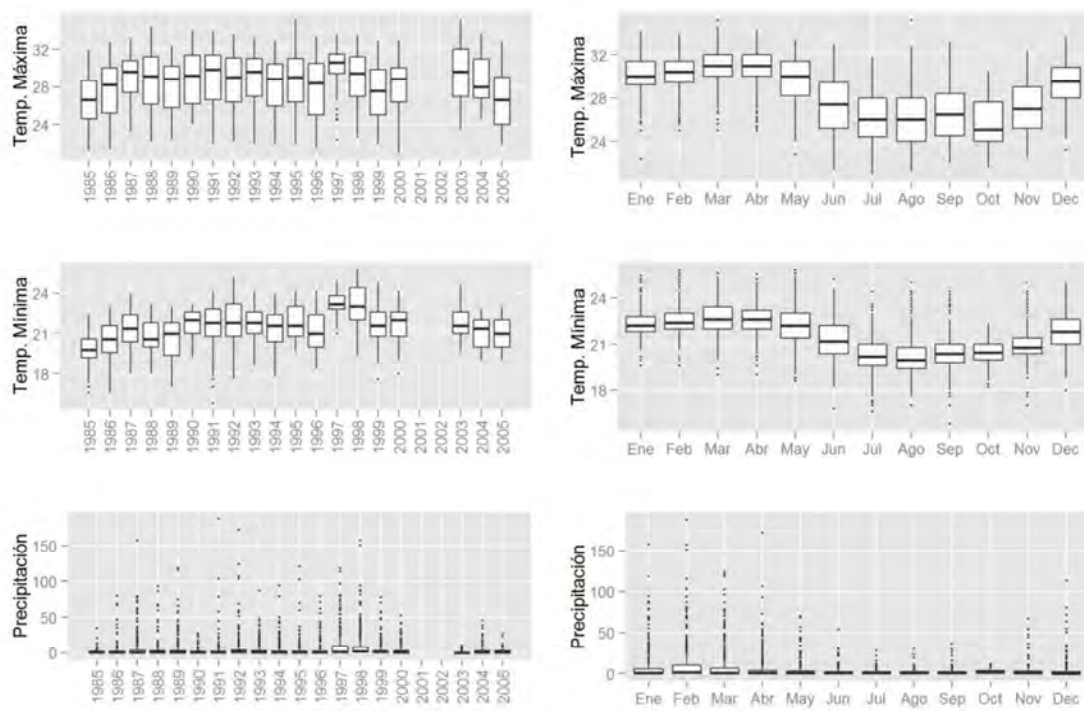
B) Graficas de distribución e histogramas de datos normalizados



C) Diagramas de cajas de datos sin normalizar



D) Diagramas de cajas de datos normalizados



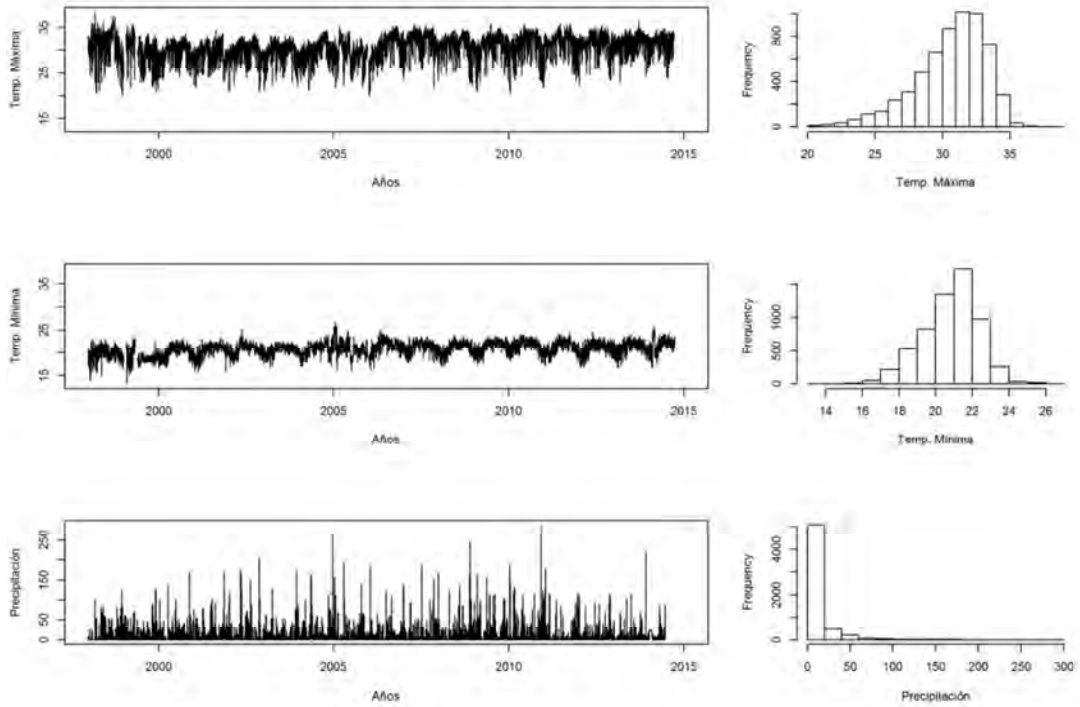
E) Tabla de estadísticas de datos normalizados

Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	7578		
Valor mínimo	21	15,8	0
Valor máximo	35,2	25,8	187,9
Media	28,4	21,5	4,1
Varianza	7,9	2	137,7
Desviación estándar	2,8	1,43	11,7
Mediana	29	21,6	0,8
Coefficiente de Variación %	9,9	6,67	284,37
Datos faltantes (NA)	1905	2253	1744
Porcentaje de datos faltantes (NA)	25,13	29,73	23,014
% Datos atípicos	0	0,12	1,69
Test de Mann-Kendall	No tendencia	Tendencia	Tendencia

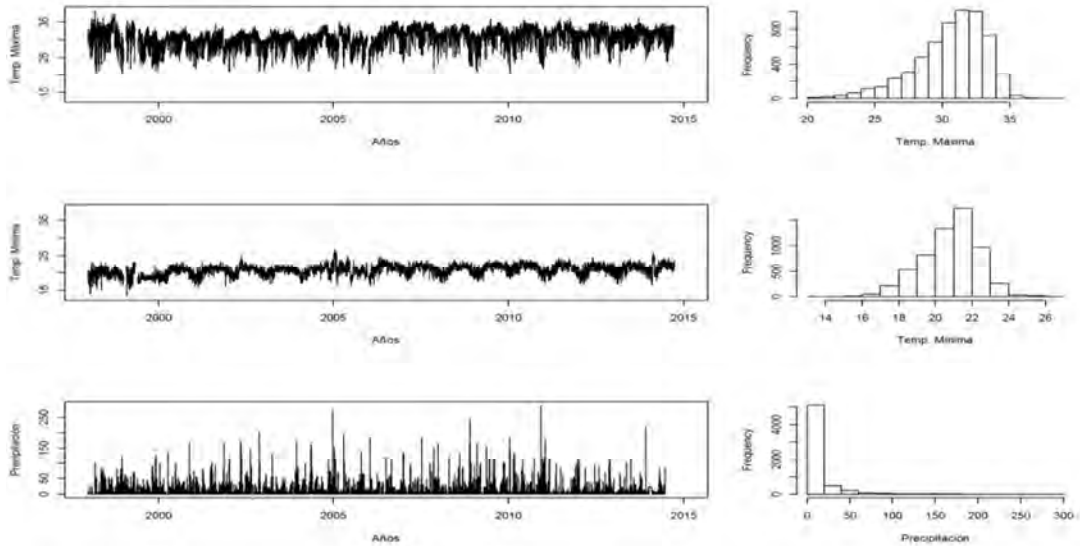
3. COSTA RICA

3.1 Matina, Limón

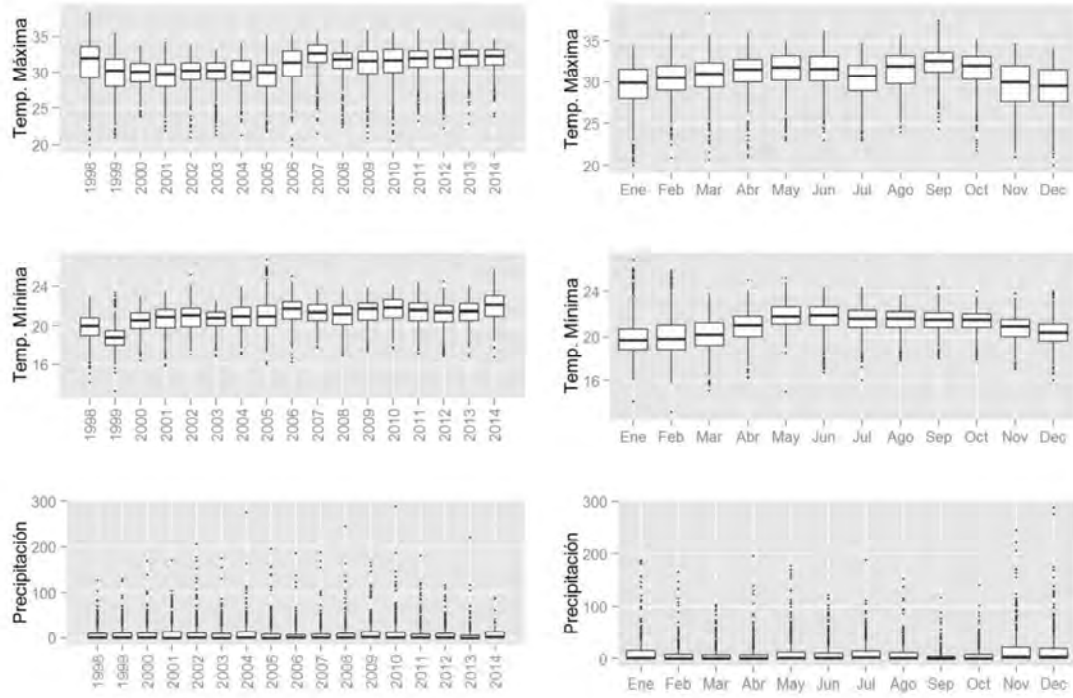
A) Graficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar



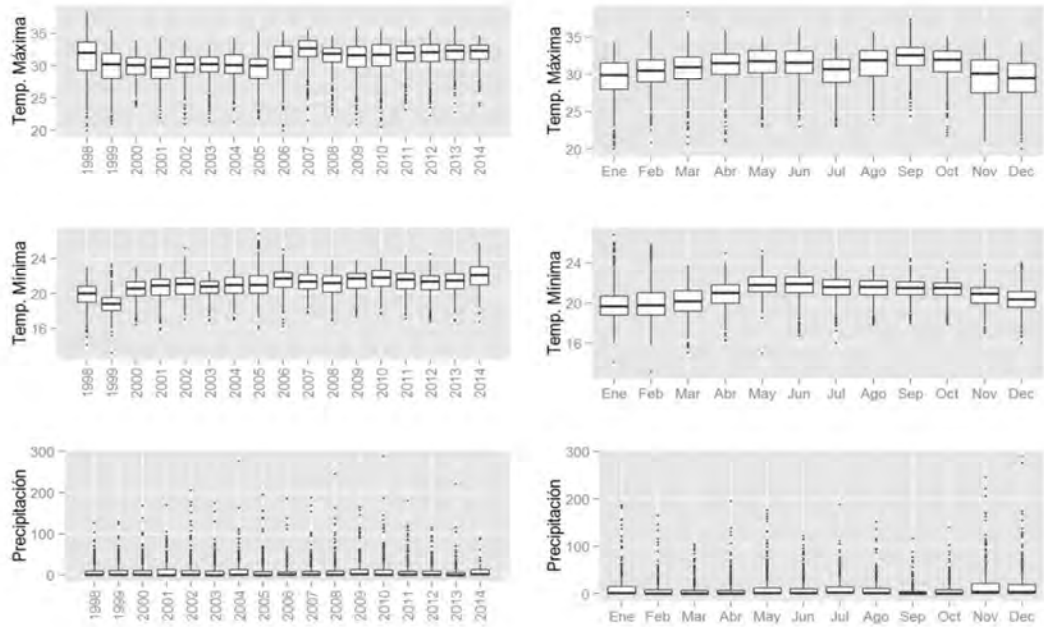
B) Graficas de distribución e histogramas de datos normalizados



C) Diagramas de cajas de datos sin normalizar



D) Diagramas de cajas de datos normalizados

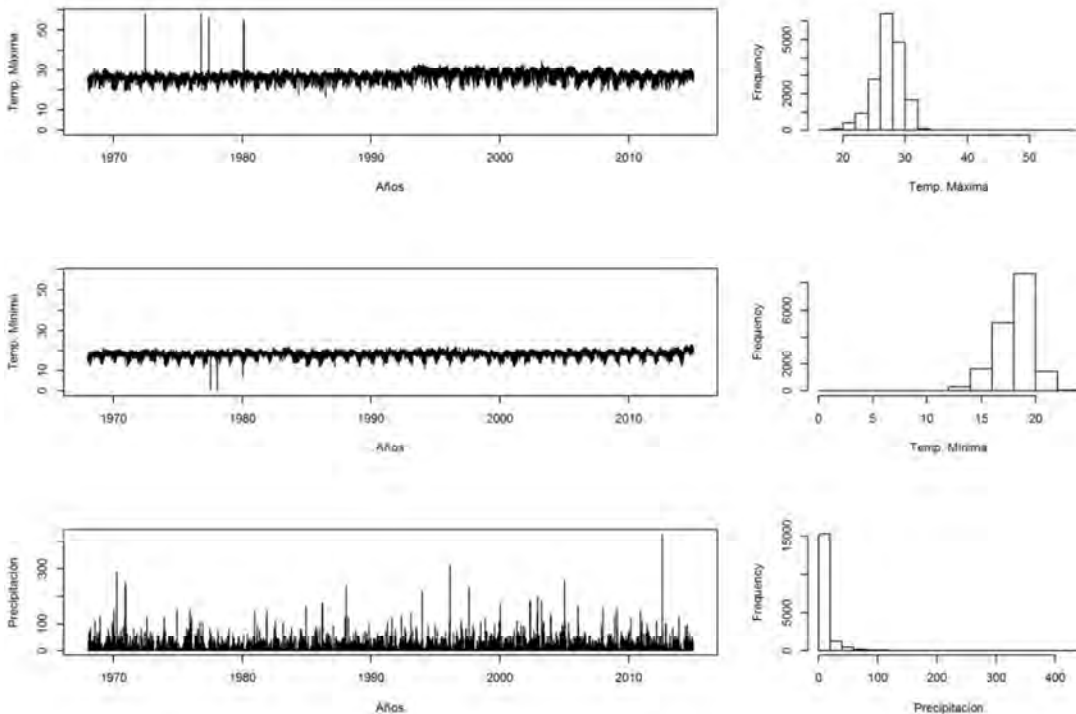


E) Tabla de estadísticas de datos normalizados

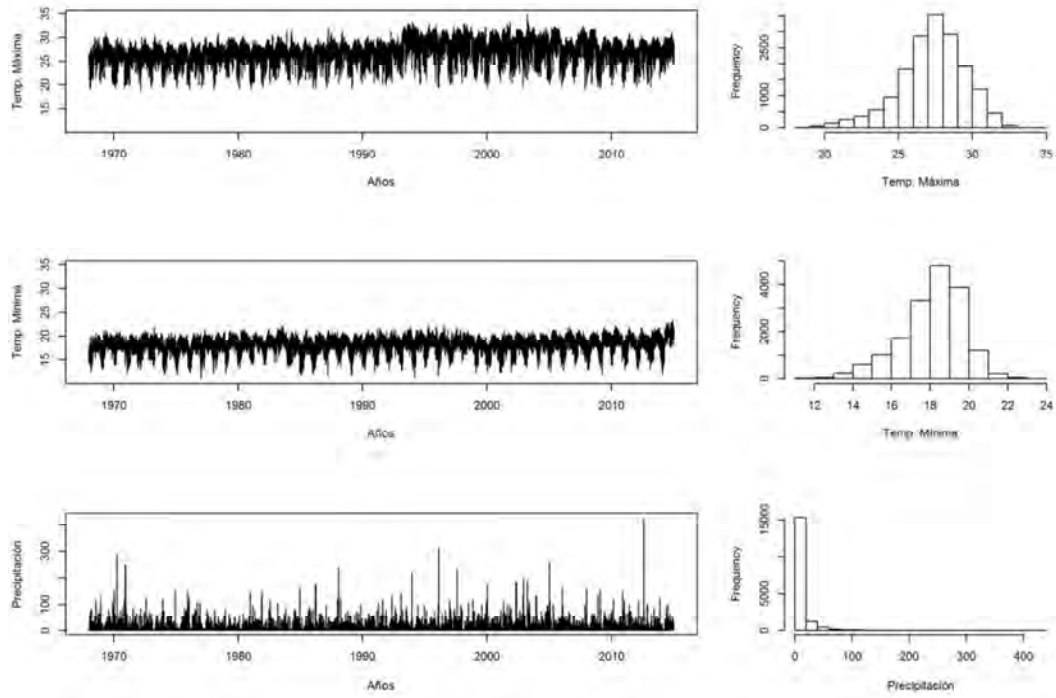
Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	6209		
Valor mínimo	20	13,2	0
Valor máximo	38,3	26,8	288
Media	30,6	20,9	9,8
Varianza	6,9	2,3	469,9
Desviación estándar	2,6	1,5	21,6
Mediana	31,1	21,1	0,8
Coefficiente de Variación %	8,5	7,3	220,4
Datos faltantes (NA)	214	202	217
Porcentaje de datos faltantes (NA)	3,4	3,2	3,4
% Datos atípicos	0,84	0,53	2,11
Test de Mann-Kendall	Tendencia	Tendencia	No tendencia

3.2 Turrialba, Cartago

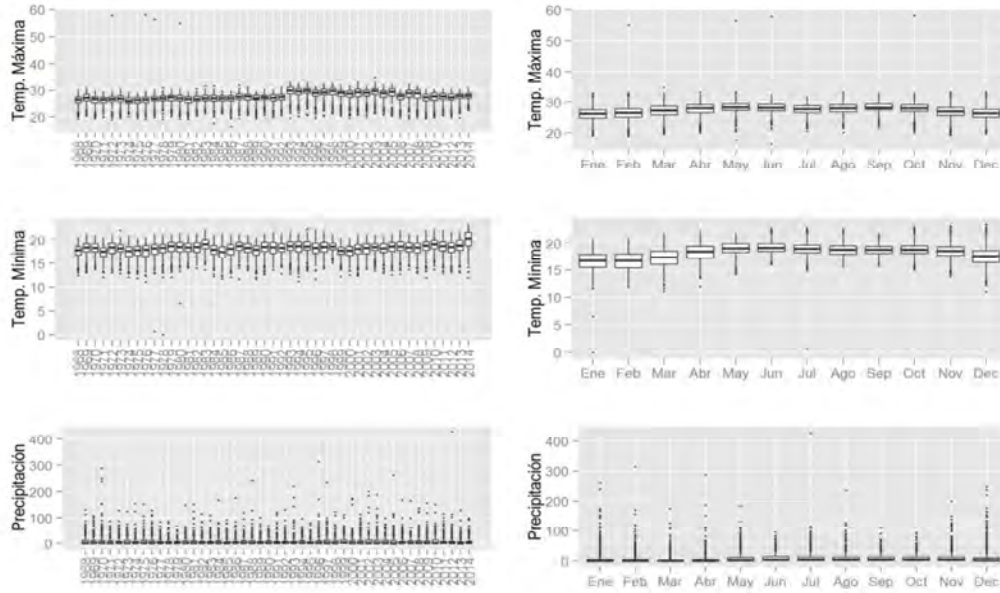
A) Graficas de distribución e histogramas de datos sin normalizar



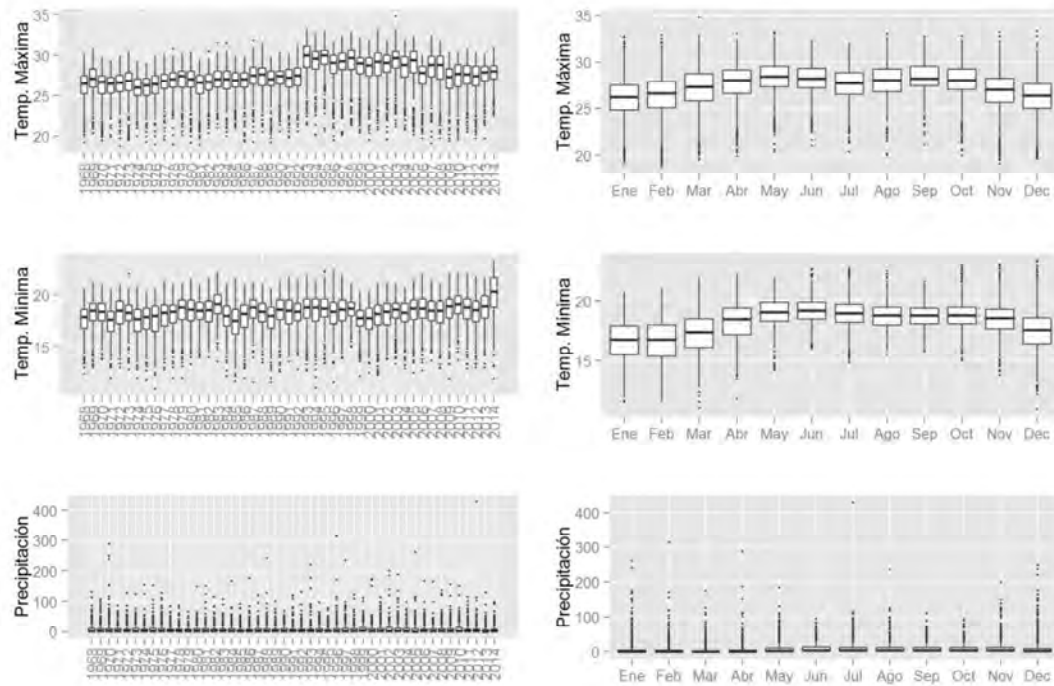
B) Graficas de distribución e histogramas de datos normalizados



C) Diagramas de cajas de datos sin normalizar



D) Diagramas de cajas de datos normalizados



E) Tabla de estadísticas de datos normalizados

Estadísticas	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)
Total de datos	17167		
Valor mínimo	18,8	11	0
Valor máximo	34,8	23,4	428
Media	27,3	18,19	7,5
Varianza	4,9	2,5	257,4
Desviación estándar	2,2	1,6	16,04
Mediana	27,5	18,4	1,4
Coefficiente de Variación %	8	8,8	213,15
Datos faltantes (NA)	14	12	0
Porcentaje de datos faltantes (NA)	0,082	0,07	0
% Datos atípicos	0,72	0,63	1,74
Test de Mann-Kendall	Tendencia	Tendencia	No tendencia