



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 29 de abril de 2019

Señores:

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

La suscrita:

María Paula Ramírez Sánchez, con C.C. No. 1'075.284.616, autora de la tesis y/o trabajo de grado titulado Análisis de las condiciones agroclimáticas en el contexto de variabilidad y cambio climático en la zona norte del departamento del Huila, presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Ingeniera Agrícola; autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

María Paula Ramírez Sánchez

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: ANALISIS DE LAS CONDICIONES AGROCLIMATICAS EN EL CONTEXTO DE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMATICO EN LA ZONA NORTE DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ramírez Sánchez	María Paula

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Torrente Trujillo	Armando
Guzmán López	Helmer Alexis

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniera Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 158

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas ☒ Fotografías ☐ Grabaciones en discos ☐ Ilustraciones en general ☐ Grabados ☐
Láminas ☐ Litografías ☐ Mapas ☒ Música impresa ☐ Planos ☐ Retratos ☐ Sin ilustraciones ☐
Tablas o Cuadros ☒

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Ninguno

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA						
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

MATERIAL ANEXO: Ninguno

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

1. Caracterización climática - Climatic characterization
2. Fenómeno ENOS - ENSO phenomenon
3. Variabilidad climática - Climatic variability
4. Cambio climático - Climate change
5. Modelamiento agroclimático - Agroclimatic modeling

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La dinámica de las condiciones climatológicas a nivel global, ha llevado a la comunidad científica aunar esfuerzos para comprender de una forma más integral los factores y la velocidad de cambio de los fenómenos meteorológicos que se están presentando con mayor frecuencia e intensidad, afectando directamente a los sectores de producción. Los cambios en la intensidad y periodicidad de fenómenos de variabilidad climática como el ENOS, han ocasionado una serie de emergencias, ya sea por reducción de las lluvias o excesos de las mismas, creando la necesidad de conocer el impacto de dichos eventos, y disponer de información a una mejor escala temporal y espacial en aras de brindar herramientas para el apoyo en la toma de decisiones. La región Surcolombiana, no es ajena a la actual dinámica climática en los diferentes sectores de producción, como es el agropecuario. Uno de los renglones productivos más susceptibles a la variabilidad y cambios en el clima, afectando sus rendimientos a raíz de sequías prolongadas y lluvias torrenciales. En este contexto, el presente trabajo pretende analizar las variaciones de las características agroclimáticas en la zona norte del departamento del Huila, considerando fenómenos de variabilidad y escenarios de cambio climático. Contribuyendo a su vez, en la generación de información que permita al agricultor y a los diferentes entes territoriales conocer las condiciones de la región y ser un apoyo en la toma de decisiones relacionadas con el sector agrícola.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The dynamics of global weather conditions has led the scientific community to join forces to understand in a more integral way the factors and the speed of change of the meteorological phenomena that are occurring more frequently and intensely, directly affecting the production sectors. Changes in the intensity and periodicity of climatic variability phenomena such as ENSO, have caused a series of emergencies, either by reducing rainfall or excesses of them, creating the need to know the impact of these events, and have information at a better temporal and spatial scale in order to provide tools to support decision-making. The Surcolombian region is not alien to the current climate dynamics in the different production sectors, such as agriculture and livestock. One of the production lines most susceptible to variability and changes in climate, affecting their yields due to prolonged droughts and torrential rains. In this context, the present work intends to analyze the variations of the agroclimatic characteristics in the northern zone of the department of Huila,

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

considering phenomena of variability and scenarios of climatic change. Contributing, in turn, in the generation of information that allows the farmer and the different territorial entities to know the conditions of the region and be a support in making decisions related to the agricultural sector.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Marlio Bedoya Cardoso

Firma:

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

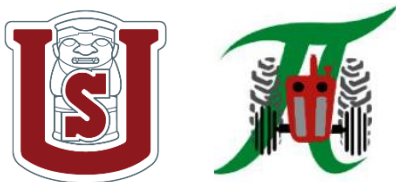
Firma:

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS EN EL CONTEXTO DE
VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA NORTE DEL DEPARTAMENTO
DEL HUILA

Autor:
MARÍA PAULA RAMÍREZ SÁNCHEZ



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA-HUILA
2019



ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS EN EL CONTEXTO DE
VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA NORTE DEL DEPARTAMENTO
DEL HUILA

Autor:

MARÍA PAULA RAMÍREZ SÁNCHEZ

Proyecto presentado a la Facultad de Ingeniería como requisito para optar al título de
Ingeniera Agrícola

Director:

ARMANDO TORRENTE TRUJILLO

IA. M.Sc. P.hD. Ciencias Agrarias

Co-Director:

HELMER ALEXIS GUZMÁN LÓPEZ

IA. Espec. C-M.Sc. Ciencias - Meteorología

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA-HUILA
2019



NOTA DE ACEPTACIÓN

Armando Torrente Trujillo
Director del Proyecto

Helmer Guzmán López
Co-Director del Proyecto

Jaime Izquierdo Bautista
Jurado

Marlio Bedoya Cardoso
Jurado

Neiva, Marzo de 2019

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, que me ha dado la fortaleza para superar todos los obstáculos de la vida, porque su amor infinito me alienta a mejorar y a sacar lo mejor de mí cada día.

A mi padre amado, Jesús Antonio Ramírez Romero (Q.E.P.D), fue un privilegio y un gran honor el haber aprendido de tu mano, gracias por tu ejemplo, esfuerzo y dedicación.

A mi madre, María Betty Sánchez Carvajal, guerrera incansable y apasionada, gracias por enseñarme con tanto amor y paciencia, por tu entrega, sacrificio y por enseñarme la perfecta definición de amor.

A mis hermanos John Harry, Jennifer y Vanessa Ramírez, gracias por tanto apoyo, por tanta luz y cariño que me dan, son mi ejemplo y mi motivación.

A Julián Valencia, por haber llegado a mi vida en el momento justo. Gracias por tantos momentos vividos, por escucharme y aconsejarme. Fue un gusto compartir este proceso a tu lado.

A Tatiana Ospina Marín y Angie Paola Charry, porque haberlas encontrado fue lo mejor que me dejó esta etapa, gracias por sus consejos y su compañía en tantos momentos de mi vida.

María Paula Ramírez Sánchez



AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a mí Director de Trabajo de Grado Armando Torrente Trujillo, por la confianza, apoyo y disposición en este trabajo.

A mi Co-Director Helmer Guzmán quien con sus enseñanzas, disciplina y apoyo fue mi guía en el camino para culminar este ciclo de mi formación profesional. Gracias por tus palabras de aliento y ante todo por creer en mí.

A mi alma mater Universidad Surcolombiana.

“El momento de actuar es ahora”.
Stephen Hawking

TABLA DE CONTENIDO

1. 13

2. 14

3. 16

3.1. 16

3.2. 16

4. 17

5. 19

5.1. 19

5.2. 20

5.3. 24

5.4. 25

6. 27

6.1. 27

6.2. 28

6.2.1. 28

6.2.2. 28

6.3. 29

6.3.1. 29

6.4. 30

6.5. 30

6.6. 31

7. 32

7.1. 32

7.2. 33

7.2.1. 33

7.3. 34

7.3.1. 35

7.3.2. 46

7.4. 49

7.5. 53

7.5.1. 53

7.5.2. 56

7.5.3. 58

7.6. 59

7.7. 66

7.7.1. 68

7.7.2. 70

7.7.3. 70

7.8. 71

7.8.1. 72

7.8.2. 75

7.8.3. 78

7.8.4. 80

8. 83

9. 85

10. 92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transición de la ZCIT durante el año en Colombia.	22
Figura 2. Esquema habitual de la circulación durante un fenómeno El Niño y La Niña.	23
Figura 3. Esquema metodológico.	27
Figura 4. Georreferenciación de la zona de estudio.	32
Figura 5. Red hidrometeorológica del área de estudio.	33
Figura 6. Histogramas de frecuencias para precipitación periodo 1985-2016.	35
Figura 7. Diagrama de caja y bigotes para precipitación.	36
Figura 8. Promedio mensual multianual para precipitación.	37
Figura 9. Anomalías de precipitación.	38
Figura 10. Coeficiente de correlación lineal entre el índice ONI y la variable precipitación.	39
Figura 11. Diagrama superior: Comportamiento de la precipitación para el periodo de referencia 1985-2016. Diagrama inferior: Distribución del Índice Oceánico de El Niño - ONI entre 1985-2016.	40
Figura 12. Histograma de frecuencias para temperatura.	41
Figura 13. Diagramas de caja y bigotes para temperatura.	41
Figura 14. Promedio mensual multianual de la temperatura media del aire.	42
Figura 15. Anomalías de temperatura.	43
Figura 16. Coeficiente de correlación lineal entre el índice ONI y la variable temperatura.	43
Figura 17. Diagrama superior: Comportamiento de la temperatura para el periodo de referencia 1985-2016. Diagrama inferior: Secuencia del Índice ONI a lo largo del tiempo.	44
Figura 18. Curvas de doble masa para precipitación.	45
Figura 19. Serie original y generada para precipitación.	50
Figura 20. Serie original y generada para temperatura máxima.	51
Figura 21. Serie original y generada para temperatura mínima.	52
Figura 22. Mapa temperatura media mensual multianual de la zona norte del Huila (1985-2016).	53
Figura 23. Análisis decadal de la temperatura media del aire.	54
Figura 24. Mapa precipitación media multianual de la zona norte del Huila (1985-2016).	55
Figura 25. Análisis decadal de la precipitación media.	56
Figura 26. Caracterización climática de la zona norte del dpto. del Huila según el método de clasificación de Caldas-Lang.	57
Figura 27. Influencia del fenómeno ENOS en la variable precipitación para la estación Apto. Benito Salas.	59
Figura 28. Influencia del fenómeno ENOS en la variable precipitación para la estación Palacio-Vegalarga.	60
Figura 29. Análisis espectral para precipitación (Transformada de Fourier).	61
Figura 30. Secuencia de la precipitación media mensual multianual y análisis espectral para la serie histórica (1985-2016) (Transformada de Wavelet).	62
Figura 31. Influencia del fenómeno ENOS en la variable temperatura para la estación La Legiosa.	63
Figura 32. Influencia del fenómeno ENOS en la variable temperatura para la estación Apto. Benito Salas.	64
Figura 33. Análisis espectral para temperatura (Transformada de Fourier).	65

Figura 34. Secuencia de la temperatura media mensual multianual y análisis espectral para la serie histórica (1985-2016) (Transformada de Wavelet).	65
Figura 35. Red de estaciones con información de cambio climático para las variables de estudio.	66
Figura 36. Histograma para las estaciones de análisis.	68
Figura 37. Diagrama de caja y bigotes para las estaciones de análisis.	68
Figura 38. Mapa de los cambios esperados en la precipitación media de la zona norte del Huila (2011-2040).	69
Figura 39. Mapa de los cambios esperados en la temperatura media de la zona norte del Huila (2011-2040).	70
Figura 40. Precipitación media mensual multianual y precipitación efectiva.	71
Figura 41. Evapotranspiración del cultivo de referencia, radiación y velocidad del viento.	72
Figura 42. Requerimiento de riego y evapotranspiración del cultivo.	73
Figura 43. Porcentaje de agotamiento de humedad en condiciones de seco.	74
Figura 44. Precipitación media mensual multianual y precipitación efectiva.	74
Figura 45. Evapotranspiración del cultivo de referencia, radiación y velocidad del viento.	75
Figura 46. Requerimiento de riego y evapotranspiración del cultivo de arroz riego.	75
Figura 47. Porcentaje de agotamiento de humedad en condiciones de seco.	76
Figura 48. Precipitación media mensual multianual y precipitación efectiva.	77
Figura 49. Evapotranspiración del cultivo de referencia, radiación y velocidad del viento.	77
Figura 50. Requerimiento de riego y evapotranspiración del cultivo.	78
Figura 51. Porcentaje de agotamiento de humedad en condiciones de seco.	78
Figura 52. Precipitación media mensual multianual y precipitación efectiva.	79
Figura 53. Evapotranspiración del cultivo de referencia, radiación y velocidad del viento.	79
Figura 54. Requerimiento de riego y evapotranspiración del cultivo.	80
Figura 55. Porcentaje de agotamiento de humedad en condiciones de seco.	80
Figura 56. Precipitación media mensual para los diferentes escenarios.	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Procesos generadores de la precipitación en Colombia.	19
Tabla 2. Tipos de clima según Caldas-Lang.	29
Tabla 3. Red de estaciones climatológicas.	33
Tabla 4. Test para normalidad – Shapiro Wilks (Precipitación).	46
Tabla 5. Prueba estadística Test-T (Precipitación).	46
Tabla 6. Prueba estadística Test de Levene (Precipitación).	46
Tabla 7. Prueba estadística Test MWW (Precipitación).	47
Tabla 8. Test para normalidad – Shapiro Wilks (Temperatura).	47
Tabla 9. Prueba estadística Test-T (Temperatura).	47
Tabla 10. Prueba estadística Test de Levene (Temperatura).	48
Tabla 11. Prueba estadística Test MWW (Temperatura).	48
Tabla 12. Red de estaciones Rclimtool.	49
Tabla 13. Estaciones climatológicas seleccionadas para análisis de Cambio Climático.	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Histogramas de frecuencia para precipitación.	90
Anexo 2. Diagrama de caja y bigotes para precipitación.	91
Anexo 3. Promedio mensual multianual para precipitación.	92
Anexo 4. Anomalías de precipitación.	93
Anexo 5. Coeficiente de correlación lineal entre el índice ONI y la variable precipitación.	94
Anexo 6. Diagrama superior: Comportamiento de la precipitación para el periodo de referencia 1985-2016. Diagrama inferior: Distribución del Índice Oceánico de El Niño - ONI entre 1985-2016.	96
Anexo 7. Histograma de frecuencias para temperatura.	96
Anexo 8. Diagrama de caja y bigotes para temperatura.	96
Anexo 9. Promedio mensual multianual de la temperatura media del aire.	96
Anexo 10. Anomalías de temperatura.	97
Anexo 11. Coeficiente de correlación lineal entre el índice ONI y la variable temperatura.	97
Anexo 12. Diagrama superior: Comportamiento de la temperatura para el periodo de referencia 1985-2016. Diagrama inferior: Secuencia del Índice ONI a lo largo del tiempo.	97
Anexo 13. Curvas de masa para precipitación.	98
Anexo 14. Test de normalidad – Shapiro Wilks (Precipitación).	98
Anexo 15. Prueba estadística Test-T (Precipitación).	99
Anexo 16. Prueba estadística Test de Levene (Precipitación).	100
Anexo 17. Prueba estadística Test MWW (Precipitación).	101
Anexo 18. Test de normalidad – Shapiro Wilks (Temperatura).	101
Anexo 19. Prueba estadística Test-T (Temperatura).	101
Anexo 20. Prueba estadística Test de Levene (Temperatura).	102
Anexo 21. Prueba estadística Test MWW (Precipitación).	102
Anexo 22. Diagrama de caja y bigotes generado con <i>RclimTool</i> para las estaciones de análisis.	102
Anexo 23. Graficos Plot e Histogramas generados con <i>RclimTool</i> .	103
Anexo 24. Control de calidad para precipitación.	104
Anexo 25. Control de calidad para temperatura máxima.	105
Anexo 26. Control de calidad para temperatura mínima.	105
Anexo 27. Análisis de homogeneidad para precipitación.	106
Anexo 28. Análisis de homogeneidad para temperatura máxima.	106
Anexo 29. Análisis de homogeneidad para temperatura mínima.	106
Anexo 30. Influencia del fenómeno ENOS en la variable precipitación.	115
Anexo 31. Análisis espectral para precipitación (Transformada de Fourier).	116
Anexo 32. Secuencia de la precipitación media mensual multianual y Análisis espectral para la serie histórica (1985-2016) (Transformada de Wavelet).	118
Anexo 33. Influencia del fenómeno ENOS en la variable temperatura.	119
Anexo 34. Análisis espectral para temperatura (Transformada de Fourier).	120
Anexo 35. Secuencia de la temperatura media y Análisis espectral para la serie histórica (1985-2016) (Transformada de Wavelet).	120
Anexo 36. Histogramas de frecuencia para estaciones de cambio climático.	121
Anexo 37. Diagramas de caja y bigotes para estaciones de cambio climático.	121

Anexo 38. Salidas generadas por CropWat para el escenario histórico (1985-2016).	122
Anexo 39. Salidas generadas por CropWat para el escenario “Niño” (1997-1998).	123
Anexo 40. Salidas generadas por CropWat para el escenario “Niña” (2010-2011).	124
Anexo 41. Salidas generadas por CropWat para el escenario “Neutro” (1993).	125

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en Colombia el sector agropecuario es el segundo sector que más aporta emisiones GEI (Gases de Efecto Invernadero) totales al país (26%) (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELERIA, 2017), siendo estos los responsables de la alteración en la composición de la atmósfera, lo que genera aumentos en la temperatura y cambios en el clima.

A pesar de su contribución en el incremento de las concentraciones, la agricultura es también uno de los sectores productivos más vulnerables a los impactos de eventos extremos y los cambios en el clima a nivel mundial (Comunidad Andina, 2010). Es así como estos cambios graduales en la temperatura y precipitación sumados al aumento de la población, están amenazando la seguridad alimentaria en todo el territorio, especialmente en comunidades marginadas, hogares pobres y poblaciones rurales de escasos recursos que dependen en gran medida del sector agropecuario y donde los constantes cambios en los regímenes de lluvia afectan el rendimiento de los cultivos y generan en algunas ocasiones la pérdida total de las cosechas (Nelson *et al.*, 2009).

Los diferentes entes gubernamentales e instituciones académicas han realizado estudios a nivel nacional y regional (Comunicaciones de Cambio Climático, Plan Huila 2050) permitiendo avanzar en la gestión del conocimiento de amenazas de origen hidrometeorológico y contribuyendo con la disminución de los impactos negativos a través de la implementación de estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático desde diferentes enfoques (técnico, social y económico). Por su parte el departamento del Huila, ya se encuentra entre los siete municipios que adelantan acciones asociadas a la mitigación y adaptación de los efectos que generan los cambios en el clima según lo explica la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático en Colombia (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELERIA, 2017).

Así mismo este estudio pretende fortalecer las investigaciones realizadas y contribuir al conocimiento de las características climáticas de la zona norte del departamento del Huila, mediante el análisis de dos variables de gran relevancia para los cultivos: Temperatura y Precipitación, las cuales reflejan el impacto de fenómenos climáticos de macroescala como es El Niño/Oscilación del Sur, que cada vez se presenta con mayor frecuencia e intensidad, afectando considerablemente los sectores productivos, entre ellos el agropecuario.

La caracterización climática de la zona norte del Huila fue posible gracias a la selección de una red hidrometeorológica robusta compuesta por 44 estaciones que se analizaron con ayuda de herramientas de inferencia estadística, las cuales permitieron observar el comportamiento de los datos en un periodo de 30 años e identificar la relación entre el ENOS y las variables de estudio.

Además, se analizaron los nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100 desarrollados por el IDEAM en el 2015 para proyectar el comportamiento del clima futuro para el Huila, constituyendo una herramienta esencial para mitigar la generación de gases GEI y la toma de decisiones en relación con la planificación territorial en el marco del uso eficiente de los recursos naturales en los sistemas de producción. Finalmente, se ajustó un modelo agroclimático para visualizar los efectos de la variabilidad climática (ENOS) en los rendimientos del cultivo de arroz para el municipio de Villavieja y así identificar información base para estimar las épocas de siembra y otras actividades de manejo agronómico para el desarrollo del mismo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel global los fenómenos de variabilidad climática provocan impactos en los diferentes sectores económicos, especialmente el sector agropecuario, lo que ha llevado a la comunidad científica a generar diferentes estudios a través del tiempo encaminados a identificar el impacto del rendimiento de los cultivos considerando diferentes escenarios de cambio climático (CC), con el fin de minimizar las pérdidas que dejan estos eventos (Welch, 2010).

“El sector agropecuario es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos, la adaptación del sector es un imperativo para la región andina. Los desastres relacionados al cambio climático tienen y tendrá un impacto directo en este renglón productivo, el cual constituye en una fuente de trabajo de un conjunto significativo de la población y las exportaciones de la región” (Silva, 2013).

Estos estudios (CIFEN, 2016; Naciones Unidas, 2015; Naciones Unidas, 2013; MINAGRI & GIZ, 2012) han identificado que los países en vía de desarrollado son los que presentan la mayor vulnerabilidad, los mayores riesgos en seguridad alimentaria y la menor resiliencia en su población (Fernández, 2013). Claro ejemplo de ello es el caso de África donde millones de personas viven en zonas propensas a sequías e inundaciones. Aproximadamente un 70% de la población africana depende de la agricultura para sobrevivir y más del 95% de la agricultura de África depende, a su vez, del agua lluvia (OMM, 2010).

En el caso de Europa el cambio en las condiciones climáticas ha afectado a la agricultura en forma de alteraciones en la fenología de los cultivos, cambios en áreas de siembra y sus rendimientos, así como a través del aumento de la demanda de agua para riego (AEMA, 2015).

De igual forma, en Latinoamérica y específicamente en Ecuador los cambios en el clima inciden en la variación de la producción agrícola, sobre todo en cultivos de maíz, arroz, banano y caña de azúcar que evidenciaron caídas sucesivas en sus rendimientos para los años con presencia del fenómeno de El Niño (Jiménez *et al.*, 2012). En la Comunidad Andina los efectos del cambio climático durante las últimas décadas se han reflejado en la recurrencia y severidad de desastres de tipo meteorológicos. Durante los últimos 37 años, el 71% del total de registros de desastres locales reportados han estado asociados a fenómenos climáticos, en particular con eventos tales como inundaciones y deslizamientos (Alianza Clima y Desarrollo, 2012).

Uno de los principales retos hoy en día para la humanidad está asociado a enfrentar las consecuencias de los cambios acelerados del clima, los cuales tienen un fuerte impacto en los recursos naturales, la sociedad y la economía (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELERÍA, 2015). El sector agrícola de Colombia no ha sido ajeno a los impactos de la actual dinámica climática, Fernández (2013) demostró los efectos de las anomalías climáticas asociadas al fenómeno El Niño sobre la producción de papa en Boyacá y así mismo varios estudios realizados para el cultivo de café (Guzmán & Baldión, 1997) y palma africana (Cadena *et al.*, 2006) han concluido la gran vulnerabilidad de estos cultivos a los fenómenos de variabilidad climática.

Por otro lado, el departamento del Huila que se caracteriza por tener una vocación agropecuaria por tradición, acorde a sus condiciones agroecológicas y fisiográficas en todo su territorio, manejando una amplia gama de cultivos de diferentes pisos térmicos (Gobernación del Huila,

2007), ya ha presentado varias zonas productoras altamente vulnerables al cambio climático, especialmente en la zona norte donde se encuentran las mayores cifras de áreas con procesos de desertificación o en vía de desertificación del departamento (Renzonni, 2009).

A pesar de que la subregión norte del Huila es susceptible a los cambios adversos del clima, es una zona de gran valor para la producción agrícola en cultivos como arroz, algodón, maíz, entre otros. Estudios como los de Tovar & Sánchez (2016), que estimaron una zonificación agroclimática con fines de mejorar la programación de riesgo, buscan generar información para el apoyo en la toma de decisiones que inciden en el desarrollo agrícola de esta región, acorde con la recurrencia y frecuencia de eventos climáticos.

En este sentido, es de gran importancia seguir desarrollando diferentes estudios orientados en comprender de una forma más localizada el grado de impacto de diferentes fenómenos climáticos en el sector agrícola de la zona norte del Huila, para la articulación de estrategias de adaptación y mitigación ante estos fenómenos y el uso sostenible de los recursos naturales en el marco de la productividad y seguridad alimentaria. En concordancia con lo anterior, es pertinente plantear la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el impacto de la dinámica climática actual y los fenómenos de variabilidad climática en los sistemas productivos agrícolas de la zona norte del departamento del Huila?

3. OBJETIVOS

Para dar respuesta a la pregunta de investigación planteada en el capítulo anterior, se dimensionaron una serie de objetivos para comprender los diferentes factores relacionadas con la dinámica climática y su influencia en los sistemas de producción agropecuarios.

3.1. Objetivo General (OG)

Evaluar las condiciones agroclimáticas en el contexto de variabilidad y cambio climático en la zona norte del departamento del Huila.

3.2. Objetivos Específicos (OE)

- **OE-1.** Caracterizar la climatología de la zona norte del departamento del Huila.
- **OE-2.** Analizar los fenómenos de variabilidad climática que más inciden en las variables meteorológicas para la producción agrícola.
- **OE-3.** Analizar el impacto de los escenarios de cambio climático para el área de estudio.
- **OE-4.** Simular la respuesta del rendimiento de un cultivo de influencia de la zona de estudio en diferentes escenarios climáticos.

4. JUSTIFICACIÓN

Latinoamérica, es particularmente vulnerable a los impactos del cambio climático. A pesar de que hay una gran sensibilización, la puesta en marcha de políticas a nivel nacional es un problema fundamental. Un ejemplo reciente, fue la dinámica climática y de variabilidad que se presentó durante el año 2015, siendo el año más cálido registrado con 0.76 °C por encima del promedio del periodo entre 1961-1990, con uno de los episodios registrados (desde 1950 que inició el registro) más intensos del fenómeno El Niño y otros eventos extremos como olas de calor, sequías, inundaciones y alta actividad e intensidad ciclónica superior a la media como se resume en el Informe de la OMM sobre el estado del clima mundial en el 2015 (Kreft *et al.*, 2014).

Por otro lado, en Colombia según el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), en el periodo 2010-2011 se presentó en Colombia el periodo de lluvias más intenso de la historia, afectando a 29 de los 32 departamentos, es decir a un 90% del territorio nacional, donde el 80% de los eventos causados por las fuertes lluvias correspondieron a inundaciones y deslizamientos. Para este periodo 2010-2011 se registraron oficialmente 917 deslizamientos y 41 avalanchas que afectaron principalmente los departamentos de la zona andina, donde los más afectados fueron Cundinamarca, Risaralda, Nariño, Boyacá, Santander y Antioquia (Defensoría del pueblo, 2011). La temporada de lluvias apoyada por el desarrollo de un evento La Niña, ocasionó que más de 150 personas perdieran sus vidas y que 1.5 millones más fueran desplazadas, así mismo la factura por deslizamientos, inundaciones en cultivos y problemas de movilidad alcanzó más de 11 billones de pesos, casi el 2% del PIB correspondiente al año 2011 (WWF, 2016).

A nivel regional este tipo de acontecimientos preocupa a todas las comunidades, especialmente a la población rural que depende de la agricultura como principal medio de subsistencia, debido a que el sector agrícola es sin duda uno de los más vulnerables ante los impactos del cambio climático global y a su vez uno de los más representativos del departamento del Huila ya que utiliza 382.544 ha para sus cultivos y tiene junto con la ganadería, silvicultura y piscicultura una participación porcentual de 14% sobre el PIB departamental, además de un crecimiento promedio anual de 2,8% con base en la media del periodo 2000 a 2013 (Delgado *et al.*, 2015). Así mismo, de las 124.520 unidades de producción agropecuaria que tiene el Huila, 12.653 tiene como principal recurso el agua proveniente de las lluvias para el desarrollo de las actividades agrícolas y existe una fuerte limitante para el acceso a este recurso debido a las prolongadas sequías y a la presencia de fenómenos El Niño (DANE, 2016).

Es así como a raíz de la actual dinámica climática y la ocurrencia de eventos extremos la producción ha disminuido considerablemente en presencia del ENSO en sus dos respectivas fases (cálida y fría), en el Huila se evidenciaron pérdidas de \$20.936 millones de pesos para cultivos permanentes y \$3.172 millones para cultivos transitorios. Las prolongadas lluvias que se presentaron en Colombia para el periodo 2010-2011 por la presencia de La Niña, provocaron pérdidas agropecuarias de \$5.142 millones y equivalentes al 0,9% de las pérdidas totales del país, debido a fuertes avalanchas, deslizamientos, vendavales e inundaciones (CEPAL, 2012).

Considerando lo anterior, es importante seguir desarrollando estudios en el departamento del Huila, orientados en comprender de forma local las condiciones agroclimáticas y su sensibilidad

ante la ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática, conocer los impactos de los escenarios de cambio climático generados por el IDEAM en la Tercera Comunicación Nacional y generar estrategias a corto y largo plazo para la adaptación del sector.

5. MARCO REFERENCIAL

El comportamiento atmosférico en el país no sólo está determinado por la acción de los sistemas sinópticos (ZCIT, Ondas del Este) que afectan el país, sino también por la influencia que tienen sobre ellos algunos sistemas característicos de otras latitudes entre los cuales se destacan algunos típicos del hemisferio norte (Zea *et al.*, 2000). Estas influencias pueden apreciarse actualmente con un mayor detalle a partir de datos de orden nacional o regional complementados con información procedente de satélites meteorológicos e información de las bases de datos del Re-Análisis que administra el Centro Nacional de Predicción Ambiental y el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCEP/NCAR) de la Administración Atmosférica y Oceánica de los Estados Unidos – NOAA (Zea *et al.*, 2000).

5.1. Procesos y Factores Determinantes del Clima en Colombia

La climatología de Colombia está definida por las condiciones de frontera de la atmósfera, la distribución de continente-océano y la radiación solar. Estos fenómenos están fuertemente condicionados por la fisiografía, relieve y la cobertura vegetal del territorio nacional (Guzmán *et al.*, 2014). Algunos de los procesos más destacados que inciden en la precipitación de Colombia, se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Procesos generadores de la precipitación en Colombia.

Procesos Meteorológicos
a) La zona de convergencia intertropical – ZCIT
b) Sistemas de Alta Presión
c) Ondas del Este del Caribe
d) Vaguadas de latitudes medias
e) Condiciones de mesoescala
f) Ciclones Tropicales
g) Vaguada tropical de la alta tropósfera – TUTT
h) La zona de convergencia del Atlántico sur – ZCAS
i) Baja anclada de Panamá
j) Corrientes en chorro
k) Frentes fríos

Fuente: (Guzmán et al., 2014).

En el estudio de Poveda *et al.* (2002), se identificó que en la hidrología colombiana aparecen los ciclos anual y semianual muy fuertes, dominando uno u otro, dependiendo de la ubicación geográfica y de las estaciones que registran, además también es generalizada la presencia de ciclos asociados con la oscilación Cuasi-Bienal y con el fenómeno ENSO, con correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre el SOI de un trimestre determinado y los caudales en Colombia para ese mismo trimestre y los dos trimestres siguientes.

Además, Poveda *et al.* (2002) en su estudio encontró que “espacialmente la correlación entre los índices más representativos del ENSO y la hidroclimatología colombiana, es más baja en el oriente colombiano, y que las correlaciones más altas en esa zona se presentan en general, un trimestre más tarde que en el resto del país”. Como consecuencia de los estudios anteriores, es

posible inferir, en buena medida un mejor reconocimiento del comportamiento acoplado de sistemas interactuantes de distintas regiones latitudinales contribuye de manera significativa al análisis y proyección de las condiciones atmosféricas y climatológicas en el país.

5.2. Fenómenos de Variabilidad Climática de mayor Incidencia en Colombia

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático - IPCC (2001), define la variabilidad como las variaciones, desviaciones o anomalías del clima en diferentes escalas de tiempo o espacio, y su origen que puede estar dado por procesos naturales que hacen parte de la dinámica y evolución de la Tierra o puede ser el resultado de forzamientos externos originados por el hombre. La variabilidad climática, la define Montealegre & Pabón (2002), como las fluctuaciones alrededor de una condición predominante (normal climática) observadas durante períodos de tiempo relativamente cortos. Ésta incluye los extremos y las diferencias de los valores mensuales, estacionales y anuales en relación con los valores promedio (30 años) de las variables meteorológicas.

• Escalas de Variabilidad Climática

El clima se refiere al valor promedio de las variables meteorológicas (un periodo de 30 años), la variabilidad como la anomalía de los valores normales de la climatología de un lugar específico. Los fenómenos de variabilidad climática no se limitan a un tiempo y espacio determinado (IPCC, 2001; Ghil, 2002); lo que indica que los fenómenos pueden fluctuar en una escala temporal de pocos días hasta años, décadas e inclusive pueden ser períodos seculares. En este contexto, se ha organizado en cuatro escalas de tiempo: Estacional, Intraestacional, Interanual e Interdecadal (Montealegre, 2009).

Estacional

Corresponde aquellos fenómenos que se presentan en una escala temporal de meses e inciden en el clima en relación en términos de estaciones definidas por un cambio drástico en la precipitación (lluvias y sequías) en latitudes bajas, y en latitudes medias y altas la temperatura (primavera, verano, otoño e invierno). En la zona ecuatorial, es la dinámica de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) el fenómeno atmosférico que explica la mayor variabilidad de las precipitaciones (Hastenrath, 1991; Montealegre, 2009; Evans & Lang, 2011).

Intraestacional

Relaciona aquellas oscilaciones capaces de modular el comportamiento estacional de una variable (Montealegre, 2009; Evans & Lang, 2011). Para Colombia, el fenómeno que mejor explica la variación de la precipitación en una escala de semanas a un par de meses, es la Oscilación Madden & Julian – OMJ (Rodríguez, 2015).

Interanual

A esta escala corresponden los fenómenos que influyen en el comportamiento normal de una variable de un año a otro, con la observación que puede darse no siempre para la misma época. Para Colombia, un ejemplo de esta variabilidad está asociada con el fenómeno Oscilación del Sur (ENSO), así como también la Oscilación del Atlántico Norte (OAN) (Montealegre, 2009).

Interdecadal

A escala de largo periodo, se relaciona la variabilidad década, que se caracterizan por ciclos se presentan en una o varias décadas (Montealegre, 2009). A ejemplo, se tiene la Oscilación Décadal del Pacífico (PDO) y la Oscilación Meridional Norte (AMO) con ciclos que van de 10-20 años y entre 60-80 años, influyendo en las condiciones del clima de una forma que no es perceptible para el ser humano (Rodríguez, 2015).

• Oscilación de la Zona de Convergencia Intertropical - ZCIT

Un cinturón de bajas presiones alrededor de la zona ecuatorial, caracterizado por fuertes movimientos ascendentes y precipitaciones. La ZCIT, se desarrolla en el punto intermedio de la confluencia de los vientos Alisios (Hastenrath, 1991) y su dinámica está relacionada con el movimiento aparente del Sol con un retraso aproximado de dos meses, con un movimiento latitudinal de sur a norte y viceversa durante al año, causando un calentamiento diferencial de la superficie de la Tierra (Hastenrath, 1991).

En Colombia, la ZCIT se constituye como el sistema meteorológico de mayor influencia en la ocurrencia de las precipitaciones (IDEAM, 2015; Evans & Lang 2011). Esta se divide en dos ramales: occidental o también llamada vaguada monzónica y el ramal oriental o más conocida como vaguada ecuatorial; En su movimiento de sur a norte, la vaguada ecuatorial va un poco retrasada en relación con la vaguada monzónica, lo que implica la distribución estacional no uniforme de las precipitaciones durante el año como se detalla en la Figura 1, las diferentes ubicaciones espaciales de la ZCIT durante el año en Colombia (Davison, 2013).



El ramal occidental de la ZCIT se encuentra en una posición latitudinal media del ramal occidental de la ZCIT, en los meses de marzo, abril y mayo; marcando la primera temporada de lluvias de la región Andina.

Por otro lado, el ramal oriental (vaguada ecuatorial) de la ZCIT se encuentra interactuando con la región de la Amazonia.

Transición en marzo, abril y mayo



Se observa el ramal occidental (vaguada monzónica) posicionada sobre la zona noroccidente del país en los meses de junio, julio y agosto; generando precipitaciones en la zona sur de la región Caribe y noroccidente de la región Andina.

La vaguada ecuatorial se posiciona completamente sobre el centro del país.

Transición en junio, julio y agosto



La ZCIT en los meses de septiembre, octubre y noviembre presenta un descenso latitudinal, lo que genera un solo periodo de lluvias en la zona sur del Caribe.

En la región Andina se presenta una transición de dos periodos en el año con fuertes precipitaciones.

Transición en septiembre, octubre y noviembre

Figura 1. Transición de la ZCIT durante el año en Colombia.

Fuente: (Guzmán *et al.*, 2014).

Acorde con la dinámica de la ZCIT durante el año y su relación con la precipitación en Colombia, su constante observación y análisis sinóptico mediante distintas variables como indicadores de su actividad son fundamentales en la generación de pronósticos. Según Montealegre (2009), Uno de los índices de mayor aplicación es la Radiación de Onda Larga Saliente (ORL, por sus siglas en inglés), es una medida indirecta de la convección y sus valores extremos están asociados a la convección profunda, con valores mínimos de ORL se presenta alta nubosidad y máximos ORL baja nubosidad, por lo que se asocia con el desplazamiento de la ZCIT.

El desplazamiento de la ZCIT durante el año, genera dos periodos con mayores precipitaciones en gran parte del territorio del país (IDEAM, 2015), el rango de las precipitaciones para diferentes regiones, el caso del departamento del Huila y su respectiva ciudad capital, presentan un régimen de lluvias con dos periodos donde se presentan los mayores registros (Marzo-Abril y Octubre-Noviembre) que oscila en su zona norte y oriente entre 1000-1500 (mm) anuales y en la zona sur y occidente 1500-2000 (mm).

● El Niño – Oscilación del Sur (ENSO)

Es un fenómeno natural que se caracteriza por la fluctuación de las temperaturas del Océano en la parte central y oriental del Pacífico en la zona ecuatorial, relacionado con cambios en la atmósfera (OMM, 2014). Es considerado como uno de los moduladores principales de la

variabilidad climática a nivel global, al ser un fenómeno de interacción del Océano-Atmósfera, incidiendo en la circulación normal de la celda de Walker.

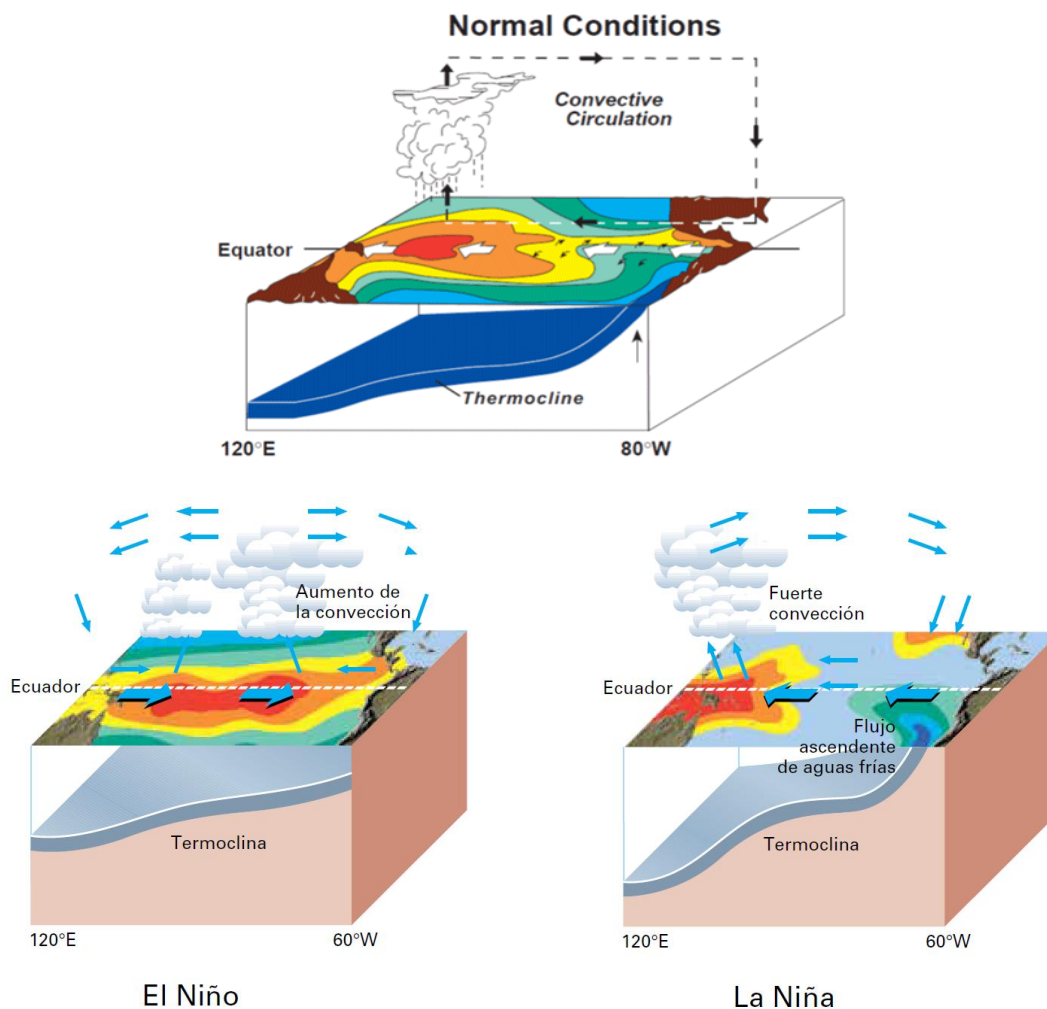


Figura 2. Esquema habitual de la circulación durante un fenómeno El Niño y La Niña.

Fuente: (NOAA, 2014).

En condiciones neutrales del ENSO (Figura 2), en la zona norte de Australia se localiza un sistema de baja presión muy fuerte y convergen dos masas de agua más cálidas en la región ecuatorial, lo que genera una zona de alta actividad convectiva. Por otro lado, en la costa occidental de Sur América se presentan aguas frías provenientes de la corriente de Humbolt y los sistemas de alta presión prevalecen en esta zona, generando procesos de subsidencia y menos desarrollo de sistemas convectivos y lluvia (NOAA, 2014).

Fase Cálida.

En la fase cálida del fenómeno, se presentan alteraciones en la presión atmosférica, seguida de un debilitamiento de los vientos Alisios del Noreste y el Sureste, lo que genera una baja tensión superficial del viento sobre el mar y facilita que las aguas del Pacífico occidental (Australia) se desplacen hacia el centro del Pacífico ecuatorial junto con las zonas de mayor convección y

precipitación. En el occidente de la costa de Sur América las aguas cálidas desplazan las aguas frías de la corriente de Humbolt, lo que genera que la Termoclina se profundiza (NOAA, 2005).

“El Niño suele empezar a mediados de año y alcanza su intensidad máxima durante el período de noviembre a enero, luego decae a lo largo de la primera mitad del año siguiente. Ocurre cada dos a siete años y puede durar entre 9 hasta 18 meses” (NOAA, 2014).

Fase Fría.

En la fase fría se presenta un aumento de los vientos Alisios en superficie, desplazando las aguas frías desde las costas occidentales de Sur América hacia el centro del Pacífico ecuatorial, profundizando la Termoclina en las costas de Australia y junto con ella las zonas de bajas presiones (NOAA, 2005).

Como lo explica la NOAA (2014) en muchos lugares, especialmente en los trópicos, La Niña produce las variaciones climáticas opuestas a las de El Niño (NOAA, 2014). Para el monitoreo y estudio del ENSO, se han diseñado una serie de índices, la mayoría de los cuales se refieren a anomalías de temperatura superficial del mar (TSM), en relación al período climático de referencia, usando generalmente medias móviles de tres a cinco meses, en la región en donde se observa la permanencia en el tiempo de dicha anomalía (Guevara, 2008). Otro tipo de índices involucran la varianza de los campos de presión entre dos puntos de referencia en el Pacífico (Darwin y Tahití) y un índice que integra no solo las anomalías de la TSM sino también del balancín de presión presente en el Pacífico ecuatorial (Guevara, 2008).

5.3. Escenarios de Cambio Climático

Los Escenarios de Cambio Climático para Colombia en la serie futuro (2011-2100), se desarrolló acorde con las nuevas metodologías generadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su quinto informe de evaluación (AR5) del año 2013. El IPCC evalúa el cambio climático donde la precipitación y temperatura depende del *forzamiento radiactivo* impuesto por la concentración de GEI en diferentes periodos a futuros (2011-2014; 2041-2070; 2071-2100).

Forzamiento Radiactivo-FR

Es un cambio en el balance radiactivo de la Tierra, a raíz de una variación en la concentración de los GEI, cambios en las propiedades reflectivas superficiales del planeta y en la radiación solar incidente. Se relaciona dos tipos de forzamiento dependiendo de la energía que se recepciona o sale de la Tierra.

- **Forzamiento Radiactivo Positivo:**

Es un aumento de la energía que se recibe a la que se emite, con tendencia a calentar más el sistema.

- **Forzamiento Radiactivo Negativo:**

Es un aumento de la energía perdida a la que no se recibe, con tendencia a enfriar más el sistema.

Para el desarrollo de los escenarios de cambio climático para Colombia, el IDEAM identificó los 16 modelos globales que mejor representan el clima de referencia de Colombia (1976 - 2005) y así iniciar con el proceso de modelación de la temperatura media y la precipitación hasta el año 2100. Para el proceso de regionalización aplicaron una metodología denominada Ensamble Promedio de Fiabilidad Conjunta (“Reliability Ensemble Averaging” REA Method, por sus siglas en inglés). Éste es un método que facilita combinar las salidas de los modelos de circulación general teniendo en cuenta dos criterios: desempeño y convergencia.

El **Primero** de ellos es un criterio de desempeño, en este sentido el modelo que disponga de la mejor representación del periodo de referencia, por lo general tiende a ser el más confiable en las simulaciones de Cambio Climático.

El **Segundo** denominado criterio de convergencia, indica que una mayor convergencia de un modelo particular hacia el futuro calculado por todos los modelos tiene mayor confiabilidad en la señal encontrada.

5.4. Modelo Cropwat y Aquacrop

La estructuración, formulación y aplicación de los modelos de cultivos ha aumentado en los últimos años, debido a su gran utilidad como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones sobre el manejo adecuado de los cultivos, considerando diferentes escenarios de clima, suelo y disponibilidad del recurso hídrico (Salazar *et al.*, 2008). Con los avances tecnológicos y desarrollo de herramientas de alta capacidad computacional, han facilitado el desarrollo de modelos agroclimatológicos que consideran el desarrollo fenológico del cultivo y la interacción de este con el sistema atmósfera-suelo-agua (López *et al.*, 2011).

En la dinámica del desarrollo de modelos de cultivos, estos se han centrado en comprender la fisiología de la planta y su posible respuesta bajo diferentes condiciones ambientales que influye en el rendimiento final del cultivo. Otro reto para los modelos ha sido la incorporación de un módulo que represente futuros escenarios de cambio climático en diferentes concentraciones de CO₂ y su impacto de estas concentraciones en los procesos fotosintéticos de la planta (Hernández *et al.*, 2009).

- **Crop Water Productivity Model**

Es una herramienta de apoyo a las decisiones desarrollada por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO. Está diseñado para estimar los requisitos de agua de los cultivos y los requisitos de riego basados en los datos del suelo, el clima y fisiología de los cultivos. Además, el programa permite el desarrollo de programas de riego para diferentes condiciones de manejo y escenarios, también se puede utilizar para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y para estimar el rendimiento del cultivo tanto en condiciones de secano como de regadío (Fernandez, 2013).

Algunas generalidades del Modelo:

- * Como una herramienta de evaluación, la comparación de los rendimientos potenciales contra los rendimientos reales de un campo, granja, o región, para identificar la brecha de rendimiento y las restricciones que limitan la producción de los cultivos.
- * La evaluación de la producción de cultivos de secano en el largo plazo.
- * El desarrollo de programas de riego para la producción máxima (estrategias en la toma de decisiones operativas), y para diferentes escenarios climáticos.
- * Programación a nivel de déficit y riego suplementario.
- * Evaluar el impacto de los programas de riego con láminas fijas en los rendimientos potenciales.
- * La simulación de secuencias de cultivos.
- * El análisis de escenarios climáticos a futuro.
- * La optimización de una cantidad limitada de agua disponible (económica, equidad y criterios de sostenibilidad).

6. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente estudio se adoptaron elementos teóricos de la ingeniería agrícola específicamente de la línea de Agroclimatología, permitiendo el análisis del fenómeno ENOS en su fase Cálida (El Niño) y Fría (La Niña), evento que se presenta cada vez con mayor frecuencia dejando enormes impactos en el sector agrícola colombiano. Se buscó principalmente evidenciar los impactos de este fenómeno de variabilidad climática y su relación con el rendimiento del cultivo de Arroz (*Oryza Sativa*), uno de los más representativos de la zona de estudio. Esta relación fue posible gracias a la utilización de un modelo agronómico que permitió simular la respuesta del cultivo teniendo en cuenta diferentes escenarios que proyectan las variaciones en los patrones climáticos. En la figura 3 se detalla el proceso metodológico planteado para el desarrollo de los objetivos propuestos en el presente documento.

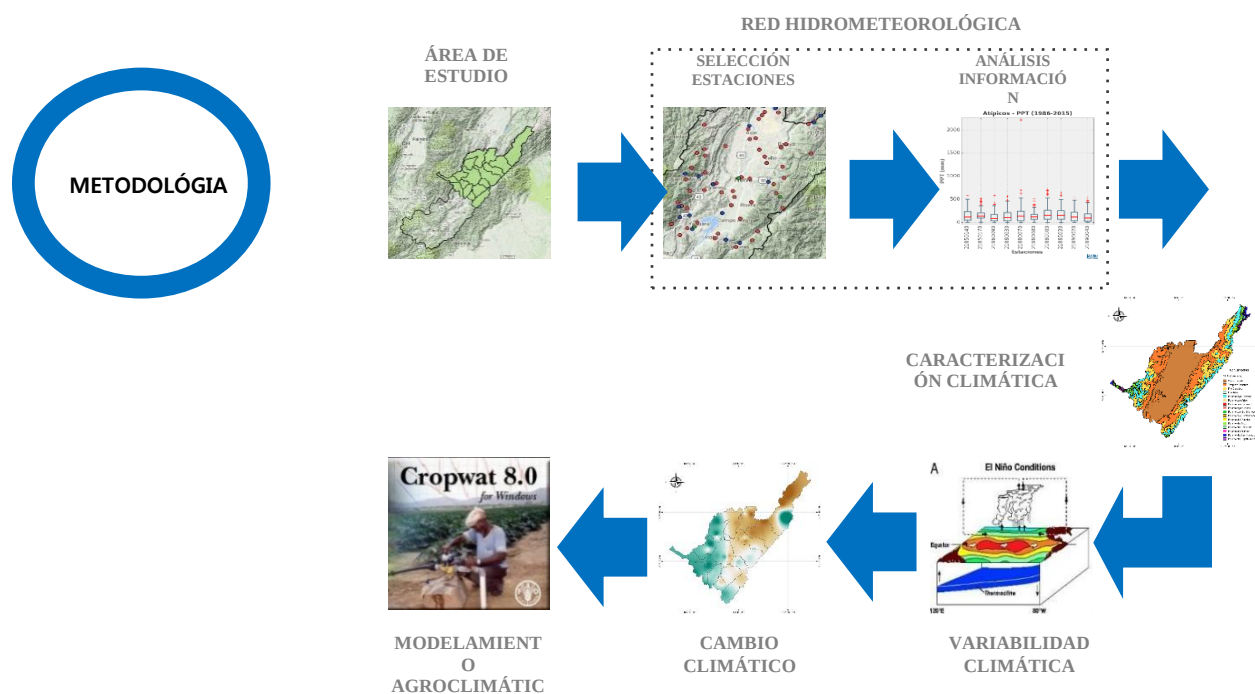


Figura 3. Esquema metodológico.

6.1. Área de Estudio

La subregión norte del departamento del Huila fue seleccionada por ser una zona de ubicación estratégica, lo que permite encontrar a lo largo de su extensión diferentes tipos de climas y zonas de vida, convirtiéndose así en un área indispensable para el desarrollo de investigaciones climatológicas.

Una vez seleccionada el área de estudio, se localizó espacialmente aplicando sistemas de información geográfica (SIG), en este caso se utilizó el software *Quantum Gis* - QGIS, caracterizado por ser de licencia abierta. Adicionalmente se realizó una recopilación de información secundaria de interés para la descripción de aspectos ambientales, sociales y económicos de la zona norte de forma general.

6.2. Red Hidrometeorológica

La información base utilizada para el desarrollo del presente trabajo fue suministrada por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – IDEAM y corresponde a series de precipitación y temperatura (media, mínima y máxima) en una resolución a escala mensual y diaria. Se utilizaron registros de 1985 hasta 2016, cumpliendo así con los estándares internacionales descritos por la OMM (1989) los cuales exigen un mínimo de 30 años para análisis de series climatológicas, facilitando el estudio de diferentes fenómenos climáticos ocurridos a lo largo del tiempo.

Complementariamente, se identificaron estaciones climáticas de entidades del sector privado, pero debido a los altos costos para acceder a la información se decidió trabajar únicamente con el banco de datos del IDEAM.

Una vez descargada la información del catálogo nacional, se identificaron las estaciones climatológicas activas localizadas en el área de estudio. Un criterio de selección consistió en eliminar las estaciones que presentaban poca información para el periodo seleccionado. El segundo criterio se direccionó en construir una base de datos que facilitó realizar una inspección visual del porcentaje de datos ausentes, encontrando que la red seleccionada no superaba el umbral del 5% de registros faltantes. Finalmente teniendo en cuenta los criterios de selección se generó la base de datos con la red climática para el desarrollo del presente estudio.

6.2.1. Análisis exploratorio de datos

Con las series de tiempo organizadas se procedió a realizar el análisis exploratorio estadístico de la información por medio del software libre y de código abierto *Jaziku*. Este software desarrollado por el IDEAM utiliza los principales índices de variabilidad climática que afectan el clima en Colombia para analizar las relaciones entre las variables meteorológicas. Se divide en tres módulos fundamentales de los cuales se utilizaron los siguientes: “Jaziku - Análisis de datos-Homogeneidad” y “Jaziku - Clima” (Ver 6.7) con el fin de evaluar la tendencia de la serie, los datos atípicos, presentar los resultados de los análisis de homogeneidad y la elaboración de la climatología de las variables (Sánchez, 2014).

- Jaziku – Análisis de datos-Homogeneidad

Este módulo presenta la estadística primaria de las series trabajadas, entre las cuales se encuentra la media, mediana, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación, además de esto se calculan histogramas, diagramas de cajas y bigotes, correlación cruzada, climogramas y se determinan los valores atípicos por medio de un análisis compuesto teniendo en cuenta las fases extremas del fenómeno ENOS.

Por otro lado, realiza un análisis cuantitativo para determinar homogeneidad de la serie Climatológica, por lo cual se utilizan pruebas paramétricas y no paramétricas como el Test-T, Test de Levene, la prueba de Mann, Witney y Wilconxon (MWW) y las curvas de masas (para la variable precipitación).

6.2.2. Datos faltantes

Con el objetivo de garantizar la calidad de la información climática se realizó el llenado de datos utilizando la herramienta de libre acceso *Rclimtool* v.2.0 desarrollada por el Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

(MADR). Esta interfaz fue creada bajo el lenguaje R y fue diseñada para facilitar el análisis de series climáticas a escala diaria de temperatura (mínima-máxima) y precipitación (Llanos, 2014). Para el manejo de esta herramienta se utilizaron datos climáticos a nivel diario de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación, nuevamente extraídos del banco de datos del IDEAM. La herramienta se encuentra dividida en diferentes módulos los cuales brindan todo lo necesario para un análisis completo de las series climatológicas. En el presente estudio se utilizaron los mencionados a continuación:

- Análisis gráfico y descriptivo
- Control de calidad
- Datos faltantes
- Análisis de homogeneidad

6.3. Caracterización Climática

6.3.1. Clasificación Climática de Caldas-Lang

En el presente trabajo se aplica la metodología del sistema de clasificación unificado de Caldas-Lang empleando el software de código abierto *Quantum Gis* – QGIS, útil para la integración de los datos por medio de interpolaciones y la representación cartográfica de las variables climáticas. Dicha clasificación es una de las más reconocidas en Colombia y ha sido utilizada en diferentes estudios por estar fundamentada en parámetros físicos y climáticos (FUNRAICES, CRC, 2010).

Se basa en la variación altitudinal de la temperatura y la efectividad de la precipitación que muestra la humedad a través del factor de Lang, coeficiente que resulta al dividir la precipitación entre la temperatura (P/T) (IGAC, 2014), dando lugar a 25 tipos de climas los cuales se encuentran referenciados en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de clima según Caldas-Lang.

N°	Tipo de clima	Símbolo
1	Cálido Desértico	CD
2	Cálido Árido	CA
3	Cálido Semiárido	Csa
4	Cálido Semihúmedo	Csh
5	Cálido Húmedo	CH
6	Cálido Superhúmedo	CSH
7	Templado Desértico	TD
8	Templado Árido	TA
9	Templado Semiárido	Tsa
10	Templado Semihúmedo	Tsh
11	Templado Húmedo	TH
12	Templado Superhúmedo	TSH
13	Frío Desértico	FD
14	Frío Árido	FA
15	Frío Semiárido	Fsa
16	Frío Semihúmedo	Fsh
17	Frío Húmedo	FH
18	Frío Superhúmedo	FSH

N°	Tipo de clima	Símbolo
19	Páramo Bajo Semiárido	PBSa
20	Páramo Bajo Semihúmedo	PBsh
21	Páramo Bajo Húmedo	PBH
22	Páramo Bajo Superhúmedo	PBSH
23	Páramo Alto Húmedo	PAH
24	Páramo Alto Superhúmedo	PASH
25	Nieves Perpetuas	NP

Fuente: (IGAC, 2014).

6.4. Variabilidad Climática

Este estudio se centró en el análisis del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) en sus dos respectivas fases: Cálida (El Niño) y Fría (La Niña), siendo el más representativo de la variabilidad climática interanual y uno de los fenómenos más estudiados en las ciencias del clima por afectar a muchas regiones del mundo, especialmente a la América tropical (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2016).

Teniendo en cuenta que existen diferentes indicadores para la estimación de las fases del fenómeno ENOS y su estado de desarrollo (IDEAM, IAvH, 2014) se trabajó específicamente con el índice de variabilidad climática ONI (Oceanic Niño Index) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, por sus siglas en inglés), por ser uno de los más usados para el análisis de eventos tropicales. Para el respectivo análisis de variabilidad se utilizó el software de libre acceso *Jaziku* especialmente el módulo “Jaziku – Clima”.

- Jaziku – Clima

En este módulo se generó la climatología de las series teniendo en cuenta las variables precipitación y temperatura bajo las fases asociadas al fenómeno de variabilidad ENOS. Inicialmente se generaron las series de valores promedio, que fueron la base para el desarrollo de la técnica de análisis compuesto, siguiendo los lineamientos propuestos por la Corporación Universitaria de Investigación Atmosférica (UCAR), la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) y el Departamento de Comercio de los Estados Unidos (DOC) y cuyo principal objetivo fue el de determinar las alteraciones de las variables frente a la presencia de los fenómenos “La Niña”, “El Niño” y en condiciones normales.

El resultado de esta técnica fue la tabla de contingencia la cual se empleó para analizar la relación entre las variables, permitiendo representar el análisis de las series por medio de un Análisis Espectral el cual da como resultado información en forma de gráficos (Periodograma y Análisis de Wavelet) (Sánchez, 2014).

6.5. Cambio Climático

Con el fin de determinar el comportamiento que presentará el clima en el futuro para esta zona específica del departamento se realizó un análisis de las variables precipitación y temperatura teniendo en cuenta los Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 presentados por el IDEAM (2015) y que siguen los lineamientos generados por el IPCC (Panel

intergubernamental de Cambio Climático por sus siglas en inglés) en su último informe (AR5) emitido en el año 2013.

La Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático evalúa los posibles cambios a partir de cuatro escenarios denominados RCP o “Camino Representativo de Concentración” por sus siglas en inglés, los cuales dependen de la concentración esperada de gases de efecto invernadero (GEI) y contemplan tres periodos diferentes (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100). Para este caso específico se trabajó con una escala de tiempo a corto plazo, el cual comprende el periodo 2011-2040, utilizando los valores promedio de los diferentes escenarios.

Las series de cambio climático utilizadas para el desarrollo de esta fase fueron analizadas mediante el software *Statistica* v.8.0 y corresponden a estaciones con variables de precipitación y temperatura media de la subregión norte del Huila, las cuales fueron divididas por zonas para lograr un análisis detallado de la información. El uso de este paquete estadístico permitió el análisis gráfico de los datos por medio de histogramas y diagramas box-plot.

Finalmente, la información fue manejada mediante el software de código abierto *Quantum Gis – QGIS* para la generación de los mapas y espacialización correspondiente a las variables meteorológicas.

6.6. Modelamiento Agroclimático

Esta última fase se centró en simular la respuesta del rendimiento del cultivo de Arroz (*Oryza Sativa*) teniendo en cuenta que es uno de los cultivos más representativos de la subregión norte del departamento del Huila. Se escogió específicamente el municipio de Villavieja debido a la disponibilidad de la información requerida, la cual fue suministrada por centros de investigación durante la primera fase del proyecto.

Para este estudio se trabajó con el modelo agroclimático desarrollado por la división de tierras y aguas de la FAO, CropWat, el cual permite el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos basado en datos de clima, suelo y cultivo (Fernández, 2013). Para el ajuste del modelo se tuvieron en cuenta las variables meteorológicas precipitación, temperatura máxima y mínima, humedad, viento, e insolación, para diferentes años por lo que se utilizó la información de la estación San José (21115060) (Anexos 38-41) teniendo en cuenta los siguientes criterios climáticos:

- Clima histórico – (1985-2016)
- Año Neutro – (1993)
- Año con ENOS fase Cálida (El Niño) – (1997 -1998)
- Año con ENOS fase Fría (La Niña) – (2010/2011)

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. Área de Estudio

La zona norte del departamento del Huila está ubicada al sur-occidente del país, su orografía está comprendida por el Valle del río Magdalena y se encuentra rodeado de sur a norte por las cordilleras Central y Oriental las cuales determinan las características geológicas de la zona y establecen la variedad de paisajes, relieves, suelos y climas (Gobernación del Huila, 2015).

Comprende los municipios de Aipe, Algeciras, Baraya, Campoalegre, Colombia, Hobo, Iquira, Neiva, Palermo, Rivera, Santa María, Tello, Teruel, Villavieja y Yaguará (Ver figura 4) y posee una superficie aproximada de 9600 km² lo que representa el 48,5% de la superficie total del departamento, esta es la subregión más poblada de las cuatro subregiones del departamento del Huila ya que hasta el año 2005 contaba con 510.826 habitantes seguido por la subregión sur con 236.787 habitantes (DANE, 2008).

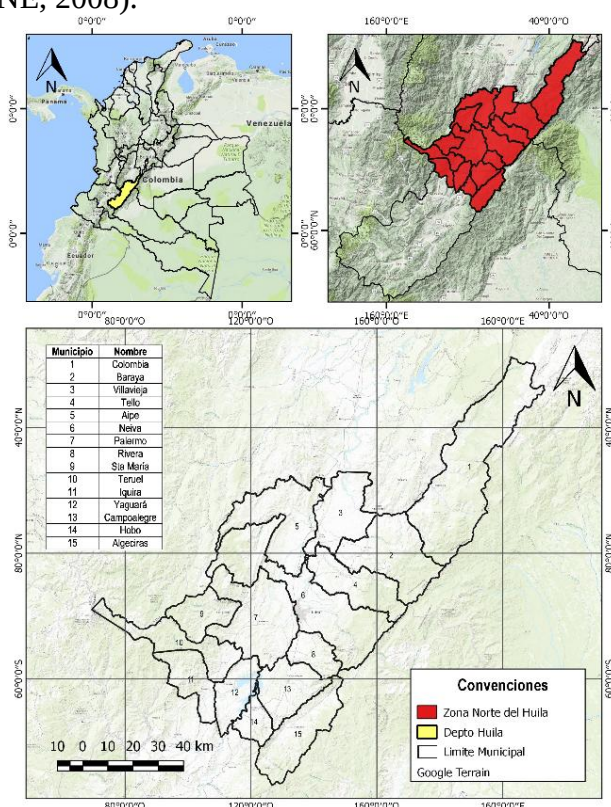


Figura 4. Georreferenciación de la zona de estudio.

Por sus características físicas, geográficas, geológicas y su variabilidad climática, sumadas a las condiciones de vulnerabilidad económica y social, esta es una zona que ha enfrentado diferentes amenazas naturales (Gobernación del Huila, 2015) generando daños en la infraestructura vial, obras hidráulicas, viviendas y cultivos, afectando a diferentes comunidades urbanas y rurales (Soto, 2012). Lo anterior, sumado a que el Huila y específicamente la zona norte, es una región de producción agropecuaria, donde este sector es uno de los más importantes para la economía, la convierte en una zona propia para el desarrollo de estudios de carácter climatológico, con el fin de prevenir o minimizar los impactos que denotan los cambios adversos del clima, contribuyendo con el fortalecimiento de la economía campesina.

7.2. Climatología

7.2.1. Red Hidrometeorológica

En total son 47 las estaciones meteorológicas activas dispuestas por el IDEAM y que se encuentran monitoreando de forma permanente la zona norte del departamento del Huila. Su distribución espacial se puede apreciar en la figura 5.

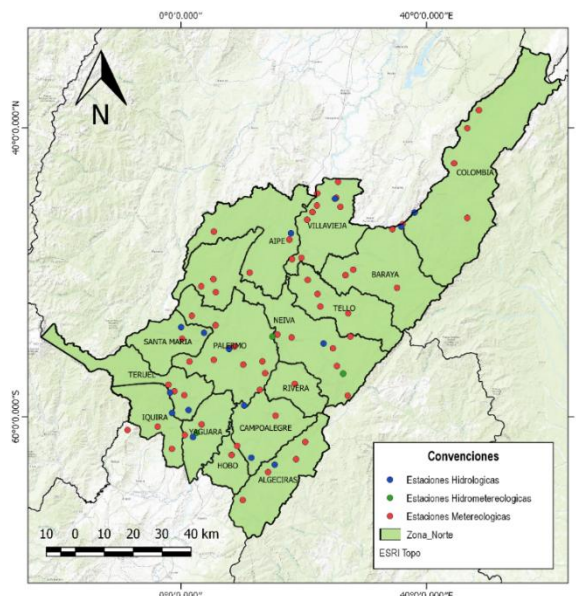


Figura 5. Red hidrometeorológica del área de estudio.

Para el análisis de la dinámica climática, se escogieron 44 estaciones (Ver Tabla 3) teniendo en cuenta una serie de criterios técnicos para su selección. Estas se encuentran divididas en 31 pluviométricas (PM), seis climatológicas ordinarias (CO), cuatro pluviográficas (PG), dos Agrometeorológicas (AM) y una sinóptica principal (SP).

Tabla 3. Red de estaciones climatológicas.

N°	Estación	Municipio	Código	Altitud	Categoría*	Periodo
1	Apto Benito Salas	Neiva	21115020	439	SP	1985-2016
2	La Manila	Baraya	21115160	600	AM	1985-2016
3	San Alfonso	Villavieja	21145040	440	AM	1985-2016
4	Praga	Aipe	21130110	1085	PG	1985-2016
5	Sta Helena	Neiva	21110400	1160	PG	1985-2016
6	La Gironda	Neiva	21110430	1060	PG	1985-2016
7	La Mina	Teruel	21080080	1800	PG	1985-2016
8	Pérez	Aipe	21130050	450	PM	1985-2016
9	Nuevo Paraíso	Algeciras	21100080	1525	PM	1985-2016
10	La Arcadia	Algeciras	21100140	1380	PM	1985-2016
11	Baraya	Baraya	21110070	615	PM	1985-2016
12	Arizona	Baraya	21140030	638	PM	1985-2016
13	El Venado	Colombia	21140010	584	PM	1985-2016
14	Miraflores	Colombia	21140080	1049	PM	1985-2016
15	El Hobo	Hobo	21060090	636	PM	1985-2016
N°	Estación	Municipio	Código	Altitud	Categoría*	Periodo

16	San Luis	Neiva	21130040	1140	PM	1985-2016
17	Órganos	Neiva	21130080	800	PM	1985-2016
18	El Cucharo	Palermo	21090020	620	PM	1985-2016
19	Papagayo	Palermo	21090040	460	PM	1985-2016
20	Santa Barbara	Palermo	21090110	454	PM	1985-2016
21	El Totumo	Palermo	21120090	700	PM	1985-2016
22	El Carmen	Palermo	21130060	2250	PM	1985-2016
23	El Volcan	Palermo	21120100	1105	PM	1985-2016
24	El Guadual	Rivera	21110440	735	PM	1985-2016
25	Hato Milagro	Tello	21110040	548	PM	1985-2016
26	Mesa Redonda	Tello	21110160	500	PM	1985-2016
27	Hato Bogotá	Tello	21110180	591	PM	1985-2016
28	Las Herreras	Teruel	21080100	1800	PM	1985-2016
29	Potosí	Villavieja	21110090	400	PM	1985-2016
30	La Yegüera	Villavieja	21110120	400	PM	1985-2016
31	La Victoria	Villavieja	21110290	400	PM	1985-2016
32	San Juanito	Villavieja	21140100	368	PM	1985-2016
33	Polonia	Villavieja	21110330	429	PM	1985-2016
34	El Tomo	Villavieja	21140110	444	PM	1985-2016
35	Yaguará	Yaguará	21080030	600	PM	1985-2016
36	Santa Rosa	Yaguará	21080070	650	PM	1985-2016
37	Yarumal	Nátaga	21050170	1950	PM	1985-2016
38	El Hatillo	Tesalia	21050140	900	PM	1985-2016
39	La Legiosa	Colombia	21145070	1476	CO	1985-2016
40	Santa Ana	Colombia	21145080	1410	CO	1985-2016
41	Palacio-Vegalarga	Neiva	21115100	1100	CO	1985-2016
42	El Juncal	Palermo	21095010	460	CO	1985-2016
43	Santa María	Santa María	21125010	1300	CO	1985-2016
44	San José	Villavieja	21115060	400	CO	1985-2016

*Categoría de estación: SP: Sinóptica principal, AM: Agrometeorológica, PG: Pluviográfica, PM: Pluviométrica, CO: Climatológica ordinaria.

De esta forma, se utilizó información de las series históricas de las variables meteorológicas con una resolución a escala mensual del periodo 1986-2015 de las estaciones que se encuentran relacionadas en la Tabla 3.

7.3. Consistencia y Validez

Aunque con el paso del tiempo la observación y la recopilación de información meteorológica ha ido mejorando, los datos más antiguos presentan falencias en cuanto a calidad y cantidad generando resultados erróneos (Castro & Carvajal, 2010).

De esta forma, por ser este un estudio que implica el análisis de series climatológicas fue indispensable recurrir a la aplicación de métodos estadísticos los cuales permitieron reducir la incertidumbre asociada a los registros. A continuación, se presentan los resultados obtenidos con el uso del software de código abierto *Jaziku*, desarrollado por el IDEAM.

7.3.1. Análisis Exploratorio de Datos (AED)

El análisis de la información climática mediante técnicas gráficas se realizó para el periodo 1985-2016 con una selección final de 44 estaciones para la región norte del Huila, enfocado en las variables meteorológicas: precipitación y temperatura media del aire. Para cuestiones de homogeneidad y análisis fue necesario dividir la subregión norte en cuatro zonas debido a la gran cantidad de datos. De estas zonas fueron elegidas ocho estaciones para precipitación y seis para temperatura por ser las más representativas de municipios ubicados en áreas estratégicas. Las demás estaciones podrán ser detalladas en los Anexos.

Precipitación

Debido a la ubicación del territorio colombiano en la zona tropical, la variable meteorológica en la que se expresa mayormente la variabilidad climática es la precipitación (IDEAM, UNAL, 2018); razón por lo cual fue una de las variables analizadas en el presente trabajo, permitiendo visualizar su comportamiento y relación con el ciclo El Niño/La Niña Oscilación del Sur en diferentes puntos de la zona norte del Huila.

- *Histograma de frecuencias*

El histograma de frecuencias es un gráfico estadístico clásico en el AED y permite visualizar la distribución espacial de los datos en cada una de las estaciones (De corso & Pinilla, 2017). En los diagramas de la Figura 6 es posible notar que para la mayoría de las estaciones la distribución tiene un comportamiento similar, evidenciando un sesgo a la izquierda con asimetría positiva, es decir que los datos están concentrados en los valores inferiores de la distribución.

Las lluvias se concentran con mayor frecuencia en rangos de 0 a 100 mm, evidenciando las características propias del valle del alto Magdalena, donde particularmente se presentan las áreas más cálidas y de menor precipitación del departamento (Gobernación del Huila, CAM, USAID, FCMC, E3, 2014). Por otro lado, la estación La Legiosa (21145070) presenta una distribución más simétrica, con mayor frecuencia en rangos de 100 a 200 mm y precipitaciones levemente mayores debido a que se encuentra ubicada en las estribaciones de la cordillera oriental.

En general los valores presentados en los histogramas reflejan las condiciones de la zona donde las menores lluvias se encuentran en las zonas ubicadas a lo largo de la Cordillera Oriental y en el Valle del Alto Magdalena (0-500 mm) (Arango *et al.*, s. f.).

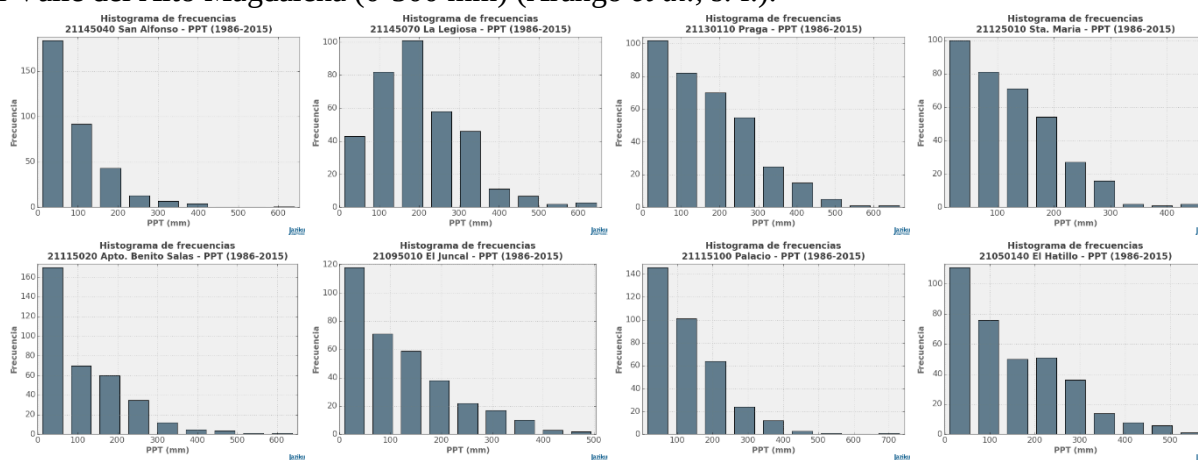


Figura 6. Histogramas de frecuencias para precipitación periodo 1985-2016.

- Datos Atípicos

A continuación, se presentan los diagramas de caja y bigotes (Box plot) con sus respectivos datos atípicos generados por *Jaziku* para la variable precipitación de las estaciones escogidas. Por medio de estos gráficos se ofrece una representación visual de los datos en los que intervienen cinco valores: mediana, cuartiles primero y tercero, y los valores máximo y mínimo (García *et al.*, 2006) donde se presenta información sobre la tendencia central, dispersión y simetría de los datos de estudio.

De acuerdo con la información presentada en la Figura 7 es posible notar estaciones con un grado moderado de dispersión y gran cantidad de datos atípicos concentrados en precipitaciones altas los cuales se encuentran representados en el gráfico por puntos en forma de (+). La información fue revisada detalladamente con el fin de verificar que estos datos no fueran errores de la serie y se encontró que coincidían en la mayoría de los casos con periodos influenciados por el fenómeno ENOS, por lo tanto, no fue necesario descartar ningún valor.

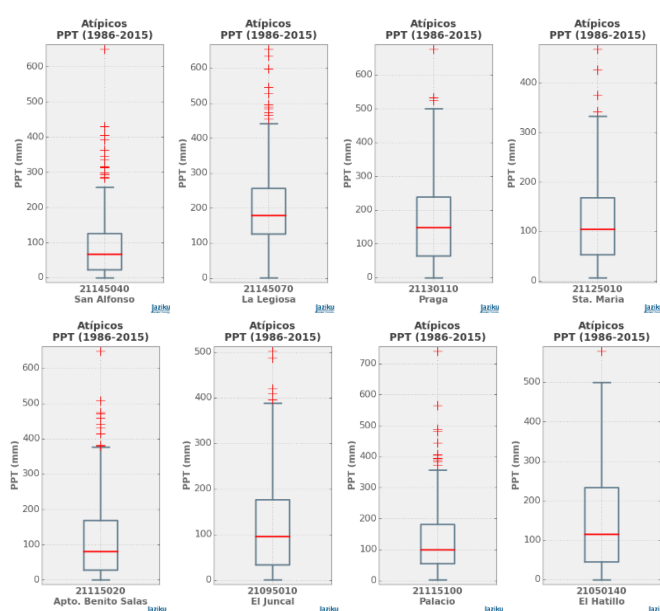


Figura 7. Diagrama de caja y bigotes para precipitación.

- Climatología multianual

En la Figura 8 se presentan los climogramas de algunas estaciones representativas de la zona donde a partir de los datos históricos de precipitación se observa la distribución de las lluvias a través del año y sus valores máximos y mínimos registrados (Almorox, 2010).

Con estos gráficos es posible constatar que en esta zona se evidencia un régimen de precipitación propio de la región Andina el cual presenta dos temporadas de abundantes lluvias (una en marzo-mayo otra en septiembre-noviembre), una temporada seca bien marcada en los meses de junio-agosto, y una segunda con volúmenes de lluvias cercanos a los 100 mm; causado por el efecto del paso de la Zona de Confluencia Intertropical-ZCIT la cual se caracteriza por la convergencia de los vientos alisios del noreste y sureste, que transportan humedad desde el océano Atlántico y la selva amazónica (CEPAL, DNP, BID, 2014) y que es considerada como una de las más

importantes fluctuaciones climáticas de la escala estacional (Montealegre & Pabon, 2000) y el principal componente generador de lluvias en el país (Guzmán *et al.*, 2014).

Por otro lado, es posible apreciar que la estación La Legiosa presenta un comportamiento de una época de mayor lluvia propio de los Llanos orientales y la región Amazónica con máximos de lluvia de 346 mm en los meses de junio-julio, que además son los meses con mayor variabilidad, donde la precipitación puede variar hasta en 400 mm, y una temporada seca en los meses de diciembre a febrero que alcanzan mínimos de 64 mm. Lo anterior como lo explica Guzmán *et al.* (2014) es debido principalmente a las particularidades topográficas del sistema montañoso, el cual permite el desarrollo de una transición entre los regímenes monomodales y bimodales de la precipitación que se presenta en regiones aledañas. De la misma forma los sistemas de nubosidad asociados a la circulación local de la vertiente oriental y a su vez la influencia de la altitud, la orientación de las montañas y la actividad convectiva de esta localidad generan las características propias de esta estación (Jaramillo & Chaves, 2000).

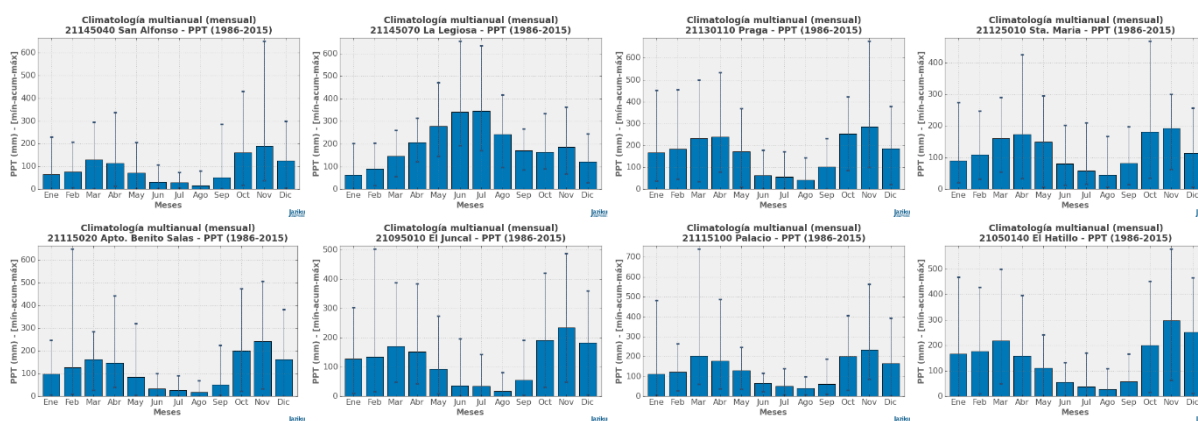


Figura 8. Promedio mensual multianual para precipitación.

- Anomalías

El clima es entendido como el conjunto de condiciones medias del tiempo atmosférico, agrupadas por épocas del año, no obstante, distintos fenómenos pueden influir en su variabilidad en alteraciones reflejadas a través de las anomalías climatológicas (Sánchez, 2014). Dichas anomalías fueron determinadas en este estudio mediante la diferencia entre el valor registrado de la variable y la Normal Climatológica, que es descrita por Montealegre & Pabon (2000) como el valor promedio de una serie de mediciones durante un periodo de por lo menos 30 años para una variable climatológica.

En la Figura 9 se evidencian las salidas gráficas a manera de histograma de frecuencias para las estaciones de análisis, las cuales se encuentran sesgadas a la izquierda y no presentan una distribución normal. En términos generales se pueden observar anomalías negativas de precipitación, es decir que se presentan con mayor frecuencia lluvias por debajo de la media, pero con valores muy cercanos a lo normal; en menor proporción se registran rangos ligeramente por encima de los valores normales como es el caso de la estación San Alfonso.

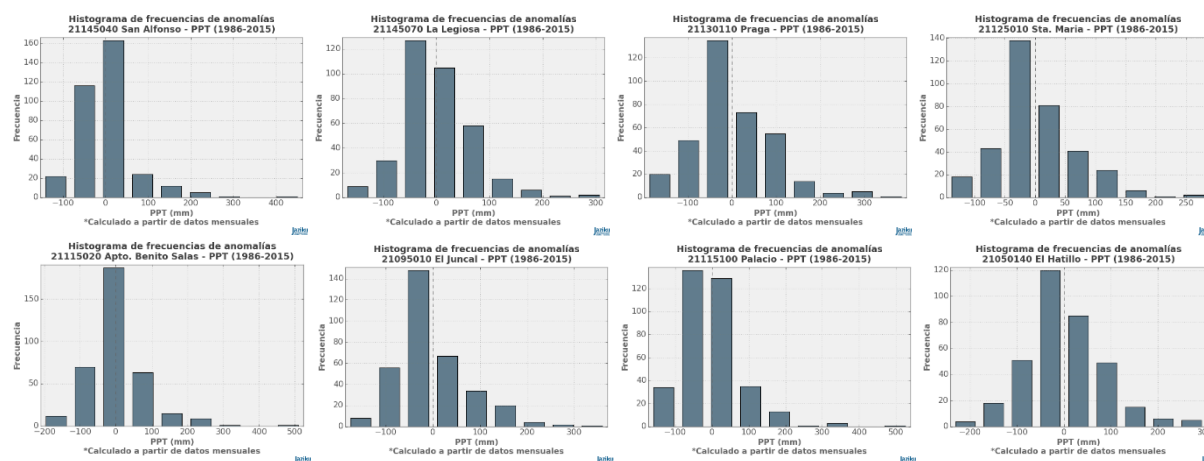


Figura 9. Anomalías de precipitación.

- Correlación cruzada

La Figura 10 muestra el grado de relación entre la variable precipitación y el Índice Oceánico de El niño (ONI por sus siglas en inglés) teniendo en cuenta el método paramétrico coeficiente de correlación lineal de Pearson. Es posible observar que en casi todas las estaciones se presentan correlaciones bajas para los diferentes rezagos, siendo la estación Palacio-Vegalarga la que alcanzó la mayor correlación con índice de -0.4. Se aprecia una correlación inversa en el tiempo para rezagos que oscilan entre (-10) y (10), lo que indica que el índice está relacionado con disminuciones o aumentos en la precipitación con rezagos negativos de aproximadamente 5 y 6 meses.

Por otro lado, la estación La Legiosa presenta un comportamiento irregular con coeficientes de correlación muy cercanos a cero, indicando la mínima asociación entre las variables correlacionadas, es decir, poca respuesta a cualquiera de las fases del fenómeno ENOS. Lo anterior se puede presentar debido a que las precipitaciones en esta zona están condicionadas básicamente por factores orográficos, circulaciones locales y por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) (Ramírez *et al.*, 2018) (Navarro *et al.*, 2017).

Aunque en términos generales la magnitud del efecto del fenómeno ENOS no es tan significativa, si intensifica o suaviza la señal de la variable precipitación para esta zona conduciendo a la generación de anomalías climáticas bastante notorias.

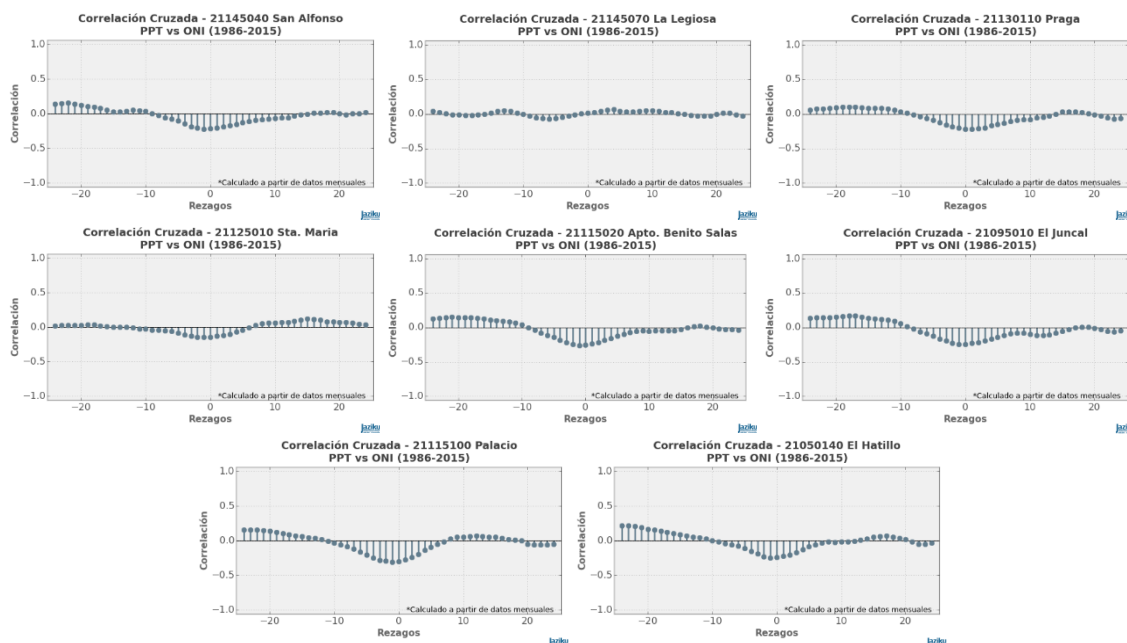


Figura 10. Coeficiente de correlación lineal entre el índice ONI y la variable precipitación.

- Inspección de series

Los diagramas de la Figura 11 presentan simultáneamente los promedios mensuales multianuales de la variable precipitación y la secuencia del índice ONI en las condiciones de El Niño (valores positivos) y su fase opuesta La Niña (valores negativos) a lo largo del periodo de análisis, el cual es calculado como la media móvil de tres puntos de la serie mensual de anomalías de la temperatura de la superficie del mar en la Región Niño 3-4 (Montealegre, 2012) y una de las mayores bases que mide el fenómeno climático (Tootle *et al.*, 2008).

Con este gráfico es posible identificar fluctuaciones muy variadas en la precipitación de un año a otro, influenciadas de gran manera por el fenómeno más estudiado en la escala de variabilidad interanual para la zona tropical: El Niño/La Niña Oscilación del Sur.

Las estaciones Palacio y el Hatillo reflejan el incremento de las lluvias producidas como consecuencia del fenómeno ENOS fase fría del año 1988-1989, que para el caso específico de la estación Palacio presentó un máximo de 741.1mm mensuales y un valor del ONI que alcanzó un mínimo de -1.8. Así mismo se observa que las estaciones Praga, Apto. Benito Salas y el Hatillo reflejan la disminución de la precipitación en el año 2015, donde se encontraron meses en los que no se presentaron lluvias (0 mm) y valores del índice ONI mayores a 2.0 los cuales coinciden perfectamente con El Niño de intensidad muy fuerte ocurrido en los años 2015-2016.

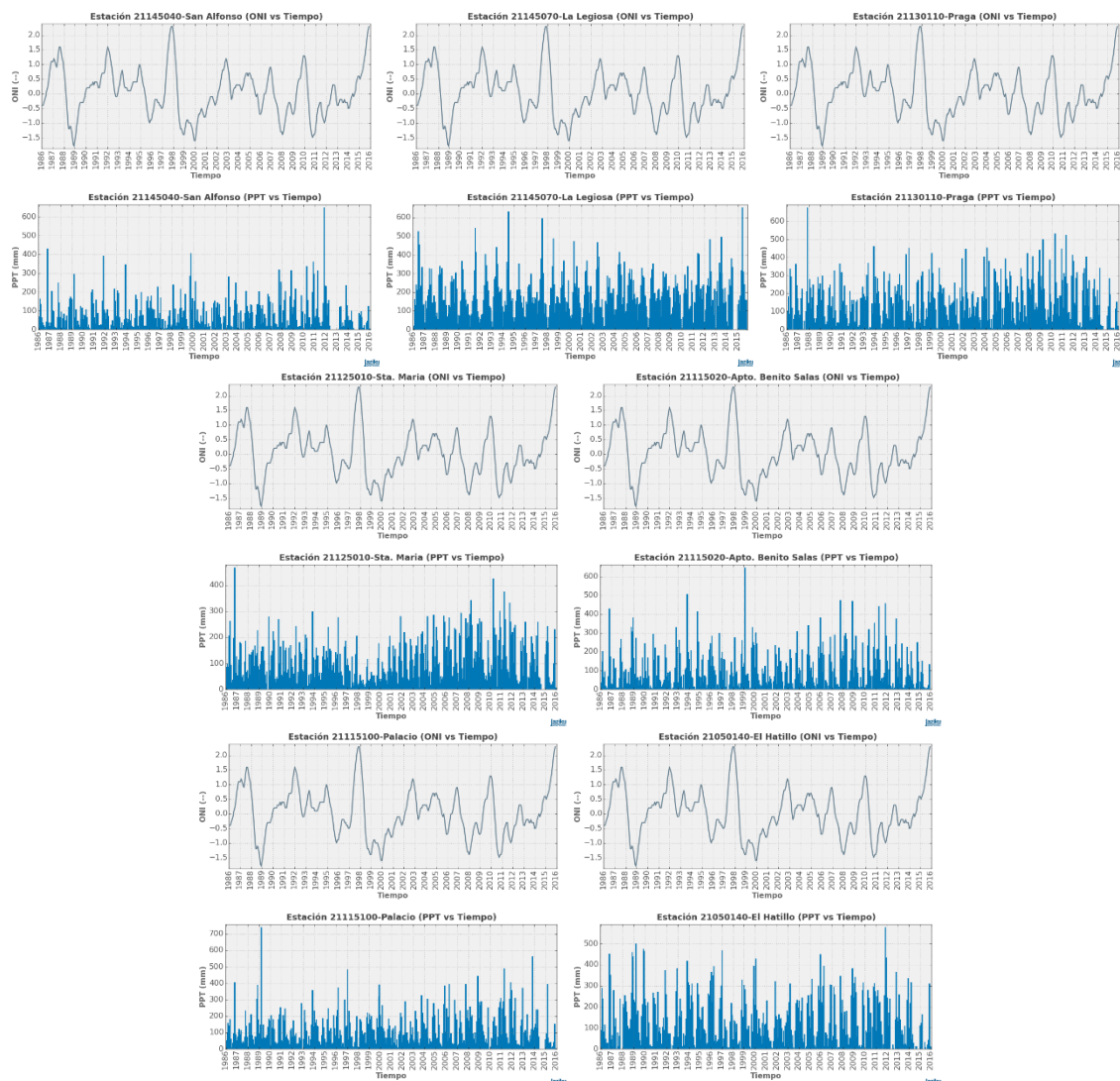


Figura 11. Diagrama superior: Comportamiento de la precipitación para el periodo de referencia 1985-2016. Diagrama inferior: Distribución del Índice Oceánico de El Niño - ONI entre 1985-2016.

Temperatura

La temperatura del aire es sin duda otro de los parámetros meteorológicos más importantes en el análisis de los patrones climáticos y uno de los más utilizados en la climatología. El aumento de esta variable es uno de los indicadores de las variaciones en el clima del planeta y es indispensable para el estudio del cambio climático vinculado con el calentamiento global actual (Milán, 2011). Por tal razón se realizó el análisis estadístico de esta variable para 6 estaciones representativas de la zona y sus resultados se presentan a continuación.

- *Histograma de frecuencias*

De la Figura 12 se puede establecer que las estaciones no presentan una distribución normal y cada una evidencia rangos de frecuencia muy diferentes con comportamientos asimétricos. Como era de esperarse las estaciones San Alfonso, Apto. Benito Salas y El Juncal son las que presentan

las mayores frecuencias en rangos de temperaturas elevadas que oscilan entre 25 y 31°C lo que refleja las condiciones del Valle del río Magdalena, como lo registra Arango *et al* (s. f.) quien afirma que para la región Andina las zonas cercanas a los Valles de los principales ríos presentan los valores más altos de temperatura (23 y 26°C). Las estaciones Santa María y Palacio-Vegalarga registran frecuencias altas en temperaturas de 21 y 23°C respectivamente y por último La Legiosa es la que presenta frecuencias mayores para temperaturas bajas de aproximadamente 19°C, lo que evidencia las variaciones determinadas por el gradiente térmico.

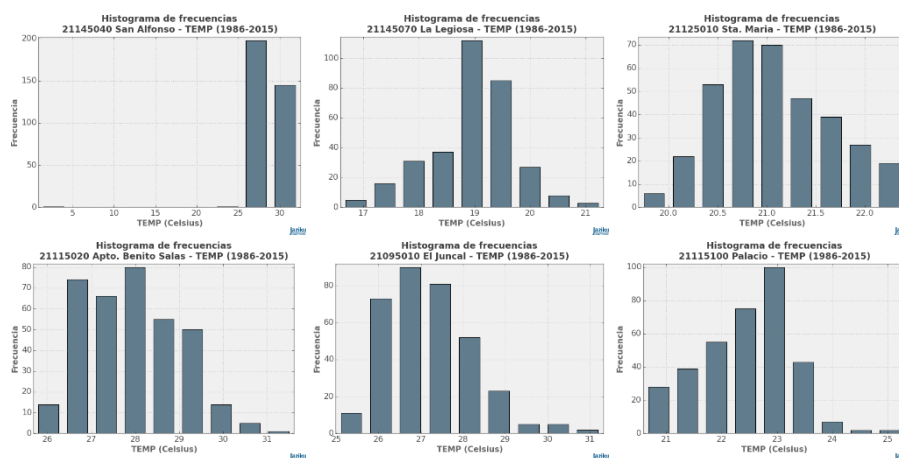


Figura 12. Histograma de frecuencias para temperatura.

- Datos Atípicos

Los diagramas de caja y bigotes para la variable temperatura (Figura 13) presentan poca cantidad de datos anómalos y en general evidencian la distribución de la información con un grado moderado de dispersión. En la estación San Alfonso es posible notar un valor atípico (*outlier*) correspondiente a 1°C; para este caso particular se realizó una revisión de la información histórica y se concluyó que se trataba de un dato erróneo pues no reflejaba la realidad física de la temperatura en la zona y tampoco estaba relacionado con eventos extremos, por lo tanto, para no generar ruido en los resultados el dato fue eliminado.

Para las demás estaciones los valores atípicos que en su mayoría se encuentran en temperaturas altas, fueron validados y se decidió mantenerlos, ya que están asociados directamente con fases extremas del ciclo ENOS. En la estación La Legiosa se detectaron *outliers* por encima de los límites inferior y superior, por lo que se puede concluir que se presenta la influencia directa de fenómenos climáticos que provocan el aumento y la disminución de la temperatura en esta zona.

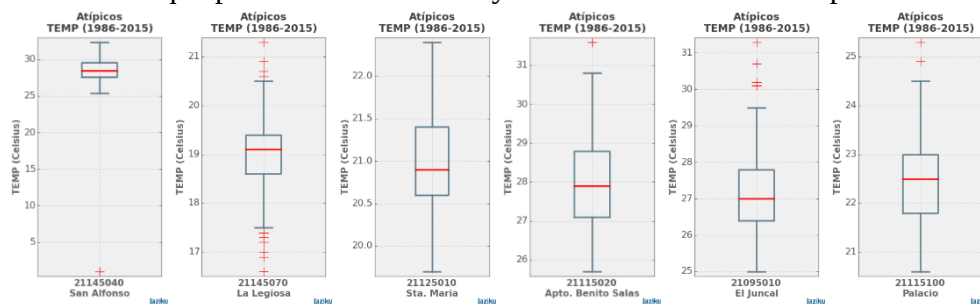


Figura 13. Diagramas de caja y bigotes para temperatura.

- Climatología multianual

El comportamiento de la temperatura media mensual en grados Celsius para el periodo de análisis se puede observar en la Figura 14, donde es claro que para las estaciones San Alfonso, Apto. Benito Salas, El Juncal y Palacio el régimen bimodal se encuentra bien definido, dado que la temperatura se eleva hasta valores cercanos a los 30°C en época de verano, específicamente en los meses de junio-agosto y decrece a partir de septiembre cuando se da inicio a la segunda temporada de lluvias del país, hasta alcanzar temperaturas mínimas de hasta 21°C en el mes de noviembre.

La estación Santa María presenta un comportamiento similar, pero a diferencia de las demás su temperatura aumenta hasta el mes de abril y decrece en los meses de mayo a julio. Para el caso particular de la estación La Legiosa, los valores mínimos se presentan en el mes de julio con temperaturas bajas que rodean los 17.5°C, el resto del año las temperaturas se incrementan moderadamente hasta alcanzar su máximo valor en el mes de febrero (20°C), su comportamiento es típico del régimen monomodal, característico del sur del departamento.

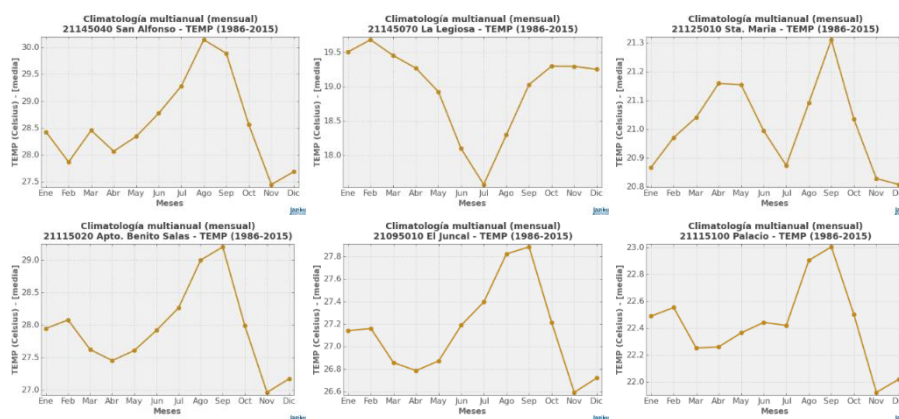


Figura 14. Promedio mensual multianual de la temperatura media del aire.

- Anomalías

En los histogramas de la Figura 15 se presentan las anomalías calculadas para temperatura en el mismo periodo de estudio. A excepción de la estación La Legiosa que se acerca más a una distribución normal, las demás estaciones presentan distribuciones sesgadas a la derecha como es posible observar en la estación Palacio, lo que quiere decir que se presentan con mayor frecuencia valores de temperatura por encima de lo normal y sesgos a la izquierda para las demás estaciones que evidencian anomalías negativas o comportamientos por debajo de las condiciones promedio (San Alfonso, Sta. María, Apto. Benito Salas y El Juncal).

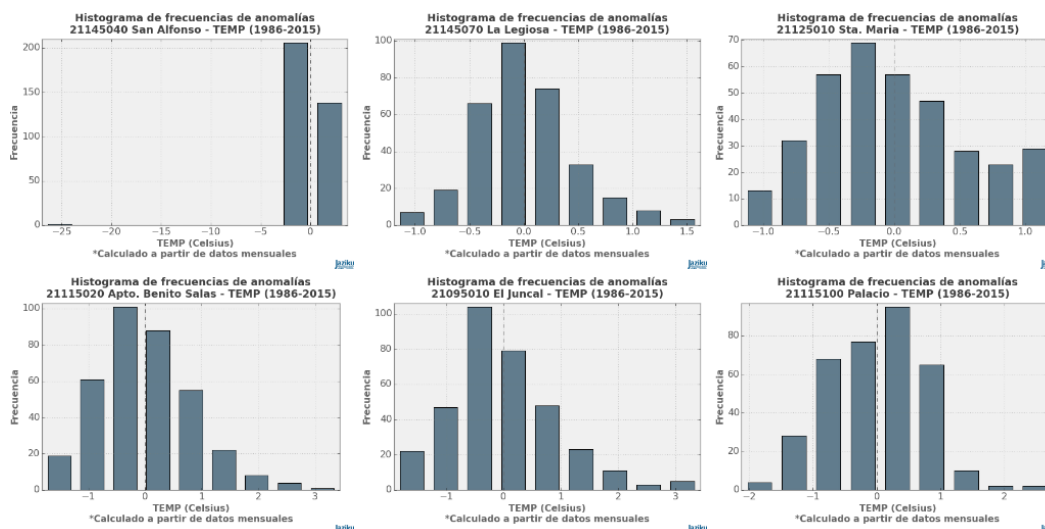


Figura 15. Anomalías de temperatura.

- *Correlación cruzada*

Una forma de estudiar la influencia del fenómeno ENOS sobre la variable temperatura es mediante la estimación de correlaciones cruzadas (Figura 16), que no es más que una medida lineal de similitud entre dos señales y mediante su análisis se logra obtener información acerca de la estructura espacial y temporal de las variables (Montealegre, 2009). En general, en los diagramas se observa una correlación positiva o directa alta para casi todas las estaciones, exceptuando la estación Sta. María que presenta coeficientes muy cercanos a cero. Por otro lado, la estación Apto. Benito Salas presentó el coeficiente de correlación máximo de $r = 0.5$, con un rezago negativo de varios meses lo que indica que la variable temperatura presenta una respuesta retardada ante las fluctuaciones del índice ONI.

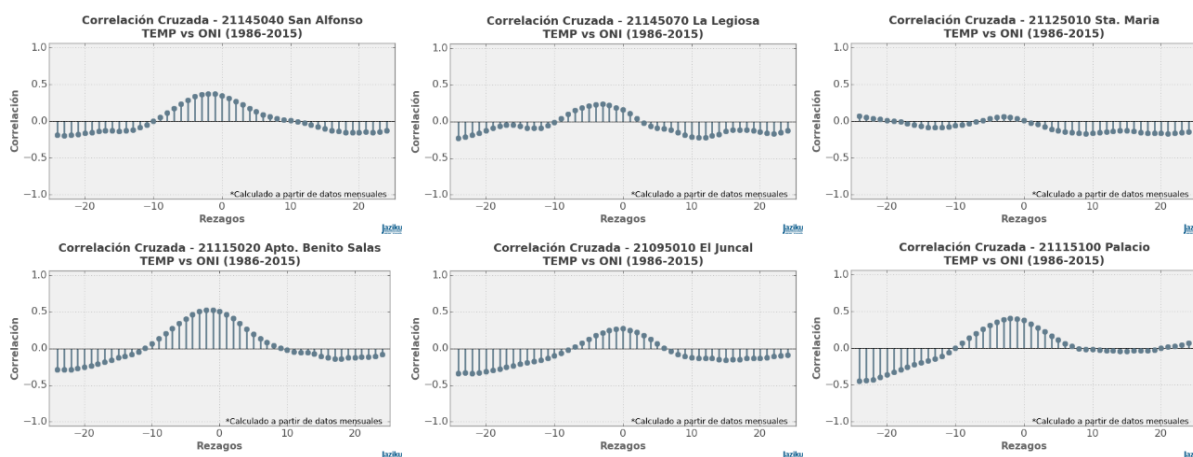


Figura 16. Coeficiente de correlación lineal entre el índice ONI y la variable temperatura.

- *Inspección de Series*

Los diagramas de la Figura 17 muestran el comportamiento de la temperatura vs el índice Oceánico de El Niño (ONI - Oceanic Niño Index) desarrollado por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, por sus siglas en inglés) como medida de El Niño/La Niña-Oscilación del Sur.

La temperatura sigue un patrón muy determinado por la altitud (Arango *et al.*, 2012), lo que se confirma mediante la relación entre las estaciones ubicadas en la parte más baja de la zona como son San Alfonso, Apto. Benito Salas y El Juncal que presentan valores máximos de 32°C y mínimos de 25°C; así mismo, se evidencia la correlación en las estaciones situadas a mayor altitud, en las estribaciones de la cordillera oriental y occidental, tales como Santa María, Palacio y La Legiosa ubicadas respectivamente a 1300, 1100 y 1476 msnm las cuales presentan valores muy similares con rangos que oscilan entre los 25 y 20°C. Cabe resaltar que la estación San Alfonso presentó una pequeña perturbación debido al dato atípico registrado en la serie histórica razón por la cual no fue posible observar con claridad el comportamiento de la variable.

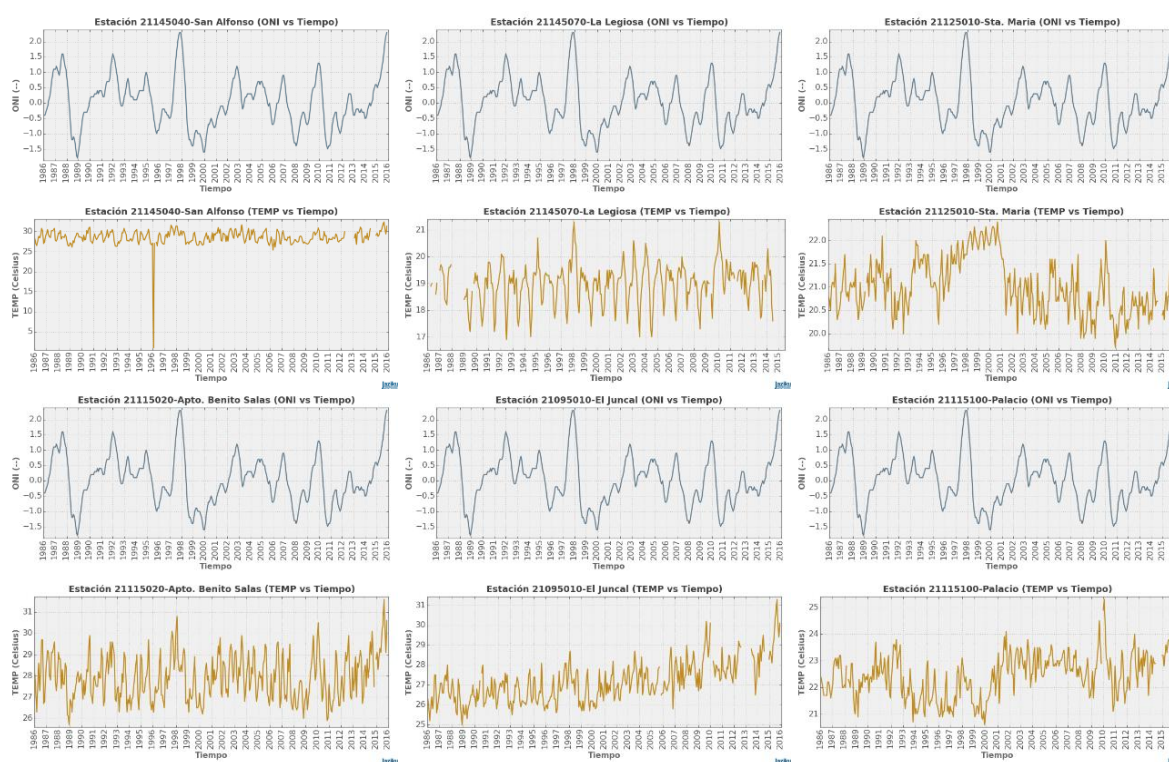


Figura 17. Diagrama superior: Comportamiento de la temperatura para el periodo de referencia 1985-2016. Diagrama inferior: Secuencia del Índice ONI a lo largo del tiempo.

La estación Apto. Benito Salas fue la que mejor reflejó las consecuencias generadas por varios fenómenos interanuales ocurridos a lo largo del tiempo como “El Niño 1997-98”, “La Niña 2010-11” y “El Niño 2015-16”, donde la temperatura registró valores por encima y por debajo del promedio normal. Por otro lado, los gráficos de la estación Apto. Benito Salas, El Juncal y Palacio fueron las que mejor representaron los cambios en la temperatura media del aire, principalmente en la última década, como consecuencia del calentamiento global de la atmósfera, el cual ha aumentado su ritmo considerablemente en los últimos 50 años (IDEAM, UNAL, 2018).



7.3.2. Análisis de Normalidad y Homogeneidad

Para culminar con el análisis de las series se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad, especialmente curvas de masa para la variable precipitación, el test de normalidad Shapiro-Wilk y algunas de las pruebas paramétricas y no paramétricas más utilizadas como el Test T, Test de Levene y el Test MWW, con el objetivo de validar los datos, determinar la tendencia e identificar las estaciones que cumplen con el supuesto de homogeneidad.

Precipitación

- Curva de masas

Se presentan las curvas de masa o diagrama de Rippl para las estaciones de análisis (Figura 18), donde es posible observar la lluvia acumulada (mm) a lo largo del periodo de tiempo seleccionado (1985-2016), lo que permitió verificar la homogeneidad de la información e identificar la existencia de anomalías climáticas para algunos períodos específicos.

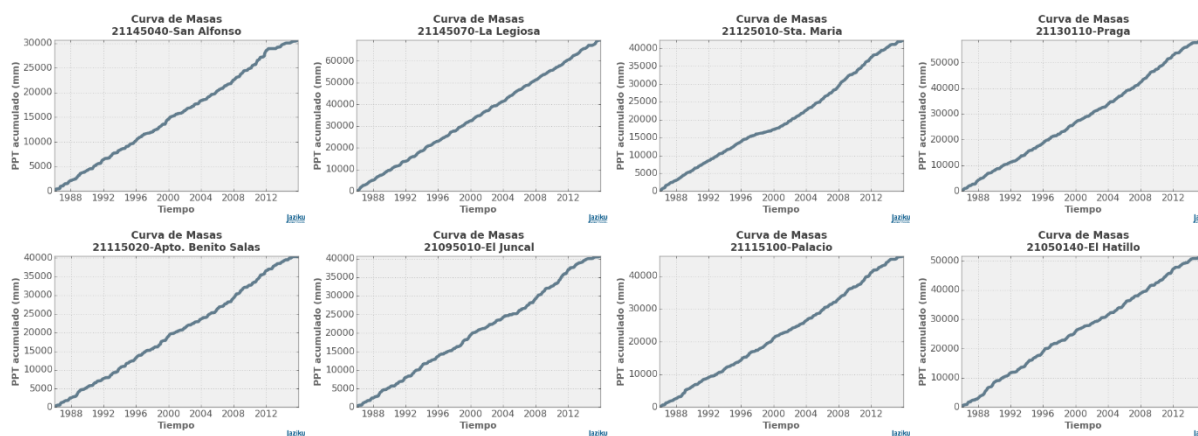


Figura 18. Curvas de doble masa para precipitación.

Los acumulados de casi todas las estaciones presentaron un patrón bastante similar, con un comportamiento oscilatorio semejante al de una línea recta, especialmente la estación La Legiosa que evidenció una tendencia lineal con un coeficiente de correlación muy cercano a uno, indicando que la información es confiable y cumple con la condición de homogeneidad. En la estación Santa María se presentaron algunos quiebres en la curva para el periodo 1997-2002 lo que indica que en estos años los registros de precipitación sufrieron algunas variaciones. Sin embargo, la información no fue corregida ya que este periodo coincidió con dos eventos fuertes del ENOS que desencadenaron épocas cálidas y frías donde las lluvias se afectaron considerablemente.

- Test de Shapiro-Wilks

La aplicación de esta prueba permite comprobar básicamente si los datos de la variable de estudio proceden de una distribución normal, lo cual también puede ser determinado mediante el análisis de los histogramas de frecuencias de cada serie de la variable. En la tabla 4 se presentan los resultados del test Shapiro-Wilks para las estaciones de análisis donde se observa que los valores de p son inferiores a 0.05 indicando que la prueba y la hipótesis nula se rechazan, es decir, los datos no provienen de una distribución normal. Esto confirma lo expuesto por el

IDEAM (2014) quienes afirman que esta situación se puede presentar debido a la gran variabilidad espacio temporal que presentan las precipitaciones a escala global.

Tabla 4. Test para normalidad – Shapiro Wilks (Precipitación).

Estación	Código	W	Valor P	?
San Alfonso	21145040	0.8325	1,23E-15	Rechazado
La Legiosa	21145070	0.9534	3,90E-06	Rechazado
Santa María	21125010	0.9297	7,34E-09	Rechazado
Praga	21130110	0.9436	2,13E-07	Rechazado
Apto. Benito Salas	21115020	0.8659	4,86E-14	Rechazado
El Juncal	21095010	0.9032	6,31E-11	Rechazado
Palacio-Vegalarga	21115100	0.8673	8,61E-14	Rechazado
El Hatillo	21050140	0.9223	1,47E-09	Rechazado

- Test T

Esta prueba paramétrica se aplica a pequeños subconjuntos de los datos analizados como lo explican Castro & Carvajal (2010) y es utilizada para determinar cambios en el valor de la media de los dos subconjuntos de la serie cronológica analizada. En la tabla 5 se presentan los resultados del Test-t para las estaciones de análisis donde es posible observar que solo la estación Santa María presentó cambios en el valor de la media. La prueba fue rechazada por lo tanto se concluye que la estación no presenta estabilidad en cuanto a media.

Tabla 5. Prueba estadística Test-T (Precipitación).

Estación	Código	T	Valor P	?
San Alfonso	21145040	-0.1917	0.8481	si
La Legiosa	21145070	-0.6433	0.5205	si
Santa María	21125010	-4.375	1,61E-02	no
Praga	21130110	-1.253	0.211	si
Apto. Benito Salas	21115020	-0.06703	0.9466	si
El Juncal	21095010	-0.2473	0.8048	si
Palacio-Vegalarga	21115100	-1.08	0.2809	si
El Hatillo	21050140	1.291	0.1977	si

- Test de Levene

La Prueba de Levene es una alternativa robusta para análisis de datos, ya que es poco sensible a la desviación de la normalidad y se utiliza para comprobar si las muestras tienen iguales varianzas (Sánchez, 2014). En la tabla 6 se muestran los resultados para las diferentes estaciones donde la única que rechazó la prueba fue la estación Santa María, es decir, que su información presenta diferencias en la varianza y no cumple con el supuesto de homocedasticidad.

Tabla 6. Prueba estadística Test de Levene (Precipitación).

Estación	Código	W	Valor P	?
San Alfonso	21145040	0.5199	0.4714	si
La Legiosa	21145070	0.2762	0.5995	si
Santa María	21125010	14.77	0.00014	no
Praga	21130110	2.654	0.1042	si
Apto. Benito Salas	21115020	0.5737	0.4493	si
El Juncal	21095010	1.399	0.2377	si
Palacio-Vegalarga	21115100	2.913	0.0887	si
El Hatillo	21050140	0.1186	0.7307	si

- *Test MWW (Mann, Whitney y Wilconxon)*

El test MWW es una prueba no paramétrica utilizada para comprobar la estabilidad de la mediana. Castro & Carvajal (2010) la describen como una de las más poderosas y útiles ante el Test-t. Con los resultados observados en la tabla 7 se pudo determinar que la estación Santa María rechazó la hipótesis, confirmando los resultados arrojados en las demás pruebas, por lo que se concluye que la información de esta estación no es confiable y no se recomienda su uso en análisis posteriores.

Tabla 7. Prueba estadística Test MWW (Precipitación).

Estación	Código	U	Valor P	?
San Alfonso	21145040	14660	0.8828	si
La Legiosa	21145070	14380	0.211	si
Santa María	21125010	11900	9,34E-02	no
Praga	21130110	14950	0.3563	si
Apto. Benito Salas	21115020	15840	0.8509	si
El Juncal	21095010	14410	0.9652	si
Palacio-Vegalarga	21115100	14920	0.5487	si
El Hatillo	21050140	14260	0.1703	si

Temperatura

- *Test Shapiro-Wilks*

Para el caso de la temperatura el test de normalidad también fue rechazado para todas las estaciones de estudio (tabla 8) debido a que los valores de *p* se encuentran por debajo del nivel de significancia (0.05), rechazando la hipótesis nula y concluyendo que la forma de la distribución de la variable temperatura no corresponde con la forma de una distribución normal.

Tabla 8. Test para normalidad – Shapiro Wilks (Temperatura).

Estación	Código	W	Valor P	?
San Alfonso	21145040	0.5926	1,10E-24	Rechazado
La Legiosa	21145070	0.9734	1,08E-02	Rechazado
Santa María	21125010	0.9773	2,20E-02	Rechazado
Apto. Benito Salas	21115020	0.9797	6,12E-02	Rechazado
El Juncal	21095010	0.9623	1,01E-04	Rechazado
Palacio-Vegalarga	21115100	0.9862	0.001991	Rechazado

- *Test T*

El Test-t aplicado a las series de temperatura de las estaciones presentadas en la tabla 8 evidenció cambios en el valor de la media de las dos poblaciones, indicando que a excepción de la estación San Alfonso, todas las estaciones rechazaron la prueba.

Tabla 9. Prueba estadística Test-T (Temperatura).

Estación	Código	T	Valor P	?
San Alfonso	21145040	-1.525	0.1283	si
La Legiosa	21145070	-2.51	0.01256	no
Santa María	21125010	10.32	5.2e-22	no
Apto. Benito Salas	21115020	-2.218	0.0272	no
El Juncal	21095010	-12.4	2,24E-26	no

Palacio-Vegalarga	21115100	-11.38	9,81E-23	no
-------------------	----------	--------	----------	----

- *Test de Levene*

La tabla 10 presenta los resultados de la prueba de Levene para la variable temperatura, identificando características de homocedasticidad en las estaciones San Alfonso, La Legiosa y Apto. Benito Salas. Estas estaciones cumplieron con la estabilidad de la varianza y no rechazaron el test, lo que permite utilizar su información en los análisis posteriores.

Tabla 10. Prueba estadística Test de Levene (Temperatura).

Estación	Código	W	Valor P	?
San Alfonso	21145040	1.317	0.2519	si
La Legiosa	21145070	0.3198	0.5721	si
Santa María	21125010	11.1	0.00095	no
Apto. Benito Salas	21115020	1.442	0.2307	si
El Juncal	21095010	11.55	0.00075	no
Palacio-Vegalarga	21115100	4.224	0.04059	no

- *Test MWW (Mann, Whitney y Wilconxon)*

En cuanto a la comprobación de la estabilidad en mediana (tabla 11), los resultados para esta prueba confirmaron que de las seis estaciones de análisis para temperatura únicamente la estación San Alfonso no rechazó la hipótesis.

Tabla 11. Prueba estadística Test MWW (Temperatura).

Estación	Código	U	Valor P	?
San Alfonso	21145040	13810.0	0.2481	si
La Legiosa	21145070	10800.0	0.005801	no
Santa María	21125010	7049.0	1,95E-16	no
Apto. Benito Salas	21115020	14060.0	0.03651	no
El Juncal	21095010	4861.0	1,24E-23	no
Palacio-Vegalarga	21115100	6054.0	7,48E-20	no

7.4. Datos Faltantes

El completamiento de la información faltante de las series de temperatura y precipitación se realizó con el uso del software *RclimTool* v2.0. Esta interfaz utiliza el paquete estadístico RMAWGEN de R realizando la estimación de registros faltantes mediante el uso de la teoría de Modelos Vectoriales Autoregresivos (VAR) (Cordano, 2017).

Previo a la complementación de la serie esta herramienta realiza un análisis descriptivo y un control de calidad de las variables precipitación y temperatura (mínima y máxima), donde se evidencian las características principales de la información y se identifican los valores no razonables o erróneos. Los resultados generados se presentan por medio de gráficos que pueden ser consultados en los Anexos 22 al 26 y que no fueron analizados debido a que mostraron comportamientos similares al análisis exploratorio del capítulo anterior.

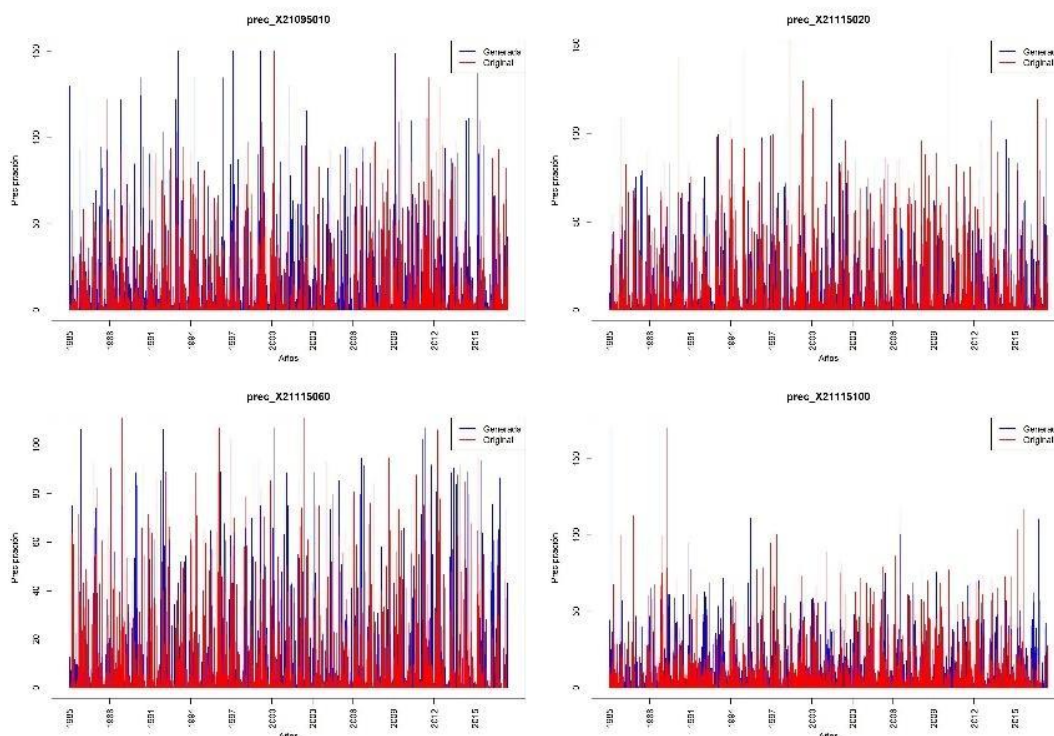
Es importante señalar que para lograr que la interfaz se ejecutará de manera correcta, se seleccionaron estaciones que se encontraban relacionadas entre sí y con datos faltantes menores

al 20%. Al final se escogieron ocho de las 44 estaciones climatológicas seleccionadas inicialmente para este estudio las cuales se encuentran detalladas en la tabla 12.

Tabla 12. Red de estaciones Rclimtool.

N°	Estación	Municipio	Código	Categoría*	Periodo
1	Apto Benito Salas	Neiva	21115020	SP	1985-2016
2	Manila la Hda	Baraya	21115160	AM	1985-2016
3	San Alfonso	Villavieja	21145040	AM	1985-2016
4	La Legiosa	Colombia	21145070	CO	1985-2016
5	Santa Ana	Colombia	21145080	CO	1985-2016
6	Palacio-Vegalarga	Neiva	21115100	CO	1985-2016
7	El Juncal	Palermo	21095010	CO	1985-2016
8	San José	Villavieja	21115060	CO	1985-2016

Como resultado de la interacción entre las diferentes variables se obtuvieron archivos con las bases de datos de la información completa de las diferentes estaciones y gráficos de la serie original versus la serie generada (Figura 19, 20 y 21).



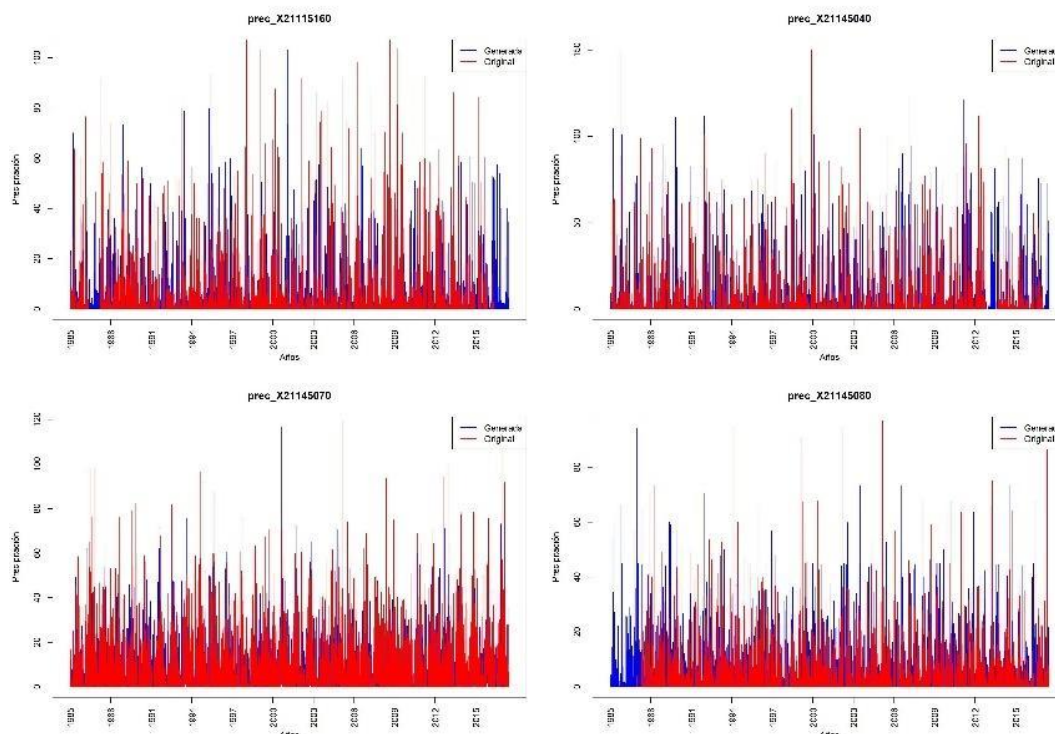
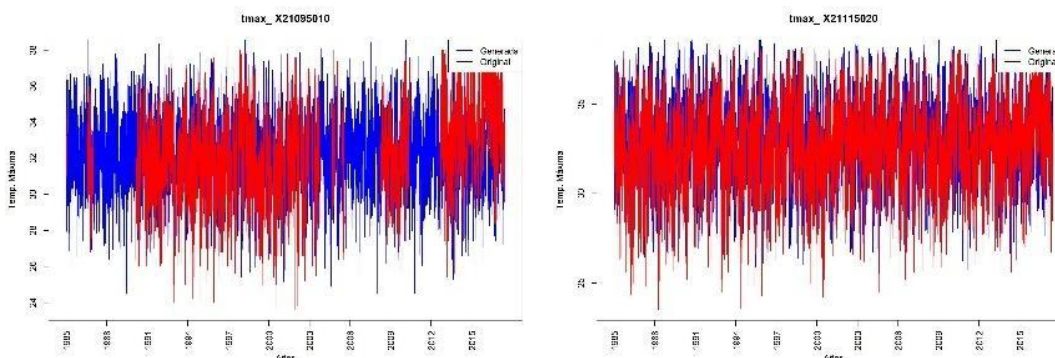


Figura 19. Serie original y generada para precipitación.

La Figura 19 confirma que en general las series para precipitación de todas las estaciones seleccionadas presentan pocos datos faltantes, en especial las estaciones Apto Benito Salas y San Alfonso, lo cual permitió que el modelo se ejecutara correctamente generando estimaciones muy exactas. Aunque lo ideal sería obtener series continuas de las variables climáticas, es poco probable que esto suceda debido a múltiples causas que impiden obtener registros precisos, por lo que se debe recurrir a alternativas que minimicen estos problemas. Cenicafé por su parte ya se encuentra implementando estaciones de referencia con parámetros estadísticos establecidos que permiten validar la información y estimar los datos faltantes (Sarmiento *et al.*, 2018).

Por otro lado, en la salida gráfica correspondiente a temperatura máxima (Figura 20) es claro observar la discontinuidad de la serie donde algunas estaciones presentan hasta 40% de datos faltantes. A pesar de que esta variable presentó el mayor porcentaje de registros incompletos, la metodología utilizada por la herramienta *Rclimtool* fue útil para el completamiento de la información, generando datos muy aproximados.



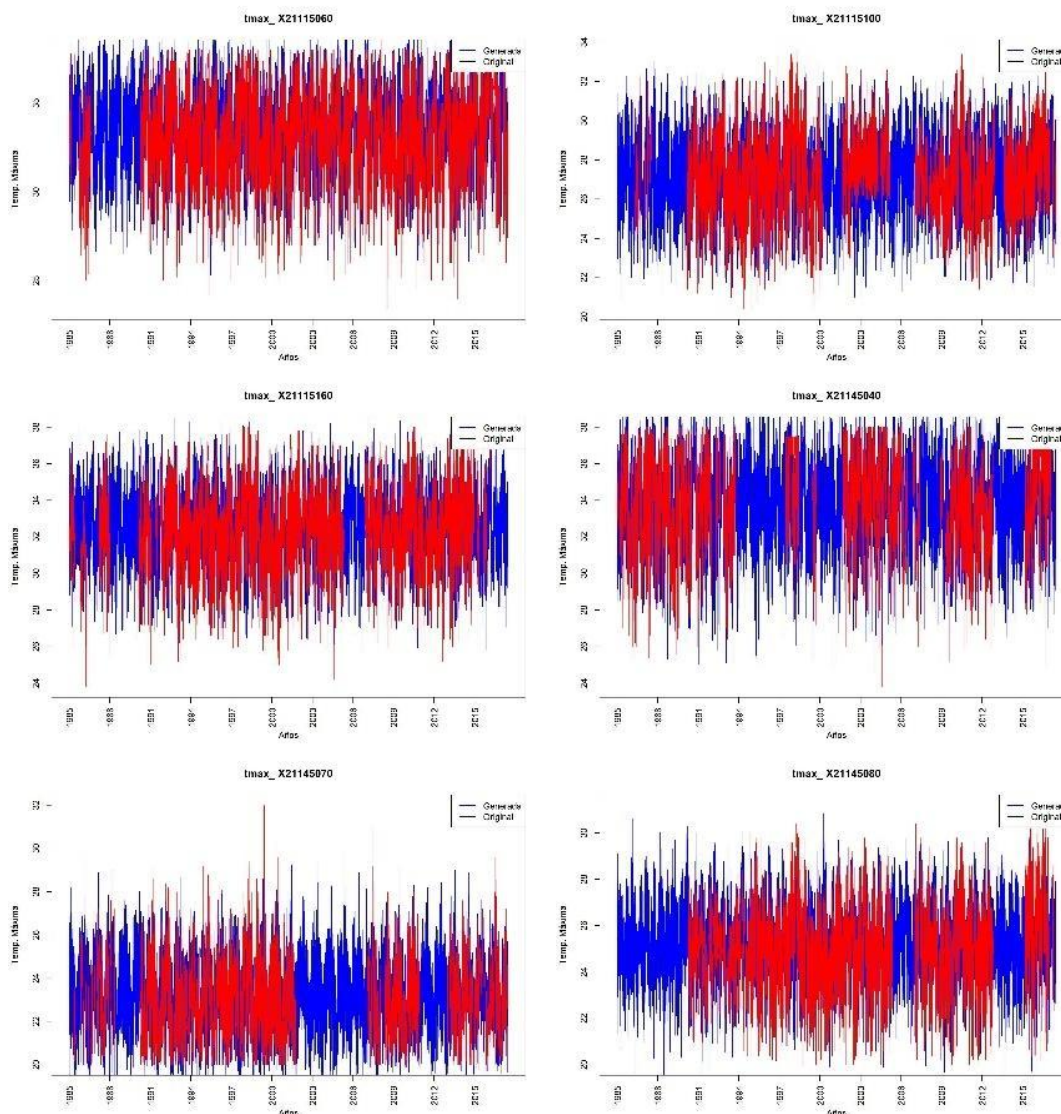
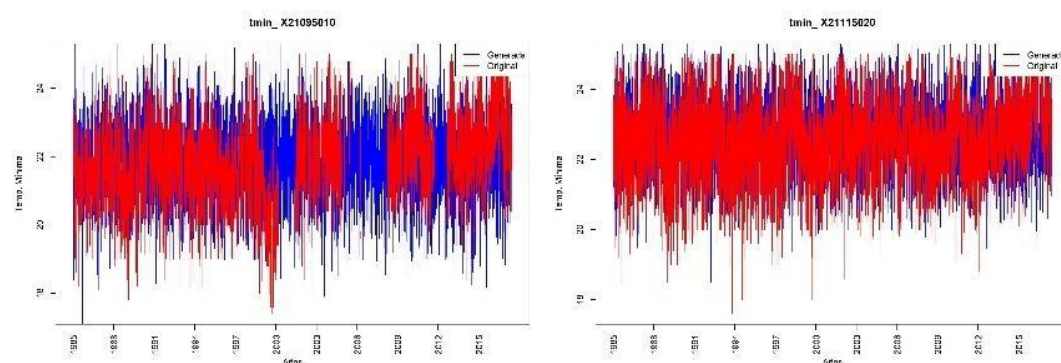


Figura 20. Serie original y generada para temperatura máxima.

Finalmente, los gráficos presentados en la Figura 21 evidencian gran ausencia de datos para la serie de temperatura mínima. Sin embargo, los resultados mostraron un comportamiento muy similar entre la serie original y generada de la variable y su confiabilidad fue corroborada mediante el análisis de homogeneidad el cual se presenta en el Anexo 29.



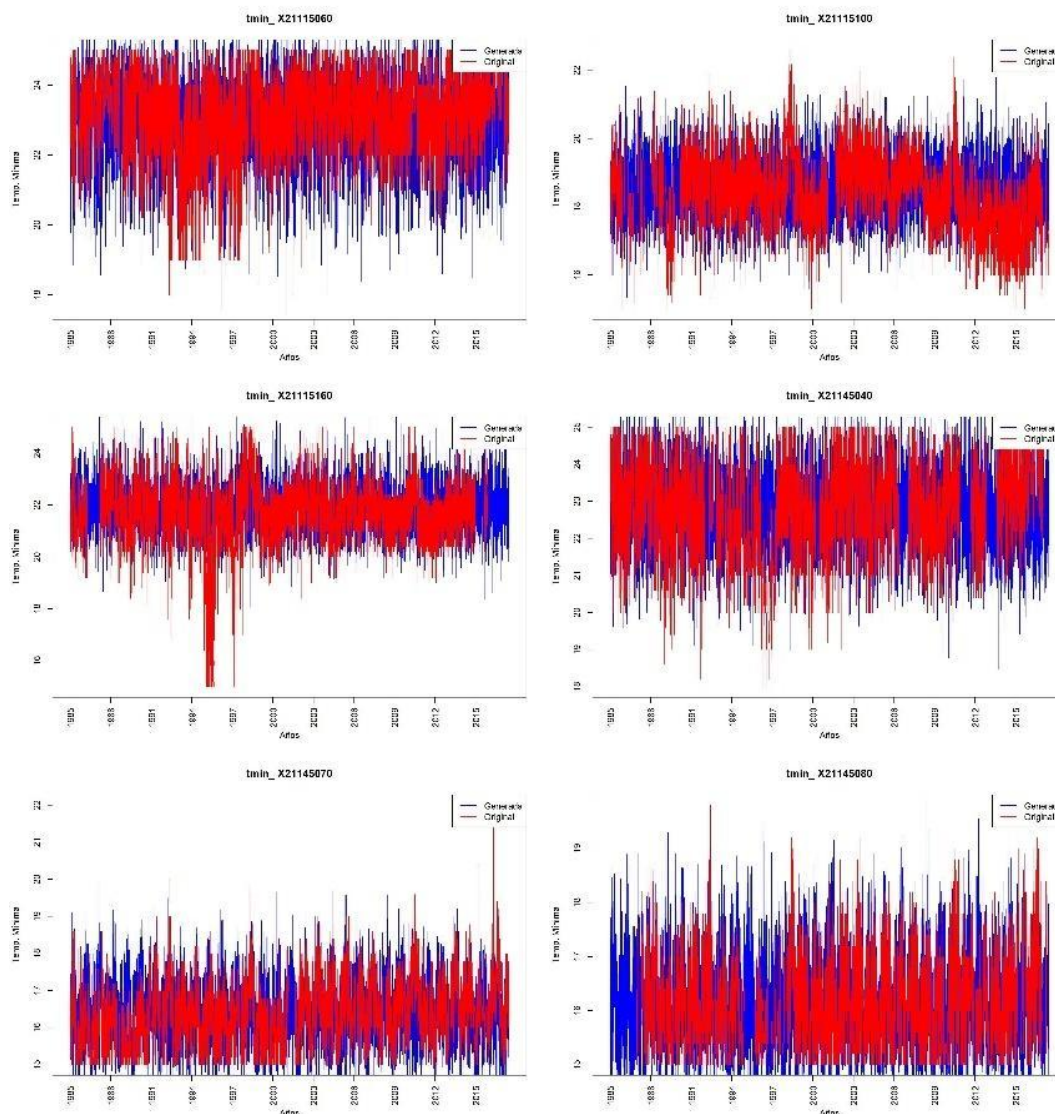


Figura 21. Serie original y generada para temperatura mínima.

7.5. Caracterización Climática

Los patrones climáticos son el resultado de la distribución global del calor y de la humedad, los cuales provocan características particulares al ambiente en diferentes partes del mundo que se resumen en índices climáticos o clasificaciones a escala mundial (Köppen-Geiger) y local (Caldas-Lang) (IDEAM, UNAL, 2018). Por lo tanto, con los datos de precipitación a nivel mensual validados, homogeneizados y completados se realizó una caracterización del clima de la subregión teniendo en cuenta parámetros básicos como temperatura media y precipitación.

7.5.1. Distribución espacial de la temperatura

Debido a que la subregión norte presenta las zonas más bajas del departamento del Huila, con alturas mínimas que alcanzan los 368 msnm en el municipio de Villavieja, las temperaturas por encima de 23°C son las que cubren gran parte del área total (Figura 22), esto se debe principalmente a que los sistemas orográficos orientan la distribución de la temperatura media

del aire y la conformación de los denominados pisos térmicos consistentes en la disminución de la temperatura a medida que aumenta la altitud (IDEAM, UNAL, 2018).

De la misma forma, Armenta (2013) expone la relación existente entre las temperaturas elevadas de la zona baja del norte del Huila con un proceso similar al efecto foehn que ocurre sobre la región, donde el aire que consigue bordear la cordillera por el lado Oeste de la misma (sotavento) llega con el calor latente liberado que al bajar por el costado hacia el valle del alto Magdalena hace que la temperatura media en esta zona sea mayor que en barlovento. Por otro lado, Eslava & Pabón (2001) explican que, para la región Andina en la medida como se avanza con la altura, la temperatura disminuye a un promedio de 5.53°C cada kilómetro, por tal razón para las zonas más altas de Teruel y Colombia las temperaturas alcanzan mínimos de 4°C como se observa en la figura 22.

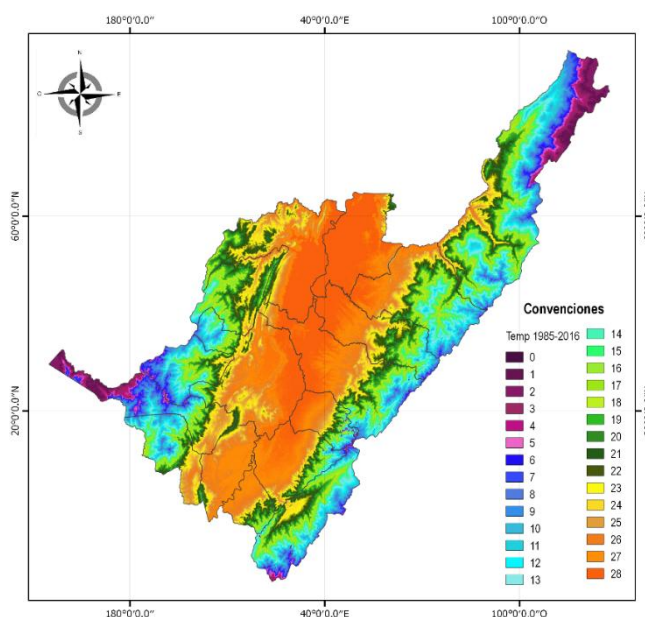


Figura 22. Mapa temperatura media mensual multianual de la zona norte del Huila (1985-2016).

- Análisis Decadal

En la Figura 23 es posible apreciar el comportamiento de la temperatura media en cuatro periodos que van desde 1985 a 2016, con el fin de observar el ritmo de aumento gradual de los últimos años para la región de estudio. Como lo indican las investigaciones más recientes, la temperatura del planeta se ha incrementado en los últimos 100 años al punto de estar muy cerca de que tengamos un grado más en la temperatura promedio de la tierra. Aunque no parece una cifra alarmante, este aumento (1°C) en la temperatura cambia las características del sistema climático global alterando los patrones espaciales y temporales y generando cambios en las condiciones climáticas de las diferentes regiones, que afectan a la población y sus diferentes actividades (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2016).

Para esta subregión que no ha sido ajena a las alteraciones en el clima, el cambio más significativo ha ocurrido en el tercer y último periodo que comprende cerca de 15 años, el cual presentó anomalías positivas de 0.4°C , determinándolo como uno de los más calurosos de la historia reciente. Lo anterior confirma lo reportado por la OMM (2012) quienes afirman que

particularmente los años de la última década han sido los más calurosos desde 1850 (IDEAM, UNAL, 2018).

En general, el cambio total en la temperatura promedio de los últimos 30 años ha sido de aproximadamente 0.6°C en el zona del valle del río magdalena donde se ubican 10 de los 15 municipios que integran esta subregión y disminuyendo a lo largo de los distintos pisos térmicos, razón por la cual en las regiones más altas los cambios no han sido tan drásticos pues el municipio de Santa María para el último periodo presentó anomalías negativas de -0.02°C y la parte alta del municipio de Baraya no evidenció ningún cambio, manteniendo su temperatura en 27°C durante los últimos 15 años.

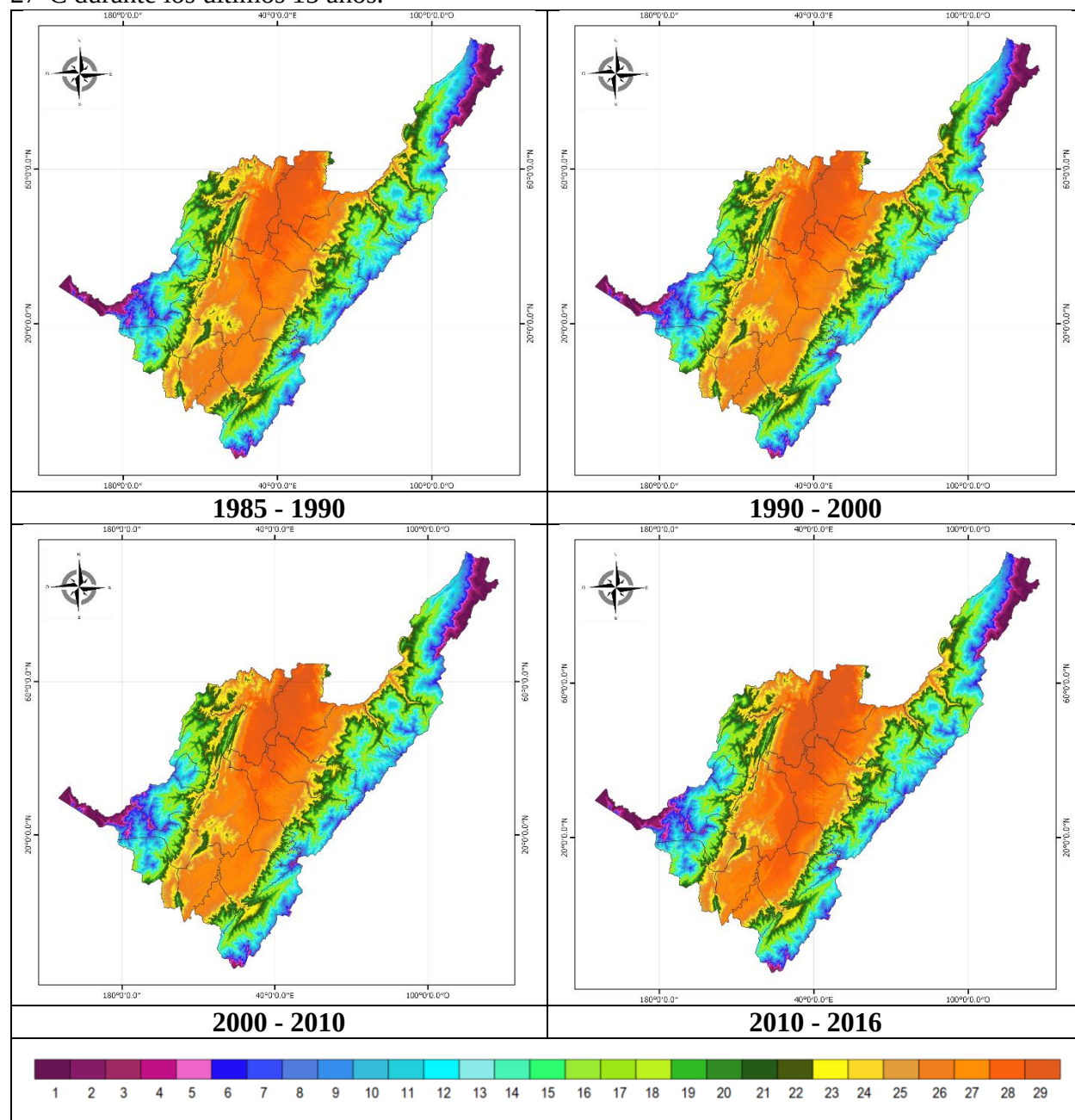


Figura 23. Análisis decadal de la temperatura media del aire.

7.5.2. Distribución espacial de la precipitación

Las lluvias para el área de estudio están relacionadas principalmente por el efecto del paso de la ZCIT de sur a norte en el primer semestre y de norte a sur en el segundo semestre, lo que genera dos períodos abundantes de lluvia, seguido de dos periodos secos (IDEAM, UNAL, 2018).

En la Figura 24 se observan valores mínimos de 80 mm en su parte más baja, correspondiente al desierto de la Tatacoa (Villavieja) y sus alrededores, donde se encuentran las zonas más cálidas y secas, debido principalmente al efecto Foehn, que como lo explica Armenta (2013) se presenta con mayor intensidad en los meses de mayo a julio donde la dirección de los vientos para la zona es predominantemente del Este, lo que concentra a barlovento la humedad, la nubosidad y la precipitación por la acción del ascenso del viento; produciendo valores máximos de precipitación para el piedemonte Amazónico y los mínimos valores para el valle del alto Magdalena.

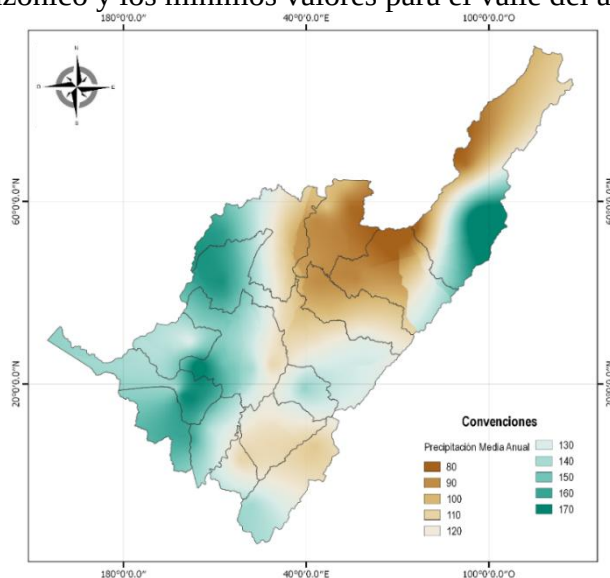


Figura 24. Mapa precipitación media multianual de la zona norte del Huila (1985-2016).

Además, Mejía *et al.* (2000) menciona la existencia de un “óptimo pluviométrico” el cual es uno de los rasgos más reconocidos de la distribución de la precipitación con la altitud en Colombia, afectando las zonas bajas las cuales reciben menos lluvia porque se beneficia menos del ascenso orográfico y porque están afectadas por la evaporación de la lluvia que cae desde la base de las nubes.

Por otro lado, en el sur-oriental del municipio de Colombia en la cordillera oriental y al occidente en los municipios de Santa María, Iquira y Teruel se alcanzan volúmenes entre 130 y 170 mm; lo cual está influenciado por la circulación valle-montaña causante de lluvias orográficas hacia los niveles medios de las cordilleras (Guzmán *et al.*, 2014). El comportamiento particular y variable de la precipitación en esta zona, como lo explica Poveda (2004) se debe principalmente a la formación de climas locales y regionales de alta complejidad y dificultad de predicción a distintas escalas de tiempo, inducidos por la presencia de la barrera orográfica que constituyen los tres ramales de la cordillera de los Andes.

- Análisis Decadal

El análisis decadal para la variable precipitación presentó aumentos poco significativos entre los diferentes periodos de análisis (Figura 25). Los cambios más evidentes se encuentran entre el

tercer y último periodo (2000-2010/2010-2016) donde se presentan dos tendencias diferentes en las regiones de valle y montaña, ya que la mayor parte de la zona central (Valle del río Magdalena) evidenció disminuciones en las precipitaciones promedio y por el contrario en la mayoría de municipios ubicados en las cordilleras central y oriental aumentaron los eventos de lluvias fuertes e intensas para este periodo, lo que confirma que las zonas húmedas se harán cada vez más húmedas, mientras que las zonas secas se harán más secas (Di Liberto, 2014). A pesar de los cambios en la intensidad de las precipitaciones los valores presentados se encuentran dentro de los rangos normales con respecto a la Normal Climatológica (1985-2016).

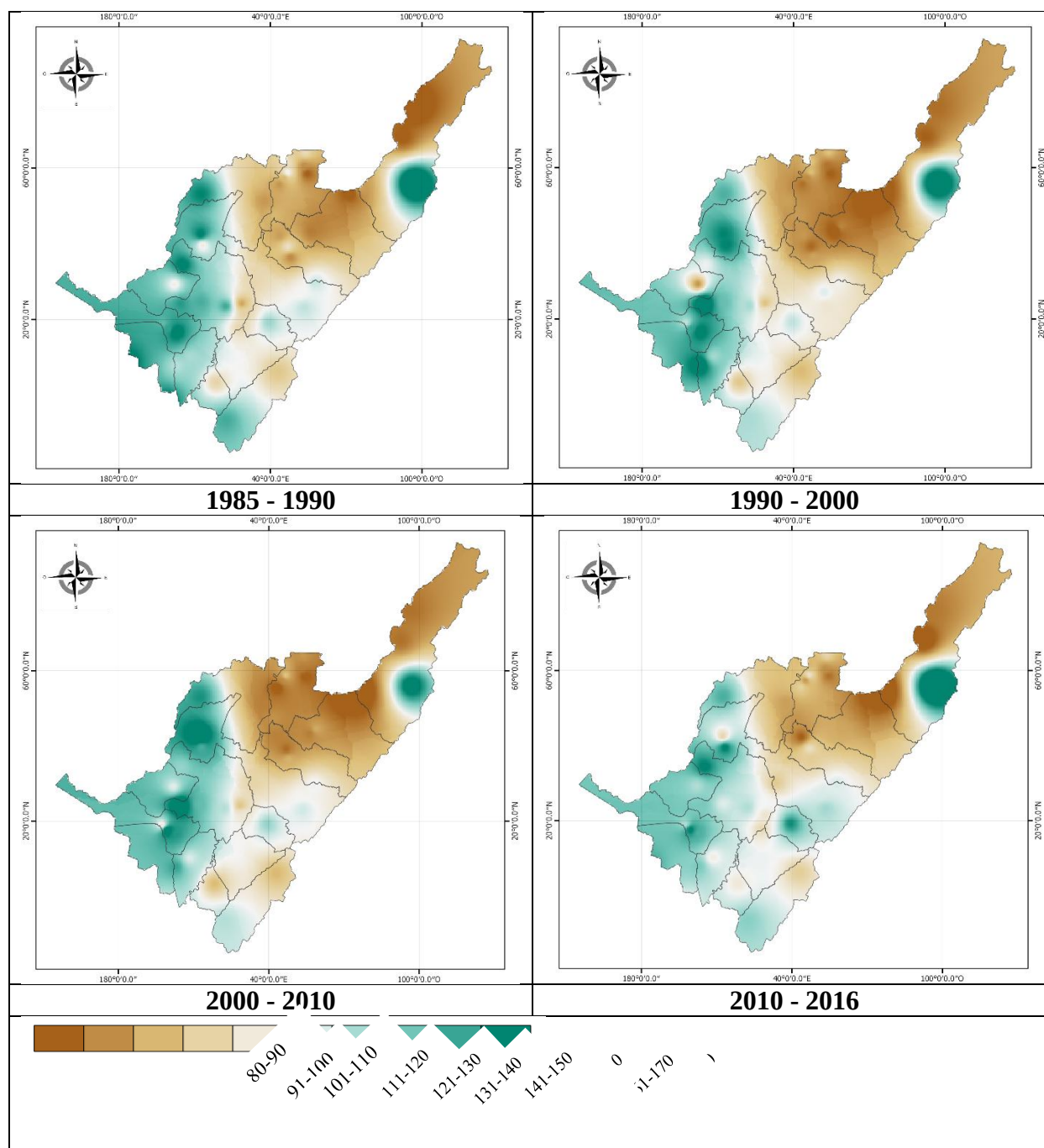


Figura 25. Análisis decadal de la precipitación media.

7.5.3. Caldas – Lang

La Figura 26 presenta la distribución de los 15 tipos de clima encontrados para el norte del departamento del Huila, teniendo en cuenta el método de Caldas-Lang, es posible observar que el tipo de clima que se presenta en mayor proporción es el correspondiente a Cálido Desértico (CD), el cual abarca la zona central del departamento, en el valle del principal río de la región: el río Magdalena y que comprende gran parte de los municipios de Villavieja, Baraya, Tello, Neiva, Aipe, Palermo, Campoalegre y Yaguará. Como se explicó con anterioridad, esta zona se caracteriza por presentar precipitaciones bajas (80 mm anuales), temperaturas altas (28°C) y alturas que rodean los 400 msnm; condiciones propias de este tipo de climas.

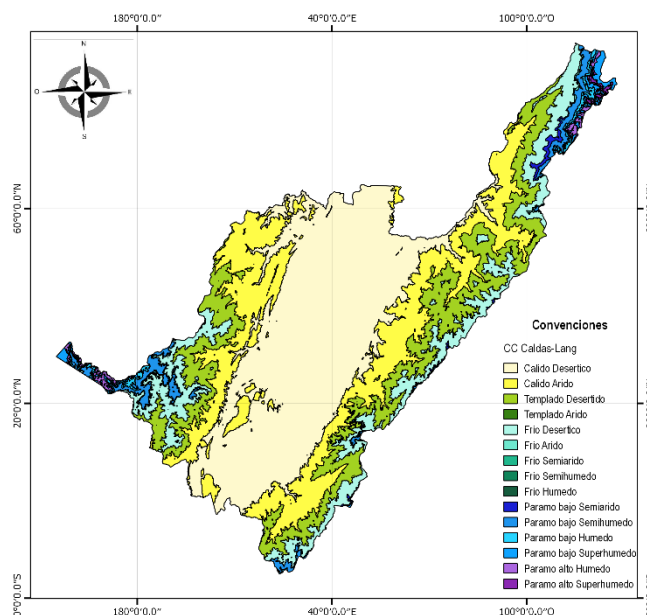


Figura 26. Caracterización climática de la zona norte del dpto. del Huila según el método de clasificación de Caldas-Lang.

A medida que la altura aumenta en los municipios ubicados en el piedemonte de la cordillera central y oriental se presentan los tipos de clima Cálido Árido (CA), Templado Desértico (TD) y Templado Árido (TA). Por otro lado, en las estribaciones de las cordilleras donde se ubican los municipios con alturas mayores a 2000 msnm se encuentran los climas Fríos y Paramos bajos, hasta finalmente llegar a la parte más alta ubicada al occidente del departamento en el municipio de Teruel, en cercanías con el Nevado del Huila y al nororiente en el municipio de Colombia, donde se encuentran los climas Páramo Alto Húmedo (PAH) y Páramo Alto Superhúmedo (PASH), lo que concuerda con la clasificación climática realizada por el IDEAM (2014).

En síntesis, la ubicación estratégica de la zona permite encontrar diversidad de climas los cuales se deben principalmente a las variaciones altimétricas y el relieve de la zona, factores que influyen de manera decisiva en la distribución de las lluvias, la temperatura, la humedad y la acción de los vientos.

7.6. Variabilidad Climática

El IPCC define la variabilidad climática como las fluctuaciones en el estado medio del clima en todas las escalas espaciales y temporales, de las cuales la estacional, interanual e interdecadal son consideradas las de mayor importancia por contribuir en la determinación y modulación de los procesos atmosféricos (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2016).

En el marco de este estudio se trabajó únicamente con la variabilidad Interanual, donde es posible identificar la señal asociada con el fenómeno de macroescala más estudiado: El Niño-La Niña/Oscilación del Sur, ENOS y su influencia sobre la temperatura y precipitación en el norte del departamento del Huila. Para el respectivo análisis se escogieron las estaciones que cumplieron con el supuesto de homogeneidad (Ver 7.3.2.).

Precipitación

- *Análisis Compuestos*

Uno de los resultados más representativos al utilizar la herramienta de AC es la tabla de contingencia 3x3, la cual se emplea para registrar y analizar la asociación entre la variable independiente, el índice oceánico del Niño ONI, en sus categorías “El Niño”, “Neutral” y “La Niña” y la variable dependiente, precipitación, en sus categorías “por encima”, “normal” y “por debajo” y de esta manera establecer su relación condicional de probabilidad (Sánchez, 2014). Para este estudio, las tablas de contingencia fueron calculadas para un rezago de ocurrencia igual a cero (0), lo que significa que se compararon valores del índice ONI y precipitación en meses iguales. Los gráficos de la figura 27 y 28 muestran las probabilidades de afectación (%) observadas para la precipitación a nivel mensual, para dos estaciones representativas de la zona. Las demás estaciones pueden ser consultadas en el Anexo 30.

En términos generales, en los diagramas es posible observar que ante la presencia de un evento “La Niña” la probabilidad de un aumento en las precipitaciones llega hasta un 80% en el mes de enero para el caso de la estación Apto. Benito Salas y un 83.3% en el mes de marzo para la estación Palacio. Bajo condiciones ENOS, fase “Niño”, la precipitación desciende significativamente y este dada entre un 33.3 y un 77.8% llegando en algunos casos hasta un 90%, como se evidencia en el mes de febrero para la estación Apto. Benito Salas y un 100% de probabilidad para el mes de enero en la estación Palacio.

Por otro lado, en la fase “Neutra” esta zona presenta características muy variadas, donde en algunos meses se evidencia alta probabilidad de aumento de lluvias, en otros disminuciones y bajas probabilidades para condiciones normales, lo que puede estar relacionado como lo explica Arango *et al.*, (s. f.) con otros eventos de variabilidad climática dados en diferentes escalas temporales.

En general, los resultados permiten identificar la gran influencia que tiene este fenómeno en la climatología de la zona, afectando la precipitación ya sea con aumentos o reducciones respecto de la media climática.

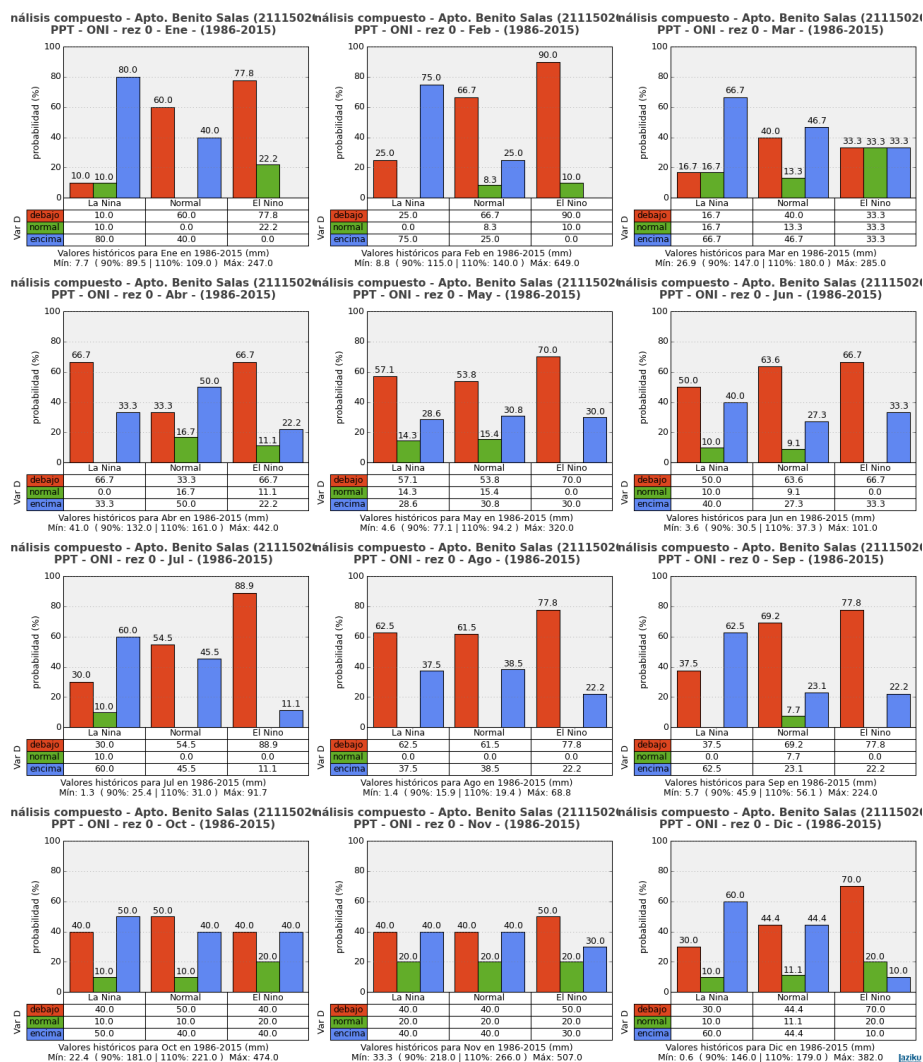


Figura 27. Influencia del fenómeno ENOS en la variable precipitación para la estación Apto. Benito Salas.

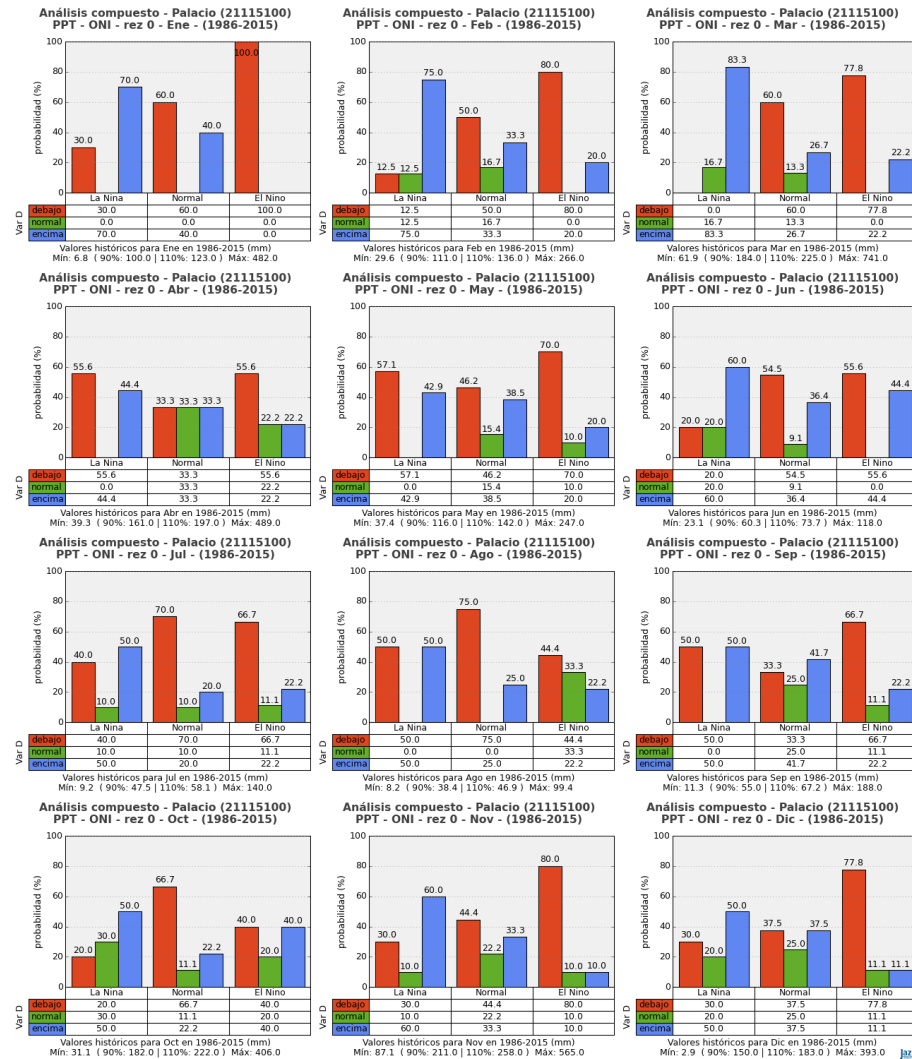


Figura 28. Influencia del fenómeno ENOS en la variable precipitación para la estación Palacio-Vegalarga.

- *Análisis de Fourier*

En la Figura 29 se presenta el Periodograma o Espectro de Potencia para cada una de las estaciones el cual emplea la ventana de suavizamiento de Barlett y utiliza los datos de precipitación mensual con el fin de caracterizar las señales y determinar periodicidades eventuales en la serie de datos.

En el análisis de Fourier se detallan tres picos sobresalientes en el periodo de información con densidad de poder espectral significativa en relación con los demás, lo que nos indica que existen dos o tres fenómenos que afectaron la tendencia normal histórica.

Aunque no es posible gráficamente estimar el tiempo de la frecuencia para poder identificar con claridad el fenómeno meteorológico de mayor incidencia sobre la variable de estudio, se logró determinar el inverso de la frecuencia (periodo) encontrando que los fenómenos tienen una recurrencia de 4 - 8 meses, 10 - 12 meses y de dos a cinco años.

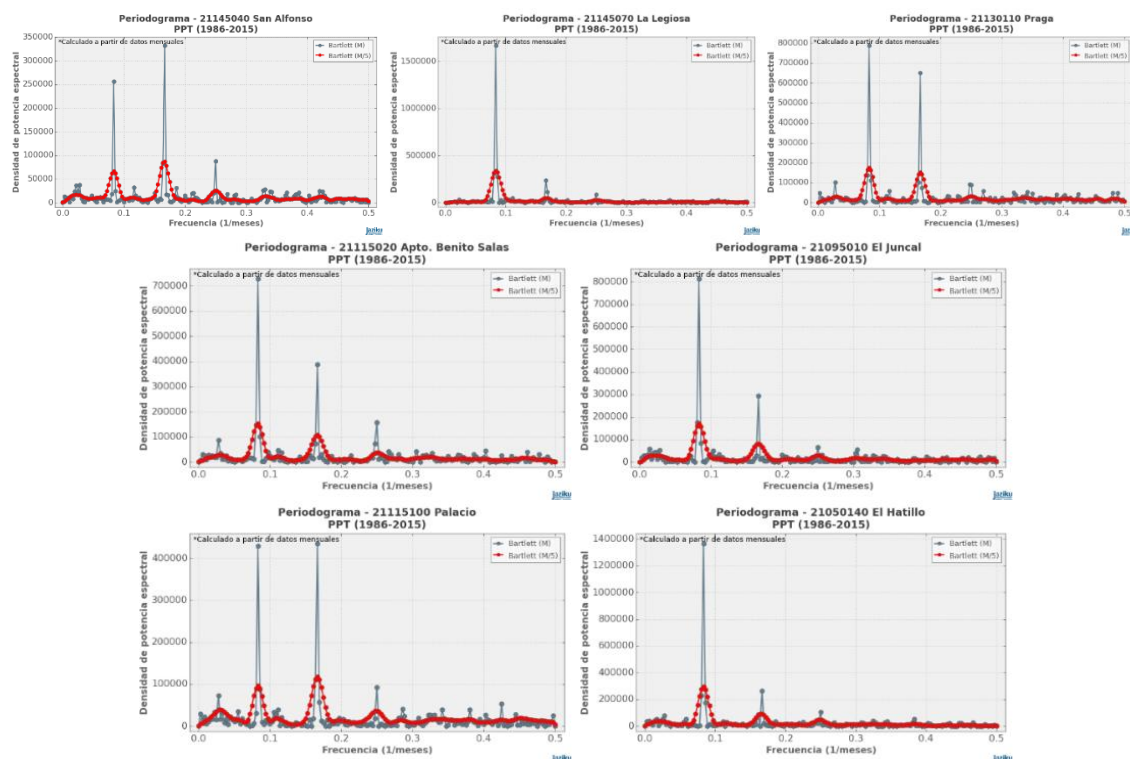


Figura 29. Análisis espectral para precipitación (Transformada de Fourier).

- Análisis de Wavelet

El análisis de Wavelet también llamado “onditas” (por su traducción al español) es una herramienta más versátil que el análisis de Fourier presentado anteriormente, debido a que no solo representa el análisis de frecuencias de una serie de tiempo, sino también sus cambios en el tiempo (Sánchez, 2014).

La transformada de Wavelet se utilizó con el fin de determinar la influencia de las fases del ENOS sobre la serie de precipitación y en la Figura 30 se muestra los espectros de potencia de onditas para las diferentes estaciones, lo que permite ver de forma simultánea el tiempo, la frecuencia y el poder espectral de la señal. En general, se observan dos señales que predominan sobre las demás; la primera se presenta en una ventana de tiempo de 8-16 meses con un poder espectral altamente significativo a lo largo del periodo de referencia, asociado principalmente con fenómenos físicos como el movimiento de la Zona de Confluencia Intertropical sobre el país durante el año.

La segunda señal predominante se presenta en una ventana de tiempo entre los 32-64 meses con un mayor poder espectral para el periodo 1988-89, 1997-98, 2010-2011, entre otros; lo cual se asocia al evento de variabilidad climática ENOS y sus dos fases: cálida (El Niño) y fría (La Niña) dado de 2 a 7 años y que normalmente dura entre 12-18 meses (Rojas *et al.*, 2015) (CNC, 2005) afectando considerablemente la precipitación de la zona. Así mismo es importante resaltar que su impacto en las condiciones de la zona ya se había evidenciado en una primera instancia con el análisis de anomalías de la variable.

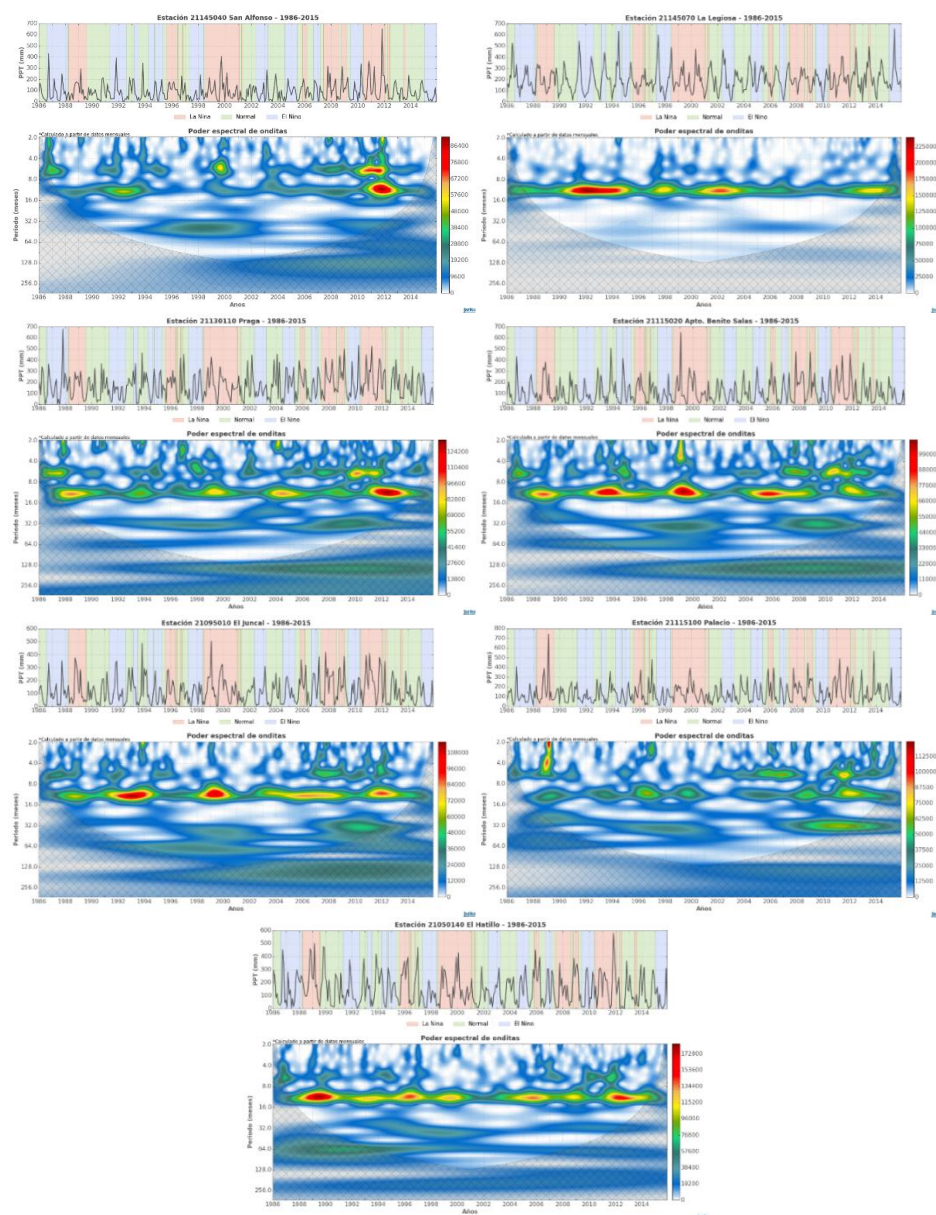


Figura 30. Secuencia de la precipitación media mensual multianual y análisis espectral para la serie histórica (1985-2016) (Transformada de Wavelet).

Temperatura

- *Análisis Compuestos*

El análisis compuesto para la serie de temperatura arroja los resultados de la Figura 31 y 32, donde es evidente que en la estación La Legiosa la temperatura presenta una leve relación con el índice oceánico El Niño-ONI, es decir que ante la presencia de un fenómeno ENOS en cualquiera de sus fases los valores de la temperatura no varían significativamente y por ello se observan probabilidades del 100% de que las temperaturas se mantengan dentro del promedio normal, a excepción de los primeros meses del año en los cuales se observa una probabilidad

entre el 12.5 y 37.5% de aumentos en la temperatura cuando ocurre un “Niño” y un 12.5% de que se presenten valores por debajo de la media ante la ocurrencia de una “Niña” (Figura 31).

Por otro lado, la estación Apto. Benito Salas si muestra alteraciones en la variable de estudio dado la ocurrencia del fenómeno, esto se hace más evidente en los primeros y últimos meses del año coincidiendo con lo reportado por Montealegre (2009) quien ha identificado que el primer y último trimestre del año presenta mayor influencia de los dos fenómenos. De la misma forma, se observa que el mes de febrero es uno de los más representativos ya que se presenta un 60% de probabilidad de que la temperatura presente aumentos y disminuciones (Figura 32).

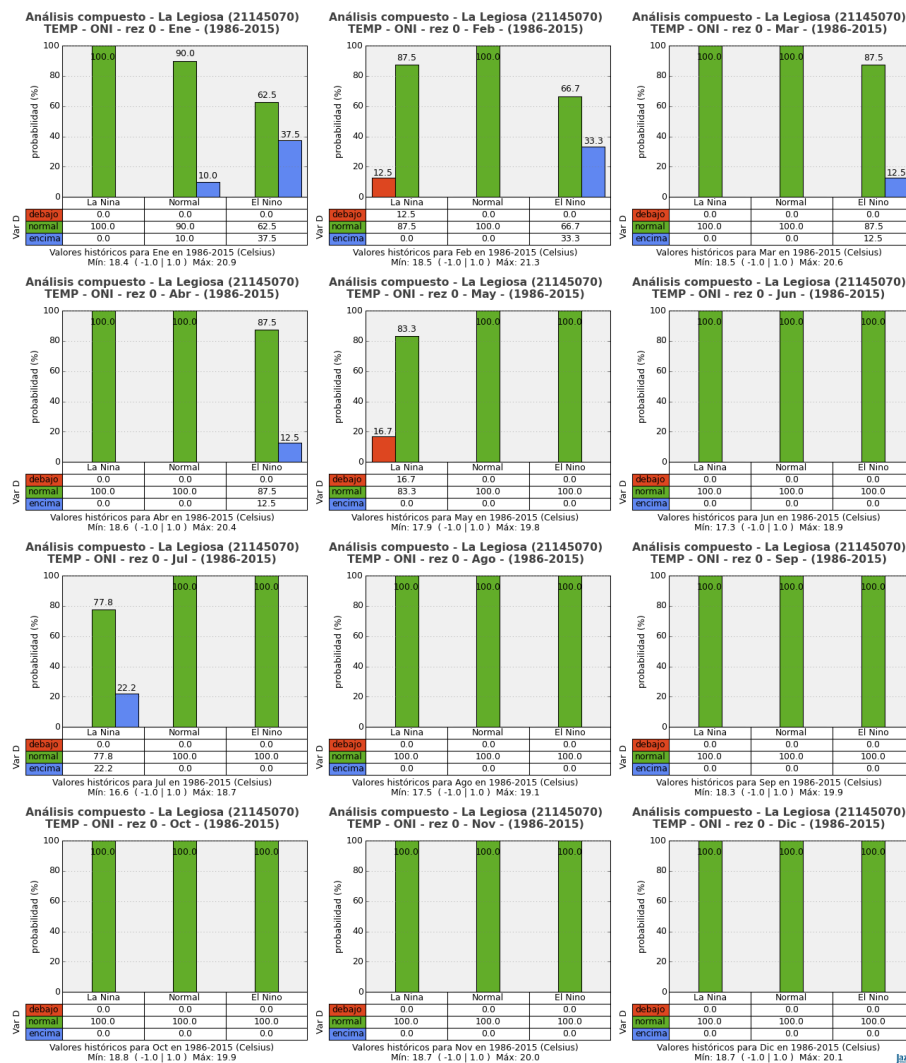


Figura 31. Influencia del fenómeno ENOS en la variable temperatura para la estación La Legiosa.

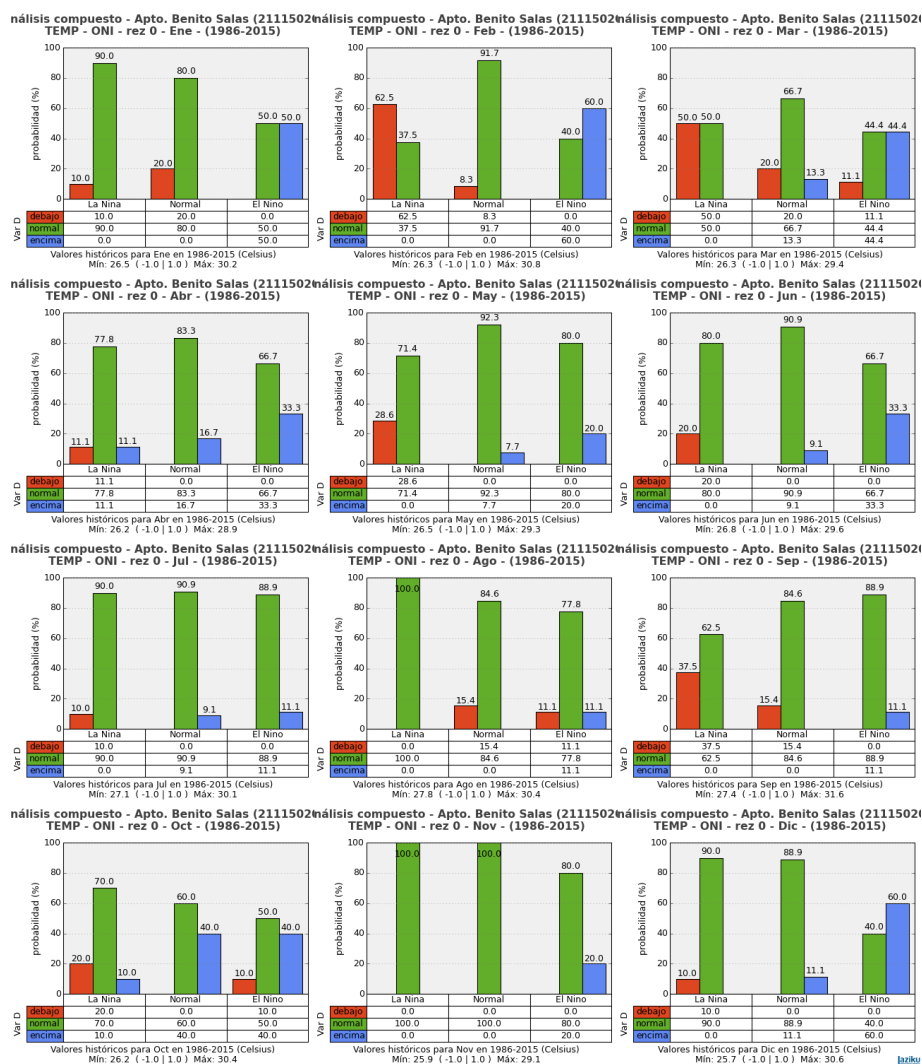


Figura 32. Influencia del fenómeno ENOS en la variable temperatura para la estación Apto. Benito Salas.

- *Análisis de Fourier*

La transformada de Fourier se utilizó para estimar el espectro de la serie de tiempo 1985-2016 y representar la variación de la temperatura en dos casos de estudio por medio de su Periodograma. La Figura 33 evidencia dos señales para las cuales se tiene un mayor valor del espectro con gran incidencia sobre la variable de estudio, pero con densidad de poder espectral muy diferente en cada una de las estaciones.

En la estación La Legiosa se observa un comportamiento similar al presentado en el Periodograma de la variable precipitación, con dos picos de alto poder espectral y una resolución de 10 a 12 meses que está altamente relacionada con las perturbaciones producidas por el desplazamiento latitudinal de la ZCIT sobre la región. De la misma forma en la estación Apto. Benito Salas se identifican las mismas dos señales y una tercera de menor densidad espectral. Al estimar el periodo, tenemos que el tiempo de la primera señal presenta una resolución de 4 a 8 meses, la segunda 10 a 12 meses, y la última con una recurrencia de 2 a 5 años.

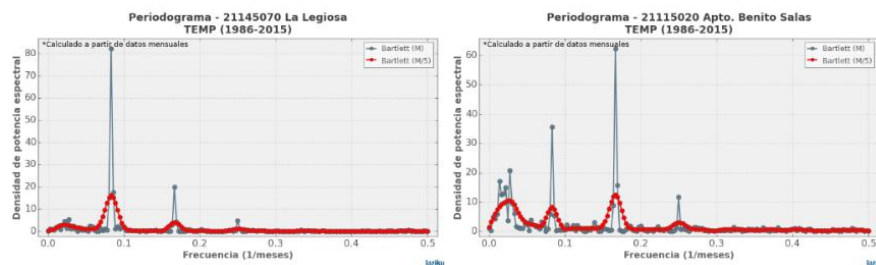


Figura 33. Análisis espectral para temperatura (Transformada de Fourier).

- Análisis de Wavelet

La gráfica de Wavelet (Figura 34) destaca la frecuencia y el poder espectral de dos (2) señales predominantes; la primera se presenta en una ventana de tiempo de 8-16 meses con un poder espectral significativo a lo largo del periodo de referencia. Para esta señal la estación La Legiosa presentó un mayor valor del espectro en el periodo 2002-2005 lo que puede estar relacionado con la influencia de distintos fenómenos de variabilidad que refuerzan la acción de la ZCIT, afectando los volúmenes de lluvia para la región (Enfield, 1997) (Montealegre, 2009).

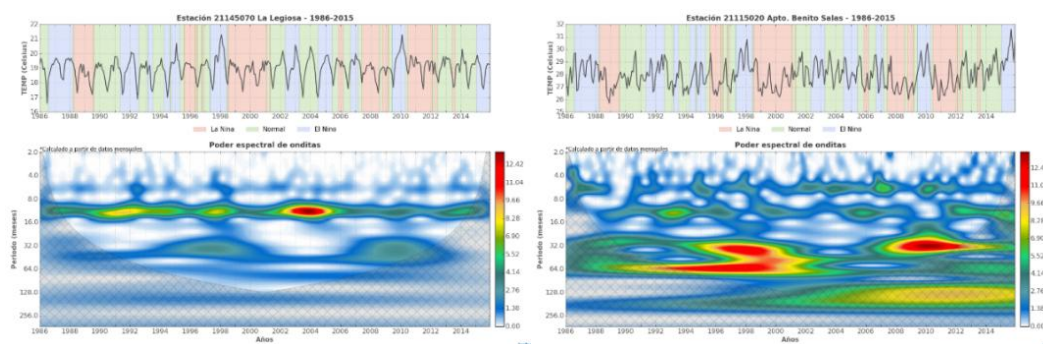


Figura 34. Secuencia de la temperatura media mensual multianual y análisis espectral para la serie histórica (1985-2016) (Transformada de Wavelet).

La segunda señal se presenta con ciclos entre los 32-64 meses, similares a los de la variabilidad interanual del Pacífico Tropical y particularmente del ciclo ENOS (Montealegre, 2009). Esta señal presentó aumentos de la temperatura en la estación La Legiosa, relacionados con “El Niño” de 1997-98 clasificado como fuerte y un “Niño” moderado ocurrido en 2009-2010. Por otro lado, en la estación Apto. Benito Salas los espectros de potencia en onditas permitieron observar que la banda entre 32-64 meses (color verde, amarillo y rojo) es dominante para todo el periodo de tiempo analizado evidenciando eventos ENOS de gran impacto en el país como El Niño de 1997-98 y La Niña de 2010-11, lo cual indica que dicho fenómeno afecta fuertemente la temperatura de la zona norte del departamento.

7.7. Cambio Climático

En la actualidad es evidente la preocupación que genera para la humanidad el cambio climático global debido a las enormes repercusiones que pueden generar los cambios en el clima a nuestra sociedad. A pesar del enorme escepticismo y de las dificultades que genera la identificación y

cuantificación de las alteraciones asociadas al cambio climático, ya se habla de una problemática real y se han reportado algunos impactos a nivel nacional que indican que los aumentos en la temperatura promedio del país (0.8°C) entre 1971 y 2015 han generado incrementos significativos en las sequías de los últimos 30 años, derretimiento acelerado de nevados y glaciares, ocurrencia de lluvias torrenciales y manifestación cada vez más recurrente y con mayor intensidad de fenómenos de variabilidad climática como “El Niño” y “La Niña” (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA, 2017).

Aunque se sabe que estos cambios son absolutamente normales, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) expone que hay una influencia directa de las actividades humanas en las variaciones del clima y que son la principal causa de este cambio acelerado (Magaña, 2004). De la misma forma, esta autoridad científica advierte en su último reporte que el planeta alcanzará un incremento de la temperatura de 1.5°C para 2030, lo que precipitará el riesgo de sequías extremas, incendios forestales, inundaciones y escasez de alimentos para millones de personas (Miller & Croft, 2018).

Por lo anteriormente expuesto, la comunidad científica ha venido adelantando innumerables investigaciones encaminadas al desarrollo de modelos que permitan simular y predecir las condiciones futuras; así mismo, este componente del estudio permitió identificar los cambios que transforman el clima de la región y evaluar los impactos causados por el calentamiento global en las variables climáticas analizadas. Para el efecto se trabajó con el promedio de los Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 los cuales presentan información de 28 estaciones de la zona, distribuidas como se aprecia en la Figura 35.

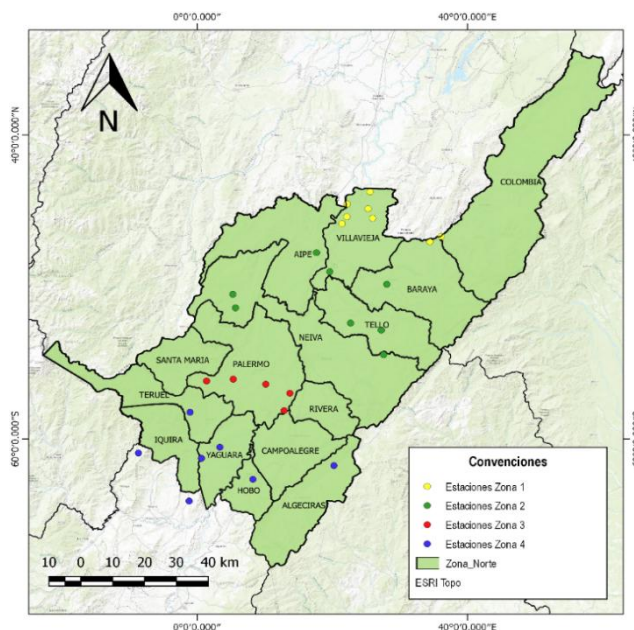


Figura 35. Red de estaciones con información de cambio climático para las variables de estudio.

La información para el periodo 2011-2040 de las estaciones de análisis se agruparon en cuatro zonas teniendo en cuenta su distribución espacial y se presentan en la tabla 13. Así mismo se encuentran detalladas y marcadas las estaciones de cada zona elegidas para su correspondiente interpretación. Las demás estaciones pueden ser consultadas en los Anexos 36 y 37.

Tabla 13. Estaciones climatológicas seleccionadas para análisis de Cambio Climático.

Zona	Nº	Estación	Municipio	Código	Categoría*	Periodo
1	1	Potosí	Villavieja	21110090	PM	2011-2040
	2	El Venado	Colombia	21140010	PM	2011-2040
	3	Arizona	Baraya	21140030	PM	2011-2040
	4	San Juanito	Villavieja	21140100	PM	2011-2040
	5	La Victoria	Villavieja	21110290	PM	2011-2040
	6	El Tomo	Villavieja	21140110	PM	2011-2040
	7	San Alfonso	Villavieja	21145040	AM	2011-2040
	8	San José	Villavieja	21115060	CO	2011-2040
	9	Baraya	Baraya	21110070	PM	2011-2040
	10	Hato Bogotá	Tello	21110180	PM	2011-2040
2	11	Polonia	Villavieja	21110330	PM	2011-2040
	12	San Luis	Neiva	21130040	PM	2011-2040
	13	El Portal	Tello	21115070	CO	2011-2040
	14	Palacio-Vegalarga	Neiva	21115100	CO	2011-2040
	15	Pérez Hda	Aipe	21130050	PM	2011-2040
	16	Órganos	Neiva	21130080	PM	2011-2040
	17	El Cucharo	Palermo	21090020	PM	2011-2040
3	18	Papagayo Hda	Palermo	21090040	PM	2011-2040
	19	El Juncal	Palermo	21045010	CO	2011-2040
	20	EL Totumo	Palermo	21120090	PM	2011-2040
	21	El Volcán	Palermo	21120100	PM	2011-2040
	22	El Hobo	Hobo	21060090	PM	2011-2040
	23	El Hatillo	Tesalia	21050140	PM	2011-2040
	24	Yaguará	Yaguará	21080030	PM	2011-2040
4	25	Yarumal	Nátaga	21050170	PM	2011-2040
	26	Sta Rosa Hda	Yaguará	21080070	PM	2011-2040
	27	Las Herreras	Teruel	21080100	PM	2011-2040
	28	Nuevo Paraíso	Algeciras	21100080	PM	2011-2040

*Categoría de estación: SP: Sinóptica principal, AM: Agrometeorológica, PG: Pluviográfica, PM: Pluviométrica, CO: Climatológica ordinaria.

7.7.1. Análisis Exploratorio de datos

- Histograma de frecuencias

Los diagramas de la Figura 36 presentan el comportamiento de las estaciones de análisis donde se puede observar que los datos para cambio climático no presentan una distribución normal y simétrica. Las precipitaciones para las estaciones El Juncal y Palacio-Vegalarga presentan poca variabilidad, con rangos de 0 a 50 mm aproximadamente lo que evidencia la disminución significativa de las lluvias en la zona 2 y 3 que corresponden a la parte centro de la subregión de estudio.

Por otro lado, las estaciones San Alfonso y El Hatillo evidencian rangos de 0 a 300 mm los cuales están entre los valores normales de precipitación de la zona, estas estaciones se encuentran ubicadas en el norte y sur de la subregión de estudio. Al comparar el histograma de la estación El Hatillo para el periodo de referencia 1985-2016 (Ver 8.2.1) con el histograma 2011-2040 se puede observar que la mayor frecuencia o tendencia cambia de 0-100mm a 150-200 mm lo que evidencia aumentos para la zona 4 que permiten inducir que esta variable se verá afectada por el calentamiento global acelerado.

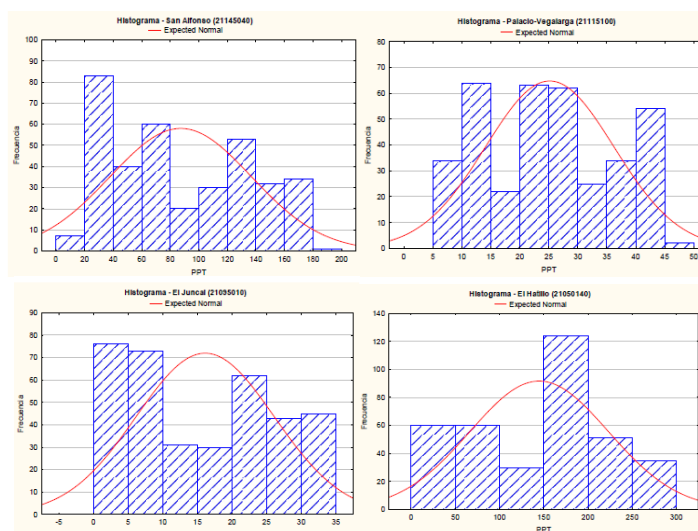


Figura 36. Histograma para las estaciones de análisis.

- *Diagrama de Caja y Bigotes*

Los diagramas Box-plots de la Figura 37 permiten observar que existe una diferencia en la dispersión de los datos de las diferentes estaciones, con distribuciones marcadas hacia sus valores inferiores.

La estación El Hatillo particularmente muestra mayor dispersión, con mínimos y máximos de 20 y 280 mm y una mediana de 175.95 mm mucho mayor que para el resto de las estaciones. Desde luego por ser proyecciones basadas en modelos globales no se observan valores atípicos para ninguna de las estaciones.

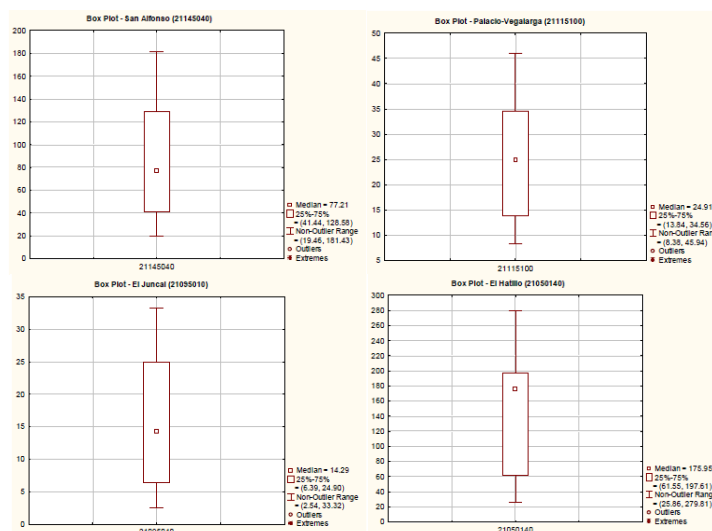


Figura 37. Diagrama de caja y bigotes para las estaciones de análisis.

7.7.2. Precipitación media multianual periodo 2011-2040

Una vez analizada la información de las variables de estudio para cambio climático se generó un mapa de precipitación media para el periodo de análisis (2011-2040) (Figura 38) donde se representa el clima esperado bajo el promedio de los caminos representativos de concentración de emisiones o RCP, por sus siglas en inglés (2.6, 4.5, 6.0 y 8.5).

En general, si las emisiones de Gases de Efecto Invernadero – GEI siguen su tendencia creciente se producirán cambios en la climatología nacional y regional; para el año 2040 la zona norte del departamento del Huila podrá incrementar el promedio de las lluvias en los municipios de Aipe y Villavieja hasta en un 40% lo que podría ocasionar serios problemas de deslizamientos e inundaciones (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA, 2017).

Así mismo, de acuerdo con las estimaciones generadas para los municipios de Neiva, Baraya, Colombia, Algeciras, Hobo, Campoalegre, Rivera, Yaguará, Íquira, Teruel se prevén aumentos que van desde el 11 al 40%, lo que causaría efectos principalmente en la agricultura donde algunos cultivos podrían verse beneficiados y otros presentar afectaciones debido al incremento de plagas y enfermedades que generan los excesos de lluvias. Igualmente, las proyecciones indican reducciones en algunas zonas del municipio de Colombia y gran parte de Tello, Palermo y Santa María (-9%) donde este último reconocido por sus actividades cafeteras podría enfrentar desbalances hídricos que afectarían este importante sector.

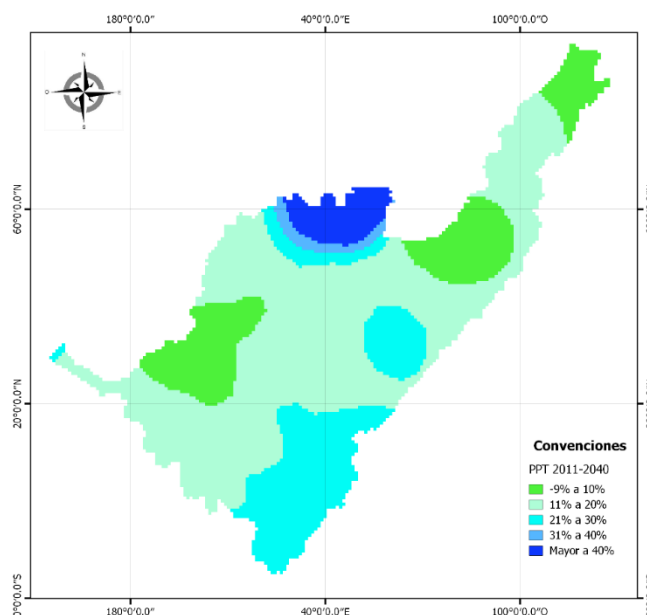


Figura 38. Mapa de los cambios esperados en la precipitación media de la zona norte del Huila (2011-2040).

7.7.3. Temperatura media multianual periodo 2011-2040

Así mismo se realizó la espacialización de la información de temperatura media del periodo 2011-2040 obteniendo el mapa de la Figura 39, el cual confirma que el norte del departamento del Huila estaría fuertemente afectado por el cambio climático.

Con base en los análisis del comportamiento de la variable a largo plazo los mayores incrementos se prevén para el valle geográfico del río Magdalena (+2°C) donde se localizan los municipios con menor altitud de la zona y en general del departamento. En total son 11 de los 15 municipios que componen la subregión norte del Huila los que sentirán con más fuerza las consecuencias del cambio gradual en la temperatura.

Es evidente que el aumento está relacionado con la altura, ya que para los municipios ubicados en las estribaciones de las cordilleras central y oriental se esperan cambios en la temperatura de un grado Celsius (+1°C). De la misma forma, la parte alta del municipio de Teruel y Colombia donde se presenta una altura de más de 2000 msnm evidencia una variación de +0.25°C con respecto a la temperatura de referencia. Aunque el cambio no es tan significativo en la alta montaña del sitio de estudio esta variación puede traer grandes repercusiones para uno de los mayores indicadores del cambio climático: El Volcán Nevado del Huila el cual ha reducido su área 2.7% (0.2 Km²) entre 2016 y 2017 y que cuenta actualmente con 7.3 Km² de área glaciar (IDEAM, 2018).

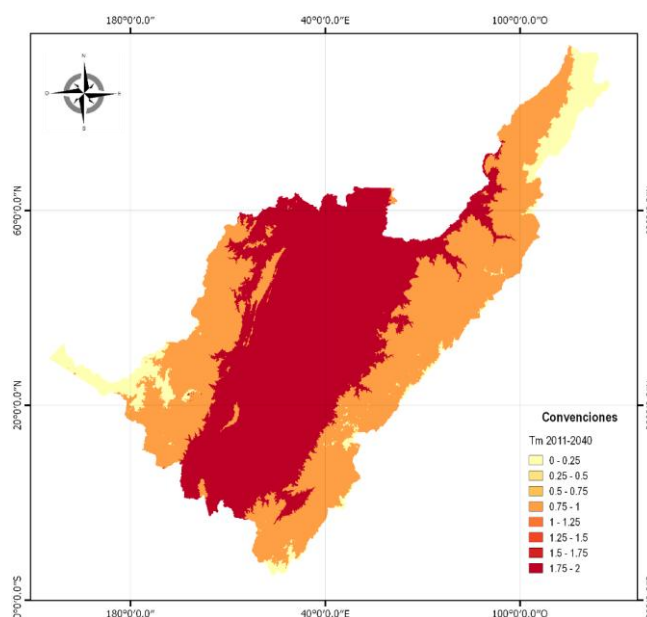


Figura 39. Mapa de los cambios esperados en la temperatura media de la zona norte del Huila (2011-2040).

7.8. Modelamiento Agroclimático

Los impactos del cambio en las condiciones climáticas del país han afectado a la mayoría de las regiones y sectores productivos generando dificultades a nivel social, económico y ambiental. El sector agropecuario que ocupa un PIB del 14.6% para el departamento del Huila (MINCIT, 2018) y especialmente la agricultura, se destaca por ser uno de los sectores más afectados ya que presenta gran vulnerabilidad a las modificaciones en el clima.

Una muestra de esto fue la Ola invernal 2010-2011 que se manifestó con intensas lluvias y dejó pérdidas por \$24.108 millones en cultivos en todo el departamento. Rivera, Neiva, Tello, Colombia y Campoalegre se caracterizan por ser los municipios del norte del Huila donde se encuentra las zonas más críticas y de mayor vulnerabilidad ante eventos extremos (Manchola, 2017).

Es así como este sector que representa un renglón importante para la economía de la región ha sido foco de múltiples investigaciones que indican que el cambio climático puede llegar a constituirse en una seria amenaza para el sector, ocasionando pérdidas en la producción y rendimientos de diferentes cultivos.

El cultivo de arroz no ha sido ajeno a este fenómeno, ya que las altas temperaturas y las prolongadas sequías asociadas con el ENOS fase cálida han afectado sus rendimientos en varios departamentos. Esta situación ha preocupado a muchos agricultores de la zona ya que sin duda éste es uno de los cultivos de ciclo corto más importantes para el departamento, ocupando el cuarto lugar a nivel nacional con producciones que alcanzan las 258.685 toneladas anuales y que se encuentran distribuidas principalmente en los municipios de Campoalegre, Palermo y Villavieja (DANE, 2016).

Por lo anterior, se integró en este estudio un componente agroclimático que evalúa los rendimientos del cultivo de arroz bajo escenarios de variabilidad climática a través del modelo de simulación CropWat para zonas productoras del municipio de Villavieja, el cual alcanzó en 2016 una producción de 26.899 toneladas y cuenta con una participación del 0.9% del total nacional (DANE, 2016). El ajuste del modelo se realizó utilizando información de años con presencia de “El Niño” (1997-1998), “La Niña” (2010-2011) y en condiciones Neutras (1993), sus resultados se presentan a continuación.

7.8.1. Escenario Histórico

Para este escenario se utilizó la normal climatológica de la serie (1985-2016) con el fin de identificar el comportamiento del cultivo de arroz para esta zona de producción agrícola y así poder ser comparado con los escenarios para las diferentes fases del ENOS.

En la Figura 40 se aprecia la salida gráfica generada mediante el modelo CropWat para la variable precipitación y precipitación efectiva del cultivo, representando la climatología propia de la zona la cual comprende las áreas del departamento con menores tasas de precipitación total anual y un régimen con distribución bimodal, descrito con anterioridad en el capítulo de caracterización climática.

Este escenario indica condiciones ideales para el desarrollo del cultivo, con precipitaciones adecuadas y bien distribuidas para las necesidades del cultivo. Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó la fórmula empírica desarrollada por la FAO, la cual tiene en cuenta las pérdidas por Escorrentía Superficial (ES) y Percolación Profunda (PP).

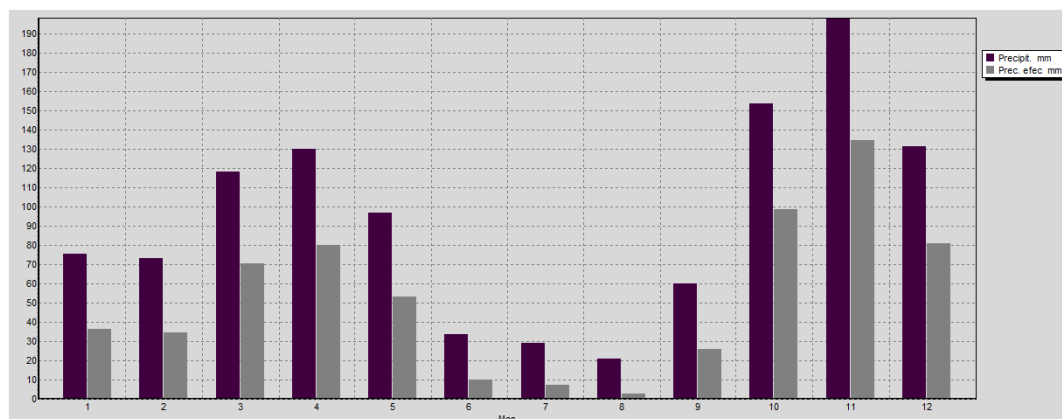


Figura 40. Precipitación media mensual multianual y precipitación efectiva.

El diagrama de la Figura 41 presenta el comportamiento de la Evapotranspiración de referencia – Eto (mm/día), la radiación ($\text{MJ/m}^2/\text{día}$) y la velocidad del viento (m/s) para la estación San José (21115060) donde se observa que los máximos valores para ETo se encuentran en los meses de julio (7.26 mm/día), agosto (7.92 mm/día) y septiembre (7.23 mm/día). Para el cálculo de esta variable el modelo utiliza la ecuación de FAO Penman-Monteith para el cultivo hipotético de referencia, clave para el cálculo de los requerimientos de agua.

Por otro lado, la evapotranspiración que está determinada por la cantidad de energía para evaporar el agua, presenta una relación significativa con la radiación solar, que es la fuente más importante de energía en el planeta. Como se aprecia en la figura la radiación alcanza sus valores máximos de $18.2 \text{ MJ/m}^2/\text{día}$ y $17.4 \text{ MJ/m}^2/\text{día}$ para los meses de enero y agosto.

Igualmente, la velocidad del viento obtuvo los picos máximos en los meses de junio, julio y agosto con velocidades de 5.5 m/s lo que confirma que el proceso de remoción de vapor depende en alto grado de esta variable (FAO, 2006). En la figura no se graficó la temperatura, pero es otro parámetro climático que afecta en gran proporción la evapotranspiración, las altas temperaturas de la zona están influenciadas por la radiación solar y el calor emitido por la tierra, los cuales transfieren energía al cultivo aumentando las tasas de evapotranspiración. Las pérdidas de agua sin duda son mayores en días soleados y cálidos como es el caso de los meses de enero, febrero y en mayor proporción para julio y agosto (Anexo 38).

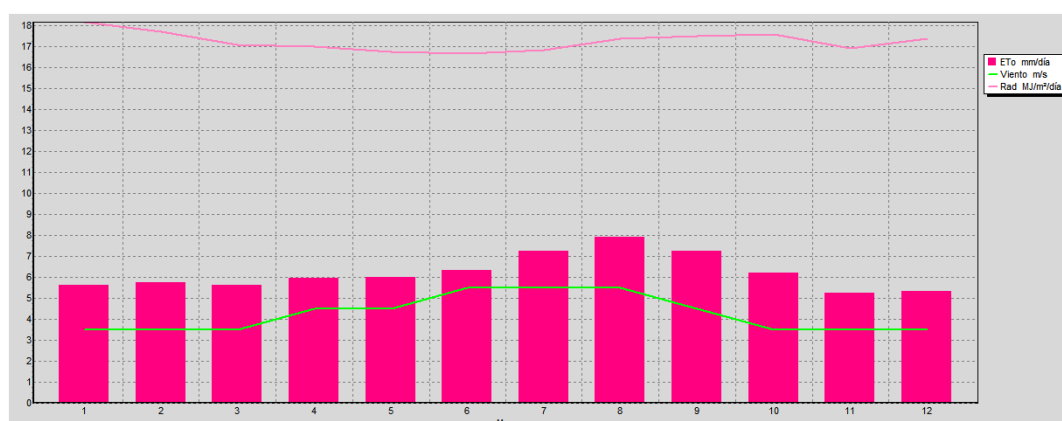


Figura 41. Evapotranspiración del cultivo de referencia, radiación y velocidad del viento.

La Figura 42 presenta los requerimientos de riego del cultivo de arroz en base decadal (10 días) para todas las etapas de crecimiento, calculado por medio del módulo denominado Requerimientos de Agua del Cultivo – RAC, teniendo en cuenta la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo – ETC y la precipitación efectiva. Se tomó como fecha de siembra el 30 de marzo principalmente porque en la región se realizan dos siembras que coinciden con el inicio de la temporada de lluvias, las cuales se encuentran condicionadas por el tránsito de la ZCIT por el territorio nacional. Sin embargo, esto no es una limitante ya que esta zona se beneficia del distrito de riego USOALFONSO, logrando realizar siembras en diferentes meses del año.

Como lo indica el diagrama para todos los meses del ciclo vegetativo el cultivo requiere de un suministro de agua adicional para cubrir las pérdidas por evapotranspiración, ya que la cantidad de agua proveniente de las lluvias no son suficientes para el óptimo desarrollo del cultivo. Así mismo se observa el comportamiento de la ETC a lo largo de las etapas de desarrollo, indicando los mayores picos para el mes de julio lo que corresponde con la etapa de mediados de temporada donde particularmente el Kc alcanza su valor máximo. Por otro lado, para el periodo inicial donde el área foliar es mínima y los porcentajes de humedad del suelo son altos debido a las lluvias y el riego, la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación en el suelo (FAO, 2006).

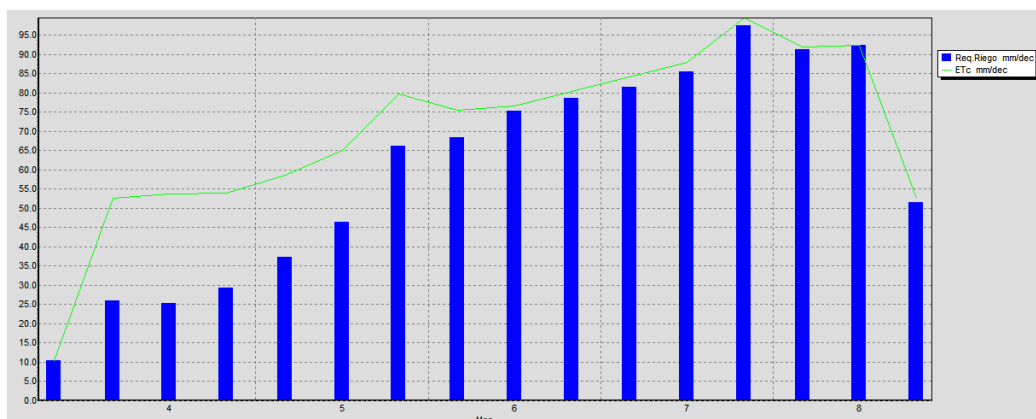


Figura 42. Requerimiento de riego y evapotranspiración del cultivo.

Finalmente, el modelo genera una tabla de programación de riego del cultivo, elaborado mediante un balance hídrico del suelo a escala diaria para diferentes condiciones de manejo donde es posible elegir el momento de riego, la aplicación y el porcentaje de eficiencia en campo. Por defecto, estas opciones son las de regar a agotamiento crítico, reponer a capacidad de campo y con una eficiencia de riego del 70%.

Teniendo en cuenta estos criterios la programación indica la lámina a aplicar cada día, con el fin de mantener el cultivo con un agotamiento por encima del Agua fácilmente Aprovechable (AFA) y Capacidad de Campo (CC) brindando las condiciones óptimas al cultivo durante todo su ciclo productivo, garantizando los máximos rendimientos.

Cuando esta opción se cambia y no se utiliza riego suplementario si no que solo se utilizan las precipitaciones como fuente de agua para el cultivo (arroz seco) la reducción en los rendimientos llega hasta un 84.3%, presentando condiciones de estrés hídrico con déficits en todos los meses como se muestra en la Figura 43, el agotamiento de humedad en la zona radicular llega en algunos meses hasta el punto mínimo del Agua Disponible Total. Igualmente, en los primeros y últimos días después de la siembra se alcanzan niveles de Punto de Marchitez Permanente, lo que causaría la pérdida del cultivo. Lo anterior concluye que debido a las condiciones climáticas del municipio de Villavieja solo es posible cultivar arroz de riego.

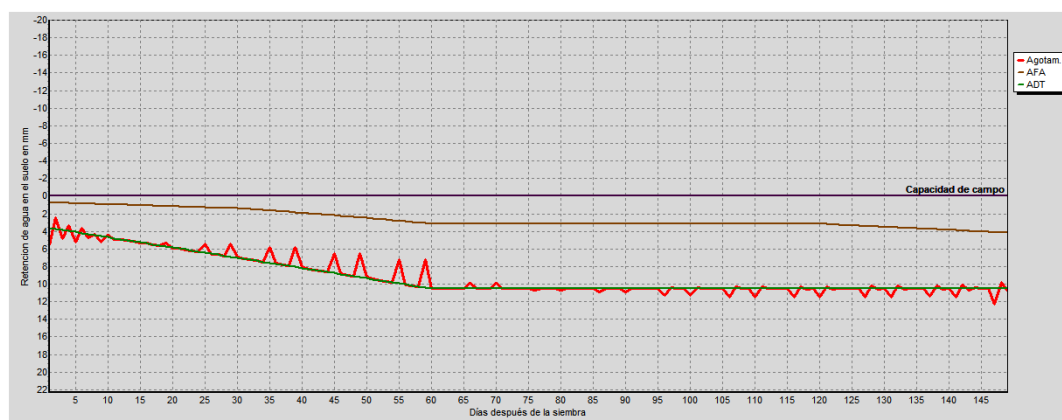


Figura 43. Porcentaje de agotamiento de humedad en condiciones de secano.

7.8.2. Escenario “El Niño”

Para este escenario se utilizaron los datos de la estación San José para el año 1997 donde se presentó un evento “Niño” catalogado como uno de los más intensos del siglo XX. En el diagrama de la Figura 44 se observa la distribución de la precipitación y precipitación efectiva (mm), evidenciando niveles muy inferiores respecto a la media multianual para los diferentes meses, lo que confirma que este fenómeno de variabilidad afectó considerablemente la zona sin suprimir por completo las temporadas secas o lluviosas pero acumulando un ‘déficit hídrico’ mes a mes que redujo considerablemente las precipitaciones con efectos que se reflejaron principalmente en la disminución de los rendimientos agrícolas, retrasos en las épocas de siembra y la elevación de los costos de producción (CAF, 2002). Lo anterior confirma lo reportado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2016) quienes explican que para la ciudad de Neiva y otras zonas de la región andina el déficit anual de lluvias para ese año estuvo entre el 50% y 65%.

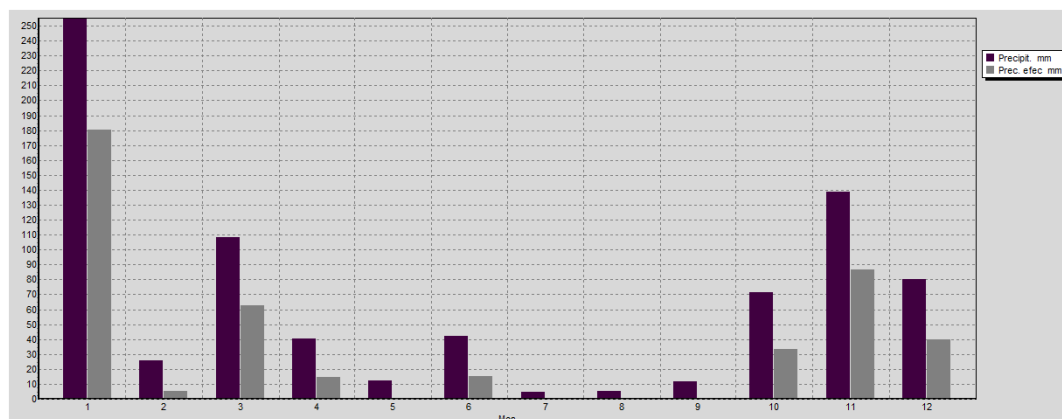


Figura 44. Precipitación media mensual multianual y precipitación efectiva.

El diagrama de Evapotranspiración del cultivo de referencia, radiación y velocidad del viento (Figura 45) no presenta grandes variaciones en su distribución a lo largo del año con respecto al escenario histórico, los mayores valores para cada una de las variables también se evidencian en los meses de julio, agosto y septiembre, aunque en promedio los valores de la ETo estuvieron por encima pasando de 6.21 mm/día (escenario histórico) a 6.65 mm/día respectivamente.

Otro parámetro importante en este escenario fue la temperatura, la cual alcanzó valores máximos de 39°C (Anexo 39) con anomalías que oscilan entre 0.5 y 1°C. Esta variable ya ha evidenciado impactos en la producción de arroz, pues interviene en la aceleración del proceso de maduración, que en el caso del arroz es de 15 días, lo cual provoca menor peso de grano, mala calidad de grano e incrementa el vaneamiento (Castilla *et al.*, 2010).

En general, con la información presentada en la Figura 44 y 45 es posible identificar los efectos del fenómeno El Niño en los patrones de lluvia, temperatura del aire y evapotranspiración para el municipio de Villavieja, lo cual permite consolidar estrategias de adaptación para los agricultores de la región ante futuros eventos de variabilidad climática.

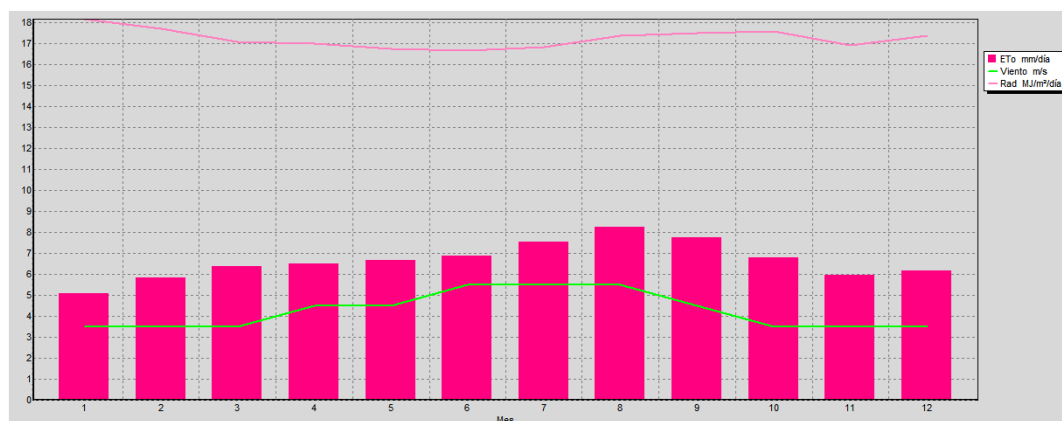


Figura 45. Evapotranspiración del cultivo de referencia, radiación y velocidad del viento.

El agua de riego necesaria para compensar la pérdida por evapotranspiración en este escenario se presenta en la Figura 46, donde se puede observar que las precipitaciones no son suficientes para evitar el estrés hídrico del cultivo, por lo que es necesario aplicar una lámina de agua que para el

último periodo del mes de julio se incrementa hasta 104.6 mm/dec. Para este caso la evapotranspiración del cultivo alcanza los 1204.2 mm anuales de los cuales 1174.3 son suministrados mediante riego. Si el programa se configura eligiendo regar hasta alcanzar el nivel de agotamiento crítico, como en este caso, entonces se crean las condiciones óptimas de riego para el cultivo y por lo tanto no se generan reducciones en los rendimientos por estrés hídrico.

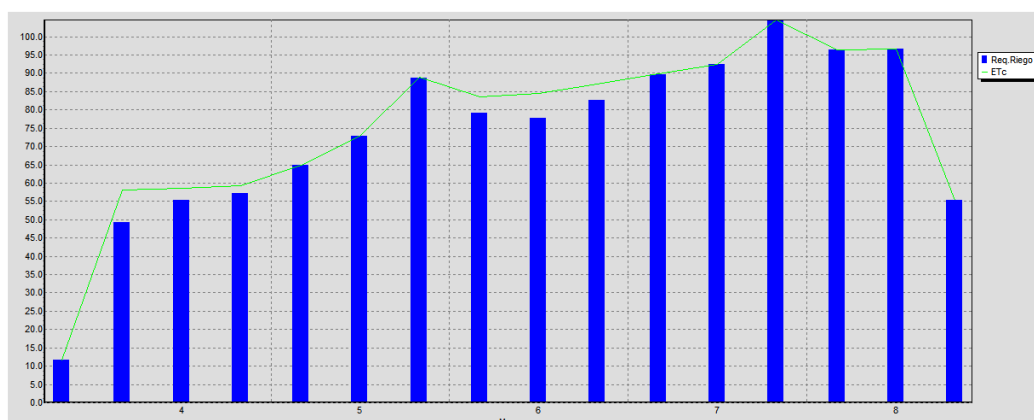


Figura 47. Porcentaje de agotamiento de humedad en condiciones de secano.

7.8.3. Escenario “La Niña”

Igualmente se simuló el comportamiento de un año “Niña” por medio del modelo CropWat para la estación de análisis teniendo en cuenta los datos climáticos e información agronómica del cultivo de arroz. Como resultado se presenta el diagrama de la Figura 48 donde se observa la distribución de la precipitación media del año 2011 y la precipitación utilizada de forma efectiva por las plantas. La figura permite identificar los efectos totalmente atípicos en los niveles de precipitación para esta zona, con valores por encima y fuera de los rangos históricos, como es el caso de los meses de abril (317.8 mm) y noviembre (467.8 mm).

La ocurrencia de este fenómeno de categoría fuerte y ubicado entre los seis eventos de este tipo más importantes desde 1950 (CEPAL, 2012), no cambia el régimen de lluvias de la zona, pero si lo intensifica incrementando la pluviosidad por encima de los valores normales. Los mayores impactos para el cultivo de arroz a causa de los incrementos en las precipitaciones se presentan por demoras en el tiempo de siembra y una vez establecido el cultivo por proliferación de problemas fitosanitarios e inundaciones causadas por el desbordamiento de los ríos (Rivera, 2011), para este año en el Huila 1400 hectareas de arroz fueron afectadas por este fenómeno (Caraballo & Plata, 2017).

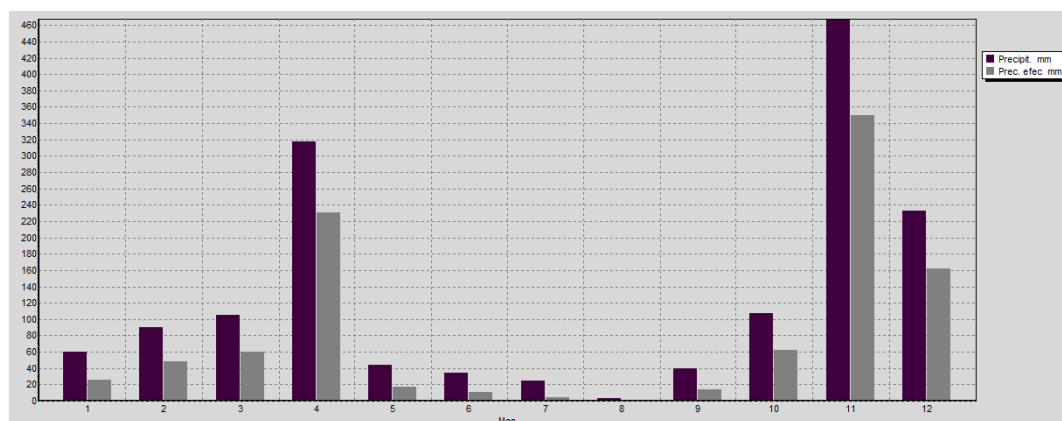


Figura 48. Precipitación media mensual multianual y precipitación efectiva.

En la Figura 49 se observa el comportamiento de los parámetros radiación, velocidad del viento y evapotranspiración del cultivo de referencia durante el año, los cuales no presentan grandes diferencias con respecto a los demás escenarios, sus picos máximos coinciden para las tres variables en los meses de julio, agosto y septiembre. La evapotranspiración de referencia presentó cambios poco significativos en su promedio anual, obteniendo en promedio 6.12 mm/día y una disminución de 1.5% con respecto al escenario histórico. El seguimiento de estas variables meteorológicas permite tener conocimiento acerca de la climatología de la zona, contribuyendo a la toma de decisiones en situaciones de emergencia y logrando establecer la época oportuna de siembra para el cultivo de arroz.

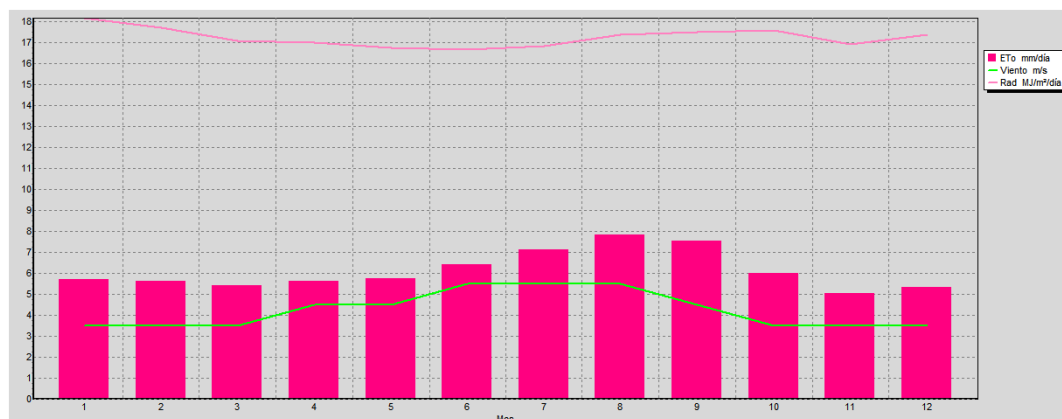


Figura 49. Evapotranspiración del cultivo de referencia, radiación y velocidad del viento.

Para el escenario bajo condiciones “La Niña” (Figura 50) los requerimientos de riego disminuyen para el mes de abril coincidiendo con una parte de la etapa de inicio y desarrollo del cultivo de arroz, donde el aumento de la pluviosidad como consecuencia del fenómeno ENOS fase fría satisface las necesidades hídricas de la planta manteniendo las condiciones necesarias para el normal desarrollo del cultivo.

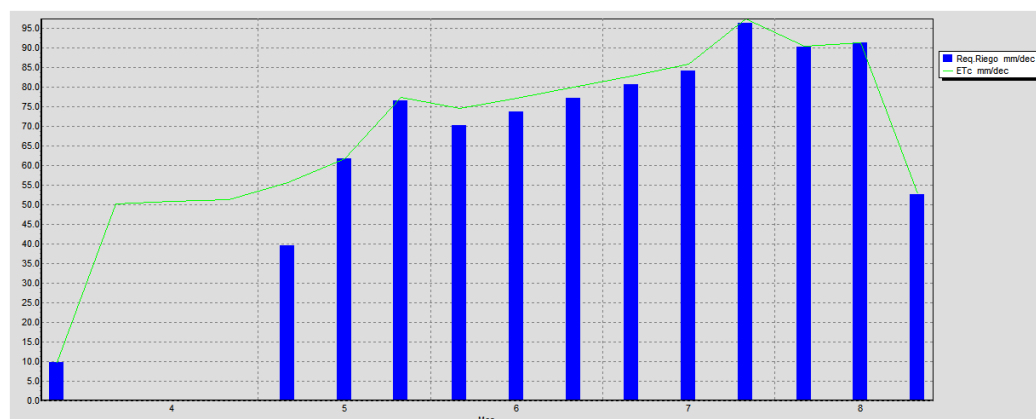


Figura 50. Requerimiento de riego y evapotranspiración del cultivo.

Aunque este escenario presenta temperaturas más bajas y aumentos en la precipitación anual, tampoco provee las condiciones necesarias para satisfacer la demanda hídrica del cultivo de arroz.

En la Figura 51 se presenta el porcentaje de agotamiento del agua en el suelo que en la mayoría del ciclo productivo se encuentra cerca de los niveles de Punto de Marchitez Permanente. Los rendimientos para este escenario alcanzaron reducciones del 88.3%.

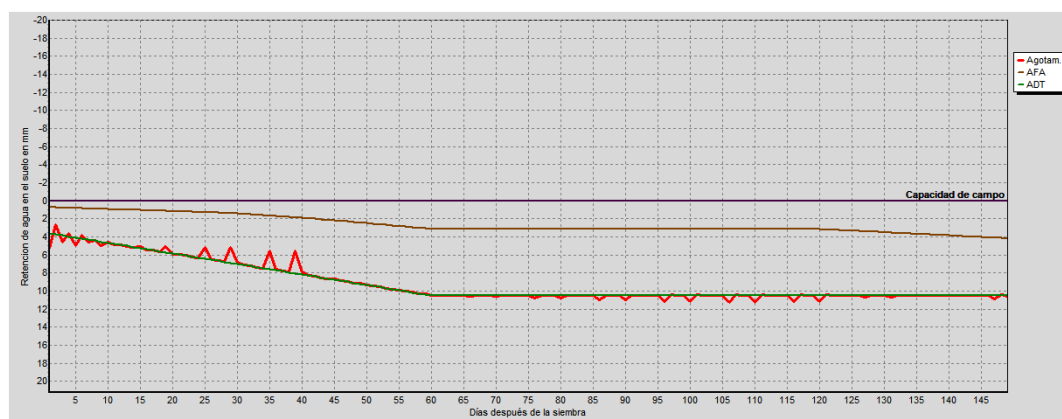


Figura 51. Porcentaje de agotamiento de humedad en condiciones de secano.

7.8.4. Escenario Neutro

De la misma forma para este escenario se tuvieron en cuenta los valores del índice Oceánico El Niño (ONI), el cual indicó que para el año 1993 las anomalías de la atmósfera y de la temperatura de la superficie del mar se mantuvieron en niveles neutros.

La precipitación media anual para este año efectivamente muestra valores normales de 1219.6 mm (Normal Climatológica 1118.9 mm) distribuidos como es común en el trimestre Marzo-Mayo y Octubre-Diciembre (Figura 52).

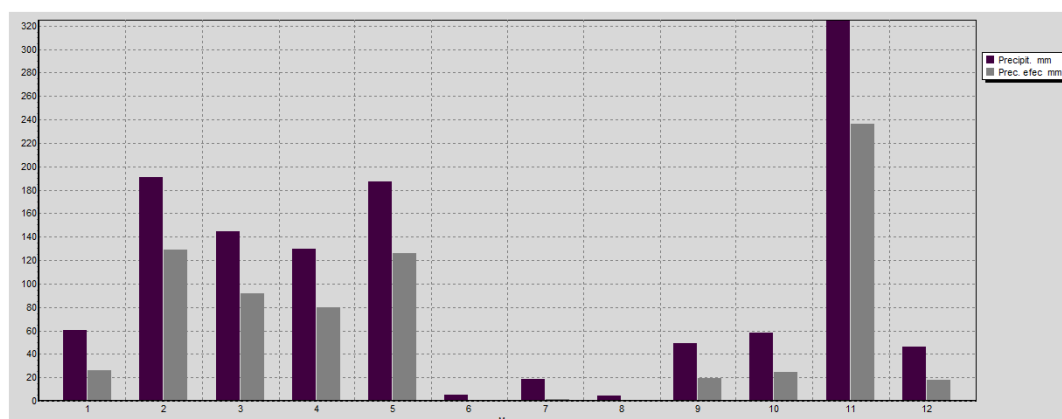


Figura 52. Precipitación media mensual multianual y precipitación efectiva.

Así mismo los valores de evapotranspiración de referencia, radiación solar y velocidad del viento presentados en la Figura 53 evidencian comportamientos similares a los demás escenarios, pero con valores muy cercanos al escenario histórico con evapotranspiración promedio de 6.23 mm/día y picos máximos en los meses más cálidos del año (julio, agosto y septiembre).

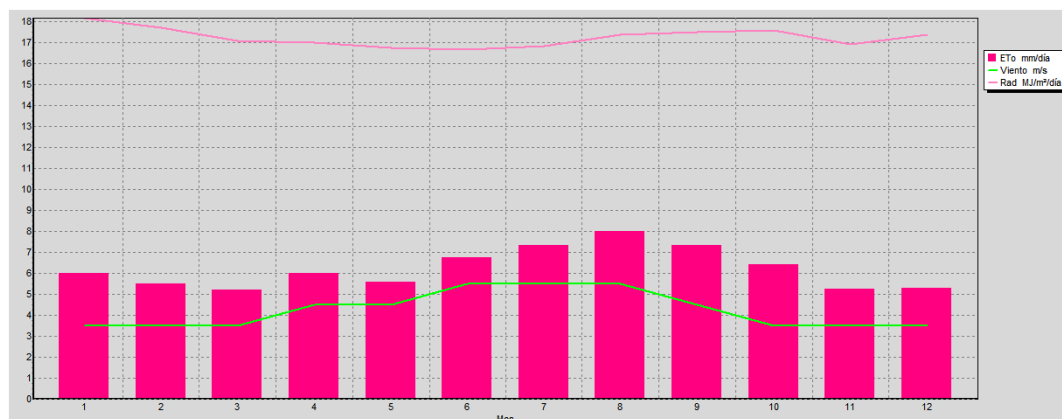


Figura 53. Evapotranspiración del cultivo de referencia, radiación y velocidad del viento.

En la Figura 54 se observa que es necesario adicionar agua de riego a lo largo de todo el desarrollo del cultivo con el fin de suplir las pérdidas ocasionadas por evapotranspiración. Para los primeros meses las precipitaciones satisfacen las necesidades hídricas del cultivo, donde el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo y finalmente en las últimas etapas cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración (FAO, 2006).

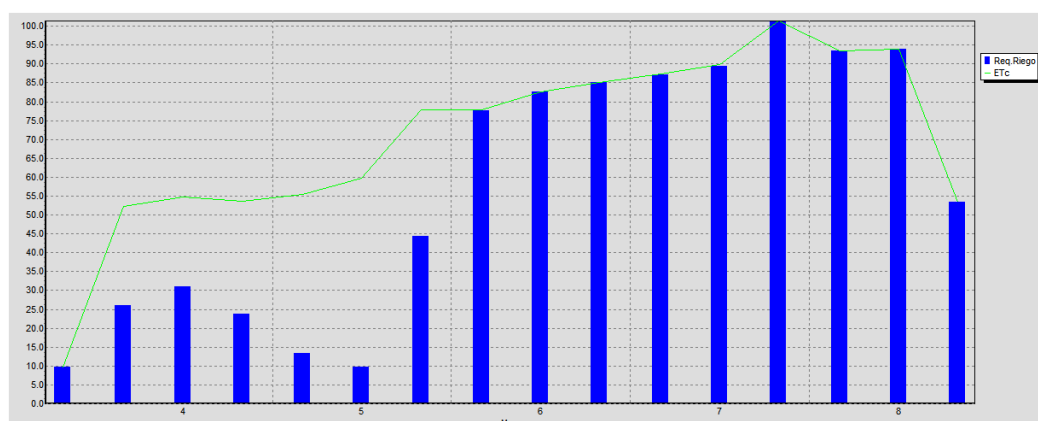


Figura 54. Requerimiento de riego y evapotranspiración del cultivo.

Para el escenario Neutro el programa estimó reducciones en el rendimiento del cultivo de 89.1% con una distribución en el porcentaje de agotamiento de la humedad del suelo como se muestra en la Figura 55, la cual evidencia niveles cercanos a Punto de Marchitez Permanente. Los días 25 a 60 después de la siembra que coinciden con los meses de abril y mayo presentan valores que se acercan a los niveles de Agua Fácilmente Aprovechable debido a que la pluviosidad es mayor para estos meses, sin embargo, el cultivo sigue manteniendo condiciones de estrés, por lo que se recomienda suministrar agua de riego para no afectar el desarrollo normal de la planta.

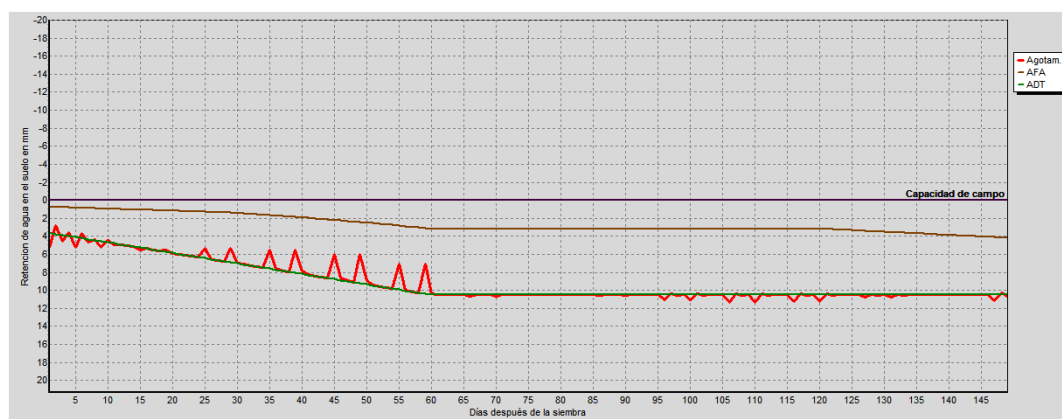


Figura 55. Porcentaje de agotamiento de humedad en condiciones de secano.

Finalmente, en la Figura 56 se presentan las precipitaciones de los escenarios utilizados para el uso y aplicación del modelo agroclimático CropWat con el fin de observar de forma clara el comportamiento y las variaciones de la pluviosidad a lo largo del año.

En todos los escenarios se evidencia la distribución de los dos periodos secos y húmedos que caracterizan las lluvias de la zona y que regulan las épocas de siembra para los diferentes cultivos.

Particularmente esta estación confirma la influencia del fenómeno ENOS en la región y refleja los cambios en las condiciones normales.

De la misma manera es posible identificar que los escenarios Niño (1997) y Niña (2011) que están influenciados por las variaciones en la temperatura del océano pacífico alteran la distribución de la precipitación, acentuando las épocas secas y húmedas.

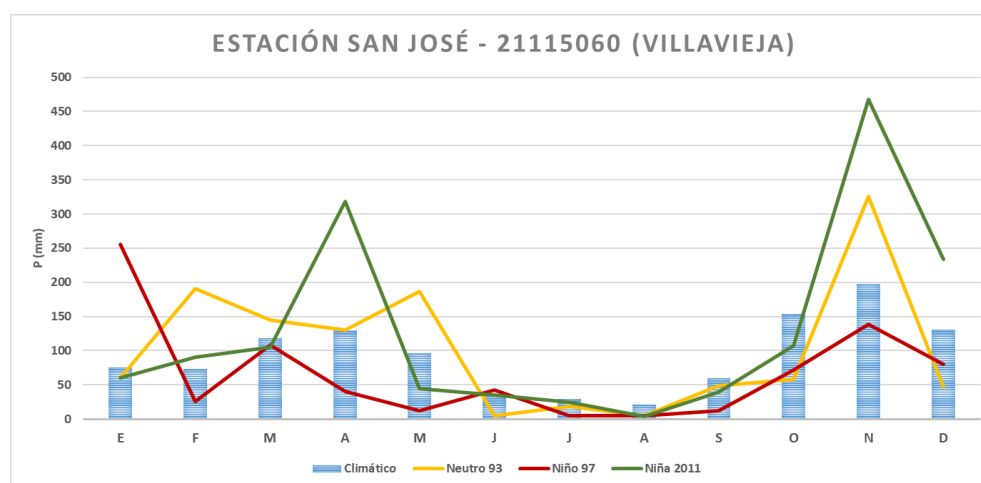


Figura 56. Precipitación media mensual para los diferentes escenarios.

8. Conclusiones y Recomendaciones

El análisis detallado de la climatología de la zona norte del departamento del Huila, donde se estudiaron registros mensuales de precipitación y temperatura de 44 y 9 estaciones respectivamente, evidenció que el 93% de las estaciones para precipitación y el 33% de las estaciones de temperatura cumplieron con los supuestos de homogeneidad y aprobaron las pruebas estadísticas, lo que confirma la calidad y confiabilidad de la información utilizada.

Las condiciones climáticas de la subregión norte indican que los meses con mayor pluviosidad corresponden a marzo, abril, octubre y noviembre, mientras que los meses de enero y agosto son los meses de menor pluviosidad registrada, los cuales se encuentran determinados por la dinámica de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). La estación La Legiosa ubicada en el municipio de Colombia, es la única que presenta un comportamiento muy diferente a las demás, con lluvias máximas en los meses de junio-julio y un periodo de menor precipitación en los meses de diciembre a febrero debido a las particularidades de la zona.

El método utilizado para la estimación de datos faltantes de series climatológicas es de fácil aplicación y de gran utilidad, sin embargo, presenta algunas limitaciones ya que requiere información a escala diaria de temperatura mínima, máxima y precipitación, además de bajos porcentajes de datos faltantes, lo cual es difícil encontrar en los registros de las estaciones del IDEAM.

En el análisis de la precipitación y temperatura para el periodo 1985-2016 fue posible evidenciar que el clima de la zona esta influenciado por los distintos pisos térmicos, por lo tanto, las regiones correspondientes al valle del río Magdalena presentaron las temperaturas más altas con valores que alcanzaron los 28°C y los promedios más bajos para precipitación, los cuales llegaron solo hasta 80 mm anuales. Por otro lado, en las estribaciones de las cordilleras y en la cumbre de las grandes montañas se encontraron temperaturas que van desde 20 hasta 3°C principalmente en los municipios de Teruel, Santa María y Colombia, donde por otro lado las precipitaciones alcanzaron promedios de 170 mm anuales.

La metodología utilizada para la clasificación climática permitió obtener resultados certeros e información detallada para cada municipio de la zona, donde se identificaron 15 tipos de climas de los 25 propuestos por Caldas-Lang y de los cuales se destacan el Cálido y el Templado abarcando el 61% del área total de la subregión. Las condiciones orográficas que constituyen las cordilleras central y oriental son las que determinan en gran medida la distribución de los climas de la zona determinando las actividades de producción de la región y facilitando la diversidad de especies.

La transformada de Fourier y la transformada de Wavelet son herramientas que permiten identificar los fenómenos de variabilidad climática que más inciden en las variables meteorológicas de la zona, con ellas se generaron diagramas que evidenciaron la señal asociada con el fenómeno El Niño/La Niña Oscilación del Sur para la mayoría de las estaciones analizadas, con periodicidad de 32 a 64 meses y gran poder espectral en años donde el evento fue categorizado con intensidad fuerte. Además, se evidenció una señal con poder espectral muy significativo entre 8 y 16 meses relacionada con el paso de la Zona de Confluencia Intertropical sobre el país.

Las tablas de contingencia demostraron que el ciclo anual de la hidrología de la zona esta fuertemente afectada por el fenómeno ENOS, con probabilidades de más del 80% de que se presenten aumentos en la pluviosidad ante la presencia de un evento “La Niña” y 100% de probabilidad de presentar disminuciones bajo condiciones “Niño”. Las mayores afectaciones se presentaron en las zonas mas bajas, especialmente en los municipios cercanos al río Magdalena, donde se encuentra la mayor actividad socioeconómica de la subregión, convirtiendo a esta zona en un área altamente vulnerable al fenómeno y a los efectos causados sobre el recurso hídrico.

El promedio de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) indican que la zona norte del departamento del Huila si estaría afectada por el Cambio Climático pero no de la misma forma para todos los municipios, ya que para el año 2040 se esperan aumentos de cerca de un 40% en la precipitación anual para el municipio de Villavieja y entre un 10 y 30% para el resto de los municipios de la zona.

En cuanto a la temperatura media anual se espera que aumente entre 1.5 y 2°C especialmente en las áreas más cálidas de la subregión que coinciden con 11 de los 15 municipios de la zona.

Estos resultados son preocupantes pues indican que la zona norte del Huila sentirá los efectos ocasionados por el cambio climático global, lo cual modificará las condiciones del clima local afectando fuertemente el sector agrícola.

El modelamiento agroclimático realizado para el cultivo de arroz en el municipio de Villavieja evidenció los impactos generados por el evento El Niño (1997-1998) y La Niña (2010-2011) el cual afectó principalmente las variables precipitación, temperatura y evapotranspiración del cultivo. Los análisis igualmente permitieron reafirmar que el cultivo de arroz en esta zona solo puede ser establecido bajo riego debido a que las condiciones climáticas no satisfacen las necesidades hídricas del cultivo ni proveen el ambiente necesario para el desarrollo del arroz seco.

En general, todos los objetivos propuestos inicialmente fueron alcanzados de manera exitosa con el desarrollo de la metodología utilizada, se recomienda seguir realizando estudios de carácter hidroclimatológico para las demás zonas del departamento del Huila con el fin de evaluar el impacto del cambio climático en cultivos de gran importancia economía en la región, tales como el café, el cacao, la caña panelera, entre otros.

En trabajos de carácter climatológico es indispensable incluir encuestas realizadas a los agricultores de la zona de estudio con el objetivo de fortalecer las investigaciones con información basada en la experiencia en campo.

Es importante informar a las comunidades sobre el riesgo inminente que produce el cambio acelerado en las condiciones del clima en todos los sectores económicos, principalmente para crear conciencia de esta problemática que ya está generando perdidas económicas importantes en todo el mundo e igualmente contribuir con la creación de planes de adaptación y mitigación que minimicen los impactos generados por los fenómenos extremos.

9. Referencias Bibliográficas

- Montealegre Bocanegra, J. E., & Pabón Caicedo, J. (2002). Seguimiento, diagnóstico y predicción climática en Colombia. *Meteorología Colombiana*, 59-65.
- AEMA - Agencia Europea de Medio Ambiente. (2015). *El medio ambiente en Europa: Estado y perspectiva 2015*. Copenhague: Informe de síntesis .
- Alianza Clima y Desarrollo. (2012). *La Gestión de Riesgos Extremos y Desastres en América Latina y el Caribe: Aprendizajes del Informe Especial (SREX) del IPCC*. pp 21.
- Almorox Alonso, J. (2010). *Clasificación Climática Gaussen*. Recuperado el 11 de Junio de 2018, de Open Course Ware - Universidad Politécnica de Madrid: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/clasificacionesclimaticas/gaussenclasificacionclimatica.pdf>
- Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., & Ruiz, J. F. (s. f.). *Climatología trimestral de Colombia*. Bogotá D.C.: Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático - IDEAM.
- Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., & Ruiz, J. F. (2012). *Cambio climático más probable para Colombia a lo largo del siglo XXI respecto al clima presente*. Bogotá D.C.: IDEAM.
- Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., & Ruíz, J. (s. f.). *Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al ciclo El Niño, La Niña - Oscilación del Sur (ENSO)*. Recuperado el 02 de 09 de 2018, de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Variabilidad+Climatica+Trimestral+P+precipitacion+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango%2C+Dorado%29.pdf/eec9752d-05ac-43f5-913c-4a3c7adc7860>
- Armenta Porras, G. E. (2013). *Análisis detallado del efecto foehn generado por la cordillera Oriental en el alto Magdalena (Huila y Tolima)*. Bogotá, Colombia.
- Cadena, M., Pabón Caicedo, J. D., Devis, A., Málikov, I., Reyna, J., & Ortiz, J. (2006). Relationship Between the 1997/1998 El Niño and 1999/2001 La Niña Events and Oil Palm Tree Production in Tumaco, Southwestern Colombia. *Advances in Geophysics*, 195-199.
- CAF. (2002). *El Fenómeno El Niño 1997 y 1998, Memoria, Retos y Soluciones, Volúmen III: Colombia*. Bogotá D.C. .
- Caraballo Zamudio, M. P., & Plata Rivas, M. T. (2017). *Análisis de percepción de los efectos ambientales, económicos, políticos y sociales del calentamiento global, vulnerabilidad y adaptación en sectores productivos del Huila*. Bogotá.
- Castilla, L., Pineda, D., Ospina, J., Echeverry, J., Perafan, R., Garces, G., . . . Diaz, A. (2010). Cambio climático y producción de arroz. *Arroz*, 58(489), 4-11.
- Castro, L. M., & Carvajal Escobar, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. *Eidenar - Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*(9), 15-25. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434002>
- CEPAL - Comisión económica para América Latina y el Caribe. (2012). *Valoración de daños y pérdidas, Ola invernal en Colombia 2010 - 2011*.
- CEPAL, DNP, BID. (2014). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia - Síntesis*. Washington D.C.
- CIFEN. (15 de Agosto de 2016). *Adaptación y mitigación al cambio climático*. . Obtenido de Informe IPCC, 2007: goo.gl/eJaNnT
- CNC - Centro de Predicción del Clima. (2005). *Preguntas frecuentes ENSO: ¿con qué frecuencia ocurren normalmente El Niño y la Niña?*

- Comunidad Andina. (2010). *Por encima de la Tierra, El Niño y La Niña*. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de <http://goo.gl/PXPDy8>
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2008). *Censo General 2005 - Nivel Nacional*.
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2016). *4° Censo Nacional Arrocero*. Bogotá D.C.
- De corso Silicia, G. B., & Pinilla Rivera, M. (2017). Métodos gráficos de análisis exploratorio de datos espaciales con variables espacialmente distribuidas. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 8(25), 92-104. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4096/409655122009.pdf>
- Defensoría del pueblo. (2011). *Emergencia en Colombia por el fenómeno de la Niña 2010-2011*. Bogotá D.C.
- Delgado M., Ulloa C. & Ramírez J. (2015). *La economía del Departamento del Huila: Diagnostico y perspectiva de mediano plazo*. Fedesarrollo, centro de investigación económica y social.
- DNP, MINAMBIENTE, IDEAM, UNGRD. (2012). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático - ABC: Adaptación Bases Conceptuales - Marco Conceptual y Lineamientos*. Bogotá D.C.
- Enfield, D. (1997). Relationships of Inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Geophysical Research Letters*, 1-4.
- Eslava, J., & Pabón, J. (2001). Proyecto "Proyecciones climáticas e impactos socioeconómicos del cambio climático en Colombia". *Meteorología colombiana*(3), 1-8.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *FAO N°56 Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.
- FAO. (2013). *Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de arroz en los departamentos de Tolima y Meta*.
- FAO. (18 de Enero de 2016). *Land and Water Division*. Obtenido de Crop model Aquacrop V.5 : <http://goo.gl/sA8Na4>
- Fernández, M. E. (2013). *Diagnóstico de modelos agroclimáticos: Evaluación del riesgo agroclimático por sectores*. Recuperado el 05 de agosto de 2018, de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Uso+de+Modelos+agroclim%C3%A1ticos.pdf/9f53a23d-9afa-4fda-aad3-5fe407c6cfea>
- FUNRAICES - Fundación Raíces, CRC - Corporación Autónoma Regional del Cauca. (2010). *Plan de ordenación y manejo parte baja de la subcuenca hidrográfica del río San Jorge - POMCH bajo San Jorge*. Recuperado el 16 de Julio de 2018, de Corporación Autónoma Regional del Cauca: http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POMCH/Rio%20San%20Jorge-Bajo/pomch_san_jorge_2011.pdf
- García Ramos, J., Ramos González, C., & Ruiz Garzón, G. (2006). *Estadística administrativa*. Servicio de publicaciones Universidad de Cádiz.
- Gobernación del Huila. (2007). *Agenda interna para la productividad y competitividad del departamento del Huila*. Neiva: Editora Surcolombiana S.A. pp 400.
- Gobernación del Huila. (2015). *Plan departamental de gestión del riesgo de desastres del Huila*. Neiva, Huila. Colombia.

- Gobernación del Huila, CAM, USAID, FCMC, E3. (2014). *Plan de Cambio Climático Huila 2050: Preparándose para el cambio climático*. Recuperado el 22 de Agosto de 2018, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/nodo_centro_andino/Huila_2050-Plan_de_Cambio_Climatico_2x1.pdf
- Guzmán Martínez, O., & Baldión Rincón, J. V. (1997). El evento cálido del Pacífico en la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 48(3), 141-155.
- Guzmán, D., Ruíz, J. F., & Cadena, M. (2014). *Regionalización de Colombia según estacionalidad de la precipitación media mensual, a través de análisis de componentes principales (ACP)*. Bogotá D.C.: Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático, Subdirección de Meteorología – IDEAM.
- Guzmán, D., Ruíz, J. F., & Cadena, M. (2014). *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través de análisis de componentes principales*. Bogotá D.C., Colombia: Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático. Subdirección de Meteorología - IDEAM.
- Hastenrath, S. (1991). *Climate dynamics of the tropics*. USA. Kluwer Academic Publishers Madison: 488 pp.
- Hernández, N., Soto, F., & Caballero, A. (2009). *Modelos de simulación de cultivos. Características y usos*. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cultivos Tropicales. pp 73-82.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, M. y. (2014). *Clasificación Climática de Caldas-Lang - Colombia*. Obtenido de Atlas Climatológico de Colombia 1981-2010: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Caldas_Lang.pdf
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales. (2018). *Informe del estado de los glaciares colombianos*. Bogotá D.C.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, IAvH - Instituto Alexander Von Humbolt. (2014). *Informe técnico final de clima insumos y bases de datos SIG: Levantamiento de inventarios de estaciones meteorológicas en el país, control de calidad de las bases de datos de información climática y análisis de la climatología nacional*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2014). *Determinación de un rango normal para la precipitación - Análisis comparativo entre los umbrales de normalidad (80-120%) y (90-110%)*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2015). *Atlas Climatológico de Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Vol 1 ISBN: 978-958-8067-73-5. Recuperado el 16 de Diciembre de 2015, de <http://atlas.ideam.gov.co/>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100, Herramientas Científicas para la toma de decisiones - Enfoque Nacional - Regional: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2016). *Conocer: El primer paso para adaptarse - Guía básica de conceptos sobre el cambio climático*. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2017). *Resumen ejecutivo Tercera Comunicación Nacional De Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC)*. Bogotá D.C.

- IDEAM, UNAL. (2018). *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de IDEAM: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). *Zonificación Climática (Instructivo)*. Recuperado el 24 de julio de 2018, de SOFIGAC - Software de planeación y gestión: http://sofigac.igac.gov.co/files/mod_documentos/documentos/I40100-05-14%20V1/I40100-05-14%20V1%20Zonificacion%20climatica.pdf
- Jaramillo Robledo, A., & Chaves Córdoba, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé*, 102-113.
- Jiménez N. S., C. L. (2012). *Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador*. Serie Avances de Investigación N°66: Fundación Carolina CeALCI.
- Kreft, S., Eckstein, D., & Junghans, L. (2014). *Índice de riesgo climático global 2015*. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania.
- Llanos Herrera, L. (2014). *RClimTool - Manual del usuario*. CIAT - MADR, Cali.
- López, M. A., Chaves, B., & Flórez, V. J. (2011). Modelos de cultivos y modelos fenológicos. *Universidad Nacional de Colombia*, 153-177.
- Magaña Rueda, V. (2004). El cambio climático global: comprender el problema. En J. Martínez , A. Fernández Bremauntz, & P. Osnaya, *Cambio climático: Una visión desde México* (págs. 17-27).
- Manchola, C. (2017). Diario del Huila. *Municipios del Huila en riesgo inminente por desastres naturales*. Obtenido de <https://www.diariodelhuila.com/municipios-del-huila-en-riesgo-inminente-por-desastres-naturales>
- Mejía, F., Mesa, O., Poveda, G., Vélez, J., Hoyos, C., Mantilla, R., . . . Botero, B. (2000). *Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia*. Obtenido de http://www.docentes.unal.edu.co/gpoveda/docs/Dyna_127_1999_DISTRIB_CICLO_PPT_COL.pdf
- Milán J. (2011). *Apuntes sobre el cambio climático en Nicaragua*. Managua, Nicaragua.
- Miller, B., & Croft, J. (08 de Octubre de 2018). CNN. *El planeta solo tiene hasta 2030 para detener un cambio climático catastrófico, advierten los expertos*.
- MINCIT. (2018). *Información: Perfiles Económicos Departamentales*. Recuperado el 22 de 09 de 2018, de http://www.mincit.gov.co/loader.php?lServicio=Documentos&lFuncion=verPdf&id=77517&name=Perfil_departamento_Huila.pdf&prefijo=file
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) & GIZ . (2012). *Adaptación al cambio climático para la competitividad agraria: Experiencias exitosas en cultivos de Algarroba, Cacao y Café*. Lima, Perú.
- Montealegre Bocanegra, J. E. (2009). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceanicos y atmosféricos de meso y gran escala*. Bogotá D.C.: IDEAM.
- Montealegre Bocanegra, J. E. (2012). *Análisis de la variabilidad climática interanual (El Niño y La Niña) en la Región Capital, Bogotá Cundinamarca*. Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital Bogotá – Cundinamarca (PRICC), Bogotá.
- Montealegre Bocanegra, J. E., & Pabon Caicedo, J. D. (2000). La Variabilidad Climática Interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña–Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 7-21.

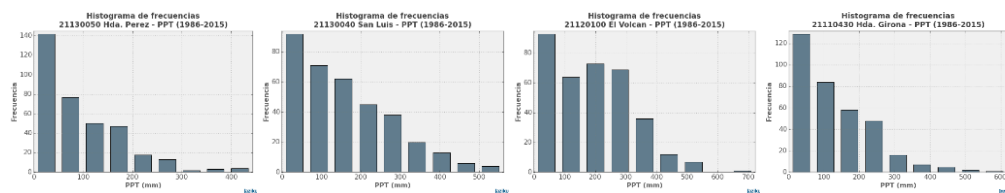
- Naciones Unidas. (2013). *Agricultura y cambio climático: Nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación al cambio climático. Seminarios y Conferencias*. Santiago, Chile: ISSN 1680-9033.
- Naciones Unidas. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: S. 15-01318.
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., . . . Lee, D. (2009). *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington D.C. doi:10.2499/0896295370
- NOAA. (1 de Agosto de 2014). *Science & Information for a climate-smart nation*. Recuperado el Febrero de 15 de 2016, de <https://goo.gl/5u6XKu>
- OMM - Organización Meteorológica Mundial. (1989). *Cálculo de las normales estándar mensuales y anuales de 30 años: Preparado por una reunión de expertos*. Washington, D.C., EE.UU: WCDP N°. 10.
- OMM - Organización Meteorológica Mundial. (2010). *Asociados en el tiempo, el clima y el agua para el desarrollo*.
- OMM - Organización Meteorológica Mundial. (2012). *Declaración de la Organización Meteorológica Mundial: Resumen decenal sobre el estado del clima mundial, conclusiones preliminares*.
- Poveda, G. (Junio de 2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Ciencias de la tierra*, 28(107), 201-222.
- Poveda, G., Vélez, J., Mesa, O., Hoyos, C., Mejía, F., Barco, O., & Correa, P. (2002). Influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos. *Meteorología Colombiana*(6), 121-130.
- Renzonni. (2009). *La incorporación de la Gestión del Riesgo en la Planificación, Inversión Pública, la Protección Financiera de Activos Frente a Desastres y en el Sector Agropecuario*. Proyecto PREDECAN. pp 73.
- Rivera López, C. P. (19 de Abril de 2011). Huila siente el invierno. *La Nación*.
- Rojas, O., Yanyun, L., & Renato, C. (2015). *Entendiendo el impacto de sequía provocada por El Niño en el área agrícola mundial: una evaluación utilizando el Índice de Estrés Agrícola de la FAO (ASI)*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO.
- Salazar, M., Jones, J., Chaves, B., & Cooman, A. (2008). A model for the potential production and dry matter distribution of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Scientia Horticulturae. Volumen 115*, 142-148.
- Sánchez, I. (2014). *Jaziku vO.10 - El software de inferencia estadística para el análisis de teleconexiones (Manual del usuario)*. Bogotá D.C.: IDEAM - Subdirección de Meteorología.
- Sarmiento, N., Ramírez, C., Jaramillo, Á., Restrepo, A., & García, J. (2018). *Monitoreo climático: Herramienta al servicio de la caficultura colombiana*. Cenicafé.
- Silva Villanueva, P. (2013). *Monitoreo y evaluación de medidas y proyectos para la adaptación al cambio climático en el sector agropecuario de la región andina*. Programa de Adaptación al Cambio Climático en la Región Andina. pp 25.
- Soto Perdomo, M. A. (2012). *Impactos ambientales y amenazas naturales de cuatro distritos de riego de la cuenca del río villavieja en los municipios de Baraya, Tello y Villavieja*. Neiva: Universidad Surcolombia, Facultad de ingeniería.

- Tootle G., A., Piechota, T., & Gutiérrez, F. (2008). The relationships between Pacific and Atlantic ocean sea surface temperature and colombian streamflow variability . *Journal Hydrology*, 268-276.
- Tovar T. F. & Sánchez T. J. (2016). *Zonificación agroclimática para riego en el norte del Huila*. UNGRD - Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2016). *Fenómeno El Niño - Análisis comparativo 1997-1998//2014-2016*. Bogota D.C.
- Welch, J. (2010). *Rice yields in tropical / subtropical Asia exhibit large but opposing sensitivities to minimum and maximum temperatures*. Proceedings of the National Academy.
- WWF. (11 de Marzo de 2016). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia*. Obtenido de CEPAL-IPCC: <http://www.wwf.org.co/?256936/5->
- Zea, J., León, E., & Eslava, J. (2000). Influencia de sistemas extratropicales en Colombia. *Meteorología Colombiana*. ISSN-0124-6984, 31-40.

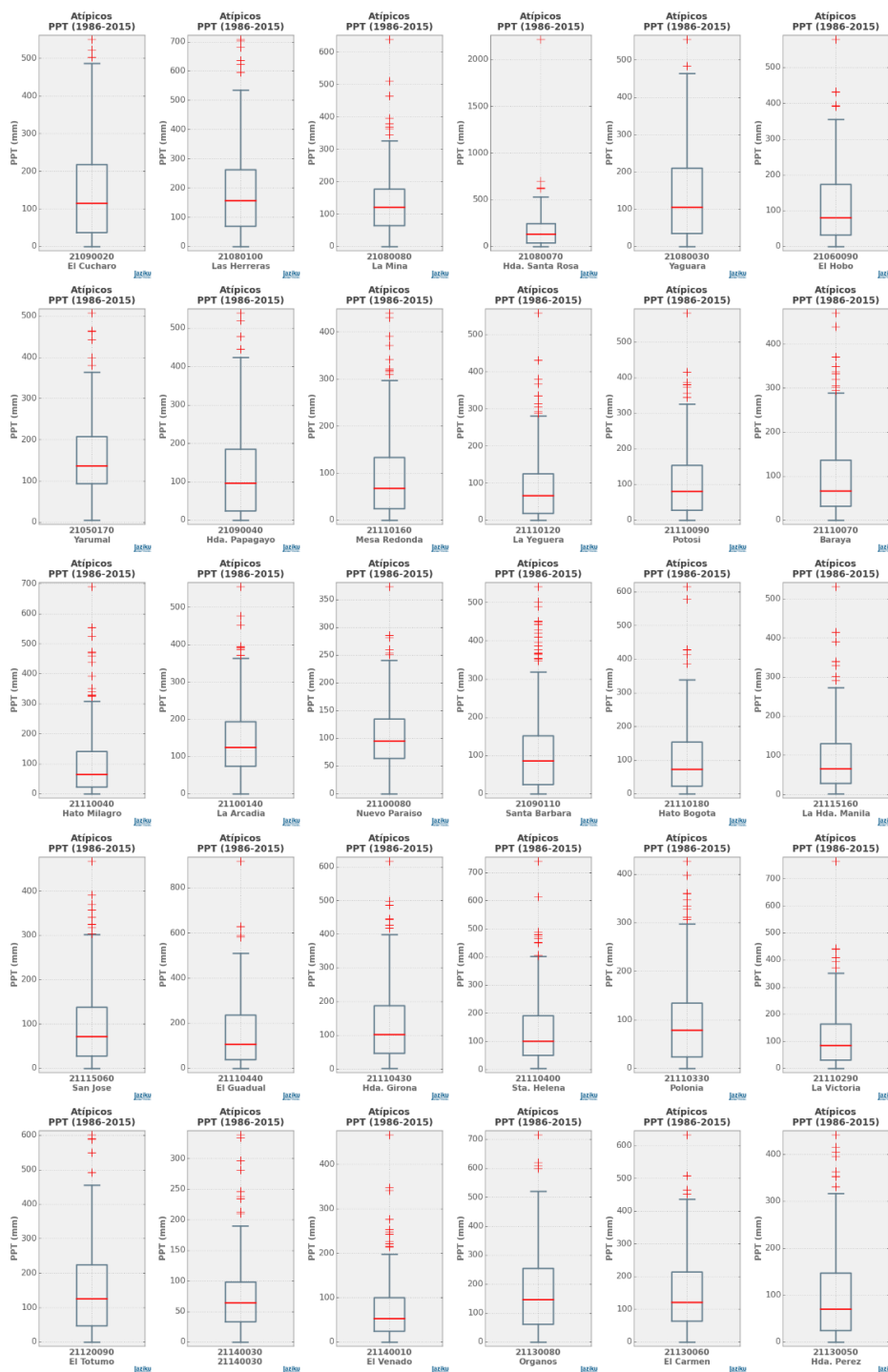


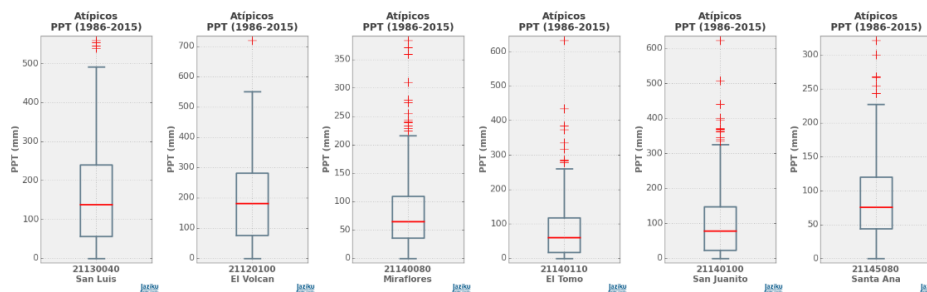
10.ANEXOS



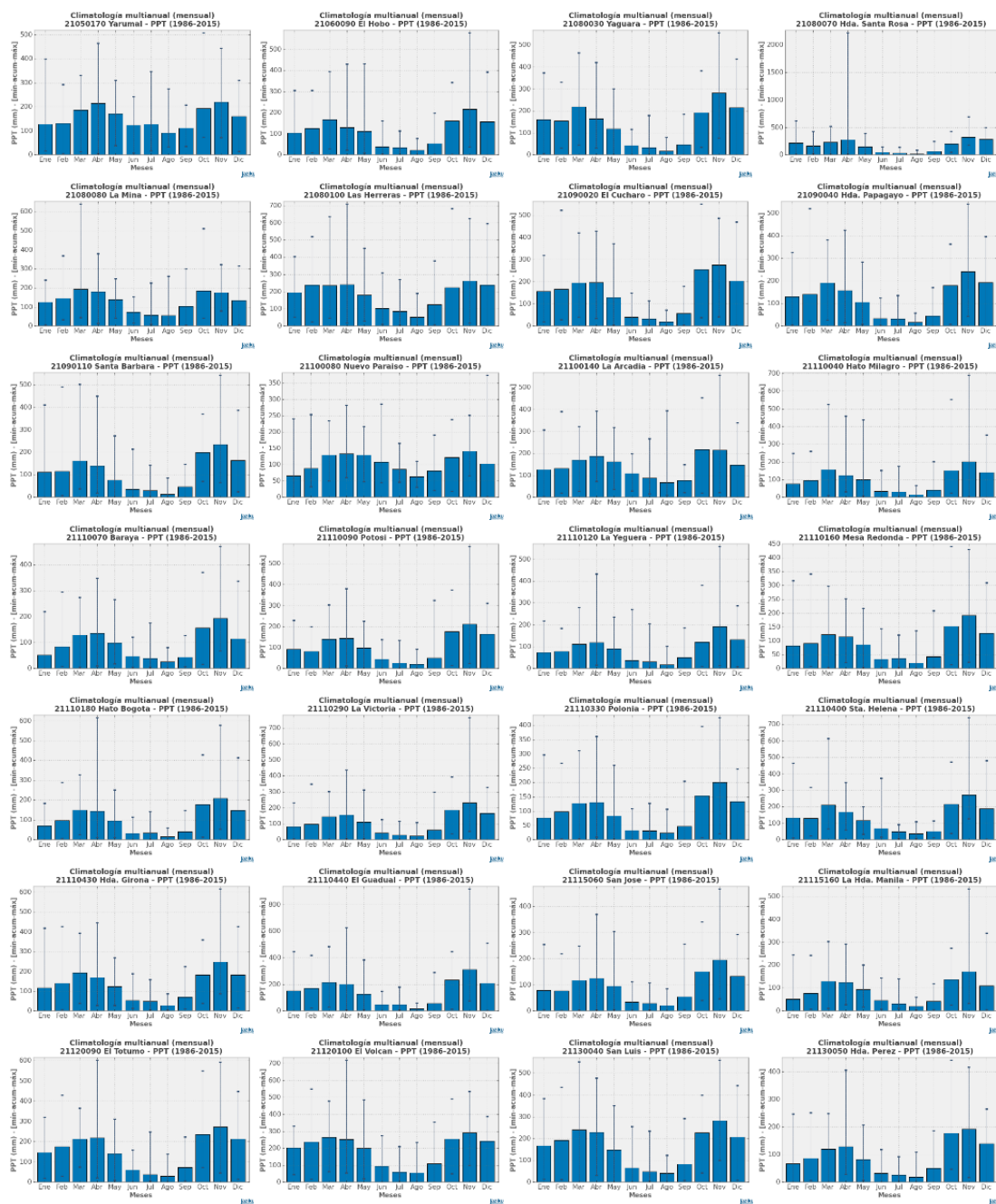


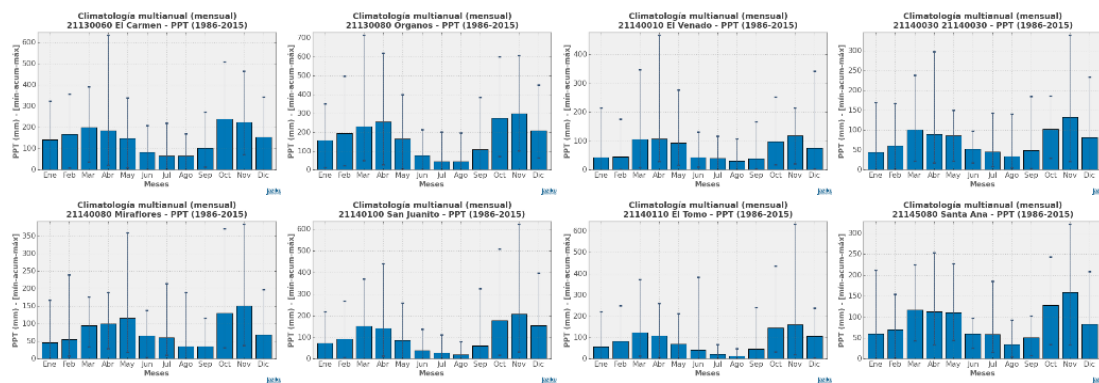
Anexo 1. Histogramas de frecuencia para precipitación.



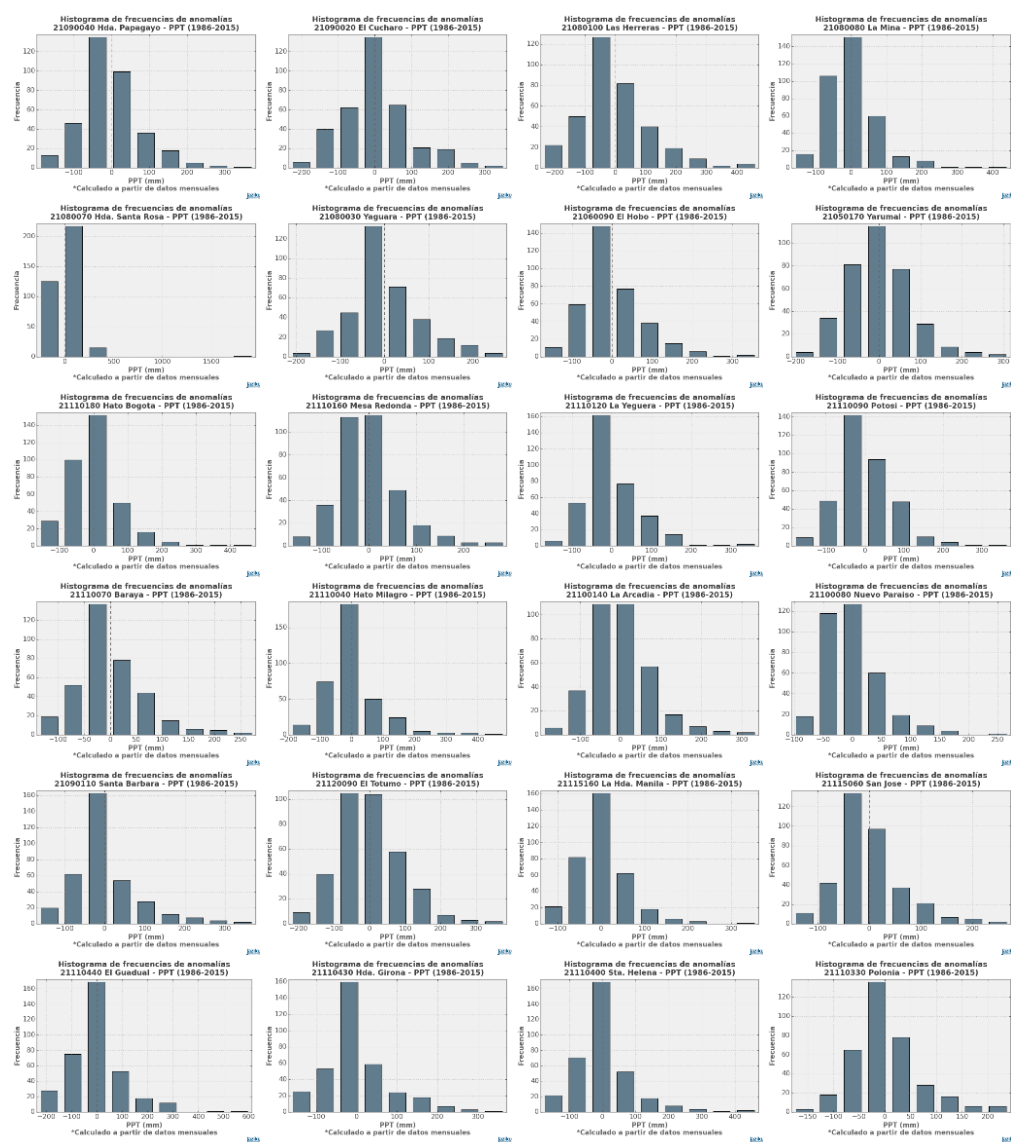


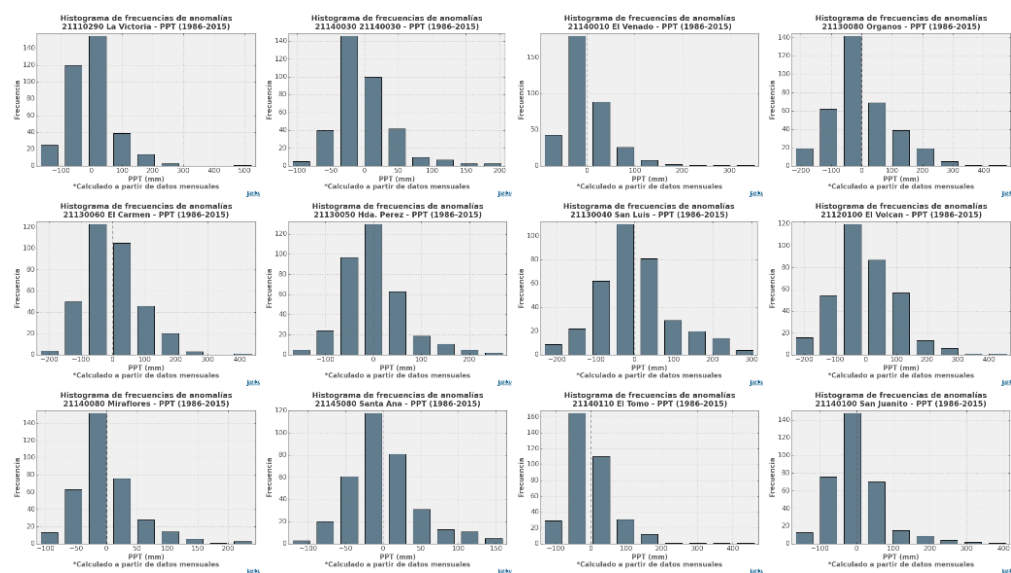
Anexo 2. Diagrama de caja y bigotes para precipitación.



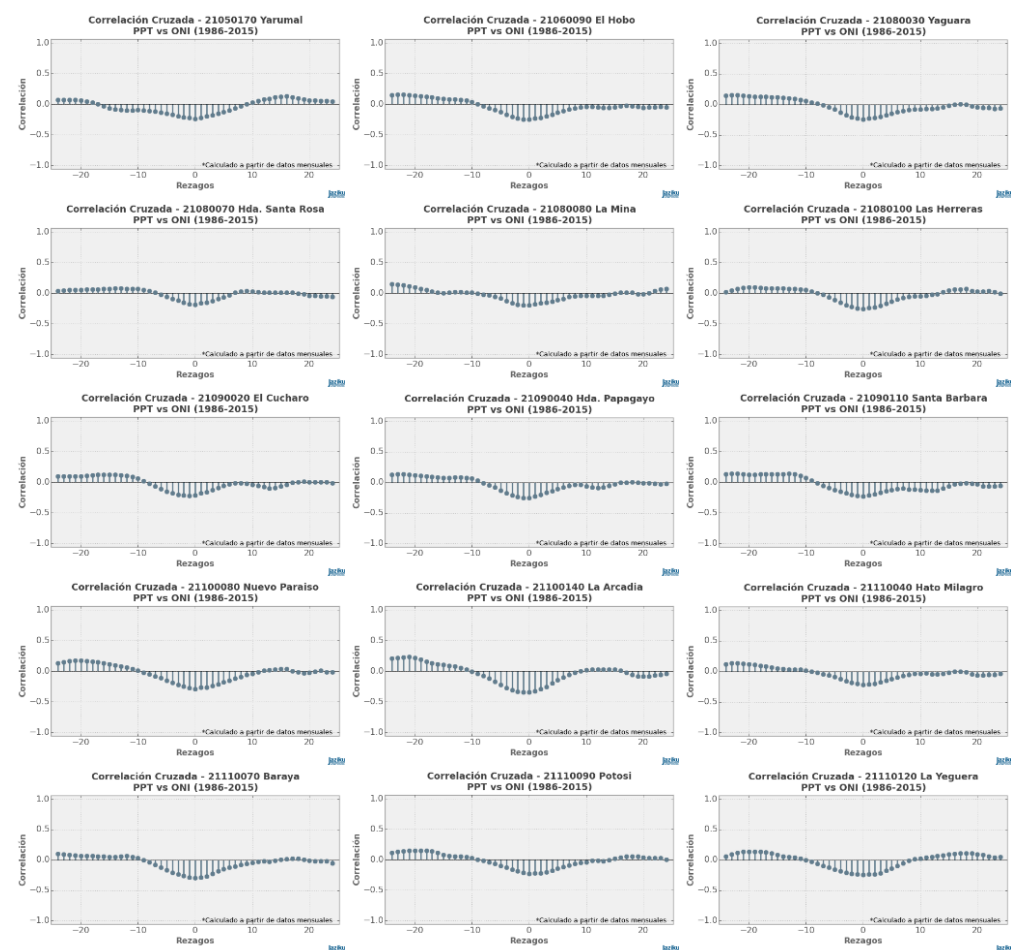


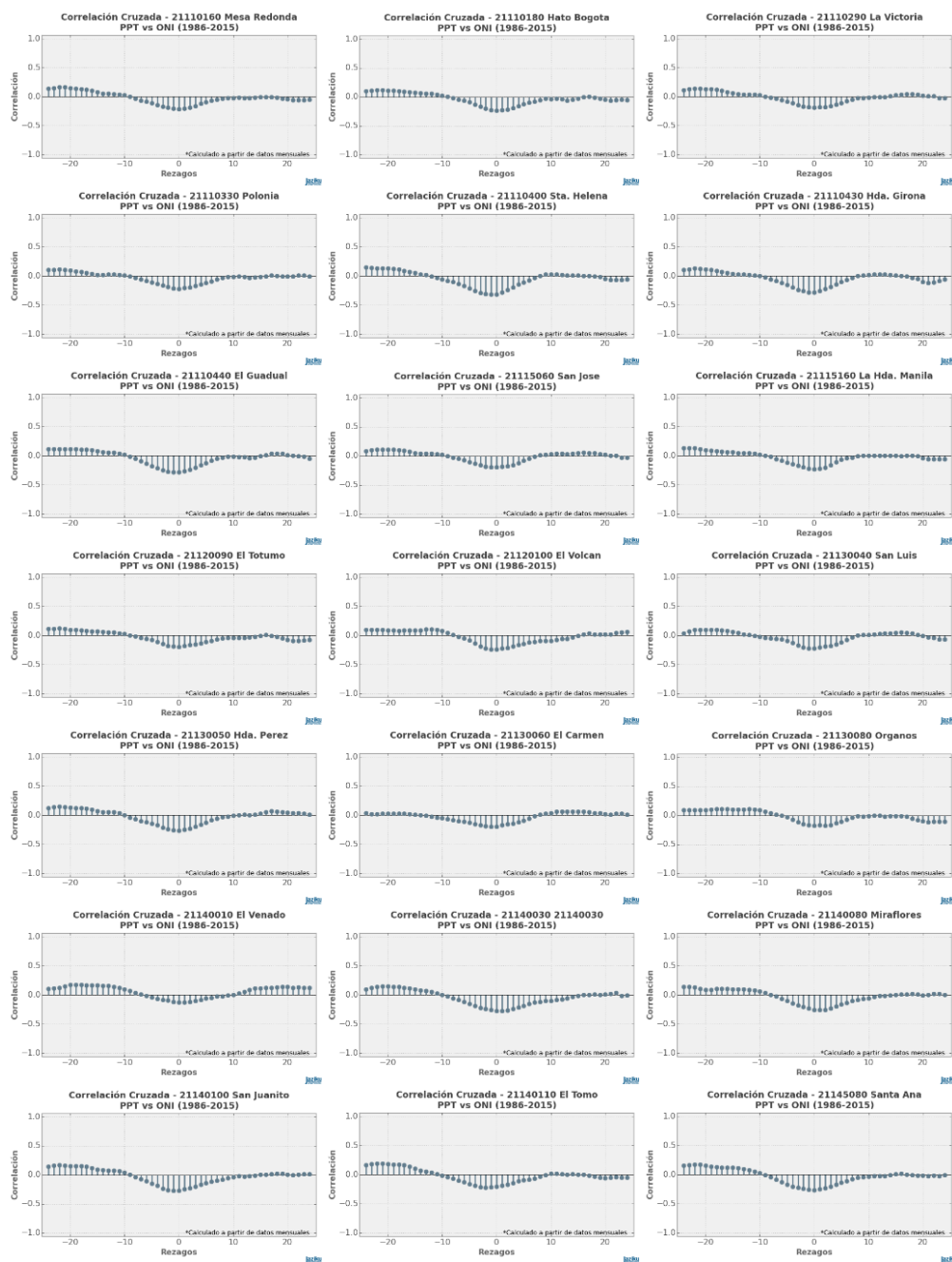
Anexo 3. Promedio mensual multianual para precipitación.





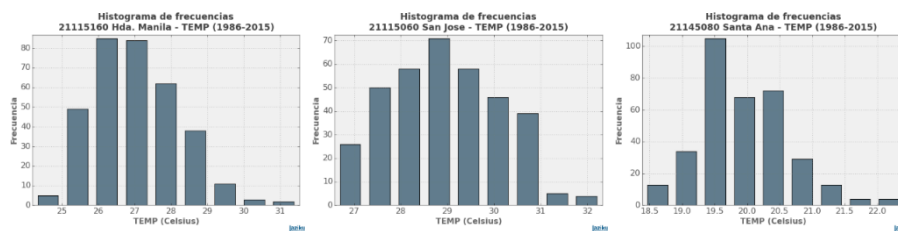
Anexo 4. Anomalías de precipitación.



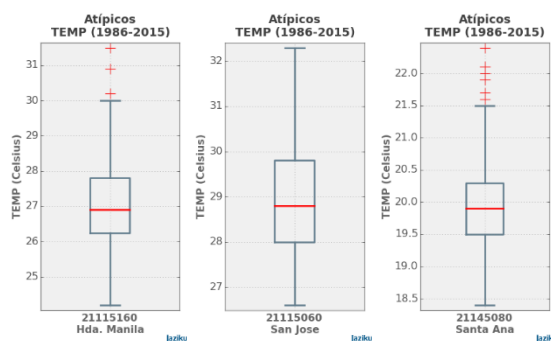


Anexo 5. Coeficiente de correlación lineal entre el índice ONI y la variable precipitación.

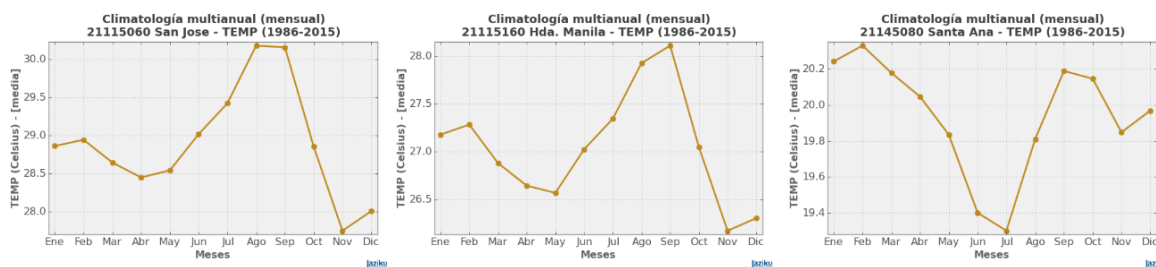




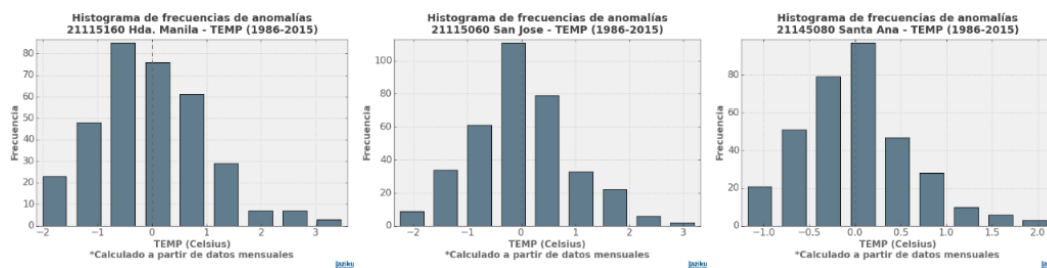
Anexo 7. Histograma de frecuencias para temperatura.



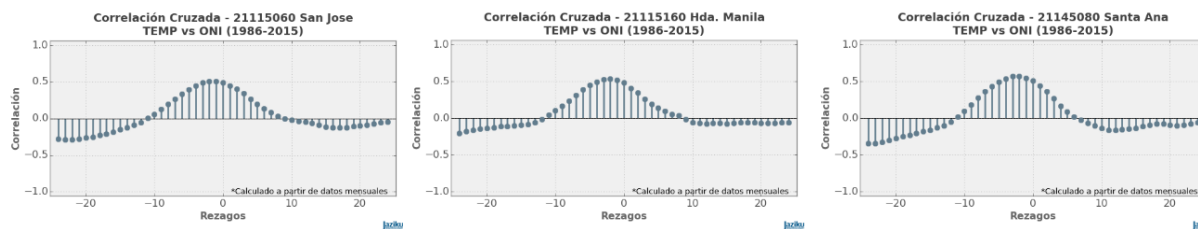
Anexo 8. Diagrama de caja y bigotes para temperatura.



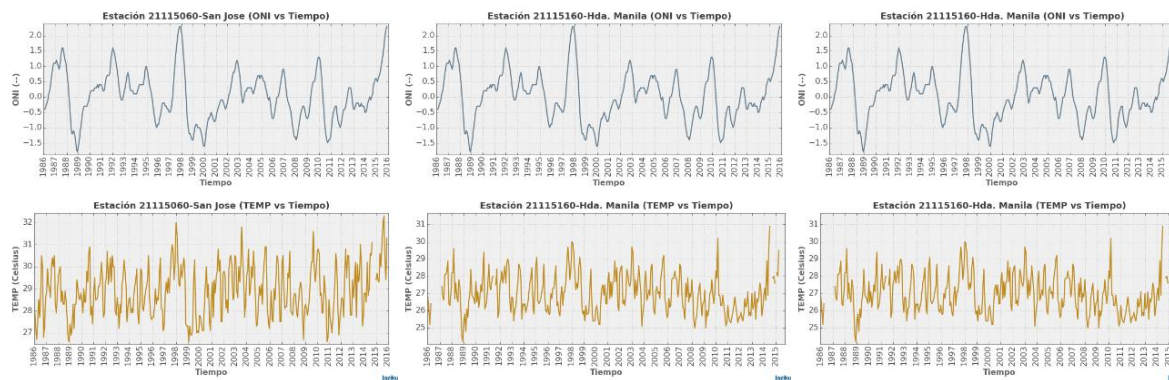
Anexo 9. Promedio mensual multianual de la temperatura media del aire.



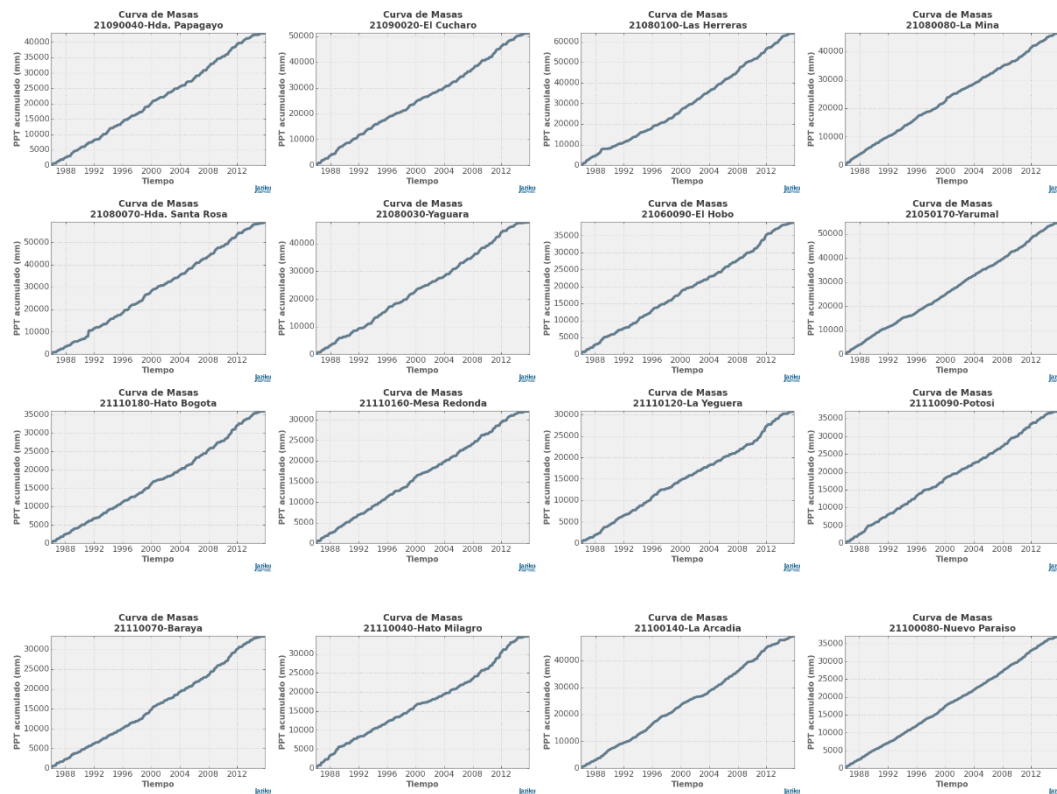
Anexo 10. Anomalías de temperatura.

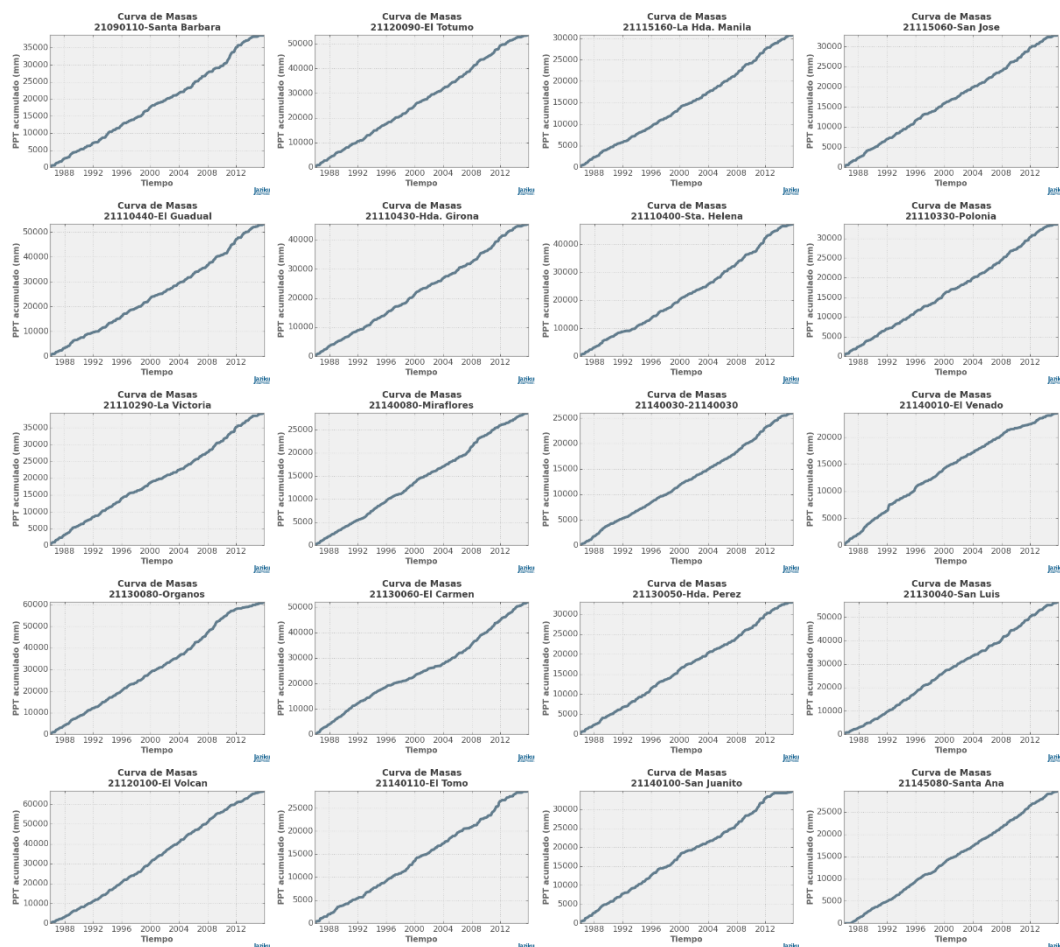


Anexo 11. Coeficiente de correlación lineal entre el índice ONI y la variable temperatura.



Anexo 12. Diagrama superior: Comportamiento de la temperatura para el periodo de referencia 1985-2016. Diagrama inferior: Secuencia del Índice ONI a lo largo del tiempo.





Anexo 13. Curvas de masa para precipitación.

Anexo 14. Test de normalidad – Shapiro Wilks (Precipitación).

Estación	Código	W	Valor P	Ho?
Yarumal	21050170	0.9474	6,36E-07	Rechazado
El Hobo	21060090	0.8817	6,01E-13	Rechazado
Yaguará	21080030	0.9166	4,40E-10	Rechazado
Santa Rosa	21080070	0.7046	1,25E-21	Rechazado
La Mina	21080080	0.9159	3.1e-13	Rechazado
Las Herreras	21080100	0.9193	6,91E-10	Rechazado
El Cucharó	21090020	0.9099	1,02E-10	Rechazado
Papagayo	21090040	0.904	3,31E-11	Rechazado
Santa Barbara	21090110	0.8611	3,24E-14	Rechazado
Nuevo Paraíso	21100080	0.9567	9,54E-06	Rechazado
La Arcadia	21100140	0.9356	4.15e-11	Rechazado
Hato Milagro	21110040	0.8102	3,64E-17	Rechazado
Baraya	21110070	0.8631	3,24E-14	Rechazado
Estación	Código	W	Valor P	Ho?
Potosí	21110090	0.8937	4,31E-12	Rechazado
La Yeguera	21110120	0.8638	4,80E-14	Rechazado

Mesa Redonda	21110160	0.8741	2,13E-13	Rechazado
Hato Bogotá	21110180	0.8533	9,53E-15	Rechazado
La Victoria	21110290	0.8719	1,29E-13	Rechazado
Polonia	21110330	0.8902	2,65E-12	Rechazado
Sta. Helena	21110400	0.8699	1,70E-13	Rechazado
Girona	21110430	0.8939	6,93E-12	Rechazado
El Guadual	21110440	0.8707	1,06E-13	Rechazado
San José	21115060	0.8831	8,06E-13	Rechazado
La Manila	21115160	0.86	2,62E-14	Rechazado
El Totumo	21120090	0.9223	1,25E-09	Rechazado
El Volcán	21120100	0.9583	1,66E-05	Rechazado
San Luis	21130040	0.9335	2,05E-08	Rechazado
Pérez	21130050	0.8854	1,18E-12	Rechazado
El Carmen	21130060	0.9335	1,95E-08	Rechazado
Órganos	21130080	0.9237	1,63E-09	Rechazado
El Venado	21140010	0.8495	7,28e-18	Rechazado
Arizona	21140030	0.8832	8,10E-13	Rechazado
Miraflores	21140080	0.8747	2,08E-13	Rechazado
San Juanito	21140100	0.8689	2,50E-13	Rechazado
El Tomo	21140110	0.8339	9,37E-16	Rechazado
Santa Ana	21145080	0.9227	2,62E-09	Rechazado

Anexo 15. Prueba estadística Test-T (Precipitación).

Estación	Código	T	Valor P	?
Yarumal	21050170	-1.515	0.1307	si
El Hobo	21060090	-0.06619	0.9473	si
Yaguará	21080030	0.4753	0.6349	si
Santa Rosa	21080070	0.1969	0.844	si
La Mina	21080080	1.435	0.1521	si
Las Herreras	21080100	-2.711	0.007041	no
El Cucharo	21090020	0.1462	0.8839	si
Papagayo	21090040	-0.2096	0.8341	si
Santa Barbara	21090110	-1.124	0.2617	si
Nuevo Paraíso	21100080	-0.18	0.8573	si
La Arcadia	21100140	-0.2825	0.7777	si
Hato Milagro	21110040	-0.3005	0.764	si
Baraya	21110070	-0.7738	0.4395	si
Potosí	21110090	0.6032	0.5467	si
La Yeguera	21110120	-0.3337	0.7388	si
Mesa Redonda	21110160	0.8491	0.3964	si
Hato Bogotá	21110180	-0.8992	0.3692	si
La Victoria	21110290	-0.36	0.719	si
Polonia	21110330	0.1609	0.8723	si
Sta. Helena	21110400	-1.808	0.07151	si
Girona	21110430	-0.3957	0.6925	si
El Guadual	21110440	-1.561	0.1195	si
San José	21115060	0.1186	0.9056	si
La Manila	21115160	-1.337	0.1821	si
El Totumo	21120090	-0.2847	0.776	si
El Volcán	21120100	-0.6293	0.5295	si
San Luis	21130040	-0.5985	0.5499	si

Estación	Código	T	Valor P	?
Pérez	21130050	0.6819	0.4957	si
El Carmen	21130060	-2.198	0.02857	no
Órganos	21130080	-0.5499	0.5827	si
El Venado	21140010	4.523	8,35E-03	no
Arizona	21140030	-0.8126	0.417	si
Miraflores	21140080	0.5026	0.6155	si
San Juanito	21140100	0.3371	0.7363	si
El Tomo	21140110	-0.04706	0.9625	si
Santa Ana	21145080	-0.2051	0.8376	si

Anexo 16. Prueba estadística Test de Levene (Precipitación).

Estación	Código	W	Valor P	?
Yarumal	21050170	1.011	0.3153	si
El Hobo	21060090	0.2761	0.5996	si
Yaguará	21080030	0.7503	0.387	si
Santa Rosa	21080070	0.08516	0.7706	si
La Mina	21080080	0.0109	0.9169	si
Las Herreras	21080100	5.325	0.0216	no
El Cucharo	21090020	2.173	0.1414	si
Papagayo	21090040	0.8268	0.3638	si
Santa Barbara	21090110	5.47	0.01991	no
Nuevo Paraíso	21100080	0.001658	0.9675	si
La Arcadia	21100140	3.118	0.0783	si
Hato Milagro	21110040	0.8215	0.3654	si
Baraya	21110070	2.013	0.1568	si
Potosí	21110090	0.2644	0.6074	si
La Yeguera	21110120	2.137	0.1447	si
Mesa Redonda	21110160	0.8626	0.3537	si
Hato Bogotá	21110180	3.169	0.0759	si
La Victoria	21110290	2.702	0.1011	si
Polonia	21110330	0.5031	0.4786	si
Sta. Helena	21110400	8.225	0.004385	no
Girona	21110430	2.333	0.1276	si
El Guadual	21110440	6.273	0.01271	no
San José	21115060	1.732	0.189	si
La Manila	21115160	3.892	0.04931	no
El Totumo	21120090	2.751	0.0981	si
El Volcán	21120100	1.669	0.1972	si
San Luis	21130040	4.007	0.0461	no
Pérez	21130050	0.5658	0.4525	si
El Carmen	21130060	8.057	0.004797	no
Órganos	21130080	7.017	0.008433	no
El Venado	21140010	5.877	0.01585	no
Arizona	21140030	9.831	0.001859	no
Miraflores	21140080	3.642	0.05713	si
San Juanito	21140100	0.3996	0.5277	si
El Tomo	21140110	0.6147	0.4336	si
Santa Ana	21145080	2.937	0.0875	si

Anexo 17. Prueba estadística Test MWW (Precipitación).

Estación	Código	U	Valor P	?
Yarumal	21050170	14650.0	0.255	si
El Hobo	21060090	15530.0	0.682	si
Yaguará	21080030	14600.0	0.3089	si
Santa Rosa	21080070	15880.0	0.8879	si
La Mina	21080080	14290.0	0.09185	si
Las Herreras	21080100	13320.0	0.01192	no
El Cucharo	21090020	14780.0	0.4561	si
Papagayo	21090040	15210.0	0.5715	si
Santa Barbara	21090110	15460.0	0.9066	si
Nuevo Paraíso	21100080	15610.0	0.8079	si
La Arcadia	21100140	14640.0	0.6612	si
Hato Milagro	21110040	15640.0	0.7653	si
Baraya	21110070	16010.0	0.9914	si
Potosí	21110090	15030.0	0.3121	si
La Yeguera	21110120	15240.0	0.7271	si
Mesa Redonda	21110160	14070.0	0.09765	si
Hato Bogotá	21110180	15730.0	0.9802	si
La Victoria	21110290	15570.0	0.7115	si
Polonia	21110330	15430.0	0.6675	si
Sta. Helena	21110400	14330.0	0.4409	si
Girona	21110430	14860.0	0.6292	si
El Guadual	21110440	15290.0	0.5109	si
San José	21115060	14940.0	0.3515	si
La Manila	21115160	15210.0	0.6369	si
El Totumo	21120090	15580.0	0.7885	si
El Volcán	21120100	15410.0	0.7247	si
San Luis	21130040	15290.0	0.9041	si
Pérez	21130050	14590.0	0.1979	si
El Carmen	21130060	13920.0	0.1009	si
Órganos	21130080	15510.0	0.667	si
El Venado	21140010	10810.0	1,39E-03	no
Arizona	21140030	15340.0	0.6033	si
Miraflores	21140080	13900.0	0.04597	no
San Juanito	21140100	13220.0	0.236	si
El Tomo	21140110	14860.0	0.5717	si
Santa Ana	21145080	14330.0	0.6846	si

Anexo 18. Test de normalidad – Shapiro Wilks (Temperatura).

Estación	Código	W	Valor P	Ho?
San José	21115060	0.9858	0.001427	rechazado
La Manila	21115160	0.9787	6,60E-02	rechazado
Santa Ana	21145080	0.974	7,86E-03	rechazado

Anexo 19. Prueba estadística Test-T (Temperatura).

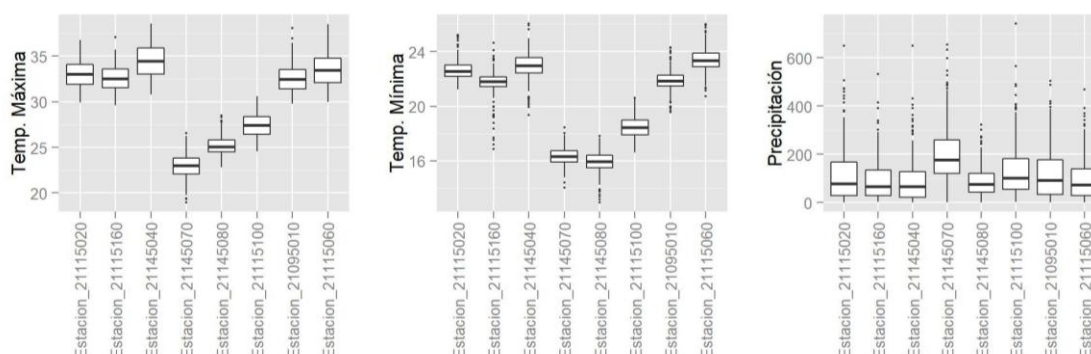
Estación	Código	T	Valor P	?
San José	21115060	-3.052	0.002445	no
La Manila	21115160	0.3112	0.7558	si
Santa Ana	21145080	-2.054	0.04077	no

Anexo 20. Prueba estadística Test de Levene (Temperatura).

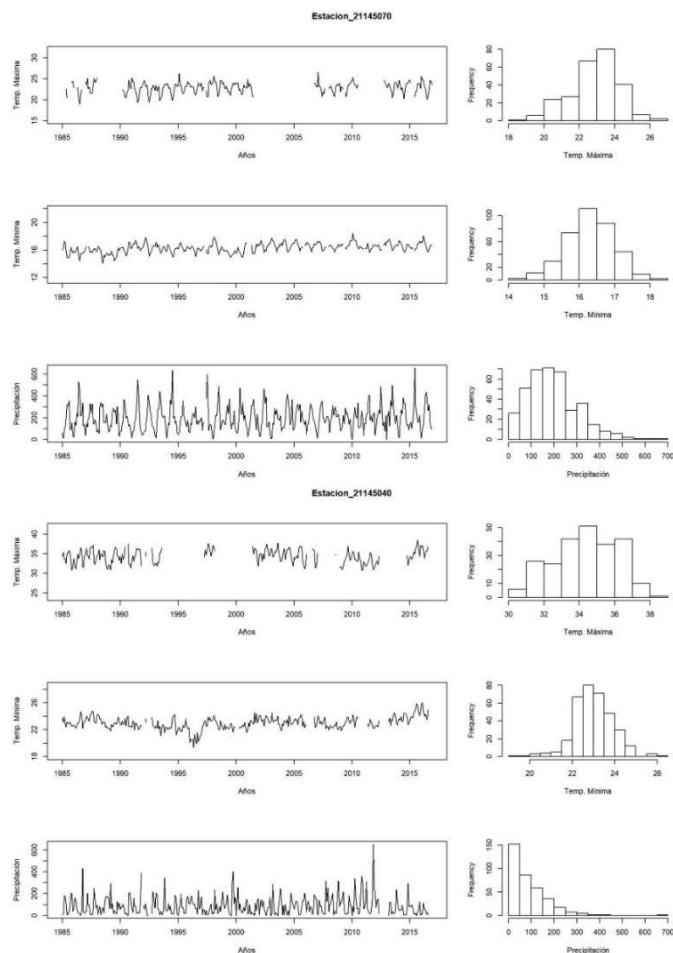
Estación	Código	W	Valor P	?
San José	21115060	1.539	0.2156	si
La Manila	21115160	0.1356	0.7129	si
Santa Ana	21145080	3.435	0.06471	si

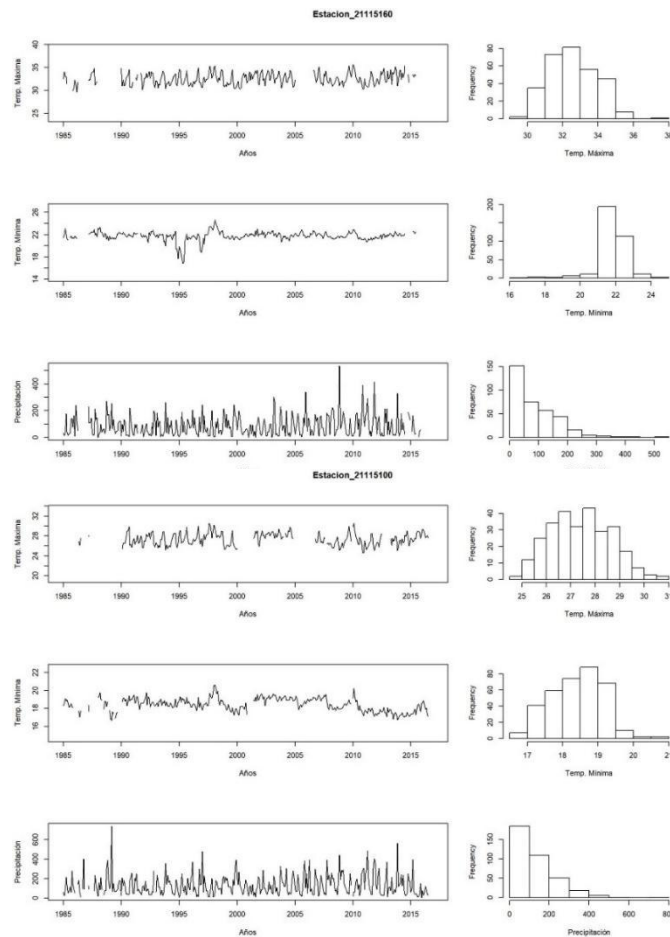
Anexo 21. Prueba estadística Test MWW (Precipitación).

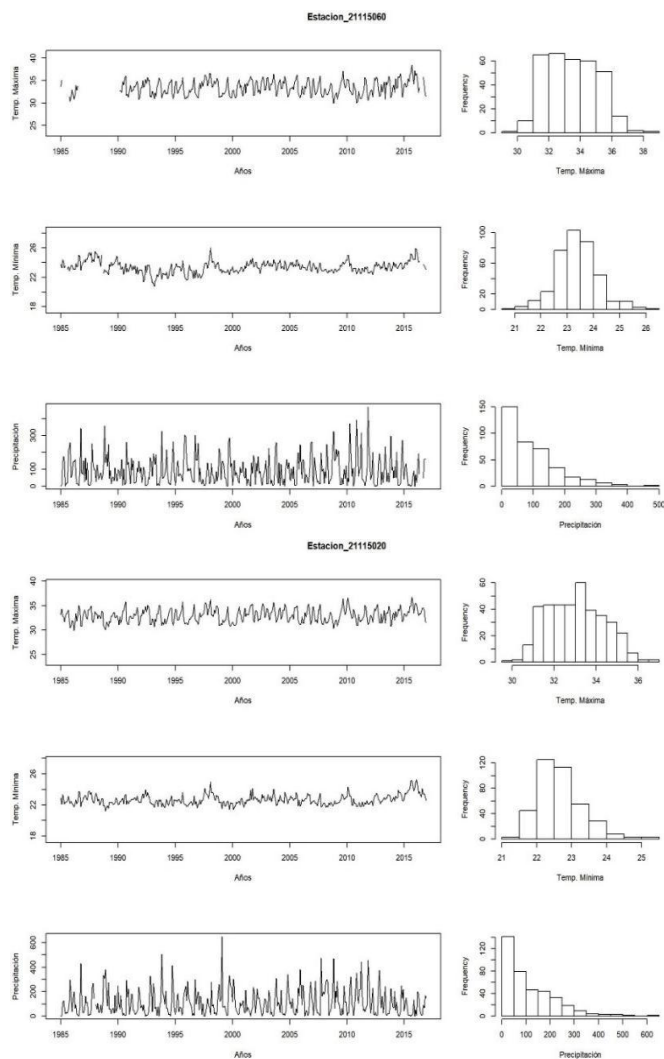
Estación	Código	U	Valor P	?
San José	21115060	13120.0	0.00391	no
La Manila	21115160	13890.0	0.6011	si
Santa Ana	21145080	12560.0	0.02415	no

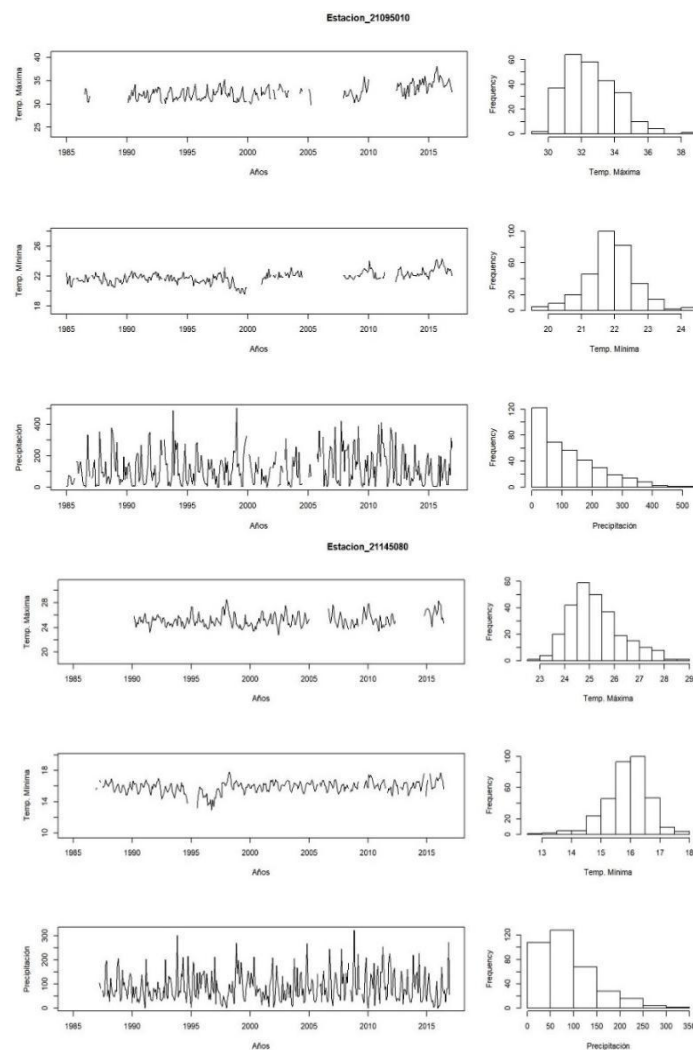


Anexo 22. Diagrama de caja y bigotes generado con *RclimTool* para las estaciones de análisis.

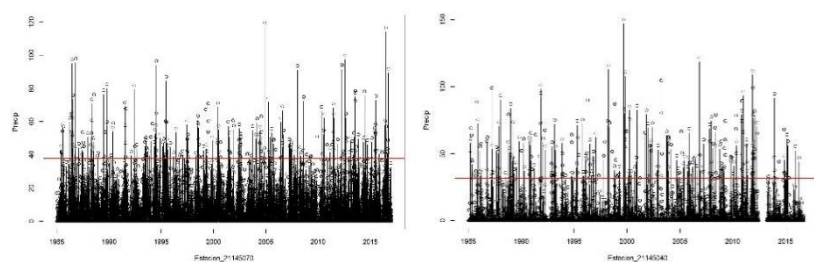


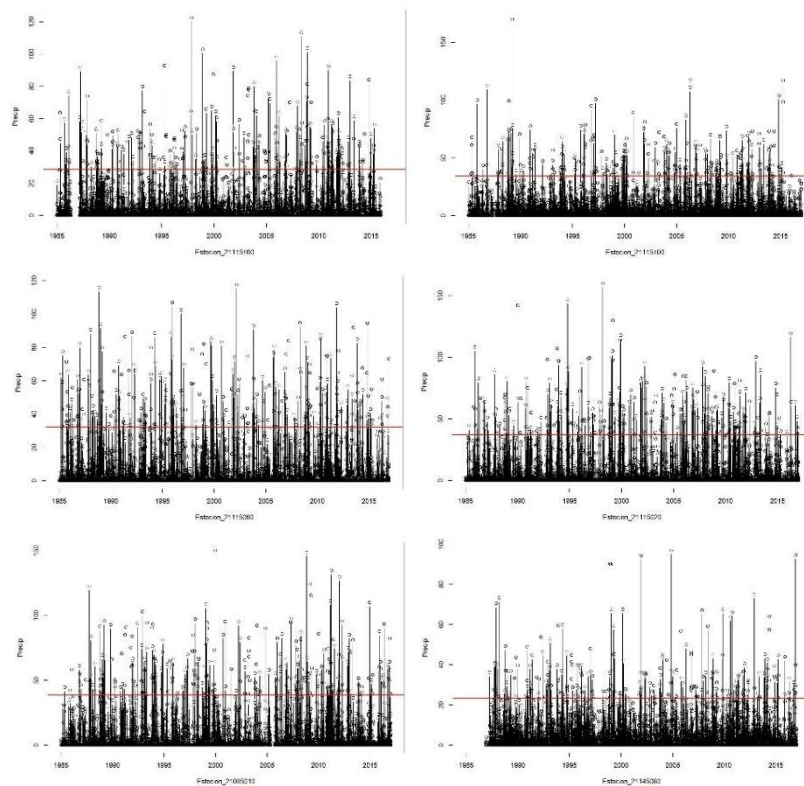




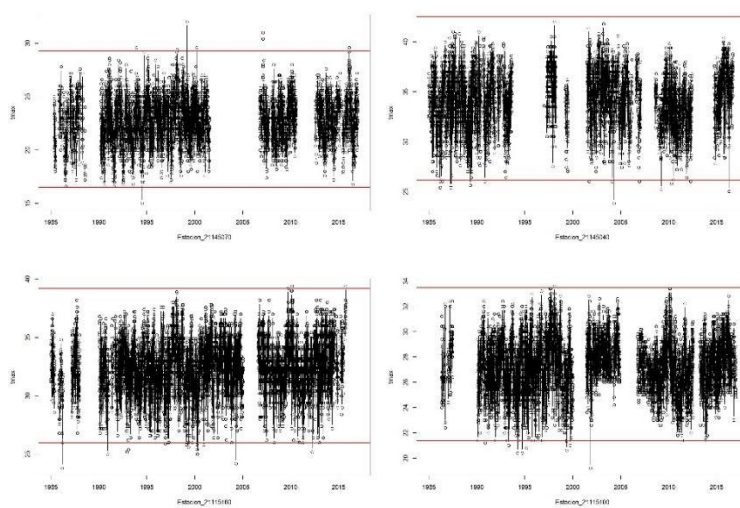


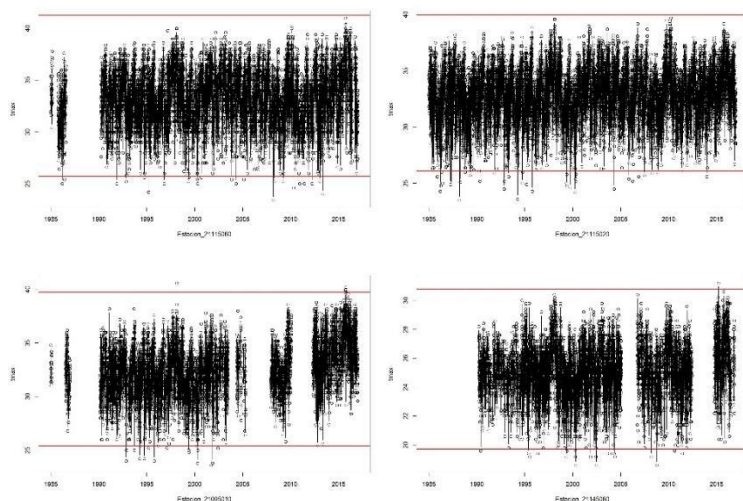
Anexo 23. Graficos Plot e Histogramas generados con *RclimTool*.



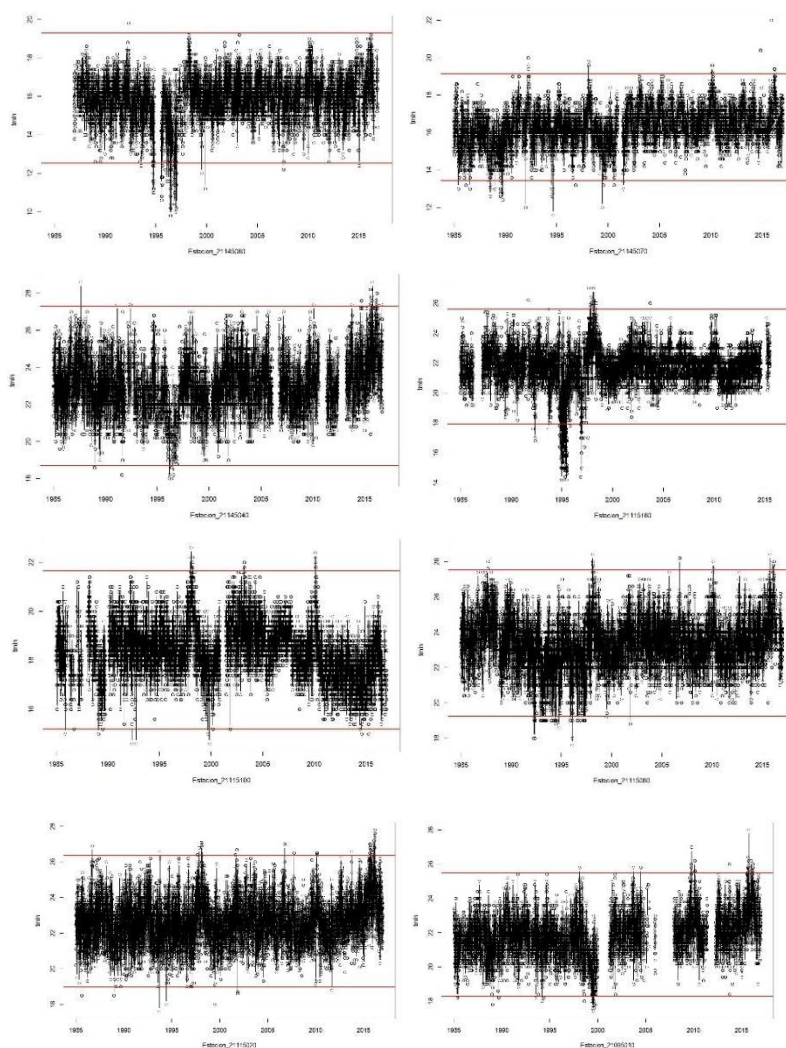


Anexo 24. Control de calidad para precipitación.

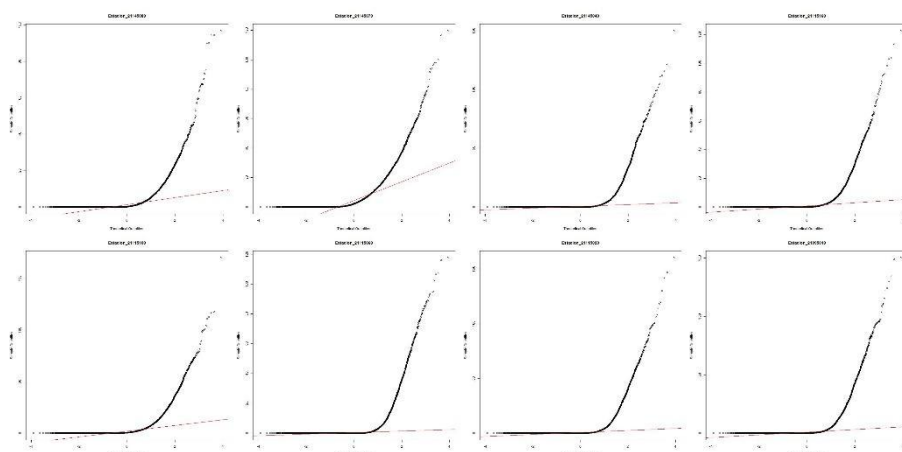




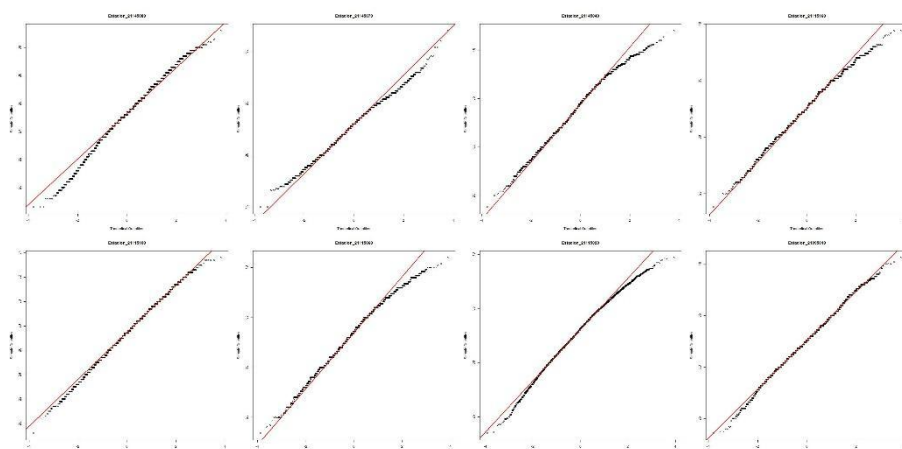
Anexo 25. Control de calidad para temperatura máxima.



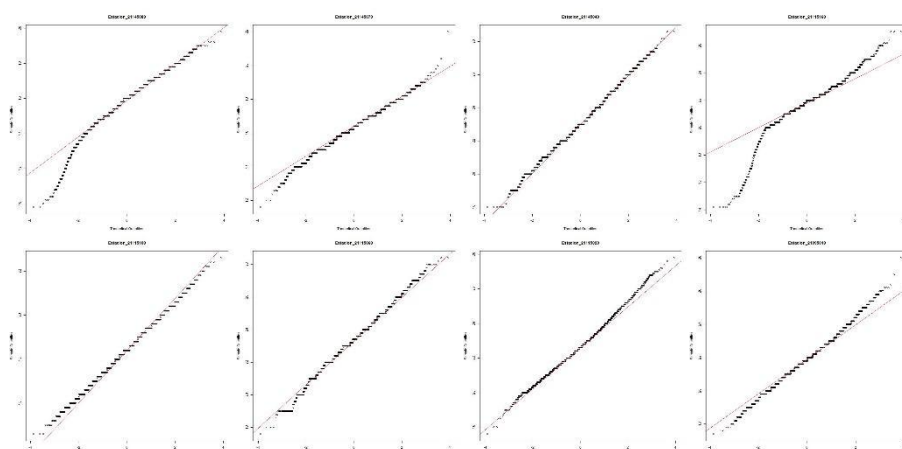
Anexo 26. Control de calidad para temperatura mínima.



Anexo 27. Análisis de homogeneidad para precipitación.

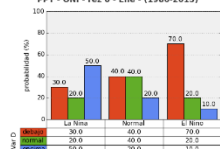


Anexo 28. Análisis de homogeneidad para temperatura máxima.

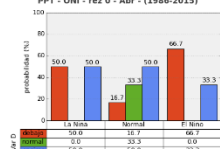


Anexo 29. Análisis de homogeneidad para temperatura mínima.

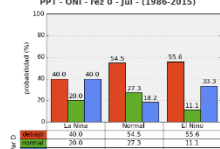
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Ene. (1986-2015)



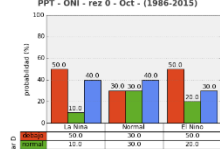
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Abr. (1986-2015)



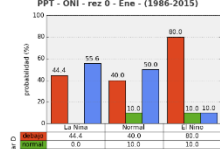
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Jul. (1986-2015)



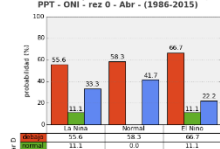
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Oct. (1986-2015)



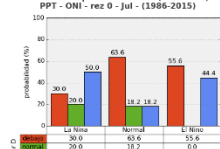
Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Ene. (1986-2015)



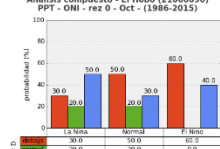
Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Abr. (1986-2015)



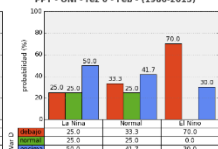
Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Jul. (1986-2015)



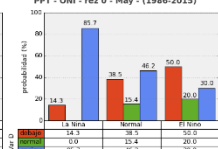
Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Oct. (1986-2015)



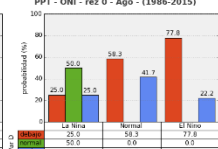
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Feb. (1986-2015)



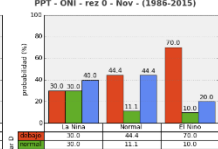
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - May. (1986-2015)



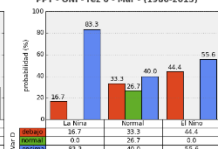
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Ago. (1986-2015)



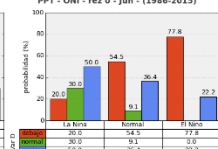
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Nov. (1986-2015)



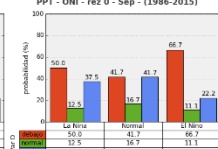
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Mar. (1986-2015)



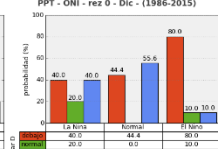
Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Jun. (1986-2015)



Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Sep. (1986-2015)



Análisis compuesto - Yaramal (21050170)
PPT - ONI - rez 0 - Dic. (1986-2015)



Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Ene. (1986-2015)



Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Abr. (1986-2015)



Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Jul. (1986-2015)



Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Oct. (1986-2015)



Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Feb. (1986-2015)



Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - May. (1986-2015)



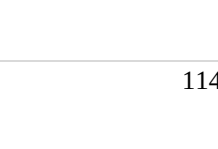
Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Jun. (1986-2015)

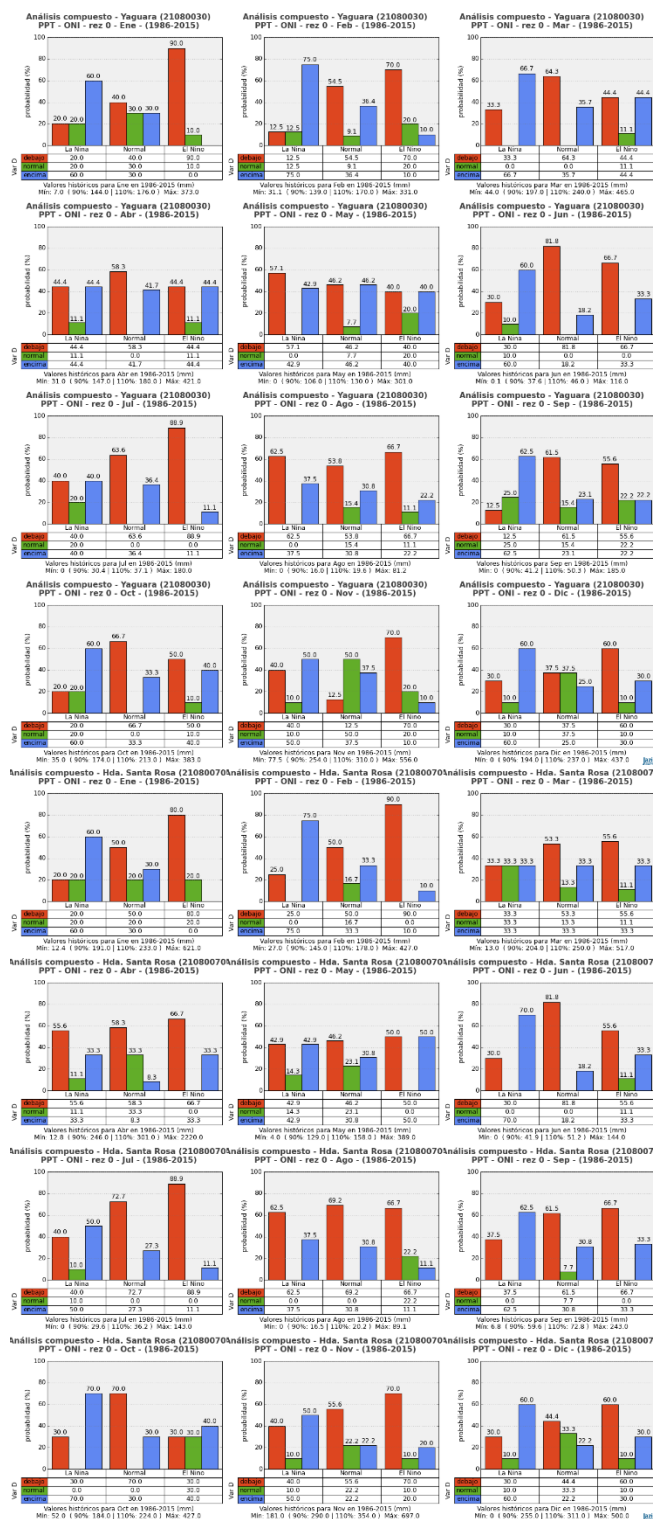


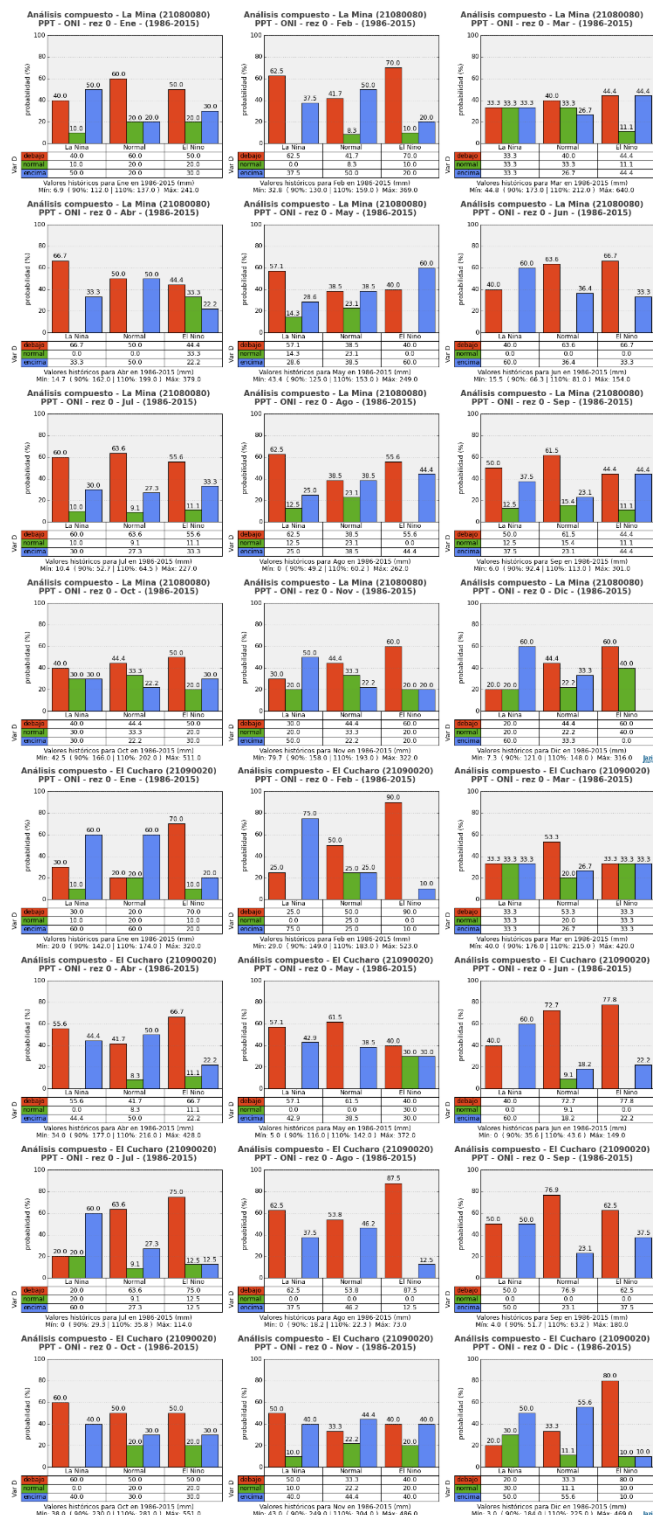
Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Sep. (1986-2015)

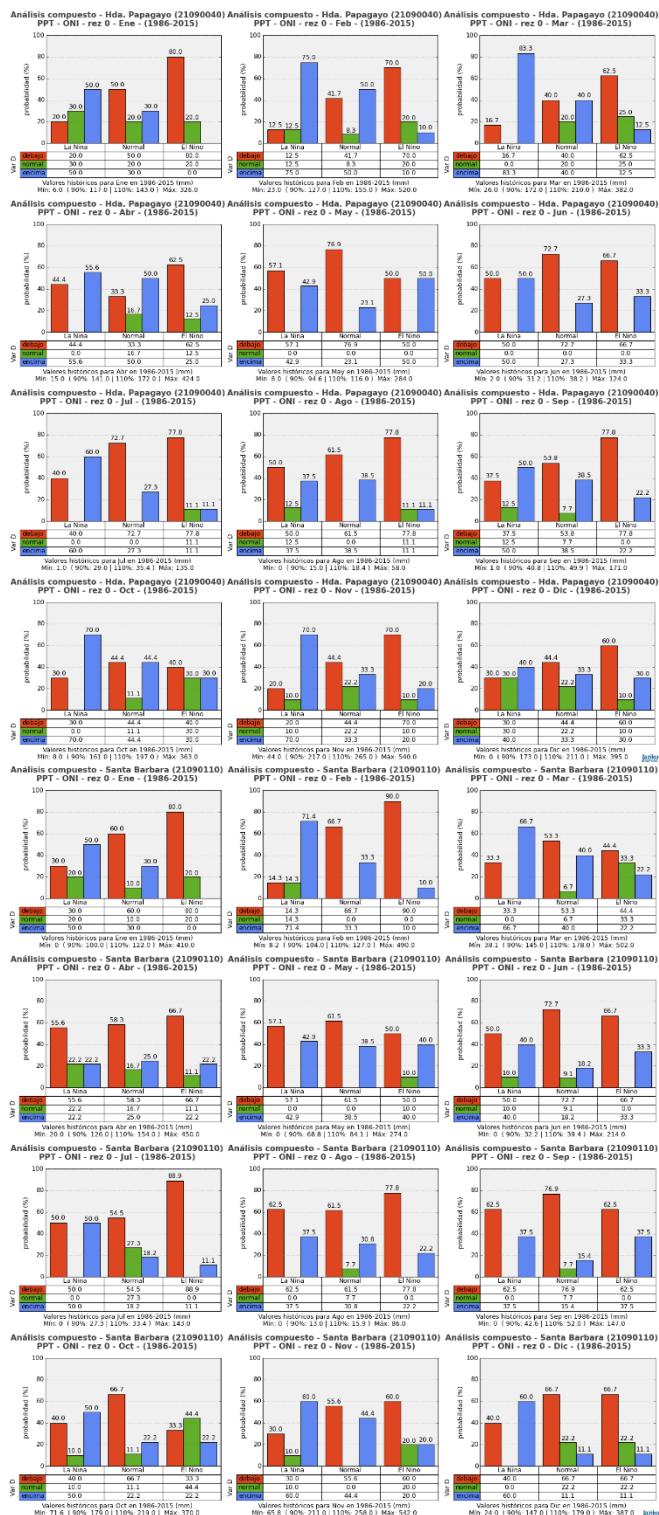


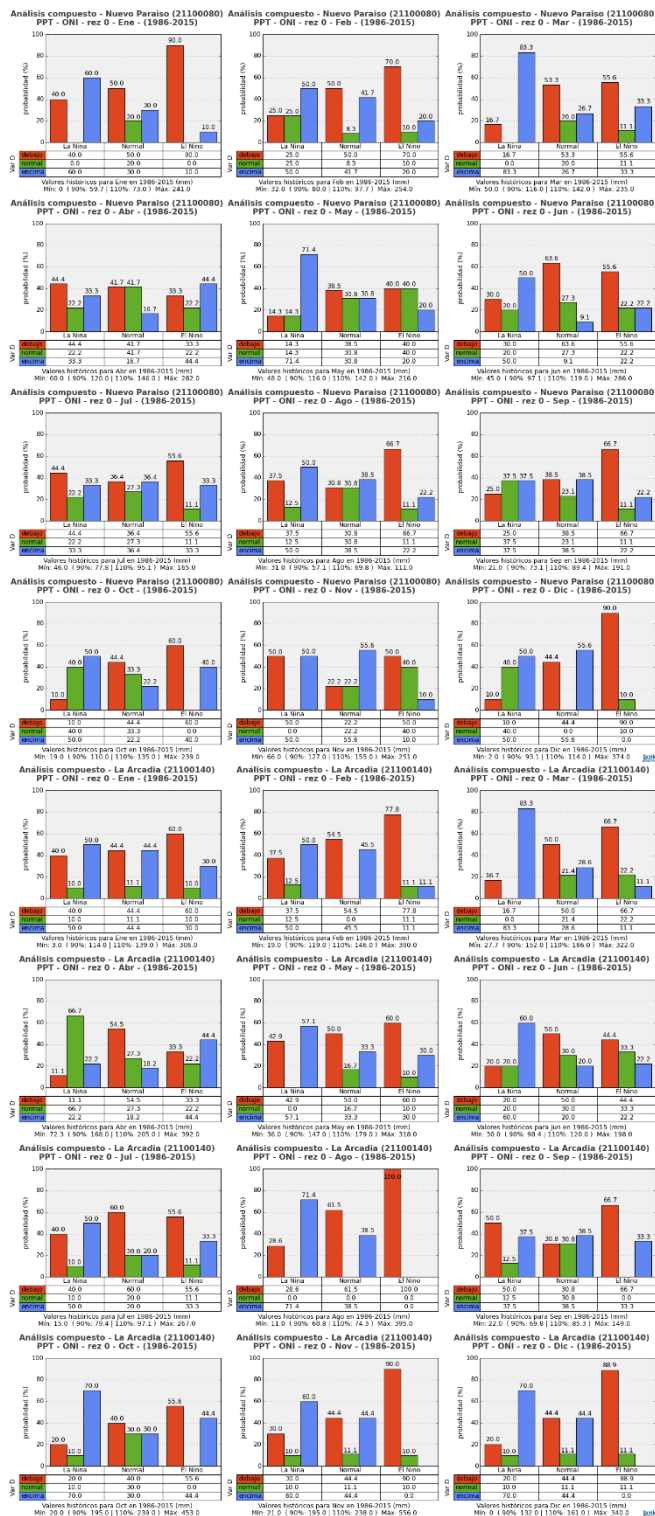
Análisis compuesto - El Hobo (21060090)
PPT - ONI - rez 0 - Dic. (1986-2015)

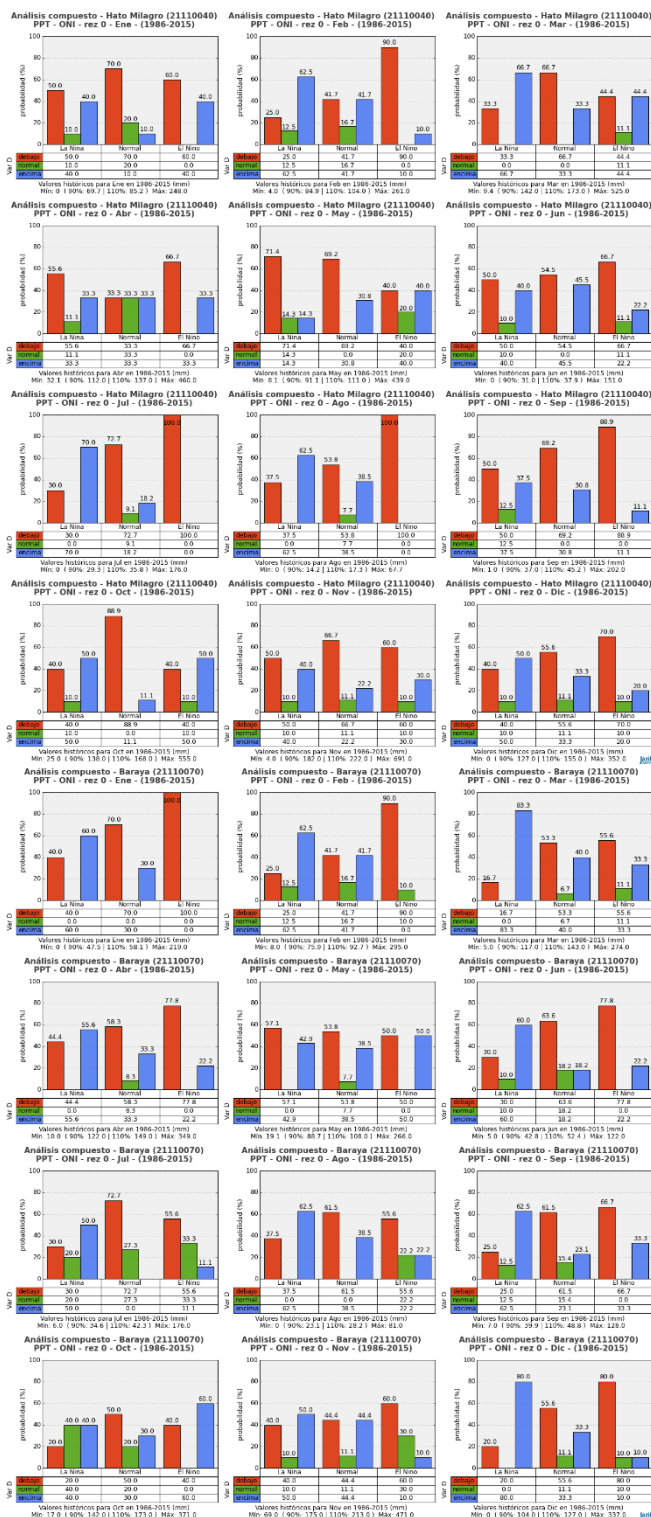


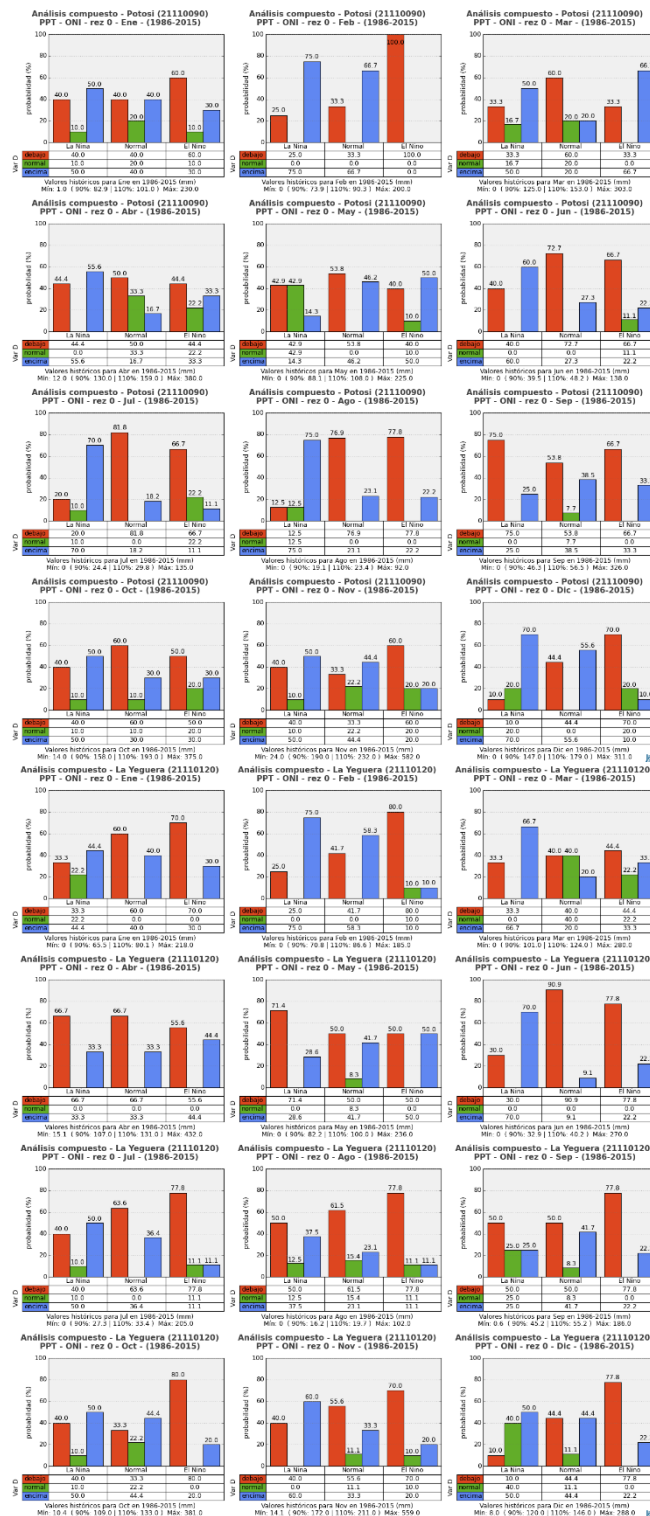


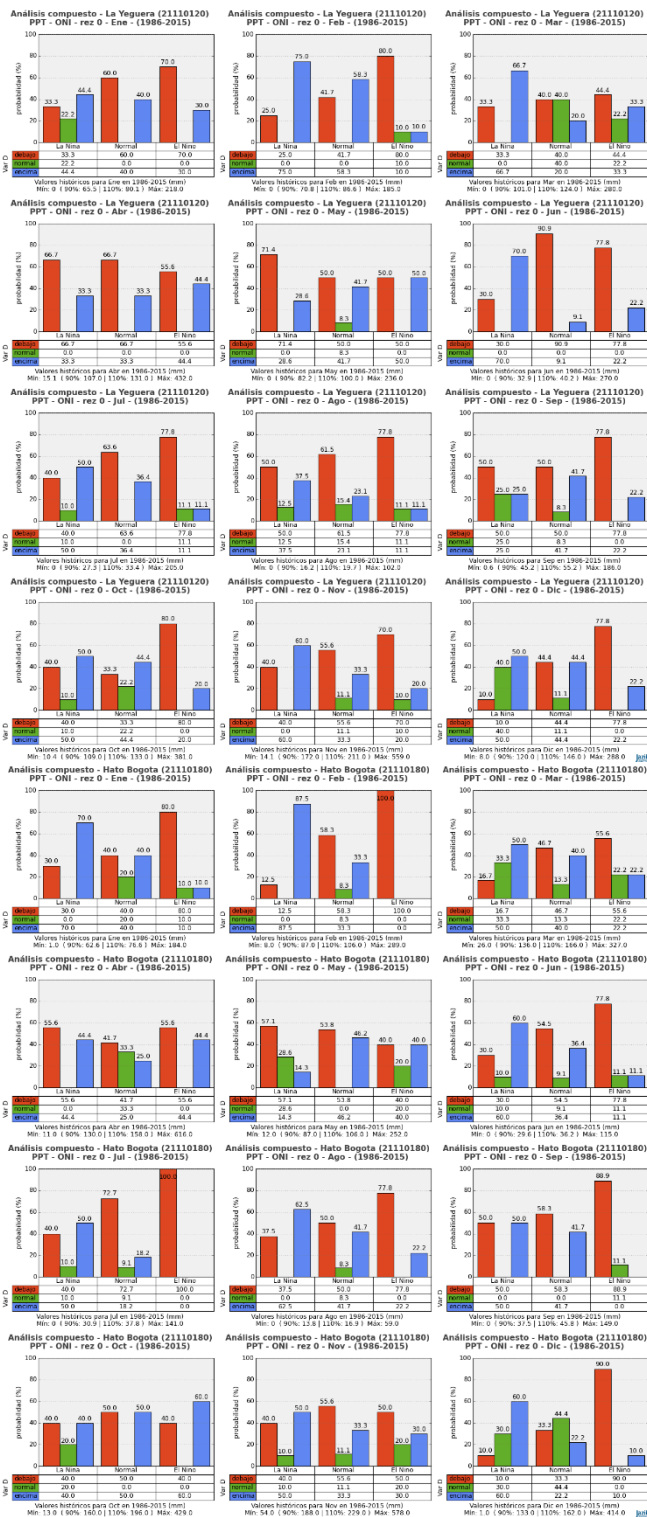


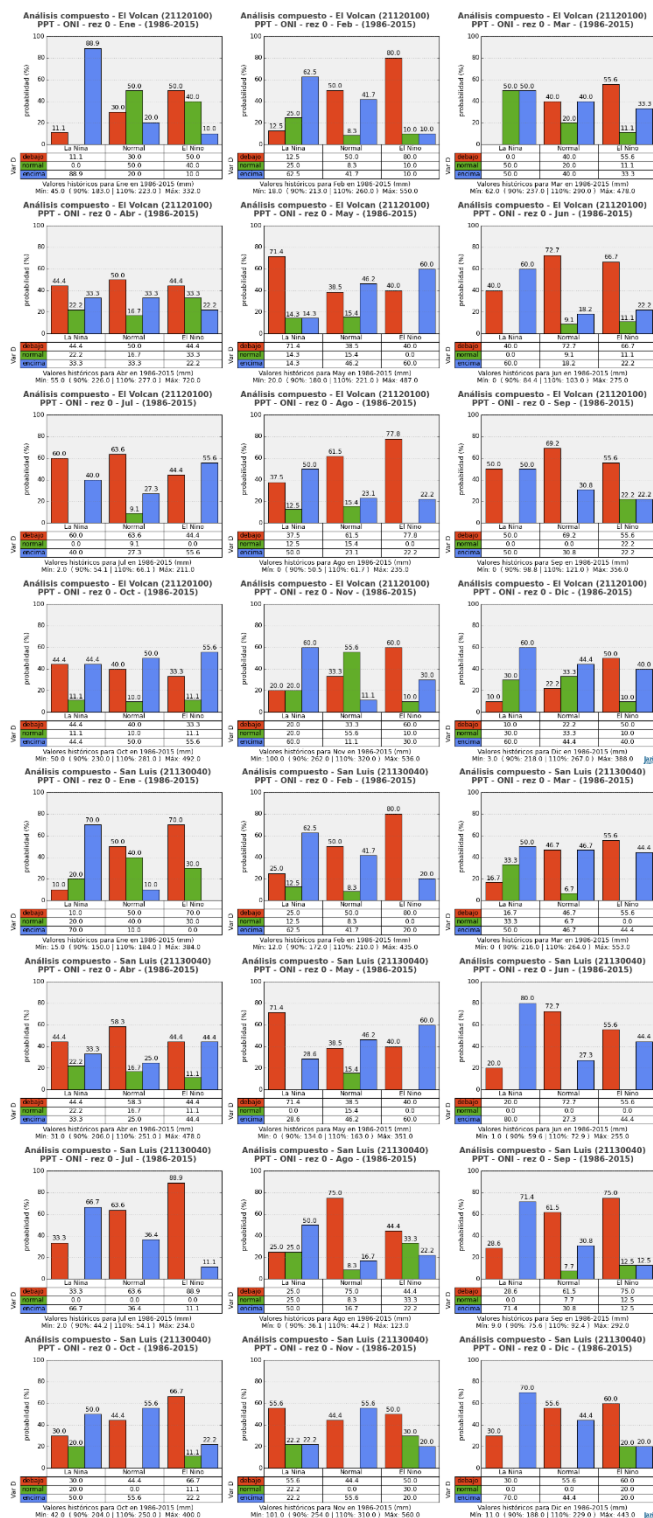




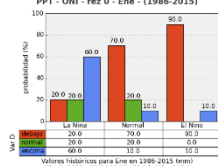




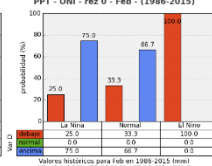




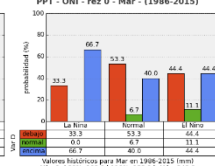
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Ene - (1986-2015)



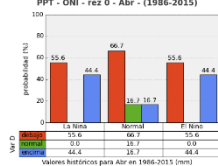
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Feb - (1986-2015)



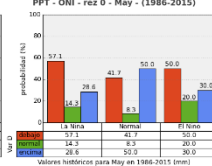
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Mar - (1986-2015)



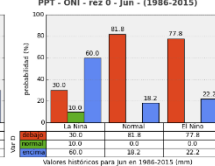
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Abr - (1986-2015)



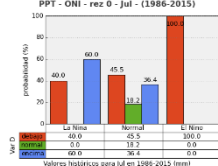
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - May - (1986-2015)



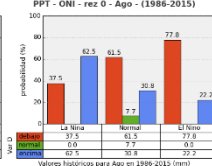
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Jun - (1986-2015)



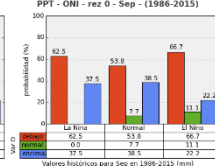
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Jul - (1986-2015)



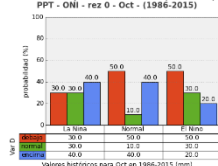
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Ago - (1986-2015)



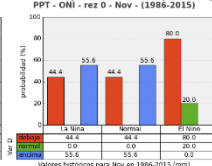
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Sep - (1986-2015)



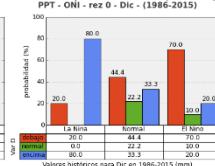
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Oct - (1986-2015)



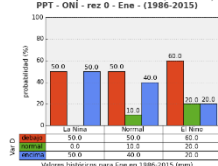
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Nov - (1986-2015)



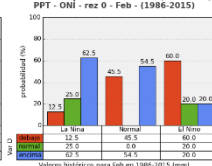
Análisis compuesto - Hda. Perez (21130050)
PPT - ONI - rez 0 - Dic - (1986-2015)



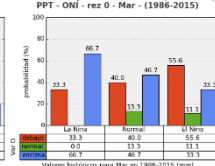
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Ene - (1986-2015)



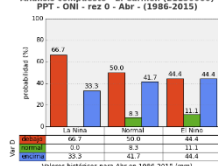
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Feb - (1986-2015)



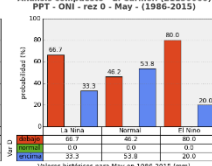
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Mar - (1986-2015)



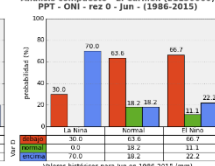
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Abr - (1986-2015)



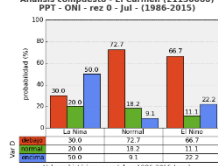
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - May - (1986-2015)



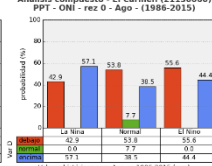
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Jun - (1986-2015)



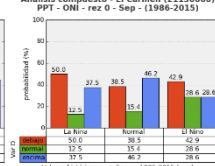
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Jul - (1986-2015)



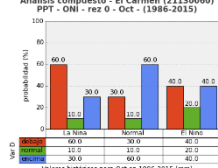
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Ago - (1986-2015)



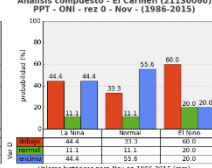
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Sep - (1986-2015)



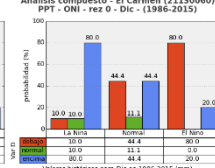
Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Oct - (1986-2015)

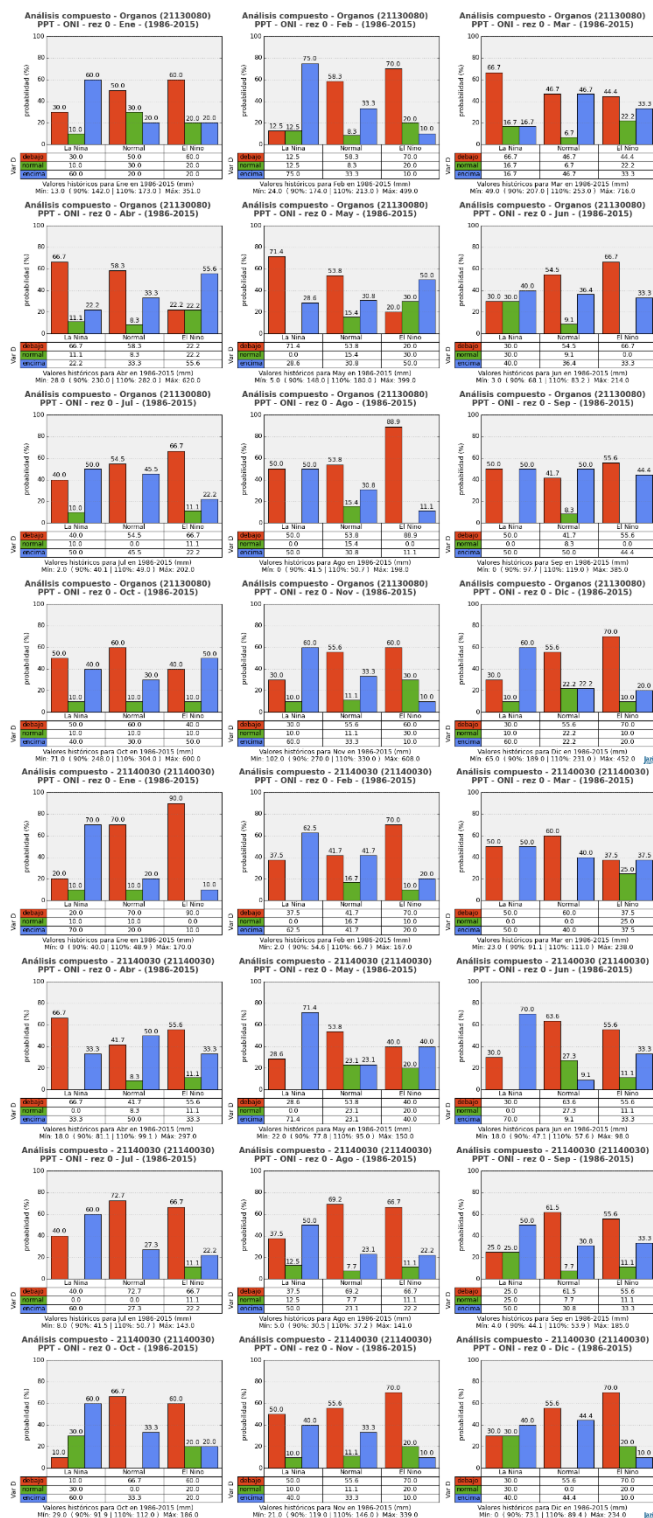


Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Nov - (1986-2015)

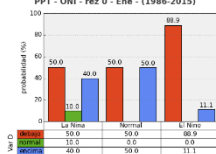


Análisis compuesto - El Carmen (21130060)
PPT - ONI - rez 0 - Dic - (1986-2015)

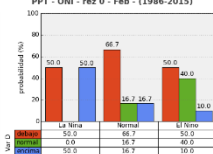




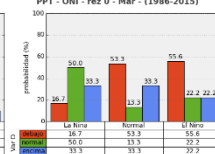
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Ene - (1986-2015)



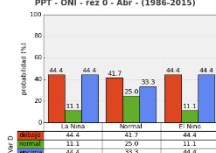
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Feb - (1986-2015)



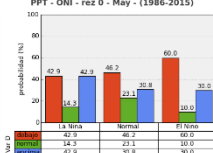
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Mar - (1986-2015)



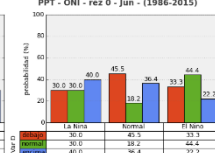
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Abr - (1986-2015)



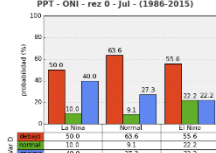
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - May - (1986-2015)



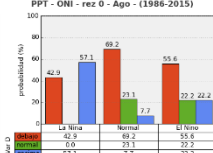
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Jun - (1986-2015)



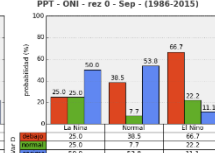
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Jul - (1986-2015)



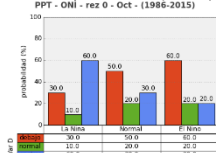
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Ago - (1986-2015)



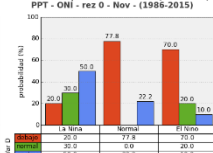
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Sep - (1986-2015)



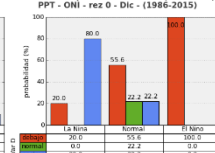
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Oct - (1986-2015)



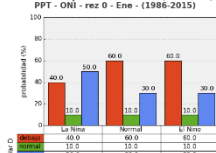
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Nov - (1986-2015)



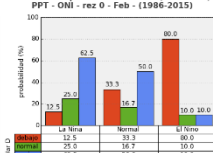
Análisis compuesto - Miraflores (21140080)
PPT - ONI - rez 0 - Dic - (1986-2015)



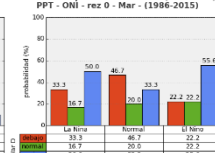
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Ene - (1986-2015)



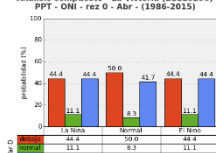
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Feb - (1986-2015)



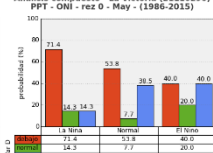
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Mar - (1986-2015)



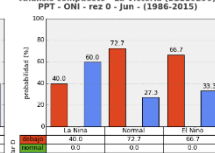
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Abr - (1986-2015)



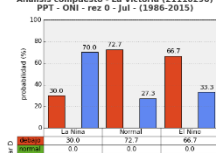
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - May - (1986-2015)



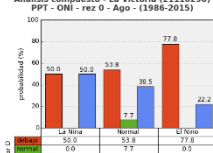
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Jun - (1986-2015)



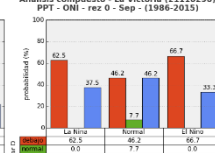
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Jul - (1986-2015)



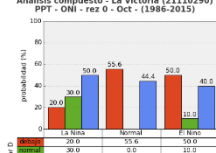
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Ago - (1986-2015)



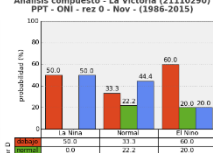
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Sep - (1986-2015)



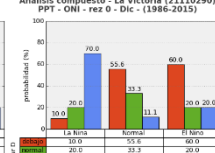
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Oct - (1986-2015)

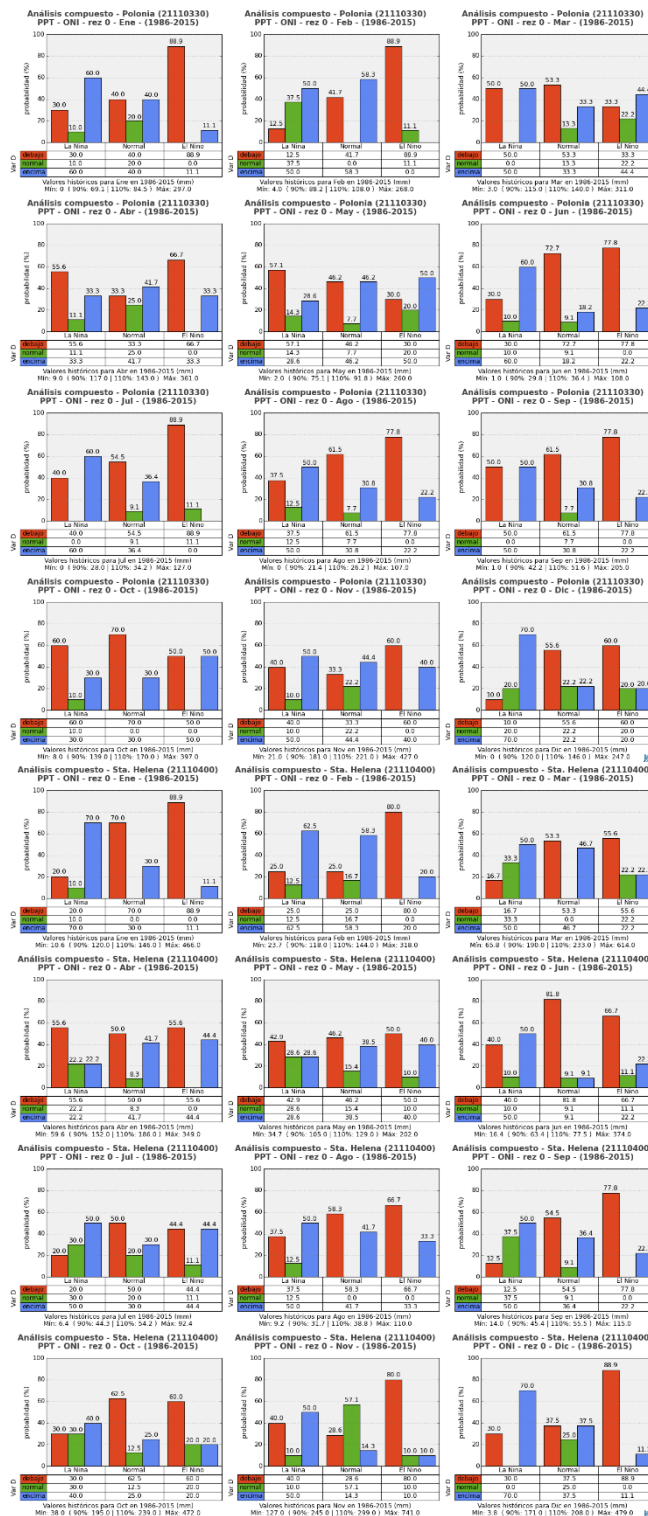


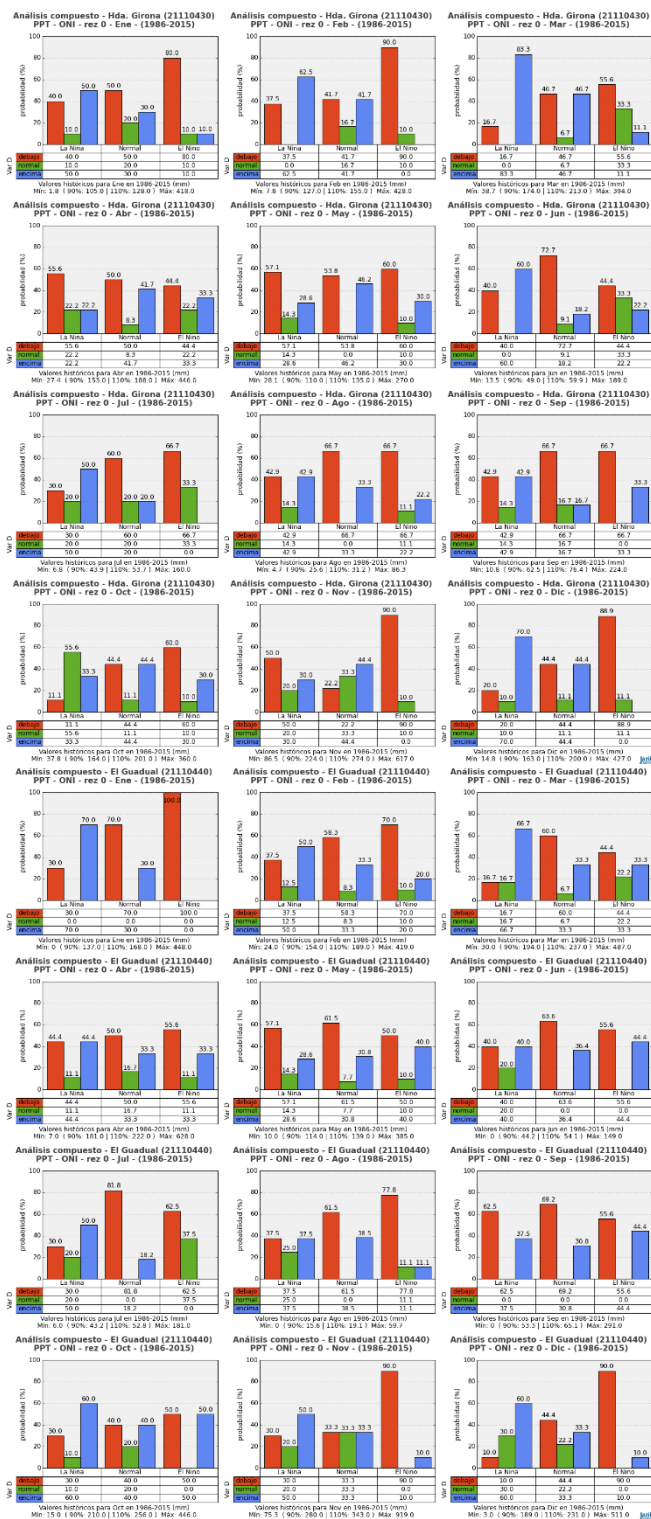
Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Nov - (1986-2015)

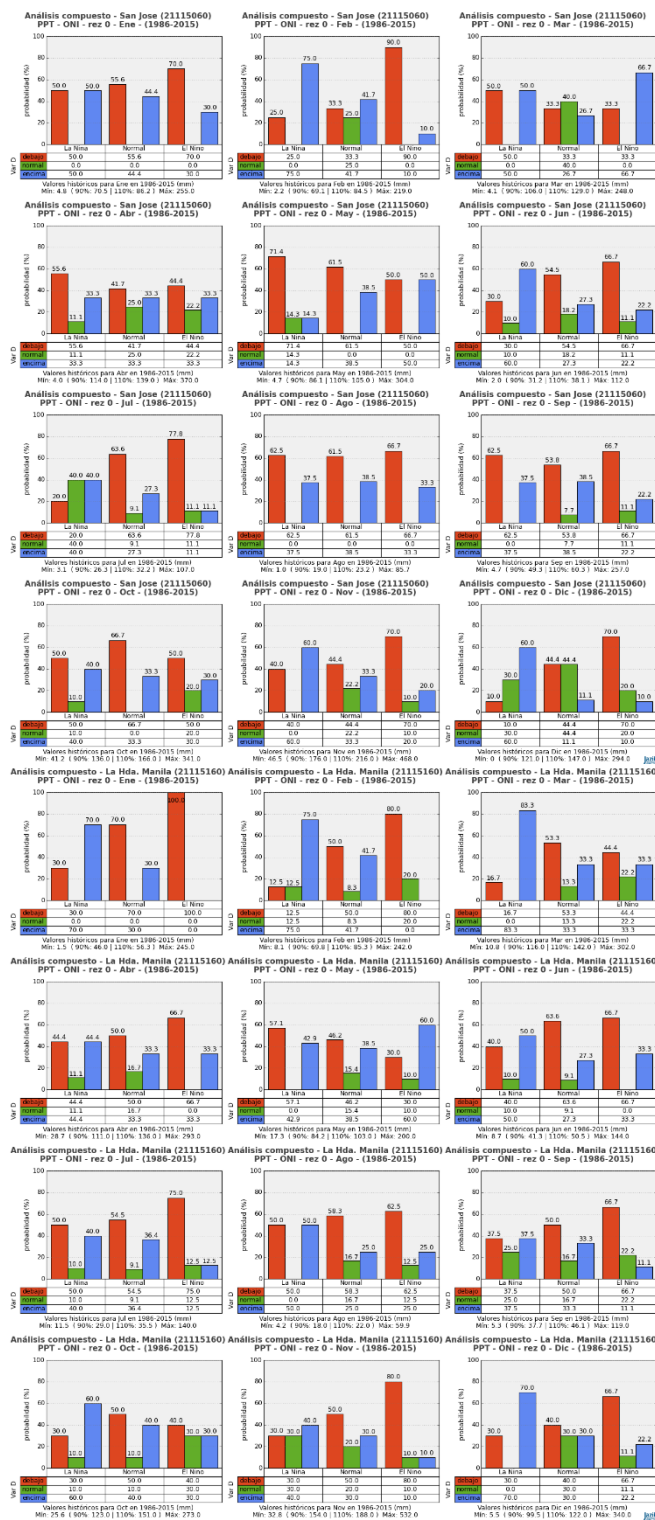


Análisis compuesto - La Victoria (21110290)
PPT - ONI - rez 0 - Dic - (1986-2015)

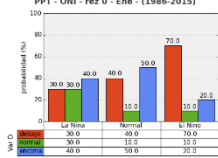




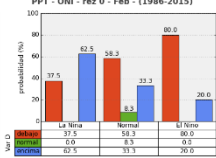




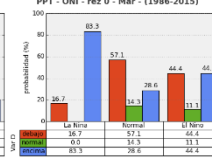
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Ene - (1986-2015)



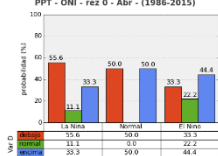
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Feb - (1986-2015)



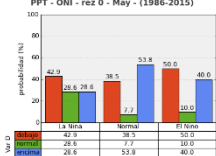
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Mar - (1986-2015)



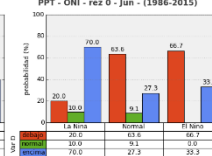
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Abr - (1986-2015)



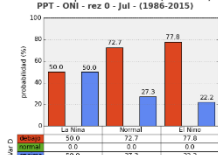
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - May - (1986-2015)



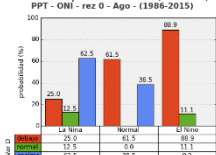
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Jun - (1986-2015)



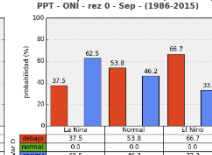
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Jul - (1986-2015)



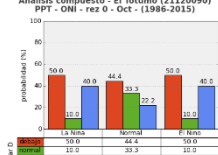
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Ago - (1986-2015)



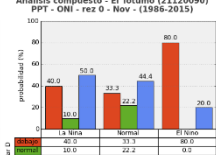
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Sep - (1986-2015)



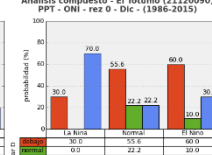
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Oct - (1986-2015)



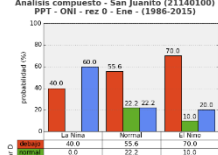
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Nov - (1986-2015)



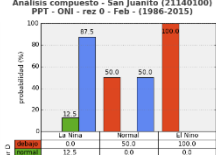
Análisis compuesto - El Totumo (21120090)
PPT - ONI - rez 0 - Dic - (1986-2015)



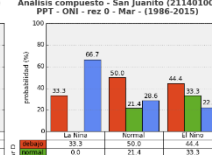
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Ene - (1986-2015)



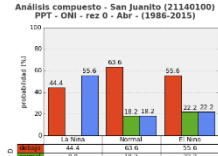
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Feb - (1986-2015)



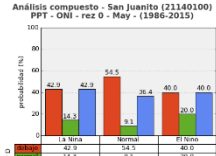
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Mar - (1986-2015)



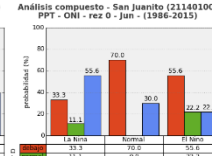
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Abr - (1986-2015)



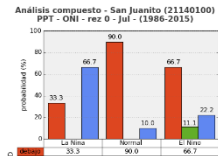
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - May - (1986-2015)



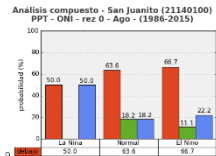
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Jun - (1986-2015)



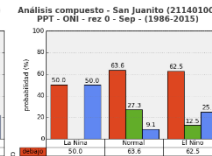
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Jul - (1986-2015)



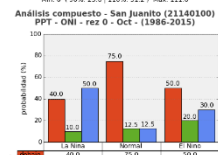
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Ago - (1986-2015)



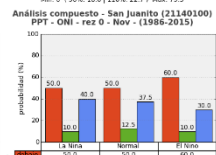
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Sep - (1986-2015)



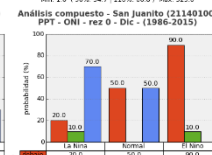
Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Oct - (1986-2015)

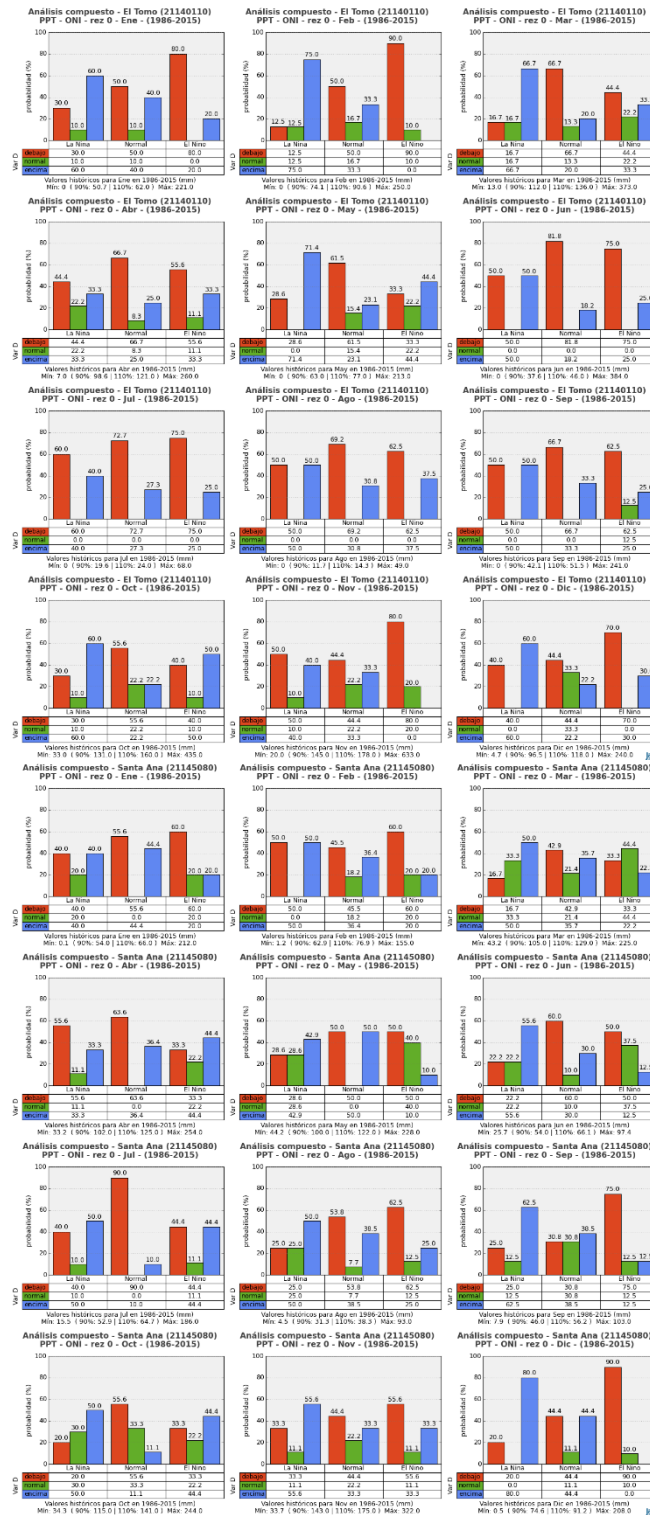


Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Nov - (1986-2015)

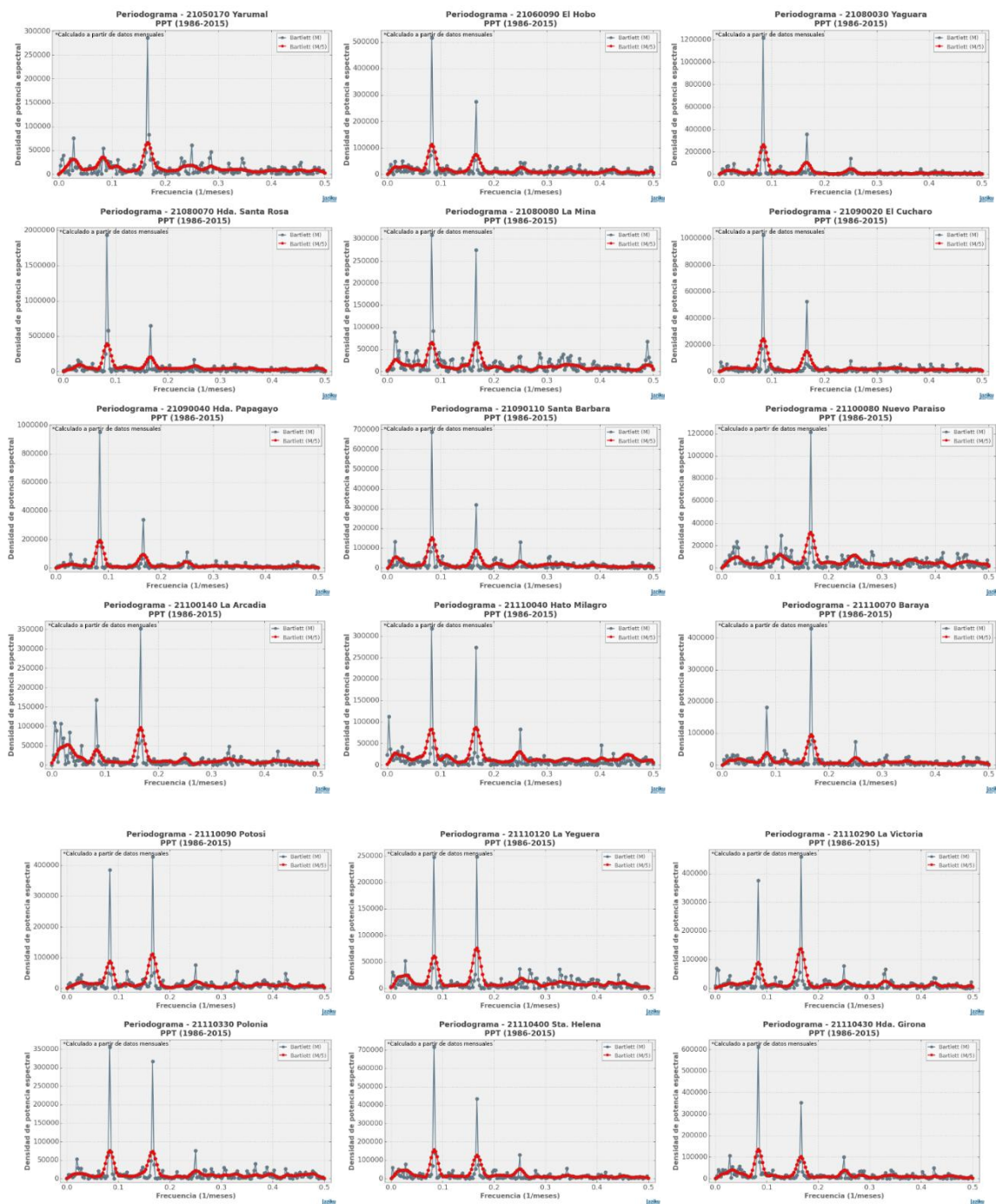


Análisis compuesto - San Juanito (21140100)
PPT - ONI - rez 0 - Dic - (1986-2015)



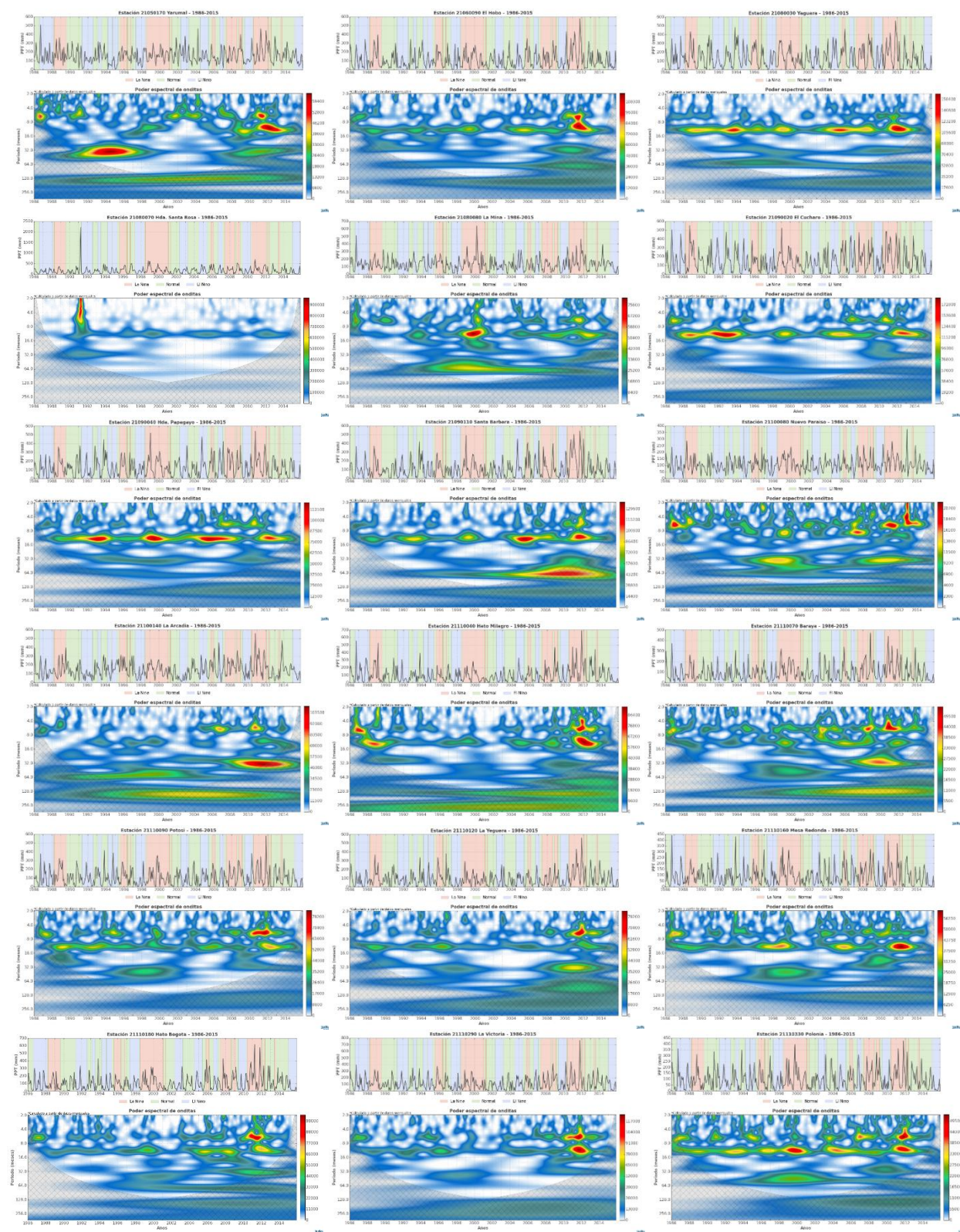


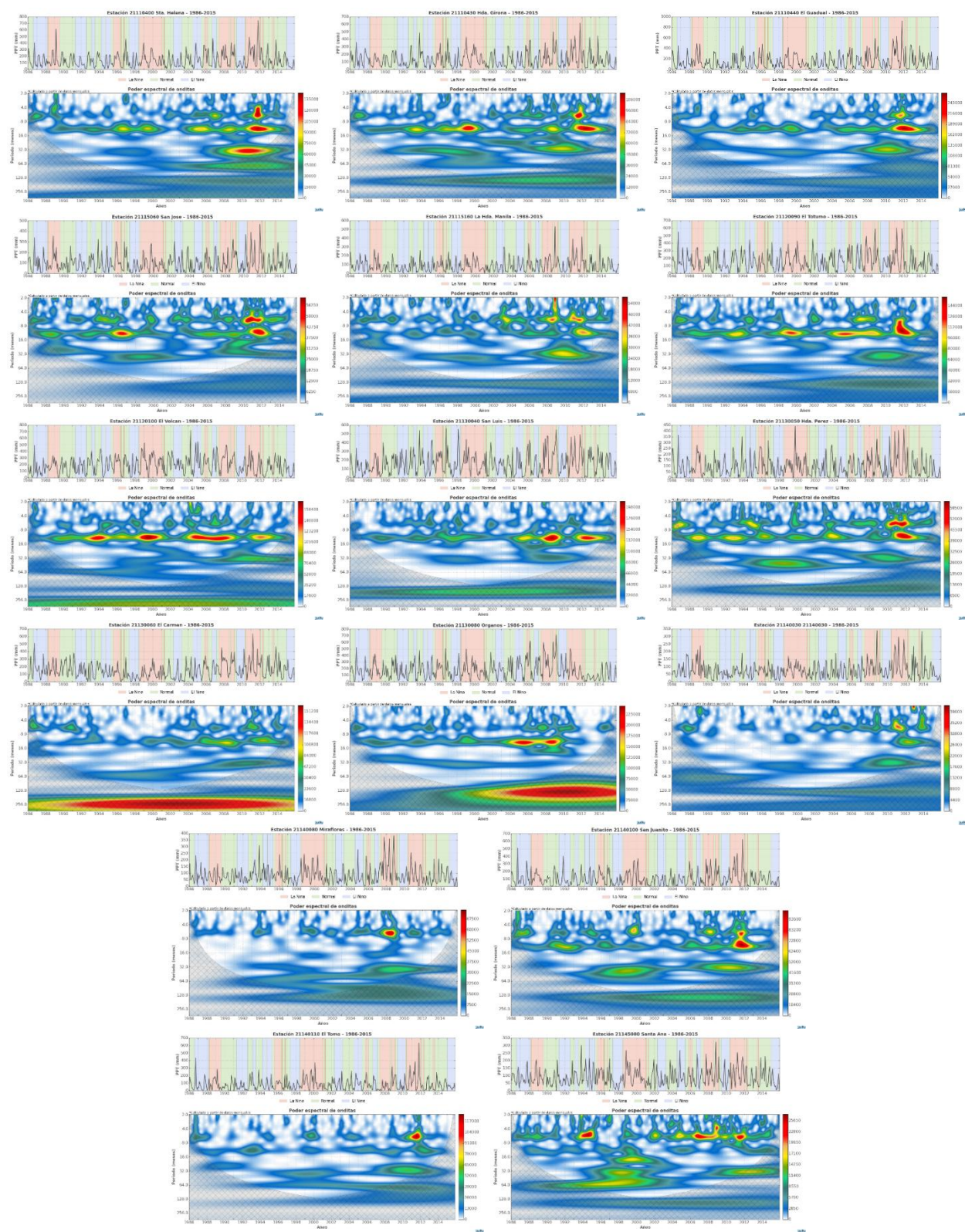
Anexo 30. Influencia del fenómeno ENOS en la variable precipitación.



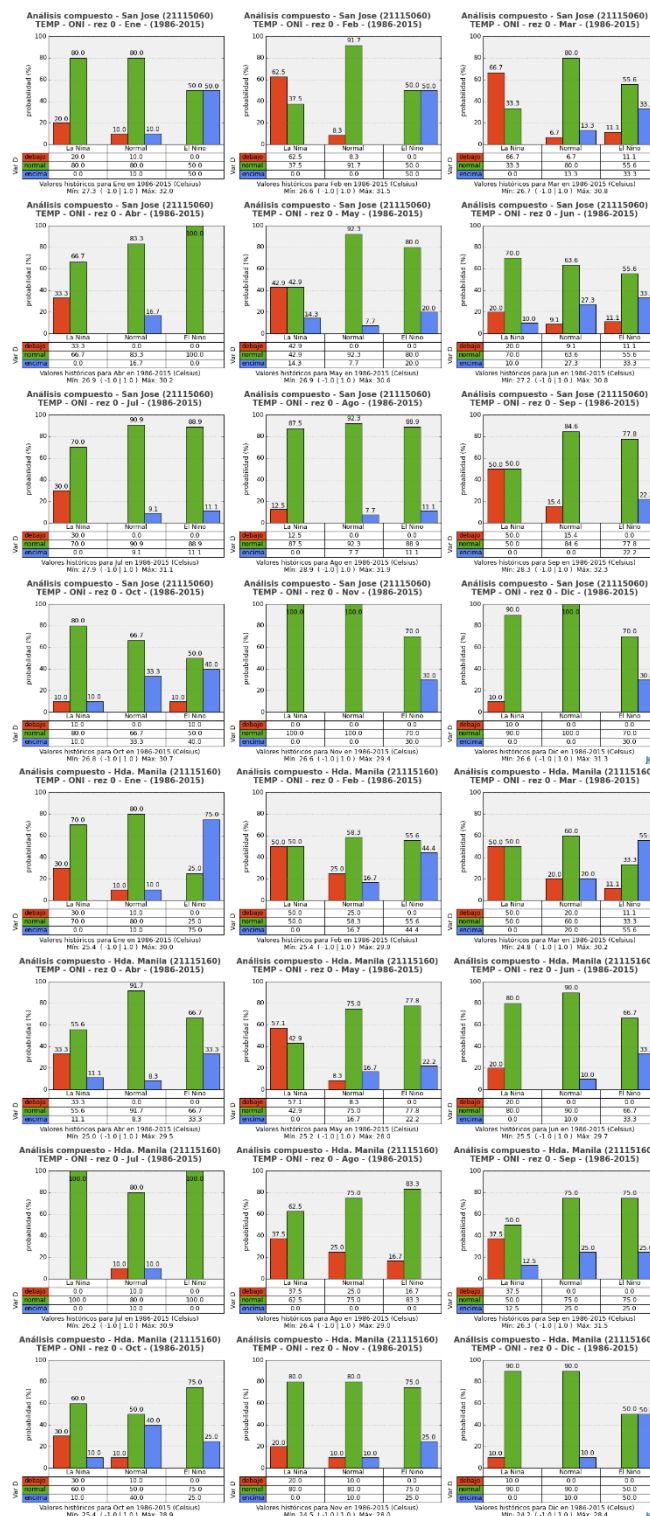


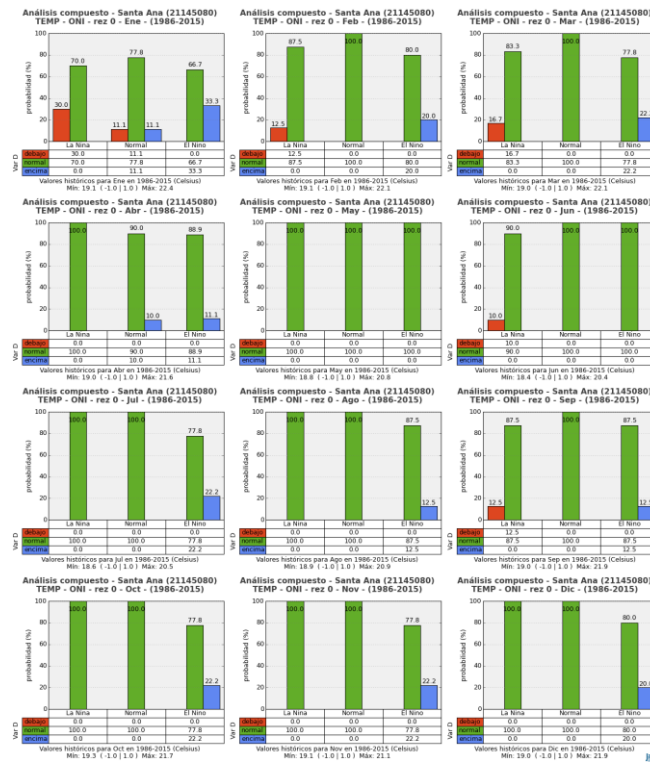
Anexo 31. Análisis espectral para precipitación (Transformada de Fourier).



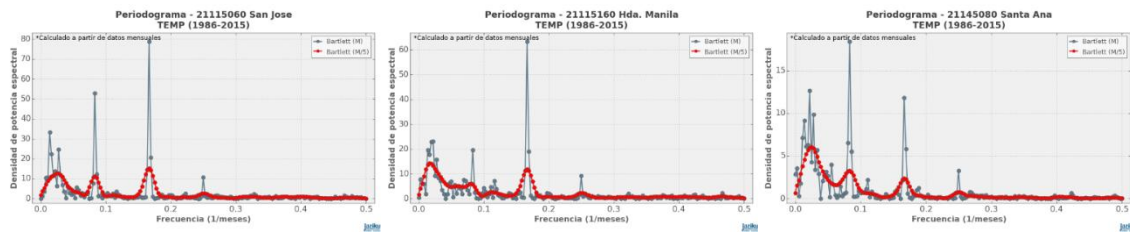


Anexo 32. Secuencia de la precipitación media mensual multianual y Análisis espectral para la serie histórica (1985-2016) (Transformada de Wavelet).

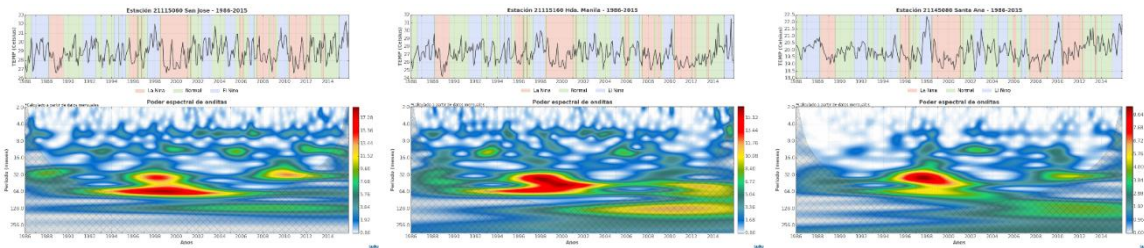




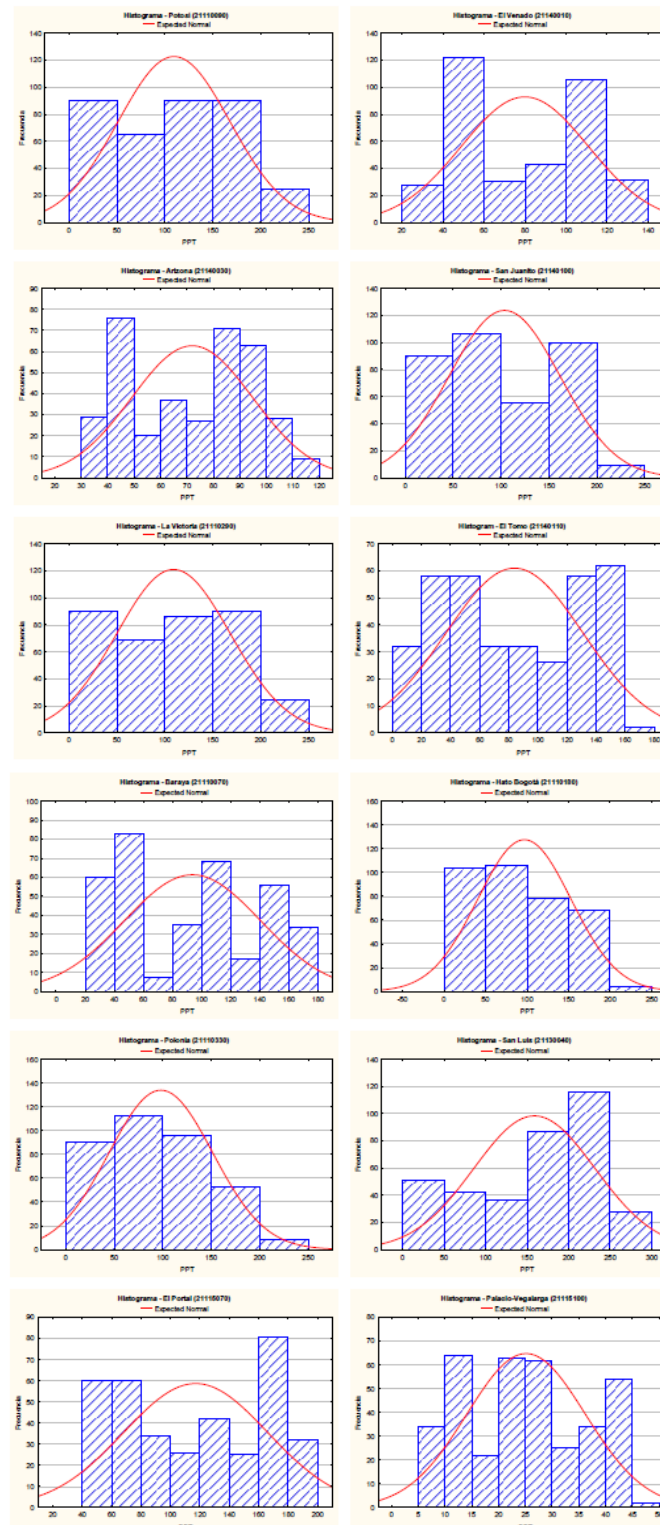
Anexo 33. Influencia del fenómeno ENOS en la variable temperatura.

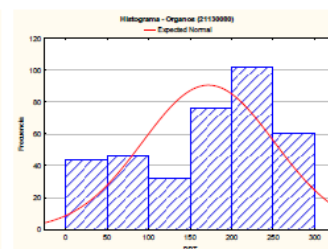
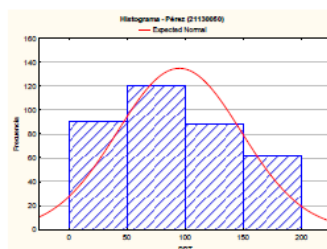
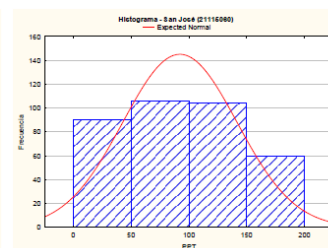
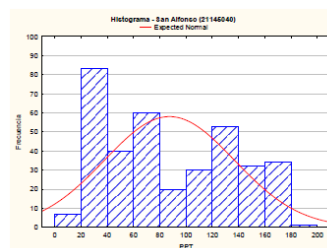


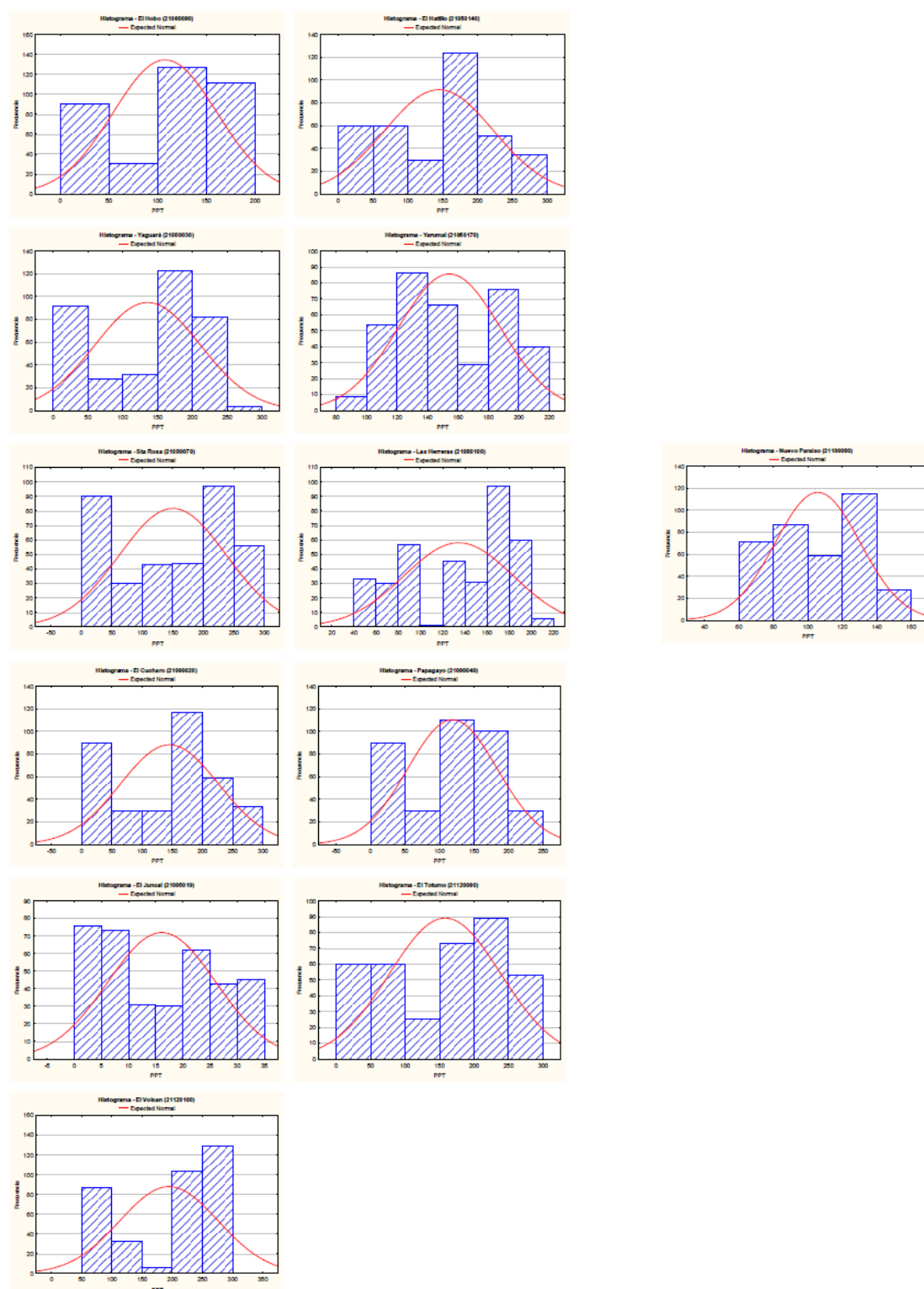
Anexo 34. Análisis espectral para temperatura (Transformada de Fourier).



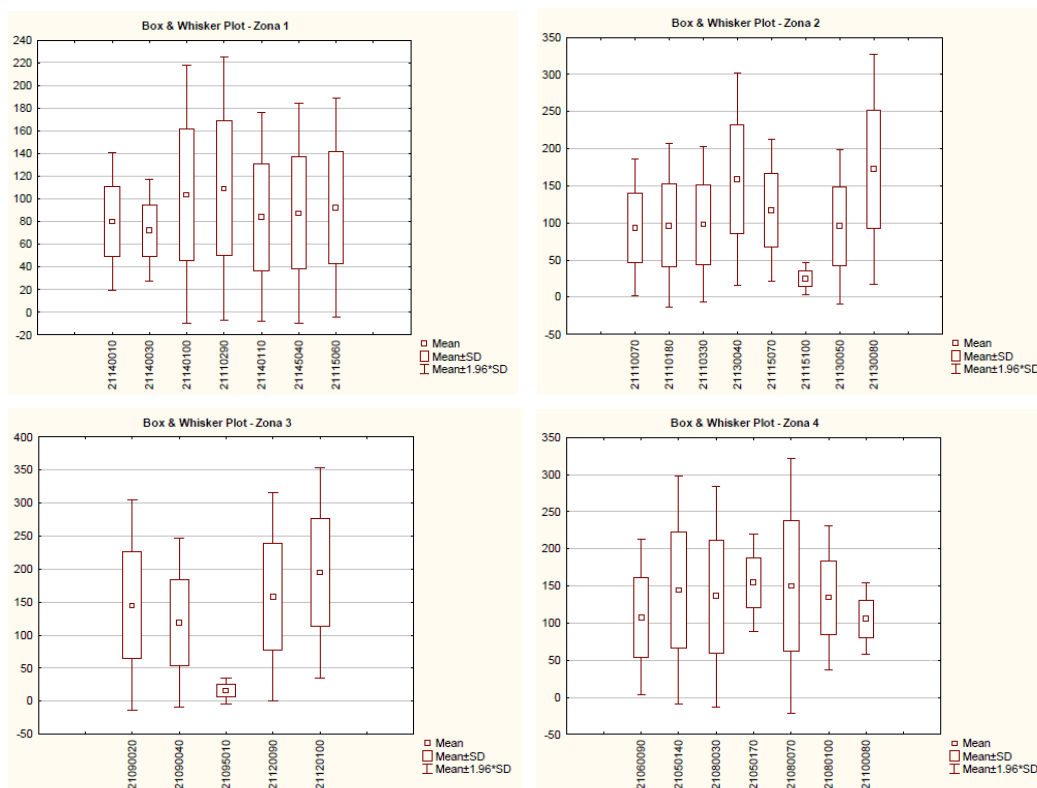
Anexo 35. Secuencia de la temperatura media y Análisis espectral para la serie histórica (1985-2016) (Transformada de Wavelet).







Anexo 36. Histogramas de frecuencia para estaciones de cambio climático.



Anexo 37. Diagramas de caja y bigotes para estaciones de cambio climático.

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\...

País: Colombia Estación: 21115060

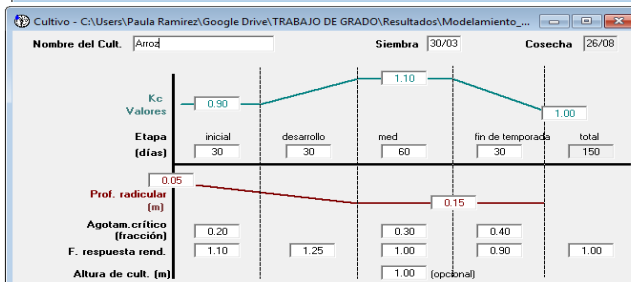
Altitud: 400 m. Latitud: 3.32° N Longitud: 75.18° W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	20.8	36.7	70	302	6.4	18.2	5.65
Febrero	21.2	37.3	70	302	5.6	17.7	5.73
Marzo	21.1	37.0	70	302	4.9	17.1	5.64
Abril	21.1	36.5	70	389	5.0	17.0	5.96
Mayo	21.1	36.7	69	389	5.3	16.7	6.01
Junio	20.9	35.5	67	475	5.6	16.7	6.33
Julio	20.6	37.1	60	475	5.6	16.8	7.26
Agosto	21.3	38.1	56	475	5.5	17.4	7.92
Septiembre	21.2	38.6	59	389	5.3	17.5	7.23
Octubre	20.8	37.8	64	302	5.5	17.6	6.19
Noviembre	20.9	35.1	71	302	5.5	16.9	5.25
Diciembre	21.0	34.8	69	302	6.1	17.4	5.32
Promedio	21.0	36.8	66	367	5.5	17.3	6.21

Precipitación mensual - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\...

Estación: 21115060 Método Prec. Ef: Fórmula FAO/AGLW

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	75.5	36.4
Febrero	72.9	34.3
Marzo	118.1	70.5
Abril	129.8	79.8
Mayo	96.6	53.3
Junio	33.6	10.2
Julio	28.9	7.3
Agosto	21.0	2.6
Septiembre	59.9	25.9
Octubre	153.4	98.7
Noviembre	198.0	134.4
Diciembre	131.2	81.0
Total	1118.9	634.4



Suelo - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\Resultados\Modela...

Nombre del suelo: Franco Arenoso

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	70.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	40	mm/día
Profundidad radicular máxima	100	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	10	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	63.0	mm/metro

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ET: 21115060 Cultivo: Arroz
 Est. de lluvia: 21115060 Fecha de siembra: 30/03

Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	3	Inic	0.90	5.17	10.3	4.6	10.3
Abr	1	Inic	0.90	5.27	52.7	26.7	26.0
Abr	2	Inic	0.90	5.37	53.7	28.3	25.4
Abr	3	Des	0.90	5.40	54.0	24.8	29.2
May	1	Des	0.98	5.86	58.6	21.2	37.4
May	2	Des	1.08	6.50	65.0	18.5	46.5
May	3	Med	1.19	7.25	79.7	13.5	66.3
Jun	1	Med	1.21	7.54	75.4	6.9	68.5
Jun	2	Med	1.21	7.67	76.7	1.5	75.2
Jun	3	Med	1.21	8.04	80.4	1.8	78.6
Jul	1	Med	1.21	8.42	84.2	2.8	81.4
Jul	2	Med	1.21	8.80	88.0	2.5	85.5
Jul	3	Fin	1.21	9.04	99.5	2.0	97.5
Ago	1	Fin	1.18	9.19	91.9	0.6	91.3
Ago	2	Fin	1.15	9.24	92.4	0.0	92.4
Ago	3	Fin	1.13	8.75	92.5	1.2	91.5
					1115.0	156.7	963.0

Programación de riego de cultivo

ETo estación: 21115060 Cultivo: Arroz Siembra: 30/03 Red. Rend.: 0.0 %
 Est. de lluvia: 21115060 Suelo: Franco Arenoso Cosecha: 26/08

Formato de Tabla: ☒ Program. de riego ☐ Bal. diario de agua de suelo

Momento: Riegar a agotamiento crítico
 Aplicación: Reponer a capacidad de campo
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etapas	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
30 Mar	1	Ini	0.0	1.00	100	153	5.5	0.0	0.0	7.9	0.91
31 Mar	2	Ini	0.0	1.00	100	139	5.2	0.0	0.0	7.4	0.86
1 Abr	3	Ini	0.0	1.00	100	137	5.3	0.0	0.0	7.5	0.87
2 Abr	4	Ini	0.0	1.00	100	133	5.3	0.0	0.0	7.5	0.87
3 Abr	5	Ini	21.7	1.00	100	129	5.3	0.0	0.0	7.5	0.87
4 Abr	6	Ini	0.0	1.00	100	125	5.3	0.0	0.0	7.5	0.87
5 Abr	7	Ini	0.0	1.00	100	122	5.3	0.0	0.0	7.5	0.87
6 Abr	8	Ini	0.0	1.00	100	119	5.3	0.0	0.0	7.5	0.87
7 Abr	9	Ini	21.7	1.00	100	116	5.3	0.0	0.0	7.5	0.87

Totales

Lámina bruta total	1580.9	mm	Precipitación total	304.8	mm
Lámina neta total	1106.6	mm	Precipitación Efectiva	0.7	mm
Pérdida total de riego	0.0	mm	Pérdida tot.prec.	304.2	mm
Uso real de agua del cultivo	1106.2	mm	Def. de hum. en cosecha	0.0	mm
Uso pot. de agua del cultivo	1106.2	mm	Requer. reales de riego	1105.6	mm
Efic. de programación de riego	100.0	%	Efic. de precipitación	0.2	%
Deficiencia de programación de riego	0.0	%			

Programación de riego de cultivo

ETo estación: 21115060 Cultivo: Arroz Siembra: 30/03 Red. Rend.: 84.3 %
 Est. de lluvia: 21115060 Suelo: Franco Arenoso Cosecha: 26/08

Formato de Tabla: ☒ Program. de riego ☐ Bal. diario de agua de suelo

Momento: No regar (secano)
 Aplicación: -
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etapas	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
26 Ago	Fin	Fin	0.0	0.11	0	102					

Totales

Lámina bruta total	0.0	mm	Precipitación total	304.8	mm
Lámina neta total	0.0	mm	Precipitación Efectiva	163.9	mm
Pérdida total de riego	0.0	mm	Pérdida tot.prec.	140.9	mm
Uso real de agua del cultivo	173.6	mm	Def. de hum. en cosecha	10.8	mm
Uso pot. de agua del cultivo	1106.2	mm	Requer. reales de riego	942.3	mm
Efic. de programación de riego	-	%	Efic. de precipitación	53.8	%
Deficiencia de programación de riego	84.3	%			

Reducción de rendimiento

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETc	76.2	70.5	87.0	94.2	84.3 %
Factor de respuesta del rend.	1.10	1.25	1.00	0.90	1.00
Red. del rend.	83.8	88.2	87.0	84.8	%
Reducc. acum. del rendimiento	83.8	98.1	99.8	100.0	84.3 %

Anexo 38. Salidas generadas por CropWat para el escenario histórico (1985-2016).

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\...

País Colombia Estación 2115060

Altitud 400 m. Latitud 3.32 °N Longitud 73.18 °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	19.4	34.0	74	302	6.4	18.2	5.08
Febrero	19.6	37.4	68	302	5.6	17.7	5.84
Marzo	19.0	39.8	65	302	4.9	17.1	6.39
Abril	19.0	37.6	66	389	5.0	17.0	6.51
Mayo	19.0	37.8	63	389	5.3	16.7	6.67
Junio	19.6	37.4	65	475	5.6	16.7	6.88
Julio	20.0	37.6	58	475	5.6	16.8	7.54
Agosto	21.6	38.4	53	475	5.5	17.4	8.24
Septiembre	22.0	39.0	53	389	5.3	17.5	7.75
Octubre	20.6	39.0	57	302	5.5	17.6	6.78
Noviembre	20.0	37.7	65	302	5.5	16.9	5.96
Diciembre	21.2	37.4	62	302	6.1	17.4	6.15
Promedio	20.1	37.8	62	367	5.5	17.3	6.65

Precipitación mensual - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\...

Estación 2115060 Método Prec. Ef Fórmula FAO/AGLW

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	255.3	180.2
Febrero	25.6	5.4
Marzo	108.3	62.6
Abril	40.6	14.4
Mayo	12.1	0.0
Junio	42.3	15.4
Julio	4.4	0.0
Agosto	5.2	0.0
Septiembre	11.6	0.0
Octubre	71.4	33.1
Noviembre	138.6	86.9
Diciembre	80.1	40.1
Total	795.5	438.1

Cultivo - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\Resultados\Modelamiento...

Nombre del Cult. Aroz Siembra 30/03 Cosecha 26/08

Kc Valores 0.90 1.10 1.00

Etapas (días) inicial 30 desarrollo 30 med 60 fin de temporada 30 total 150

Prof. radicular (m) 0.05 0.15

Agotam. crítico (fracción) 0.20 0.30 0.40

F. respuesta rend. 1.10 1.25 1.00 0.90 1.00

Altura de cult. (m) 1.00 (opcional)

Suelo - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\Resultados\Modelamiento...

Nombre del suelo Franco Arenoso

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP) 70.0 mm/metro

Tasa máxima de infiltración de la precipitación 40 mm/día

Profundidad radicular máxima 100 centímetros

Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT) 10 %

Humedad de suelo inicialmente disponible 63.0 mm/metro

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETc [2115060] Cultivo [Arroz]
 Est. de lluvia [2115060] Fecha de siembra [30/03]

Mes	Decada	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Mar	3	Inic	0.90	5.79	11.6	3.4	11.6
Abr	1	Inic	0.90	5.82	58.2	9.1	49.1
Abr	2	Inic	0.90	5.86	58.6	3.2	55.4
Abr	3	Des	0.90	5.93	59.3	2.1	57.2
May	1	Des	0.98	6.49	64.9	0.1	64.9
May	2	Des	1.09	7.27	72.7	0.0	72.7
May	3	Med	1.20	8.08	88.9	0.1	88.8
Jun	1	Med	1.23	8.35	83.5	4.4	79.1
Jun	2	Med	1.23	8.44	84.4	6.6	77.8
Jun	3	Med	1.23	8.71	87.1	4.4	82.7
Jul	1	Med	1.23	8.98	89.8	0.1	89.7
Jul	2	Med	1.23	9.25	92.5	0.0	92.5
Jul	3	Fin	1.22	9.51	104.6	0.0	104.6
Ago	1	Fin	1.19	9.63	96.3	0.0	96.3
Ago	2	Fin	1.16	9.65	96.5	0.0	96.5
Ago	3	Fin	1.13	9.20	55.2	0.0	55.2
					1204.2	33.4	1174.3

Programación de riego de cultivo

ETc estación [2115060] Cultivo [Arroz] Siembra [30/03] Red. Rend. [0.0 %]
 Est. de lluvia [2115060] Suelo [Franco Arenoso] Cosecha [26/08]

Formato de Tabla
☒ Program. de riego
☐ Bal. diario de agua de suelo

Momento: Regar a agotamiento crítico
 Aplicación: Reponer a capacidad de campo
 Ef. campo 70 %

Fecha	Día	Etapas	Precipit. mm	Ks liacc.	ETa %	Agot. %	Lám.Neta mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
30 Mar	1	Inic	0.0	1.00	100	170	6.1	0.0	0.0	8.8	1.02
31 Mar	2	Inic	0.0	1.00	100	155	5.8	0.0	0.0	8.3	0.96
1 Abr	3	Inic	0.0	1.00	100	152	5.8	0.0	0.0	8.3	0.96
2 Abr	4	Inic	0.0	1.00	100	147	5.8	0.0	0.0	8.3	0.96
3 Abr	5	Inic	9.9	1.00	100	143	5.8	0.0	0.0	8.3	0.96
4 Abr	6	Inic	0.0	1.00	100	139	5.8	0.0	0.0	8.3	0.96
5 Abr	7	Inic	0.0	1.00	100	135	5.8	0.0	0.0	8.3	0.96
6 Abr	8	Inic	0.0	1.00	100	131	5.8	0.0	0.0	8.3	0.96
7 Abr	9	Inic	9.9	1.00	100	128	5.8	0.0	0.0	8.3	0.96

Totales

Lámina bruta total	1707.7	mm	Precipitación total	103.7	mm
Lámina neta total	1195.4	mm	Precipitación Efectiva	0.7	mm
Pérdida total de riego	0.0	mm	Pérdida tot.prec.	103.0	mm
Uso real de agua del cultivo	1195.0	mm	Def. de hum. en cosecha	0.0	mm
Uso pot. de agua del cultivo	1195.0	mm	Requer. reales de riego	1194.4	mm
Efic. de programación de riego	100.0	%	Efic. de precipitación	0.6	%
Deficiencia de programación de riego	0.0	%			

Programación de riego de cultivo

ETc estación [2115060] Cultivo [Arroz] Siembra [30/03] Red. Rend. [91.7 %]
 Est. de lluvia [2115060] Suelo [Franco Arenoso] Cosecha [26/08]

Formato de Tabla
☒ Program. de riego
☐ Bal. diario de agua de suelo

Momento: No regar (secano)
 Aplicación: -
 Ef. campo 70 %

Fecha	Día	Etapas	Precipit. mm	Ks liacc.	ETa %	Agot. %	Lám.Neta mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
26 Ago	Fin	Fin	0.0	0.04	0	101					

Totales

Lámina bruta total	0.0	mm	Precipitación total	103.7	mm
Lámina neta total	0.0	mm	Precipitación Efectiva	89.8	mm
Pérdida total de riego	0.0	mm	Pérdida tot.prec.	13.9	mm
Uso real de agua del cultivo	99.3	mm	Def. de hum. en cosecha	10.6	mm
Uso pot. de agua del cultivo	1195.0	mm	Requer. reales de riego	1105.2	mm
Efic. de programación de riego	-	%	Efic. de precipitación	86.6	%
Deficiencia de programación de riego	91.7	%			

Reducción de rendimiento

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETc	81.4	92.7	91.1	98.5	91.7 %
Factor de respuesta del rend.	1.10	1.25	1.00	0.90	1.00
Red. del rend.	89.6	115.8	91.1	88.7	%
Reducc. acum. del rendimiento	89.6	101.7	100.1	100.0	91.7 %

Anexo 39. Salidas generadas por CropWat para el escenario “Niño” (1997-1998).

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\...

País: Colombia Estación: 2115060

Altitud: 400 m. Latitud: 3.32 °N Longitud: 75.18 °E

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	20.4	35.0	65	302	6.4	18.2	5.71
Febrero	20.8	35.6	68	302	5.6	17.7	5.61
Marzo	21.0	35.0	69	302	4.9	17.1	5.42
Abril	20.6	35.4	72	389	5.0	17.0	5.64
Mayo	20.6	35.0	69	389	5.3	16.7	5.73
Junio	21.0	35.0	65	475	5.6	16.7	6.40
Julio	21.0	36.4	60	475	5.6	16.8	7.11
Agosto	21.8	38.2	57	475	5.5	17.4	7.85
Septiembre	20.0	39.4	57	389	5.3	17.5	7.56
Octubre	21.0	37.0	65	302	5.5	17.6	6.01
Noviembre	21.0	35.0	74	302	5.5	16.9	5.05
Diciembre	20.2	35.2	70	302	6.1	17.4	5.34
Promedio	20.8	36.0	66	367	5.5	17.3	6.12

Precipitación mensual - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\...

Estación: 2115060 Método Prec. Ef: Fórmula FAO/AGLW

	Precipit. mm	Prec. efec. mm
Enero	60.0	26.0
Febrero	90.1	48.1
Marzo	105.1	60.1
Abril	317.8	230.2
Mayo	44.5	16.7
Junio	34.6	10.8
Julio	24.7	4.8
Agosto	3.3	0.0
Septiembre	39.8	13.9
Octubre	107.2	61.8
Noviembre	467.8	350.2
Diciembre	233.1	162.5
Total	1528.0	985.0

Cultivo - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\Resultados\Modelamiento\...

Nombre del Cult.: Aroz Siembra: 30/03 Cosecha: 26/08

Kc Valores: 0.90 (inicial), 1.10 (med), 1.00 (fin de temporada)

Etapas (días): inicial (30), desarrollo (30), med (60), fin de temporada (30), total (150)

Prof. radicular (m): 0.05 (inicial), 0.15 (med), 0.40 (fin de temporada)

Agotam. crítico (fracción): 0.20 (inicial), 0.30 (med), 0.40 (fin de temporada)

F. respuesta rend.: 1.10 (inicial), 1.25 (med), 0.90 (fin de temporada)

Altura de cult. (m): 1.00 (opcional)

Suelo - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\Resultados\Modela...

Nombre del suelo: Franco Arenoso

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP): 70.0 mm/metro

Tasa máxima de infiltración de la precipitación: 40 mm/día

Profundidad radicular máxima: 100 centímetros

Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT): 10 %

Humedad de suelo inicialmente disponible: 63.0 mm/metro

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETa: 2115060 Cultivo: Aroz
 Est. de lluvia: 2115060 Fecha de siembra: 30/03

Mes	Decada	Etapas	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Mar	3	Inic	0.90	4.95	9.9	6.2	9.9
Abr	1	Inic	0.90	5.01	50.1	70.0	0.0
Abr	2	Inic	0.90	5.08	50.8	95.0	0.0
Abr	3	Des	0.90	5.12	51.2	65.2	0.0
May	1	Des	0.98	5.57	55.7	16.0	39.6
May	2	Des	1.08	6.18	61.8	0.0	61.8
May	3	Med	1.18	7.03	77.3	0.8	76.5
Jun	1	Med	1.21	7.45	74.5	4.2	70.2
Jun	2	Med	1.21	7.72	77.2	3.6	73.6
Jun	3	Med	1.21	8.00	80.0	2.9	77.1
Jul	1	Med	1.21	8.29	82.9	2.3	80.6
Jul	2	Med	1.21	8.58	85.8	1.6	84.2
Jul	3	Fin	1.20	8.85	87.4	1.1	86.3
Ago	1	Fin	1.18	9.03	90.3	0.0	90.3
Ago	2	Fin	1.15	9.13	91.3	0.0	91.3
Ago	3	Fin	1.12	8.79	87.9	0.1	87.8
					1088.9	268.9	904.2

Programación de riego de cultivo

ETa estación: 2115060 Cultivo: Aroz Siembra: 30/03 Red. Rend.: 0.0 %
 Est. de lluvia: 2115060 Suelo: Franco Arenoso Cosecha: 26/08

Formato de Tabla: ☒ Program. de riego ☐ Bal. diario de agua de suelo

Momento: Riegar a agotamiento crítico
 Aplicación: Reponer a capacidad de campo
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etapas	Precipit. mm	Ks fracc.	ETa %	Agot. %	Lám.Neta mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
30 Mar	1	Inic	0.0	1.00	100	147	5.3	0.0	0.0	7.6	0.88
31 Mar	2	Inic	0.0	1.00	100	133	5.0	0.0	0.0	7.1	0.82
1 Abr	3	Inic	0.0	1.00	100	130	5.0	0.0	0.0	7.2	0.83
2 Abr	4	Inic	0.0	1.00	100	127	5.0	0.0	0.0	7.2	0.83
3 Abr	5	Inic	48.8	1.00	100	123	5.0	0.0	0.0	7.2	0.83
4 Abr	6	Inic	0.0	1.00	100	119	5.0	0.0	0.0	7.2	0.83
5 Abr	7	Inic	0.0	1.00	100	116	5.0	0.0	0.0	7.2	0.83
6 Abr	8	Inic	0.0	1.00	100	113	5.0	0.0	0.0	7.2	0.83
7 Abr	9	Inic	48.8	1.00	100	110	5.0	0.0	0.0	7.2	0.83
8 Abr	10	Inic	0.0	1.00	100	107	5.0	0.0	0.0	7.2	0.83
9 Abr	11	Inic	0.0	1.00	100	105	5.0	0.0	0.0	7.2	0.83

Totales: Lámina bruta total 1543.6 mm Precipitación total 423.9 mm
 Lámina neta total 1080.5 mm Precipitación Efectiva 0.7 mm
 Pérdida total de riego 0.0 mm Pérdida tot.prec. 423.2 mm
 Uso real de agua del cultivo 1080.1 mm Def. de hum. en cosecha 0.0 mm
 Uso pot. de agua del cultivo 1080.1 mm Requer. reales de riego 1079.5 mm

Programación de riego de cultivo

ETa estación: 2115060 Cultivo: Aroz Siembra: 30/03 Red. Rend.: 88.3 %
 Est. de lluvia: 2115060 Suelo: Franco Arenoso Cosecha: 26/08

Formato de Tabla: ☒ Program. de riego ☐ Bal. diario de agua de suelo

Momento: No regar (secano)
 Aplicación: -
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etapas	Precipit. mm	Ks fracc.	ETa %	Agot. %	Lám.Neta mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
26 Ago	Fin	Fin	0.0	0.02	0	101					

Totales: Lámina bruta total 0.0 mm Precipitación total 423.9 mm
 Lámina neta total 0.0 mm Precipitación Efectiva 117.2 mm
 Pérdida total de riego 0.0 mm Pérdida tot.prec. 306.7 mm
 Uso real de agua del cultivo 126.7 mm Def. de hum. en cosecha 10.6 mm
 Uso pot. de agua del cultivo 1080.1 mm Requer. reales de riego 963.0 mm
 Efic. de programación de riego - % Efic. de precipitación 27.6 %
 Deficiencia de programación de riego 88.3 %

Reducción de rendimiento

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETc	74.8	85.5	87.6	99.3	88.3 %
Factor de respuesta del rend.	1.10	1.25	1.00	0.90	1.00
Red. del rend.	82.3	106.8	87.6	89.4	%
Reducc. acum. del rendimiento	82.3	101.2	100.1	100.0	88.3 %

Anexo 40. Salidas generadas por CropWat para el escenario “Niña” (2010-2011).

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\...

País Colombia Estación 21115060

Altitud 400 m. Latitud 3.32 °N Longitud 75.18 °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	19.0	37.4	66	302	6.4	18.2	6.02
Febrero	19.0	35.0	69	302	5.6	17.7	5.51
Marzo	19.0	34.8	72	302	4.9	17.1	5.22
Abril	19.0	35.6	68	389	5.0	17.0	6.00
Mayo	19.0	34.6	70	389	5.3	16.7	5.60
Junio	20.0	36.0	63	475	5.6	16.7	6.76
Julio	19.0	37.0	59	475	5.6	16.8	7.35
Agosto	20.0	38.4	56	475	5.5	17.4	7.99
Septiembre	20.0	38.6	58	389	5.3	17.5	7.32
Octubre	20.0	38.0	61	302	5.5	17.6	6.41
Noviembre	19.6	34.6	70	302	5.5	16.9	5.26
Diciembre	19.0	34.2	68	302	6.1	17.4	5.30
Promedio	19.4	36.2	65	367	5.5	17.3	6.23

Precipitación mensual - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\...

Estación 21115060 Método Prec. Ef Fórmula FAO/AGLW

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	60.5	26.3
Febrero	191.0	128.8
Marzo	144.4	91.5
Abril	129.8	79.8
Mayo	187.1	125.7
Junio	5.3	0.0
Julio	18.5	1.1
Agosto	4.6	0.0
Septiembre	48.9	19.3
Octubre	58.2	24.9
Noviembre	325.1	236.1
Diciembre	46.2	17.7
Total	1219.6	751.3

Cultivo - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\Resultados\Modelamiento...

Nombre del Cult. Aroz Siembra 30/03 Cosecha 26/08

Kc Valores 0.90 1.10 1.00

Etapas (días) inicial 30 desarrollo 30 med 60 fin de temporada 30 total 150

Prof. radicular (m) 0.05 0.15 1.00

Agotam. crítica (fracción) 0.20 0.30 0.40

F. respuesta rend. 1.10 1.25 1.00 0.90 1.00

Altura de cult. (m) 1.00 (opcional)

Suelo - C:\Users\Paula Ramirez\Google Drive\TRABAJO DE GRADO\Resultados\Modelamiento...

Nombre del suelo Franco Arenoso

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total [CC-PMP] 70.0 mm/metro

Tasa máxima de infiltración de la precipitación 40 mm/día

Profundidad radicular máxima 100 centímetros

Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT) 10 %

Humedad de suelo inicialmente disponible 63.0 mm/metro

Requerimiento de Agua del Cultivo

Estación ETo: 21115060 Cultivo: Aroz
 Est. de lluvia: 2115060 Fecha de siembra: 30/03

Mes	Decada	Etap	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Mar	3	Inic	0.90	4.87	9.7	5.2	9.7
Abr	1	Inic	0.90	5.22	52.2	26.1	26.1
Abr	2	Inic	0.90	5.49	54.9	23.9	31.0
Abr	3	Des	0.90	5.36	53.6	29.9	23.7
May	1	Des	0.98	5.56	55.6	42.2	13.3
May	2	Des	1.09	5.98	59.8	50.0	9.8
May	3	Med	1.19	7.07	77.8	33.4	44.4
Jun	1	Med	1.22	7.79	77.9	0.1	77.7
Jun	2	Med	1.22	8.26	82.6	0.0	82.6
Jun	3	Med	1.22	8.50	85.0	0.0	85.0
Jul	1	Med	1.22	8.74	87.4	0.3	87.1
Jul	2	Med	1.22	8.98	89.8	0.4	89.4
Jul	3	Fin	1.22	9.22	101.4	0.3	101.1
Ago	1	Fin	1.19	9.35	93.5	0.0	93.5
Ago	2	Fin	1.16	9.40	94.0	0.0	94.0
Ago	3	Fin	1.14	8.92	53.5	0.1	53.4
					1128.7	211.9	921.9

Programación de riego de cultivo

ETo estación: 21115060 Cultivo: Aroz Siembra: 30/03 Red. Rend.:
 Est. de lluvia: 2115060 Suelo: Franco Arenoso Cosecha: 26/08 0.0 %

Formato de Tabla: ☒ Program. de riego ☐ Bal. diario de agua de suelo

Momento: Regar a agotamiento crítico
 Aplicación: Reponer a capacidad de campo
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etap	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
30 Mar	1	Ini	0.0	1.00	100	145	5.2	0.0	0.0	7.5	0.87
31 Mar	2	Ini	0.0	1.00	100	131	4.9	0.0	0.0	7.0	0.81
1 Abr	3	Ini	0.0	1.00	100	136	5.2	0.0	0.0	7.5	0.87
2 Abr	4	Ini	0.0	1.00	100	132	5.2	0.0	0.0	7.5	0.87
3 Abr	5	Ini	21.3	1.00	100	128	5.2	0.0	0.0	7.5	0.86
4 Abr	6	Ini	0.0	1.00	100	124	5.2	0.0	0.0	7.5	0.86
5 Abr	7	Ini	0.0	1.00	100	121	5.2	0.0	0.0	7.5	0.86
6 Abr	8	Ini	0.0	1.00	100	118	5.2	0.0	0.0	7.5	0.86
7 Abr	9	Ini	21.3	1.00	100	115	5.2	0.0	0.0	7.5	0.86
8 Abr	10	Ini	0.0	1.00	100	112	5.2	0.0	0.0	7.5	0.86
9 Abr	11	Ini	0.0	1.00	100	109	5.2	0.0	0.0	7.5	0.86

Totales: Lámina bruta total 1600.2 mm Precipitación total 343.7 mm
 Lámina neta total 1120.2 mm Precipitación Efectiva 0.7 mm
 Pérdida total de riego 0.0 mm Pérdida tot.prec. 343.1 mm
 Uso real de agua del cultivo 1119.8 mm Def. de hum. en cosecha 0.0 mm
 Uso pot. de agua del cultivo 1119.8 mm Requer. reales de riego 1119.1 mm

Programación de riego de cultivo

ETo estación: 21115060 Cultivo: Aroz Siembra: 30/03 Red. Rend.:
 Est. de lluvia: 2115060 Suelo: Franco Arenoso Cosecha: 26/08 89.1 %

Formato de Tabla: ☒ Program. de riego ☐ Bal. diario de agua de suelo

Momento: No regar (secano)
 Aplicación: -
 Ef. campo: 70 %

Fecha	Día	Etap	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
26 Ago	Fin	Fin	0.0	0.04	0	101					

Totales: Lámina bruta total 0.0 mm Precipitación total 343.7 mm
 Lámina neta total 0.0 mm Precipitación Efectiva 112.4 mm
 Pérdida total de riego 0.0 mm Pérdida tot.prec. 231.3 mm
 Uso real de agua del cultivo 121.9 mm Def. de hum. en cosecha 10.6 mm
 Uso pot. de agua del cultivo 1119.8 mm Requer. reales de riego 1007.4 mm

Anexo 41. Salidas generadas por CropWat para el escenario “Neutro” (1993).