



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**Y AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN**  
**DEL CAFÉ (*Coffea arabica L.*) AL 2040 EN COTACACHI – ECUADOR**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**AUTOR/A: BYRON RAÚL BURBANO CUSHICAHUA**  
**ANDERSON SEBASTIÁN FLORES CHIRIBOGA**

**DIRECTOR:**  
Ing. Juan Guamán MSc.

**NOVIEMBRE 2022**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**

**CERTIFICACIÓN ENTREGA TRABAJO TITULACIÓN**  
**TRIBUNAL TUTOR**

Ibarra, 16 de noviembre del 2022

Para los fines consiguientes, CERTIFICAMOS que los señores BYRON RAÚL BURBANO CUSHICAHUA Y ANDERSON SEBASTIÁN FLORES CHIRIBOGA autores del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L.) AL 2040 EN COTACACHI – ECUADOR", estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** entrega el documento en digital.

Atentamente,

**TRIBUNAL TUTOR**

**FIRMA**

MSc. Juan Guamán. Ing  
**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

MSc. Tania Oña. Ing  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

MSc. Fernando Basantes. Ing  
**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN**

**Misión Institucional:**

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL**  
**NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>		
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD</b>	1003969969	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	Burbano Cushicahua Byron Raúl	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra-Imbabura	
<b>EMAIL:</b>	brburbanoc@utn.edu.ec	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0984578493

<b>DATOS DE CONTACTO</b>		
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD</b>	1003829056	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	Flores Chiriboga Anderson Sebastián	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Otavalo-Imbabura	
<b>EMAIL:</b>	asfloresc@utn.edu.ec	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0987826941

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN

	DEL CAFÉ ( <i>Coffea Arabica L.</i> ) AL 2040 EN COTACACHI – ECUADOR
<b>AUTORES:</b>	Burbano Cushicahua Byron Raúl Flores Chiriboga Anderson Sebastián
<b>FECHA:</b>	16 de noviembre de 2022
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Juan Guamán

## 2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldremos en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 16 días del mes de noviembre de 2022

### LOS AUTORES:



Byron Raúl Burbano Cushicahua  
C.I. 1003969969



Anderson Sebastián Flores Chiriboga  
C.I. 10038929056

## **AGRADECIMIENTO**

*Primeramente, a Dios por habernos dado la vida y la sabiduría de haber aprobado con éxito esta meta planteada.*

*A nuestros padres y familiares por estar siempre dispuestos a brindarnos su apoyo incondicional.*

*A nuestro director de tesis Magister Juan Guamán y asesores Magister Tania Oña y Magister Fernando Basantes, quienes nos compartieron su sabiduría, tiempo y sobre todo su apoyo para culminar con éxito este trabajo de titulación.*

*A la Asociación Agroartesanal de Caficultores "Río Intag" (AACRI) y al Laboratorio de Investigaciones Ambientales (LABINAM) por brindarnos la información necesaria y apoyarnos con sus conocimientos en esta investigación.*

*Agradecemos a la Universidad Técnica del Norte y a sus respectivos docentes de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA), por enriquecernos con sus enseñanzas las mismas que nos incentivaron en muchos sentidos a seguir adelante.*

***Byron Burbano y Anderson Flores***

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar esta meta a corto plazo a todas las personas que han estado conmigo a lo largo del tiempo.*

*A mi amada madre que siempre veló por mi educación, trabajando fuerte para que pudiera cumplir mis metas, a cada una de mis hermanas por su apoyo incondicional, a mi querido Manuel quien fue esa figura paterna que nunca debe faltar en un hogar y que con sus consejos supo siempre como guiarme, a mi Tío y abuelos que no están, pero que su paso por la tierra fue de mucha importancia para mí, por las experiencias y lo que vivimos.*

*A cada uno de los docentes que a lo largo de mi carrera universitaria aportaron con un granito de arena en mi formación, al Magister Oscar Rosales por motivarme y crear en mi esa pasión por hacer “mapitas”, a todos quienes forman parte de LABINAM, fue un honor representarlos y al Magister Gabriel Jácome que siempre estuvo predispuesto a ayudar con amabilidad y paciencia.*

*Gracias totales.*

***Burbano Cushicahua Byron Raúl***

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de titulación se lo dedico principalmente a mis padres: Justo Flores y Dora Chiriboga, por haberme otorgado una familia maravillosa, la misma que siempre han creído en mí brindándome ejemplos de superación, humildad, sacrificio y buenos valores, para afrontar cualquier obstáculo en mi vida.*

*A mi querida hermana Karina Flores y sobrina Doménica por siempre estar dispuestas en ayudarme y brindarme su respaldo en cualquier situación.*

*A Fernanda por haberme acompañado durante esta carrera de principio a fin, creyendo siempre en mi capacidad, brindándome su comprensión, cariño y amor.*

*A mi amigo y compañero de tesis Byron por los buenos momentos que hemos compartido, aprendiendo tanto en el ámbito profesional como personal.*

***Flores Chiriboga Anderson Sebastián***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Contenido</b>	<b>Páginas</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Revisión de Antecedentes.....	1
1.2 Problema de Investigación y Justificación .....	4
1.3 Pregunta Directriz de la Investigación.....	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Hipótesis .....	5
<b>CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Marco Teórico Referencial .....	6
2.1.1 Climatología.....	6
2.1.2 Variables Climatológicas .....	6
2.1.3 Tipos de Estaciones.....	7
2.1.4 Herramientas de Análisis Estadístico.....	8
2.1.5 Modelos Climáticos Globales .....	9
2.1.6 CMIP6.....	9
2.1.7 Escenarios SSP.....	10
2.1.8 Aspectos Generales del Cultivo del Café.....	15
2.1.9 Clasificación Botánica .....	16
2.1.10 Descripción Botánica .....	16
2.1.11 Cambio Climático .....	17
2.2 Marco Legal .....	18
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador .....	19
2.2.2 Objetivos del Desarrollo Sostenible.....	19
2.2.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA) .....	20
2.2.4 Plan Nacional del Buen Vivir (2017-2021) .....	20
2.2.5 Acuerdo Ministerial 95 .....	21
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>22</b>



3.1	Descripción del Área de Estudio.....	22
3.2	Métodos.....	24
3.2.1	Estandarización de Parámetros Climáticos .....	24
3.2.2	Establecimiento de los Escenarios de Cambio Climático para el Año 2040 .....	27
3.2.3	Modelización de Producción de Café Bajo los Nuevos Escenarios Climáticos .....	35
3.2.4	Socialización de los Resultados de la Investigación a los Productores ....	40
2.3	Materiales y equipos .....	40
	<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
4.1	Estandarización de los Parámetros Climáticos .....	42
4.1.1	Homogenización de Datos .....	42
4.1.2	Relleno de Datos .....	44
4.2	Escenarios de Cambio Climático para el Año 2040 en Intag.....	49
4.2.1	Modelos CMIP6 Evaluados .....	50
4.2.2	Escenarios de Cambio Climático de Temperatura .....	55
4.2.3	Escenarios de Cambio Climático de Precipitación .....	59
4.3	Modelo de Producción de Café en Escenarios de Cambio Climático.....	63
4.3.1	Análisis de Normalidad de Datos.....	63
4.3.2	Correlación de Variables.....	65
4.3.3	Modelo de Producción .....	67
4.3.4	Producción bajo los nuevos requerimientos ambientales.....	68
4.3.5	Producción bajo Nuevos Requerimientos Ambientales.....	75
4.3.6	Interpolación biarmónica de producción observada y futura.....	76
4.4	Socialización de los Resultados Obtenidos a los Productores de Intag .....	79
4.4.1	Materiales de Socialización.....	79
	<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>100</b>
5.1.	Conclusiones .....	100
5.2.	Recomendaciones.....	101
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>102</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>118</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Páginas
<b>Tabla 1.</b> Clasificación taxonómica del café .....	16
<b>Tabla 2.</b> Información de las estaciones meteorológicas y pluviométricas .....	24
<b>Tabla 3.</b> Modelos climáticos globales CMIP6 disponibles para Intag .....	28
<b>Tabla 4.</b> Materiales y equipos .....	41
<b>Tabla 5.</b> Valores de la prueba “t” y la prueba “F” para.....	43
<b>Tabla 6.</b> Valores de la prueba “t” y la prueba “F” para.....	43
<b>Tabla 7.</b> NRMSE con datos sin corregir vs NRSME con datos corregidos .....	44
<b>Tabla 8.</b> MSE estimado para los.....	45
<b>Tabla 9.</b> MSE estimado para los datos .....	45
<b>Tabla 10.</b> Medidas estadísticas de las series temporales con datos completos de las estaciones meteorológicas entre 1990-2018.....	46
<b>Tabla 11.</b> Medidas estadísticas de las series temporales con datos completos de las estaciones pluviométricas entre 1990-2018 .....	46
<b>Tabla 12.</b> Modelo Climático Global de temperatura mejor adaptado a Intag .....	52
<b>Tabla 13.</b> Modelo Climático Global de precipitación mejor adaptado a Intag ....	53
<b>Tabla 14.</b> Shapiro-Wilks para los datos históricos de los 32 productores de café orgánico de la zona de Intag.....	64
<b>Tabla 15.</b> Productores de café orgánico de la zona de Intag con valor de p mayor a 0.7.....	65
<b>Tabla 16.</b> Correlaciones canónicas en los 3 conjuntos de variables de producción .....	65
<b>Tabla 17.</b> Coeficientes de variables canónicas del primer .....	66
<b>Tabla 18.</b> Coeficientes de variables canónicas del segundo.....	66
<b>Tabla 19.</b> Transformación Cochran-Orcutt aplicada a cada variable .....	67
<b>Tabla 20.</b> Análisis de Varianza del modelo de producción.....	68
<b>Tabla 21 .</b> ANOVA para el escenario “SSP126” vs datos históricos de producción .....	69
<b>Tabla 22 .</b> ANOVA para el escenario “SSP245” vs datos históricos de producción .....	69
<b>Tabla 23 .</b> ANOVA del escenario SSP370 vs datos históricos de producción ....	69
<b>Tabla 24 .</b> ANOVA del SSP585 vs datos históricos de producción .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Páginas
<b>Figura 1.</b> Vías Socioeconómicas Compartidas (SSP) .....	13
<b>Figura 2.</b> Forzamiento radiativo antropogénico (W/m <sup>2</sup> ) de los cuatro escenarios CMIP6 .....	13
<b>Figura 3.</b> Emisiones globales de CO <sub>2</sub> (Gt/Año) para los 4 SSP .....	14
<b>Figura 4.</b> Concentraciones globales de CO <sub>2</sub> (ppm) para los 4 escenarios de cambio climático .....	14
<b>Figura 5.</b> Mapa de ubicación de la Zona de Intag .....	22
<b>Figura 6.</b> Mapa de zonificación climática de Intag según Pourrut .....	23
<b>Figura 7.</b> Mapa de ubicación de las estaciones identificadas .....	25
<b>Figura 8.</b> Temperatura media histórica (1990-2014) del GCM “ACCESS-CM2” .....	29
<b>Figura 9.</b> Temperatura media del SSP585 (2015-2100) del GCM “ACCESS-CM2” .....	30
<b>Figura 10.</b> Precipitación histórica (1990-2014) del modelo ACCESS-CM2 .....	30
<b>Figura 11.</b> Precipitación futura (2015-2100) del modelo ACCESS-CM2 .....	31
<b>Figura 12.</b> Datos completos pertenecientes a la estación meteorológica Cayapas .....	47
<b>Figura 13.</b> Datos completos pertenecientes a la estación pluviométrica Apuela .	47
<b>Figura 14.</b> Temperatura Anual del año 2011 para la zona de Intag .....	48
<b>Figura 15.</b> Precipitación anual del año 2011 para la zona de Intag .....	49
<b>Figura 16.</b> ACP de la estación meteorológica Quininde para el SSP126 .....	51
<b>Figura 17.</b> ACP de la estación meteorológica Quininde para el SSP245 .....	51
<b>Figura 18.</b> ACP de la estación meteorológica Mira para el SSP370 .....	51
<b>Figura 19.</b> ACP de la estación meteorológica Quininde para el SSP585 .....	52
<b>Figura 20.</b> ACP de la estación pluviométrica La Perla para el SSP126 .....	54
<b>Figura 21.</b> ACP de la estación pluviométrica La Perla para el SSP245 .....	54
<b>Figura 22.</b> ACP de la estación pluviométrica La Perla para el SSP370 .....	55
<b>Figura 23.</b> ACP de la estación pluviométrica La Perla para el SSP585 .....	55
<b>Figura 24.</b> Escenario de cambio climático SSP126 para temperatura .....	56
<b>Figura 25.</b> Escenario de cambio climático SSP245 para temperatura .....	57
<b>Figura 26.</b> Escenario de cambio climático SSP370 para temperatura .....	58

<b>Figura 27.</b> Escenario de cambio climático SSP585 para temperatura .....	59
<b>Figura 28.</b> Escenario de cambio climático SSP126 para precipitación.....	60
<b>Figura 29.</b> Escenario de cambio climático SSP245 para precipitación.....	61
<b>Figura 30.</b> Escenario de cambio climático SSP370 para precipitación.....	62
<b>Figura 31.</b> Escenario de cambio climático SSP585 para precipitación.....	63
<b>Figura 32.</b> Diagrama de Cajas y Bigotes del escenario “SSP126” vs datos históricos de producción.....	70
<b>Figura 33.</b> Diagrama de Cajas y Bigotes del SSP245 vs datos históricos de producción.....	71
<b>Figura 34.</b> Diagrama de Cajas y Bigotes del SSP370 vs datos históricos de producción.....	71
<b>Figura 35.</b> Diagrama de Cajas y Bigotes del SSP585 vs datos históricos de producción.....	72
<b>Figura 36.</b> Diagramas de Cuantiles del SSP126 vs datos históricos de producción .....	73
<b>Figura 37.</b> Diagrama de Cuantiles del SSP245 vs datos históricos de producción .....	73
<b>Figura 38.</b> Diagrama de Cuantiles del SSP370 vs datos históricos de producción .....	74
<b>Figura 39.</b> Diagrama de Cuantiles del SSP585 vs datos históricos de producción .....	74
<b>Figura 40.</b> Modelo de Producción Observada en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura) .....	76
<b>Figura 41.</b> Modelo de Producción en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura) del SSP126 .....	77
<b>Figura 42.</b> Modelo de Producción en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura) del SSP245 .....	77
<b>Figura 43.</b> Modelo de Producción en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura) del SSP370 .....	78
<b>Figura 44.</b> Modelo de Producción en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura) del SSP585 .....	78
<b>Figura 45.</b> Video para la socialización de resultados.....	97

<b>Figura 46.</b> Resumen extendido del Trabajo de Investigación.....	97
<b>Figura 47.</b> Entrega de folleto informativo y recursos en formato digital.....	98
<b>Figura 48.</b> Ponencia dirigida a los directivos y productores .....	99

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Contenido	Página
Ec. 1.....	26
Ec. 2.....	26
Ec. 3.....	27
Ec. 4.....	31
Ec. 5.....	32
Ec. 6.....	32
Ec. 7.....	32
Ec. 8.....	33
Ec. 9.....	33
Ec. 10.....	33
Ec. 11.....	33
Ec. 12.....	34
Ec. 13.....	34
Ec. 14.....	34
Ec. 15.....	34
Ec. 16.....	36
Ec. 17.....	36
Ec. 18.....	36
Ec. 19.....	37
Ec. 20.....	37
Ec. 21.....	37
Ec. 22.....	38
Ec. 23.....	38
Ec. 24.....	38
Ec. 25.....	38
Ec. 26.....	38
Ec. 27.....	39
Ec. 28.....	39
Ec. 29.....	39
Ec. 30.....	39
Ec. 31.....	40

Ec. 32.....	40
Ec. 33.....	66
Ec. 34.....	66
Ec. 35.....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>Anexo 1.</b> Datos disponibles de estaciones meteorológicas.....	118
<b>Anexo 2.</b> Análisis de datos disponibles de estaciones meteorológicas.....	122
<b>Anexo 3.</b> Datos disponibles de estaciones pluviométricas .....	126
<b>Anexo 4.</b> Análisis de datos disponibles de estaciones pluviométricas .....	132
<b>Anexo 5.</b> Registro de datos faltantes de las estaciones meteorológicas y pluviométricas .....	138
<b>Anexo 6.</b> Matriz de correlación de las estaciones meteorológicas y pluviométricas .....	139
<b>Anexo 7.</b> Datos completos de las estaciones meteorológicas .....	141
<b>Anexo 8.</b> Análisis de datos completos de estaciones meteorológicas .....	145
<b>Anexo 9.</b> Datos completos de las estaciones pluviométricas.....	149
<b>Anexo 10.</b> Análisis de datos completos de las estaciones pluviométricas.....	155
<b>Anexo 11.</b> Proyección para estaciones meteorológicas .....	161
<b>Anexo 12.</b> Proyección para estaciones pluviométricas.....	164
<b>Anexo 13.</b> Códigos.....	168
<b>Anexo 14.</b> Registro fotográfico.....	175



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**Y AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**

**EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA**  
**PRODUCCIÓN DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L.) AL 2040 EN COTACACHI**  
**– ECUADOR**

Byron Raúl Burbano Cushicahua y Anderson Sebastián Flores Chiriboga

**RESUMEN**

El cambio climático afectaría de manera significativa a la producción de café, puesto que, las variables que influyen en el desarrollo de un cultivo cambiarían radicalmente, provocando efectos negativos en la seguridad alimentaria mundial. Debido a esto, el objetivo de esta investigación es determinar los efectos del cambio climático en la producción de café al 2040 en Intag-Ecuador, utilizando información climática observada e histórica obtenida del CMIP6 desde 1990-2018 y futura desde 2019-2040 para los 4 escenarios de cambio climático (SSP126, SSP245, SSP370, SSP585), de esta manera, se realizó una reducción de escala estadística para generar los datos del año 2040, como resultado se obtuvo que el páramo es uno de los lugares más afectados por el cambio climático con variaciones de temperatura de 1 a 1.6°C y una reducción notable en su precipitación, además los climas Tropicales serán afectados por altas temperaturas y precipitaciones severas que pueden causar inundaciones o desbordamiento de ríos. Por otra parte, para el desarrollo del modelo de producción fue necesario contar con información climática que cada uno de los productores tendría en los escenarios proyectados, con esto se aplicó la transformación de Cochran-Orcutt a las variables estudiadas, concluyendo que el cambio climático afectará positivamente a la producción de café (*Coffea arabica* L.) en Intag, específicamente en la parte baja del clima Ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo, que corresponde a la parroquia de García Moreno, ya que la temperatura y precipitación, se encontraron en rangos óptimos de producción.

**Palabras clave:** cambio climático, GCMs, CMIP6, producción, modelo, escenarios.

## ABSTRACT

Climate change would significantly affect coffee production, since the variables that influence the development of a crop would change radically, causing negative effects on world food security. Due to this, the objective of this research is to determine the effects of climate change on coffee production by 2040 in Intag-Ecuador, using observed and historical climate information obtained from CMIP6 from 1990-2018 and future from 2019-2040 for the 4 climate change scenarios (SSP126, SSP245, SSP370, SSP585), in this way, a downscaling statistical was carried out to generate the data for the year 2040, as a result it was obtained that the páramo is one of the places most affected by the change climate with temperature variations of 1 to 1.6°C and a notable reduction in precipitation, in addition, tropical climates will be affected by high temperatures and severe precipitation that can cause flooding or overflow of rivers. On the other hand, for the development of the production model it was necessary to have climatic information that each one of the producers would have in the projected scenarios, with this the Cochrane-Orcutt transformation was applied to the variables studied, concluding that climate change will affect positively to the production of coffee (*Coffea arabica* L.) in Intag, specifically in the lower part of the semi-humid to humid mesothermal equatorial climate, which corresponds to the García Moreno parish, since the temperature and precipitation were found in optimal ranges of production.

**Words key:** climate change, GCMs, CMIP6, production, model, scenario

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta un breve preámbulo del presente trabajo de investigación, donde se aborda temas generales sobre el cambio climático, la producción de café en Ecuador, sus inicios, su evolución y cómo nuestro país ha abordado esta materia a lo largo del tiempo.

### **1.1 Revisión de Antecedentes**

Desde el inicio de la revolución industrial en el siglo XVIII, las cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera han ido en aumento, conllevando a que las temperaturas globales sean elevadas, afectando gravemente a los ecosistemas y a los recursos hídricos (Arain, 2011). Este fenómeno antropogénico alterará significativamente a regiones ecuatoriales y zonas adyacentes, por lo que la preocupación mundial aumenta a un ritmo alarmante, principalmente en la capacidad para adaptarse o mitigar sus efectos, surgiendo conflictos con respecto a una correcta elección acerca de las soluciones contra el cambio climático (MacDonald, 2020).

Tan sólo en los últimos 30 años, se ha registrado el período más caluroso del récord climático desde 1880, de la misma manera estudios paleo climáticos afirman que falta aumentar la temperatura promedio de al menos un grado Celsius para que equivalga a la temperatura más alta de los últimos 125 000 años (VanderMolen, 2016). La principal causa de este cambio de clima son las altas concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), provocando el aumento de la temperatura media de 0.8 a 2 °C en ciertas partes del planeta (Álvarez et al., 2017). Por otro lado, los impactos más significativos del cambio climático suceden en el sector agrícola, debido a los incrementos considerables de temperatura y la alteración de las precipitaciones, conllevan a una mayor incidencia de enfermedades y plagas en los cultivos, reduciendo de esta manera el rendimiento y la productividad (Isaza & Cornejo, 2013).

Uno de los hechos más importantes del siglo XXI en contra del cambio climático fue la creación del Acuerdo de París, fundado en el año 2015 con compromisos de adaptación y mitigación, el mismo que entró en vigor en noviembre del 2016 (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2015). Desde entonces Ecuador forma parte y lo ratificó en el 2017, sin embargo, en el año 2012 el país ya contaba con una Estrategia Nacional de Cambio Climático, buscando mitigar diferentes impactos tales como: el retroceso de los casquetes polares, aumento de temperaturas, tormentas, sequías, inundaciones y olas de calor, con el objetivo de minimizar estos efectos se implementa en el país políticas, acciones y esfuerzos, que conlleven a reducir los gases de efecto invernadero y, por lo tanto, la vulnerabilidad de ciertos sectores (Ministerio del Ambiente Agua, 2020).

Según (Cadilhac et al., 2017) las tecnologías de adaptación y mitigación giran en torno a soluciones amigables con el ambiente, como el cambio de matriz energética, sostenibilidad y uso del recurso hídrico, además de impulsar el cambio de matriz productiva, considerando las buenas prácticas agropecuarias y por ende el uso eco-eficiente de los recursos naturales. Uno de los cultivos que relacionan la participación de diversos pueblos y etnias, en los diferentes procesos de producción, transformación y comercialización, es el café, ya que genera ingresos económicos favoreciendo al desarrollo de la comunidad (Fórum Cultural del Café, 2020).

Uno de los principales países que se dedica a la exportación de café a nivel mundial es Ecuador, esta actividad es un motor para la economía ecuatoriana, ya que genera divisas al Estado, aporta de ingresos para las familias que cultivan café y beneficia a los actores de las cadenas productivas (comerciantes, transportistas, microempresarios, exportadores, obreros) (Pozo, 2014). El café ecuatoriano a diferencia del café colombiano y el brasileño no es tan popular a nivel mundial, no por su falta de calidad sino porque sus cultivos no abastecen la demanda internacional. La producción de café en el Ecuador pasó de 346 971 has en 1983 a 60 000 has en el 2019 (Sánchez et al., 2019). La pandemia del COVID-19 afectó negativamente a la economía ecuatoriana, pues, las actividades productivas en el país fueron suspendidas. A pesar de que el sector agrícola presentó un decrecimiento anual de 1.3% en el 2020, en donde sobresale el cultivo de banano,

café y cacao tuvieron un incremento del 4.1% (Banco Central del Ecuador [BCE], 2021).

Es importante acotar que la categorización del café ecuatoriano viene dada por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 285:2006, la cual clasifica y menciona los requisitos que debe tener el café verde en grano, para su correcta producción y exportación (Fórum Cultural del Café, 2020). Las principales especies comerciales de café que se cultivan en el Ecuador son, *Coffea arabica L* y *Coffea robusta*, sin embargo, a pesar de todas las tecnologías de producción que han permitido elevar la productividad, el mayor problema que presenta la caficultura ecuatoriana es la baja producción a un nivel nacional, con una producción media de tan solo 270 kg/has en todo el Ecuador (Ponce et al., 2018). Este problema viene desde el 2013, en donde las zonas con mayor productividad como: Manabí, Loja y Machala se vieron afectadas por plagas y escases de agua, disminuyendo así en un 13% al desarrollo de las plantaciones de este recurso (BCE, 2013).

El territorio Intag cuenta con dos regiones de alta biodiversidad: el Chocó y los Andes tropicales. Por esta razón, se tiene un elevado endemismo y la abundancia de especies en peligro de extinción, que convierten a esta área en una de las más importantes del planeta, denominadas *hot spots* (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2013). La Zona de Intag al estar ubicada en un valle de transición hacia la costa noroccidental del Ecuador, posee un clima subtropical y tropical ideal para el cultivo del café arábigo, el cual debe encontrarse a 1 200 msnm, factor fundamental para tener un cultivo de una excelente calidad, buen sabor y exquisito aroma (Asociación Agroartesanal de Caficultores Río Intag [AACRI], n.d.).

AACRI es una organización de segundo grado creada en 1998, el área de influencia de la organización va desde los 600 msnm a los 2 100 msnm, abarca entre 3 000 hectáreas las cuáles son aptas para el cultivo de café (Noboa & Quelal, 2015). A pesar de todo esto, la productividad en este lugar es baja, debido al mantenimiento inadecuado y a la fertilidad del suelo, teniendo como resultado un promedio de 7.32 qq/ha o 322 kg/ha (Rikolto, n.d.). Por lo tanto, AACRI ofrece implantar sistemas

agroforestales a las plantaciones de café, de esta manera se consigue una producción eco amigable, contribuyendo también a la soberanía alimentaria de los agricultores.

En cuanto al café, la experiencia desarrollada en la última década en Intag alrededor de la producción, procesamiento y comercialización ha convertido a esta actividad en una de las más importantes de la zona. El sistema agroforestal, que integra en las fincas la producción de café con frutas y madera, es un mecanismo que fomenta la conservación de suelos y la biodiversidad, dejando rentas importantes a los productores (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Santa Ana de Cotacachi 2015-2035, 2015).

## **1.2 Problema de Investigación y Justificación**

Se prevé que el cambio climático a nivel mundial producirá temperaturas extremas, inundaciones y escasez de agua, pues, la acción humana ha provocado un aumento de las emisiones de GEI, afectando significativamente al desarrollo de la flora y fauna disminuyendo la tasa de crecimiento de la producción agrícola, limitando así la disponibilidad de alimento esencial para la nutrición del ser humano.

Ecuador evidencia esta problemática debido a la falta de políticas públicas ambientales que preparen a los pequeños productores hacia posibles escenarios, razón por la cual, la reducción del rendimiento agrícola es evidente, perjudicando directamente a las actividades económicas y productivas del país. Un claro ejemplo de este problema se presenta en el cultivo de café en la Zona de Intag. Este sector no cuenta con información pertinente acerca del impacto que generaría el cambio climático en el sector agrícola, por esta razón, es de suma importancia predecir y evaluar escenarios de cambio climático a través de modelos matemáticos, para conocer los posibles efectos que una variación climática podría afectar a la producción de *Coffea arabica* para el 2040 en esta zona en específico, ya que en este periodo varias investigaciones mencionan que tanto la temperatura como la precipitación se verían afectados drásticamente, es por esto que el presente estudio pretende facilitar la toma de decisiones, aplicando además una agricultura

climáticamente inteligente con la finalidad de ayudar a las personas que se dedican a la producción de este recurso a responder de manera eficaz ante los impactos que generaría el cambio climático, aumentando de forma sostenible la productividad mediante la adaptación y resiliencia de estos cultivos.

### **1.3 Pregunta Directriz de la Investigación**

¿Cómo los efectos del cambio climático afectarán a la producción de café (*Coffea arabica L.*) al 2040 en Cotacachi - Ecuador?

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo General***

Evaluar los efectos del cambio climático en la producción del café (*Coffea arabica L.*) al 2040 en Cotacachi – Ecuador.

#### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Establecer los parámetros climáticos del área de estudio.
- Determinar los escenarios de cambio climático para el año 2040.
- Modelar la producción de café (*Coffea arabica L.*) bajo los nuevos escenarios climáticos.
- Socializar los resultados de la investigación a los productores.

### **1.5 Hipótesis**

Ho: El cambio climático no afectaría de ninguna manera la actividad cafetera en la zona de Intag en los escenarios proyectados.

Ha: El cambio climático afectaría de alguna manera la actividad cafetera en la zona de Intag en los escenarios proyectados.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

En este capítulo se detallan las proposiciones teóricas más generales, los sistemas teóricos, teorías más específicas, taxonomía y otros conceptos que constituyen la materia prima para la realización del trabajo de investigación.

#### **2.1 Marco Teórico Referencial**

##### **2.1.1 *Climatología***

Según el (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2013) la climatología se encarga del estudio del clima y sus variaciones a lo largo de un tiempo cronológico. (Santillán & Zamora, 2021) afirman que ayuda a describir las diferentes variaciones de: precipitación, temperatura, presión barométrica, viento, etc. De esta manera, resulta más fácil la elaboración de registros climáticos que documentan este tipo de comportamientos para la generación de información histórica.

A través de la historia, se han presentado variaciones en el clima originados por cambios en la forma de interacción entre los componentes del sistema climático y en sus diferentes factores forzantes, a esto también se lo conoce como variabilidad climática (Zea et al., 2001). La incertidumbre que presenta la variabilidad climática está cada vez más presente debido a las actividades antrópicas que, desde la industrialización hasta el presente, generan un cambio climático devastador en nuestro planeta.

##### **2.1.2 *Variables Climatológicas***

**2.1.2.1 Temperatura.** (Jiménez & Cifuentes, 2018) afirman que la temperatura es uno de los elementos constitutivos del clima, se refiere al grado de calor específico del aire en un determinado lugar y tiempo. La temperatura es el factor principal que determina la adaptación de las



especies a diferentes lugares, esto se debe a que altera diversas funciones vitales. En las especies vegetales, a medida que la temperatura aumenta la energía cinética de las moléculas se incrementa, lo que conlleva a que la velocidad de las reacciones sea mucho más rápida, sin embargo, si existe una temperatura excesiva las enzimas se desnaturalizan y las estructuras celulares empiezan a desorganizarse, por otro lado, cuando tenemos temperaturas bajas la velocidad de las reacciones disminuyen lo que afecta a los procesos fisiológicos (Fernández & Johnston, 2006).

**2.1.2.1 Precipitación.** La precipitación es cualquier forma de agua ya sea en estado líquido o sólido que cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre, incluye la lluvia, la nieve, el granizo y nevisca (Chow et al., 1994). Las precipitaciones en el campo de la agricultura afectan a la humedad del suelo donde se desarrollan y crecen los cultivos, es por esto, que es de suma importancia tener un registro de esta variable, permitiendo realizar diversas planificaciones de forma más acertada. En la zona intertropical, por lo general el crecimiento de los cultivos no se encuentra limitado por la cantidad de radiación solar que recibe, habitualmente cualquier especie vegetal se desarrolla sin ningún problema sólo si dispone de la suficiente humedad para satisfacer sus necesidades hídricas (Olivares, 2010).

### **2.1.3 Tipos de Estaciones**

**2.1.3.1 Estaciones Meteorológicas.** (Acuña & Robles, 2015) afirman que existen dos tipos de estaciones meteorológicas:

- **Estaciones Meteorológicas Convencionales.** Son estaciones que en su superficie poseen un cerco perimétrico, en el cual se encuentran diferentes instrumentos encargados de registrar diversas variables meteorológicas como: viento, humedad relativa, precipitación, temperatura, etc.

- **Estaciones Meteorológicas Automáticas.** Son todas aquellas estaciones que registran la información ambiental mediante el empleo de sensores especializados, dicha información se registra de acuerdo con las necesidades por las que fue instalada, además posee un sistema de almacenamiento de datos, los cuáles pueden ser descargados cuando el usuario lo planifique.

**2.1.3.2 Estaciones Pluviométricas.** (Bustillos, 2019) afirma que este tipo de estaciones llevan registros de la precipitación ocurrida en un lugar y tiempo determinado, se encuentra dotada de un pluviómetro que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas.

#### **2.1.4 Herramientas de Análisis Estadístico**

**2.1.4.1 Software RStudio.** R es un sistema para análisis y gráficos estadísticos, su lenguaje permite al usuario programar bucles para analizar conjuntos de datos, combinando diferentes funciones estadísticas en un solo programa. Las funciones disponibles se encuentran localizadas en el directorio, el mismo que contiene “paquetes” de funciones, las cuales a su vez están estructuradas de directorios (Arévalo & Padilla, 2016).

**2.1.4.2 Software Matlab.** Según (Echevarría, 2020) MATLAB es un paquete de software diseñado y orientado al cálculo numérico, operaciones matriciales y especialmente a las aplicaciones de ingeniería. Posee un lenguaje de programación propio que permite al usuario escribir sus *scripts* (conjunto de comandos escritos en un fichero y ejecutados con una sola orden) para resolver problemas, escribir nuevas funciones, realizar modelos en diferentes dimensiones, etc.

**2.1.4.3 Software Statgraphics.** (Batanero & Díaz, 2008) aseguran que Statgraphics es un paquete dedicado profesionalmente a la estadística, ya que proporciona los análisis estadísticos más importantes, además ofrece un

sin número de instrumentos necesarios para el análisis de datos. Su aplicación permite realizar análisis descriptivos de una o varias variables, empleando gráficos que explican su distribución o calculando sus medidas características (Jiménez et al., 2019).

### **2.1.5 Modelos Climáticos Globales**

Los GCMs constituyen una avanzada y compleja herramienta de software para la simulación del clima a un nivel global en un período pasado y futuro (Fernández & Johnston, 2006). Dividen al globo terrestre en una malla tridimensional, con una resolución horizontal de entre 100 y 600 km de 10 a 20 capas verticales en la atmósfera y, en ocasiones, hasta 30 capas en los océanos. Además, buscan representar procesos físicos en los océanos, en la atmósfera, criósfera y en la superficie terrestre, permitiendo simular la respuesta futura del sistema climático global (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático [IPCC], 2013).

### **2.1.6 CMIP6**

El Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP) comenzó en 1995, bajo los auspicios del Grupo de Trabajo sobre Modelado Acoplado (WGCM). Su objetivo principal es comprender mejor los cambios climáticos pasados, presentes y futuros que nacen de la variabilidad natural no forzada o en respuesta a cambios en el forzamiento climático (Try et al., 2022). Desde entonces ha evolucionado en 6 fases hasta convertirse en una importante actividad internacional de investigación de modelos múltiples (CMIP6), además, es importante mencionar, que el Proyecto de Intercomparación de Modelos de Escenarios (ScenarioMIP) es la actividad principal dentro del CMIP6, ya que proporciona proyecciones climáticas multimodelo basadas en escenarios alternativos de emisiones futuras y cambios de uso de suelo producidos por modelos de evaluación integrados (O'Neill et al., 2016).

La principal diferencia que existe entre los modelos de la generación anterior (CMIP5) con los más recientes (CMIP6) es el aumento de la retroalimentación media multimodelo debido a las retroalimentaciones asociadas a las nubes, a la disminución de la cobertura de nubes bajas extratropicales y la disminución del albedo, todos estos factores se encuentran asociados con la física de las nubes (Zelinka et al., 2020). Además, las últimas actualizaciones incluyen parametrizaciones de última generación para los componentes de la superficie terrestre y la atmósfera.

Para el componente de la superficie terrestre, los esquemas de nieve y suelo han sido mejorados, por otro lado, el campo de la hidrología se ha enriquecido mediante la representación de inundaciones de ríos y acuíferos. Sin embargo, para el componente atmosférico, se incluyen cambios en la representación de los procesos de convección superficial y profunda, microfísica y turbulencia (Volz et al., 2019).

### **2.1.7 Escenarios SSP**

Las proyecciones provenientes de los modelos CMIP6, se basan en nuevas Vías Socioeconómicas Compartidas (SSPs, por sus siglas en inglés), producidas con las versiones más actualizadas de modelos integrados de evaluación (IAM, por sus siglas en inglés) y con bases de datos actuales sobre las tendencias de emisiones de GEI (O'Neill et al., 2016). De esta manera se diseñaron cinco narrativas que describen diferentes caminos de desarrollo de la sociedad, formando parte de los llamados SSP:

**2.1.7.1 SSP1.** También conocido como “El camino sostenible y verde” describe un mundo cada vez más sostenible, preservando los bienes comunes y respetando los límites de la naturaleza. El centro de atención no es el crecimiento económico, sino el bienestar humano, además, el consumo está orientado a minimizar el uso de energía y recursos materiales.

**2.1.7.2 SSP2.** Denominado “Mitad del camino”, el crecimiento de la población mundial es moderado, logrando estabilizarse a mitad del siglo, sin embargo, los sistemas ambientales se enfrentan a una cierta degradación.

**2.1.7.3 SSP3.** Un escenario que muestra una “Rivalidad Regional” en donde las políticas se centran cada vez más en cuestiones de seguridad nacional y regional, la desigualdad va en aumento mientras que las inversiones en educación y desarrollo tecnológico disminuyen. En tema ambiental, algunas regiones ya se ven afectadas por los daños ambientales ocurridos.

**2.1.7.4 SSP4.** Escenario de “Desigualdad”, ya que las sociedades desarrolladas cooperan entre ellas, mientras que las sociedades que se encuentra en una etapa de desarrollo se están ampliando, en algunas regiones, en algunas regiones las políticas ambientales logran abordar problemas locales, pero en otras empeoran.

**2.1.7.5 SSP5.** Este escenario muestra un “Desarrollo alimentado por combustibles fósiles”, el desarrollo social y económico se basa en una explotación intensificada de los recursos con alto porcentaje de carbón y un estilo de vida intensivo en el tema energético.

A diferencia de los escenarios RCP, que forman parte de los modelos CMIP5, los nuevos escenarios SSP brindan razones sociales y económicas para las vías de emisión supuestas y los cambios de uso de suelo, además se incorporaron las emisiones históricas actualizadas de GEI y aerosoles.

Por otra parte, Scenariomip alcanzó un acuerdo global sobre cuatro combinaciones denominados “escenarios estándar”, estos escenarios fueron financiados por el Ministerio Federal de Educación e Investigación (BMBF) dentro del alcance del proyecto CMIP6-DICAD, el cual abarca un periodo de tiempo hasta el año 2100, como se muestra en la Figura 1. Los mismos que comprende el nombre de la vía básica seguido por dos números que

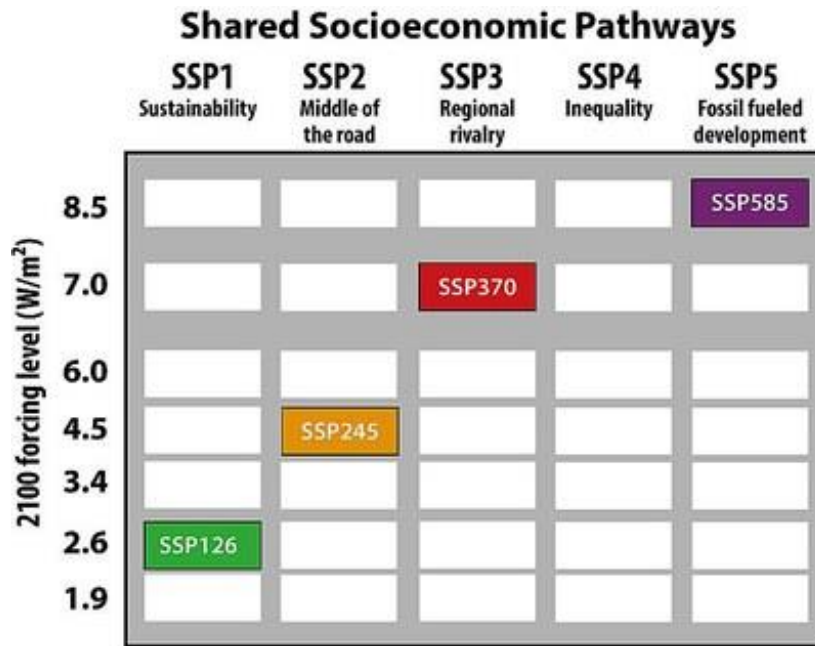
indica el forzamiento radiativo adicional en unidades de décimas watts (W) (Riahi et al., 2017).

**2.1.7.6 SSP126.** Este escenario es una reedición del RCP2.6 (escenario optimista), posee  $2.6 \text{ W/m}^2$  para el año 2100 y fue diseñado con la finalidad de simular un desarrollo compatible con la meta de  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ , además, asume que se están tomando medidas de protección climática.

**2.1.7.7 SSP245.** Es una actualización del escenario RCP4.5, posee un forzamiento radiativo adicional de  $4.5 \text{ W/m}^2$  para el año 2100, representa la trayectoria media de futuras emisiones de GEI, al igual que el anterior, se asumen que se están tomando medidas de protección climática.

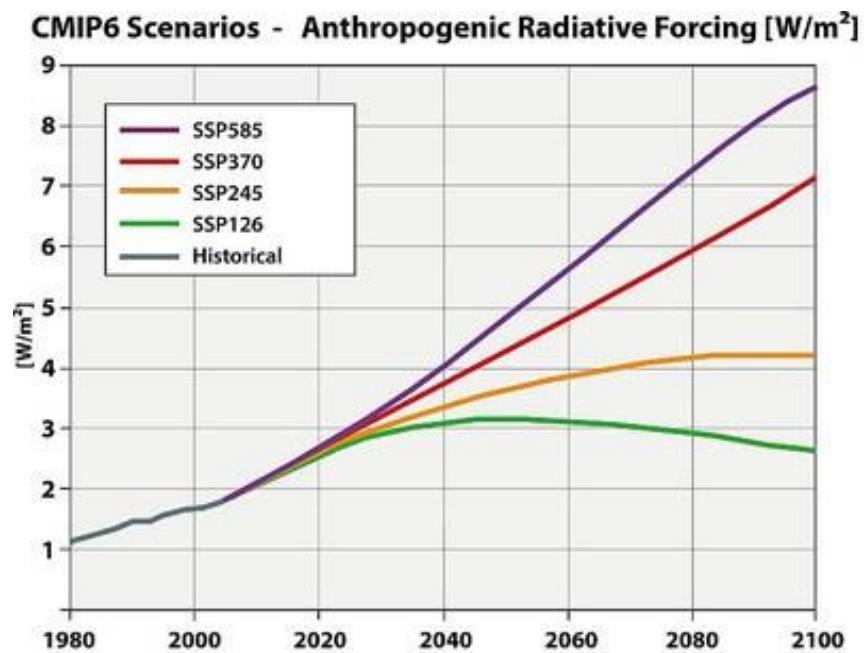
**2.1.7.8 SSP370.** Se encuentra en la parte media-alta de la gama completa de escenarios, con  $7 \text{ W/m}^2$  para el año 2100, cierra la brecha entre el RCP6.0 Y RCP8.5, considerados los más catastróficos de los modelos CMIP5.

**2.1.7.9 SSP585.** Posee un forzamiento radiativo adicional de  $8.5 \text{ W/m}^2$  para el año 2100, este escenario es considerado el límite superior del rango de escenarios descritos por la literatura, se puede entender como una actualización del escenario RCP8.5, pero ahora se encuentra combinado con razones socioeconómicas.



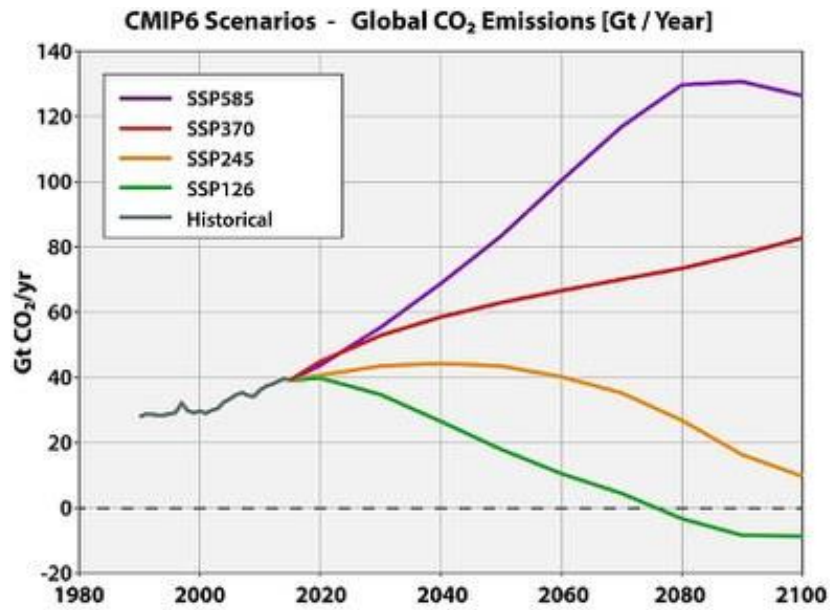
**Figura 1.** Vías Socioeconómicas Compartidas (SSP)

Fuente: (O'Neill et al., 2016)

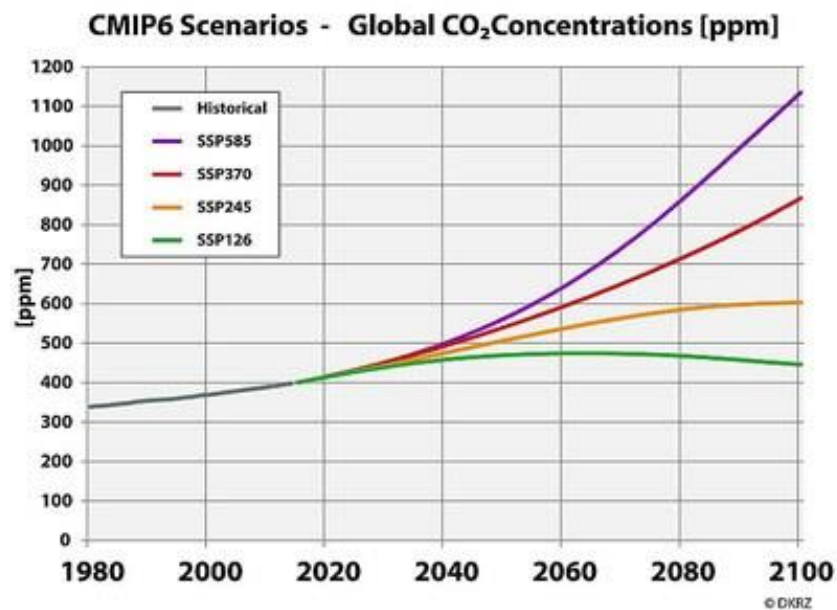


**Figura 2.** Forzamiento radiativo antropogénico (W/m<sup>2</sup>) de los cuatro escenarios CMIP6

Fuente: (O'Neill et al., 2016)



**Figura 3.** Emisiones globales de CO<sub>2</sub> (Gt/Año) para los 4 SSP  
Fuente: (O'Neill et al., 2016)



**Figura 4.** Concentraciones globales de CO<sub>2</sub> (ppm) para los 4 escenarios de cambio climático  
Fuente: (O'Neill et al., 2016)



## 2.1.8 Aspectos Generales del Cultivo del Café

**2.1.8.1 Condiciones Ambientales del Cultivo del Café.** La producción de café está relacionada principalmente con la variación climática, debido a que los factores climáticos afectan el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo (Camargo, 2010). En el territorio de Intag se calcula que existen alrededor de 1 300 ha de café sembradas, de las cuales unas 134 ha se destinan a la producción de café orgánico producidas principalmente en las parroquias de Apuela y García Moreno (Baquero et al., 2013).

Las características organolépticas del café son directamente proporcionales a la altitud en la que el cultivo se localiza, se recomienda ubicar al cultivo entre los 1 000 y 2 000 msnm, pues, se tendrá un café de calidad con buen sabor, aroma, cuerpo y acidez. El desarrollo adecuado de *Coffea arabica* comprende de dos factores importantes: la precipitación media anual que necesita este recurso es de 1 800 a 2 000 mm con un periodo de sequía para iniciar la floración. Si el cultivo recibe precipitaciones mayores a 3 000 mm tiene un deterioro en sus características organolépticas, además se recomienda tener un promedio de humedad relativa de 70 a 95 %, ya que esto ayudará a mejorar la calidad del producto (Morfín et al., 2006).

Por otro lado, la temperatura adecuada oscila entre 17 y 21 °C, no se deben superar o disminuir, debido a que pueden marchitar los botones florales, de igual manera, la luz solar es la principal fuente de energía para el desarrollo adecuado del cultivo, dado que se necesita alrededor de 1 500 a 2 500 horas al año, por tanto, en la temporada seca se requiere de 200 a 280 horas de luz, mientras que en temporada lluviosa se precisa de 100 a 150 horas de exposición solar (Alejo, 2000). Los suelos aptos para el cultivo deben ser profundos, permeables, tener una textura franca, contar con un 60% de espacio poroso y presentar un pH ácido entre 4.5 a 5.5 (M. Silva et al., 2006). Es por esto, que es de suma importancia la agricultura

climáticamente inteligente la cual se define como una agricultura que pretende incrementar la productividad y los ingresos agrícolas de una manera sostenible; además, busca incrementar la resiliencia de los cultivos ante los efectos del cambio climático, y contribuir a mitigar estos efectos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma, 2018).

### 2.1.9 Clasificación Botánica

El género *Coffea* cuenta con alrededor de 100 especies, de estas *Coffea arabica* se destaca por su importancia comercial (Parada et al., 2022). La Tabla 1, muestra la clasificación taxonómica de la especie a interés.

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del café

TAXONOMÍA	NOMBRE
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Sub-división	Angiospermae
Clase	Magnoliata
Sub-clase	Asteridae
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Género	<i>Coffea</i>
Especies	<i>C. arabica</i>

**Fuente:** Carlier Smith y Marzocca, A. 1981

### 2.1.10 Descripción Botánica

*Coffea arabica* es un arbusto perennifolio el cual puede llegar a medir hasta 6m de altura, posee una forma cónica e irregular, sin embargo, bajo condiciones normales de crecimiento se desarrolla en un solo eje, es genéticamente diferentes a otras especies de café, ya que, en lugar de tener dos cromosomas, esta especie posee

cuatro. En el momento del desarrollo la planta puede crecer con una sola raíz, sin embargo, después desarrolla múltiples raíces en la base o en la parte inferior de la raíz principal, este tipo de ramificaciones son las encargadas de proveer a la planta de agua y de la nutrición mineral, por lo tanto, es considerada una raíz profunda (Clifford, 1985).

El tallo se encuentra compuesto generalmente por un solo tallo, no obstante, presenta dos tipos de crecimiento, tanto vertical como horizontal, sus ramas presentan un crecimiento lateral y se originan de las yemas que se forman en las axilas superiores de las hojas, en cuanto a las yemas, estas crecen primero en sentido horizontal para finalmente doblarse y crecer verticalmente (Monroig, 2016). Sus hojas son oblongas, elípticas, lanceoladas, puede llegar a medir de 7 a 17 cm de largo y de 3 a 8 cm de ancho, su color es verde oscuro, brillante en el haz y con un color más opaco y pálido en el envés, presenta una nervadura central prominente y con peciolo cortos y planos en la parte superior (Morfín et al., 2006).

Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas “cimas” presentando generalmente de 2 a 4 flores por cima, las flores son pequeñas de color blanco, comúnmente con 4 a 9 pétalos dependiendo de la variedad, individualmente son hermafroditas, completas y autógamas, tienen cáliz, corola, estambres y pistilos (Monroig, 2016). Finalmente, el grano también conocido como cereza, es una drupa ovoide que mide entre 10 y 17 mm de largo y 8 a 14 mm de ancho, en su interior se encuentra el epicarpio, mesocarpio, endocarpio o y endospermo, en estado inmadura es de color verde, pero en maduración se convierte en un color amarillo a rojo, el tiempo que transcurre desde que florece es de aproximadamente 6 a 8 meses (Morfín et al., 2006).

### ***2.1.11 Cambio Climático***

Se refiere al cambio de clima atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas, las mismas que alteran la composición de la atmósfera mundial, esto sumado a la variabilidad natural del clima observado durante períodos

de tiempo similares (Naciones Unidas, 1992). El cambio climático afecta cualquier aspecto medioambiental como la calidad del aire, calidad del agua, biodiversidad, desertificación, forestación y pérdida del ozono estratosférico (IPCC, 2002).

El clima es el principal factor que afecta al desarrollo de las diferentes fases fenológicas del cultivo (Camargo, 2010). Se debe tomar en cuenta que si las temperaturas extremas del aire son menores a 4°C ocasionan la muerte de los brotes y tejidos, caso contrario, si son mayores a 30°C provocan una abortación de sus flores, conllevando directamente a la pérdida de la cosecha (Pérez & Geissert, 2006). Es por este motivo que los posibles efectos del cambio climático son preocupantes, ya que las plantaciones de café son muy sensibles al cambio de las variables climáticas (Bunn et al., 2015). Dichas alteraciones, pueden afectar a la variedad, las características biofísicas y el manejo adecuado de esta especie, esto es muy preocupantes ya que pueden dificultar el acceso a mercados internacionales, por lo tanto, los precios bajarán y los insumos subirán (Guzmán, 2013).

Si la temperatura varía el café puede desarrollar y madurar más rápido, degradando la calidad del grano, a su vez se reducirá la capacidad fotosintética afectando al rendimiento de la planta, con temperaturas mayores a 28 o 30 °C disminuirá la formación de yemas florales y si se tiene una temperatura por encima de los 30°C se obtendrá daño severo en las plantas, menor crecimiento, tumores y abortos florales. La falta de precipitación puede perjudicar al café, pues, al tener una floración errática, esta reducirá la producción y la rentabilidad económica, a esto debemos sumarle una mayor aridez del suelo y el incremento de evapotranspiración. Si se tiene un exceso de lluvias, afectará considerablemente a las raíces, a los frutos y al terreno, siendo así un lugar más propenso a deslaves (Viguera et al., 2017).

## **2.2 Marco Legal**

El desarrollo del presente trabajo de investigación fue enmarcado dentro de la normativa legal aplicable y vigente en el Ecuador, es por esto, que a continuación

se explicará la relación de estos documentos con el tema de investigación, ordenándolos de forma jerárquica tal y como lo afirma el artículo 425 de la Constitución del Ecuador.

### ***2.2.1 Constitución de la República del Ecuador***

La Constitución de la República del Ecuador publicada en el Registro Oficial No. 449 del 20 octubre del 2008, ofrece lineamientos generales en materia ambiental y de desarrollo, los cuáles se utilizaron como referencia para la elaboración y ejecución del presente proyecto. De esta manera, tenemos el artículo 306 del Título VI, Régimen de Desarrollo, Capítulo cuarto, Sección séptima, que habla acerca de la política comercial y de que el Estado promoverá exportaciones ambientalmente responsables en particular de los pequeños y medianos productores del sector artesanal. Por otro lado, el artículo 334, del Capítulo sexto, Sección cuarta, específicamente en los literales 3 y 4 hablan acerca de impulsar el desarrollo y la difusión de conocimientos y tecnologías orientados a mejorar la producción y de generar políticas de fomento a la producción nacional, garantizando la soberanía alimentaria y energética.

El artículo 414 del Título VII, Régimen del Buen Vivir, Capítulo segundo, Sección séptima referente a la biósfera, ecología urbana y energías alternativas, hace énfasis en el Estado y las diferentes medidas adecuadas y transversales que deberá adoptar para la mitigación del cambio climático, tomando medidas para la conservación de bosques y vegetación y protegiendo a la población en riesgo (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

### ***2.2.2 Objetivos del Desarrollo Sostenible***

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual fue aprobada en el año 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas establecen una visión transformadora para los 193 Estados Miembros que se subscribieron, estableciendo objetivos para enfrentar el cambio climático. Como, por ejemplo, el objetivo 2.

Hambre cero, una de sus metas específicamente la 2.4, habla acerca de asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y de prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, fortaleciendo la capacidad de adaptación al cambio climático, sequías inundaciones, entre otras (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2018).

### **2.2.3 *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA)***

El Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, constituye una normativa de cumplimiento obligatorio para todas las entidades, organismos y dependencias comprendidas en el sector público y autónomo descentralizado, personas jurídicas y naturales, entre otras. La fecha de publicación del documento fue el 6 de diciembre del 2019 y el número de registro oficial actual es: 507.

Dentro de este documento, el artículo 667, perteneciente al Título IX, referente a la producción y consumo sostenible, nos especifica que la Autoridad Ambiental Nacional deberá definir dentro de la Política Ambiental Nacional y el Plan Nacional de Inversiones Ambientales, los lineamientos de producción y consumo sostenible, basadas en los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo, las disposiciones aplicables de instrumentos internacionales en la materia y la gestión estratégica de la biodiversidad en referencia al cambio climático y la calidad ambiental. Promoviendo, además, prácticas de producción y consumo sostenible para el mejoramiento del desempeño ambiental (Reglamento Al Código Orgánico Del Ambiente, 2019).

### **2.2.4 *Plan Nacional del Buen Vivir (2017-2021)***

Es un instrumento multisectorial de alcance nacional, el cual presenta nueve objetivos nacionales para el Buen Vivir, por ende, sus políticas, líneas estratégicas y metas para el período 2017-2021. Estos objetivos van ligados a la erradicación de la pobreza, a promover el desarrollo nacional, el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de la riqueza y los recursos.

El objetivo 3, acerca de garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, en su política 3.3 hace mención a promover buenas prácticas ambientales las cuáles ayuden a la reducción de la contaminación y a la conservación, mitigación y adaptación de los efectos del cambio climático (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2017).

#### ***2.2.5 Acuerdo Ministerial 95***

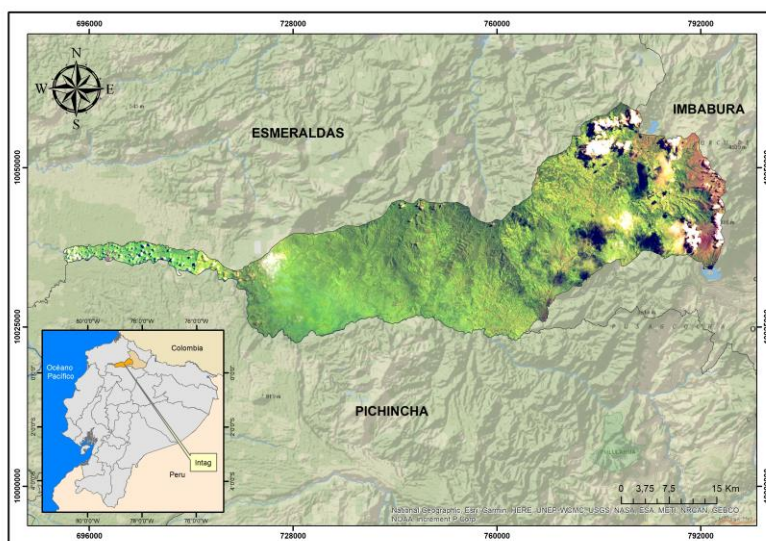
El presente Acuerdo Ministerial, establece como Política de estado en su Artículo 1 a la Estrategia Nacional de Cambio Climático, instrumento que forma parte del presente acuerdo. Ecuador al ser signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) posee una responsabilidad internacional que exige buscar mecanismos para manejar los desafíos del cambio climático (Ministerio del Ambiente, 2013).

## CAPÍTULO III METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el área de estudio, además se desarrolla la metodología utilizada durante el trabajo de investigación y por último se detallan los materiales y equipos necesarios para cumplir con los objetivos planteados anteriormente.

### 3.1 Descripción del Área de Estudio

El área de localización del estudio se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, Cantón Cotacachi, específicamente en la zona de Intag comprendida en seis parroquias rurales que son: García Moreno, 6 de Julio de Cuellaje, Peñaherrera, Apuela, Plaza Gutiérrez y Vacas Galindo. Intag se ubica al occidente de la provincia de Imbabura, norte de Ecuador, en un valle subtropical que conforman las cuencas del Río Intag y parte del Río Guayllabamba, tal y como se ilustra en la Figura 5, por otro lado, la altitud va desde los 1 200 msnm hasta los 2 900 msnm (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Santa Ana de Cotacachi 2015-2035, 2015).

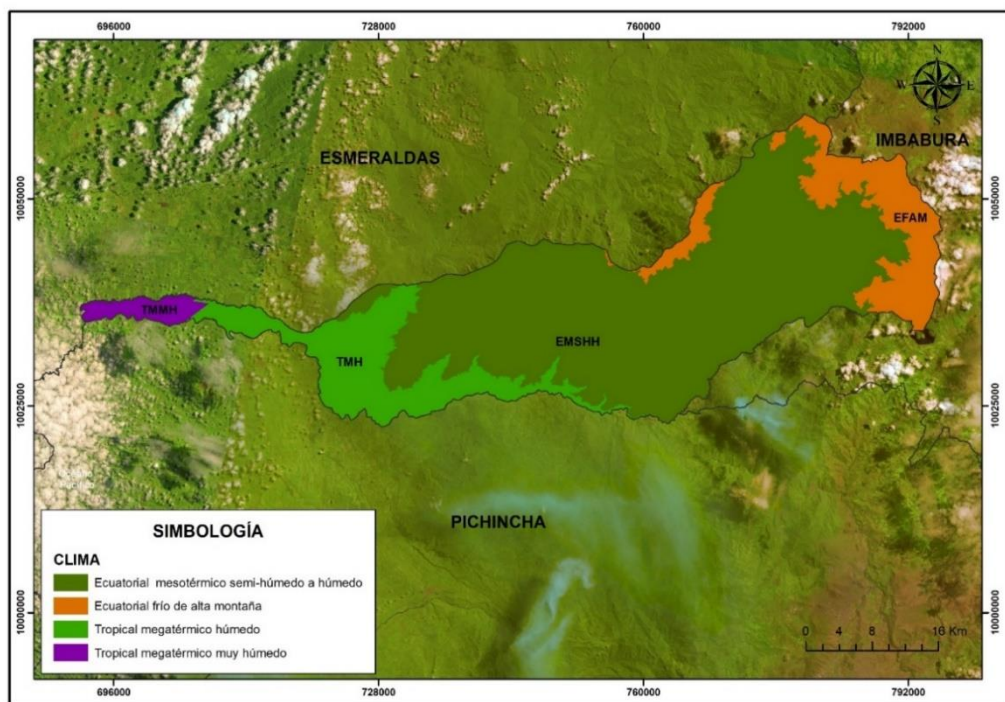


**Figura 5.** Mapa de ubicación de la Zona de Intag

Fuente: (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2011)



El área de estudio cuenta con 4 tipos de clima según la metodología de Pourrut, como se representa en la Figura 6. En la parte alta de las cordilleras se encuentra el clima ecuatorial frío de alta montaña (EFAM), en la parte media de la zona se identificó el clima el ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo (EMSHH) muy característico en las zonas interandinas (Pourrut et al., n.d.) y por último en la parte más baja se encuentran los climas: tropical megatérmico húmedo (TMH) y tropical megatérmico muy húmedo (TMMH) respectivamente.



**Figura 6.** Mapa de zonificación climática de Intag según Pourrut

Fuente: (Sistema Nacional de Información [SNI], 2017)

## 3.2 Métodos

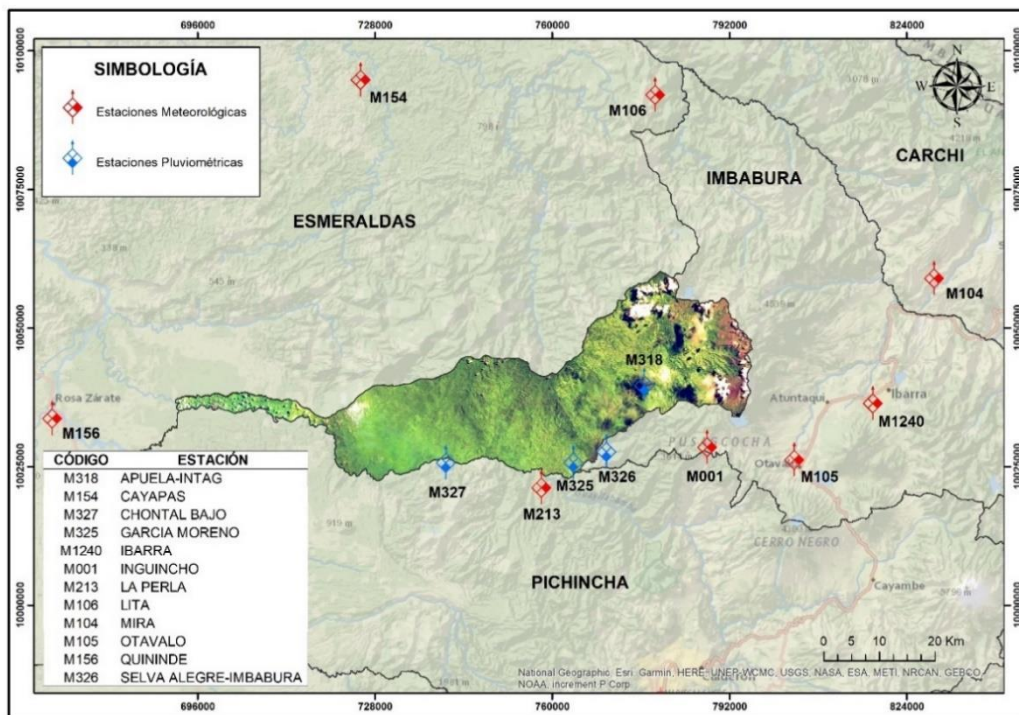
### 3.2.1 Estandarización de Parámetros Climáticos

#### a. Estaciones para el área de estudio

Para establecer los parámetros climáticos de Intag, en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, se analizó las series temporales de las variables meteorológicas obtenidas de los Anuarios meteorológicos INAMHI, desde 1990 hasta el 2018 (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2018). Las estaciones meteorológicas para estudiar son las siguientes: M001, M104, M105, M106, M154, M156, M213 y M1 240, mientras que las estaciones pluviométricas son M318, M325, M326 y M327. Como se indica en la Figura 7, cada una de estas estaciones se encuentran distribuidas en diferentes puntos que abarcan la zona de Intag.

**Tabla 2.** Información de las estaciones meteorológicas y pluviométricas

<b>NOMBRE</b>	<b>CODIGO</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud</b>
INGUINCHO	M001	-78.4008	0.258332	3140
APUELA	M318	-78.5114	0.359443	1620
GARCIA MORENO	M325	-78.6269	0.233888	1950
SELVA ALEGRE	M326	-78.5733	0.251107	1800
CHONTAL BAJO	M327	-78.8333	0.233334	675
QUININDE	M156	-79.4626	0.305281	115
LA PERLA	M213	-78.6695	0.192782	1410
CAYAPAS	M154	-78.9622	0.857781	55
OTAVALO	M105	-78.2500	0.243333	2550
MIRA	M104	-78.0345	0.554042	2275
LITA	M106	-78.4848	0.832982	720
IBARRA	M1240	-78.1324	0.329733	2247



**Figura 7.** Mapa de ubicación de las estaciones identificadas

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2018)

b. Relleno de datos

Las estaciones seleccionadas presentan datos no confiables, como se ilustra en el Anexo 1 y Anexo 3, razón por la cual, mediante el análisis de consistencia se identificó y removió la no homogeneidad e inconsistencia de los datos (Mamani et al., 2021). El relleno de los datos en las series temporales fue realizado en Rstudio, en primer lugar, se observó los datos ausentes con la librería VIM (Kowarik & Templ, 2016), observar Anexo 5 , luego con la librería Hmisc se correlacionó los datos homogeneizados, como se observa en el Anexo 6, con esto finalmente los datos faltantes se completaron con la librería MissForest, como se aprecia en el Anexo 13 (Stekhoven & Buehlmann, 2012).

c. Correlación de la temperatura considerando el gradiente altitudinal

Con la información completa del análisis de las observaciones climatológicas, es posible realizar la correlación negativa entre temperatura y la elevación, a medida que la altitud sube la temperatura baja y viceversa. Considerando esta relación (G. Armenta et al., 2016) mencionan que es posible establecer una corrección a los datos de temperatura mediante la generación de un modelo de regresión lineal, y así realizar un análisis de las variables climatológicas mediante la técnica de corrección considerando el gradiente altitudinal (Fries et al., 2012).

$$T = \Gamma \cdot z + b \quad \text{Ec. 1}$$

Donde, T es el valor mensual de temperatura del aire (°C),  $\Gamma$  corresponde a la pendiente (gradiente altitudinal), b es el intercepto de la regresión y por último z que es el valor de la altitud en m.

d. Interpolación de datos de temperatura

Una vez realizada la correlación entre la temperatura y la altitud, se aplicó la ecuación 2 para el cálculo de la temperatura determinada.

$$T_{Det} = T_{mensual} + (\Gamma (Z_{Det} - Z_{Estación})) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde  $T_{Det}$  es el valor de la temperatura a determinar,  $T_{mensual}$  corresponde a la temperatura mensual de la estación,  $\Gamma$  es el valor de nx obtenido de la ecuación de la recta,  $Z_{Det}$  es el valor de la altitud de referencia y  $Z_{Estación}$  corresponde a la altitud de la estación.

En base al valor de nx identificado en el gráfico de dispersión y considerando un valor de altura de referencia de 2000 msnm, se calculó el valor de la temperatura determinada para cada estación, obteniendo finalmente los valores reales de temperatura a partir de la ecuación 3:

$$T_{x,y} = T_{Det} + (\Gamma (Z_{DEM} - Z_{Det})) \quad \text{Ec. 3}$$

Es importante mencionar que para el cálculo de la temperatura real se utilizó un modelo digital de elevación (DEM) para el área de estudio con una resolución espacial de píxel de 30m.

De esta manera, para una correcta interpolación de los datos de temperatura Andrade & Moreano (2013) afirman que el método determinístico Inverse Distance Weight (IDW) en el caso de Ecuador, genera resultados más confiables al considerar un mayor rango de cobertura altitudinal, es por esto, que utilizando el programa de ArcMap 10.8, se interpoló mediante este método el valor de la temperatura determinada ya calculada.

#### e) Interpolación de datos de precipitación

Se comprobó que utilizando la metodología de interpolación tomando en cuenta la altitud propuesta por (De Leon, 2013), los datos de precipitación interpolados con la altitud no son confiables ya que superaban los intervalos de suma anual que presentaba cada estación, es por este motivo que, la interpolación se realizó mediante el método determinístico Inverse Distance Weight (IDW), obteniendo finalmente datos totalmente dentro del rango anual de las precipitaciones en el área de estudio.

### ***3.2.2 Establecimiento de los Escenarios de Cambio Climático para el Año 2040***

#### a. Inventario de GCM disponibles

Para crear los escenarios de cambio climático en la zona de Intag, se realizó un inventario de los GCM disponibles en la base de datos del proyecto CMIP6 que contienen la información de temperatura y precipitación para cada una de las estaciones seleccionadas, tomando en cuenta su longitud y latitud, tanto para datos

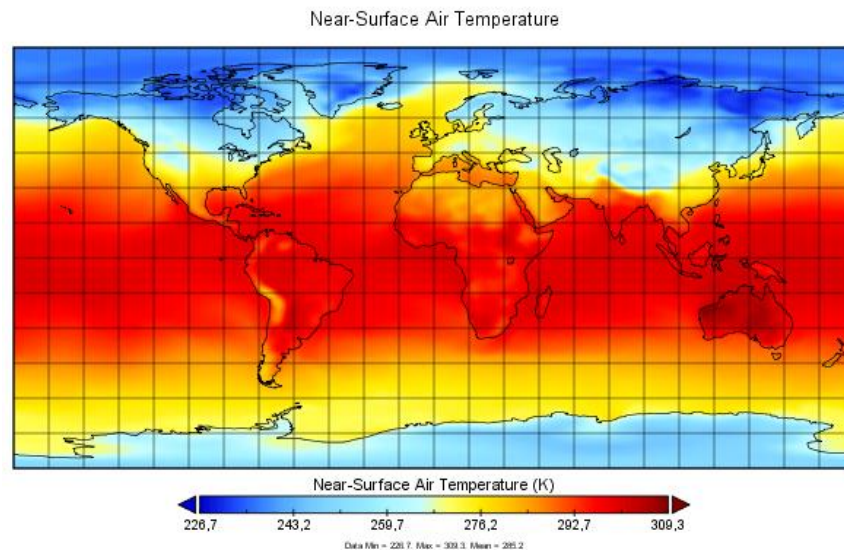
históricos de 1990-2014 como para los 4 SSP (ssp126, ssp245, ssp370, ssp585) en el período futuro de 2015-2040, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Modelos climáticos globales CMIP6 disponibles para Intag

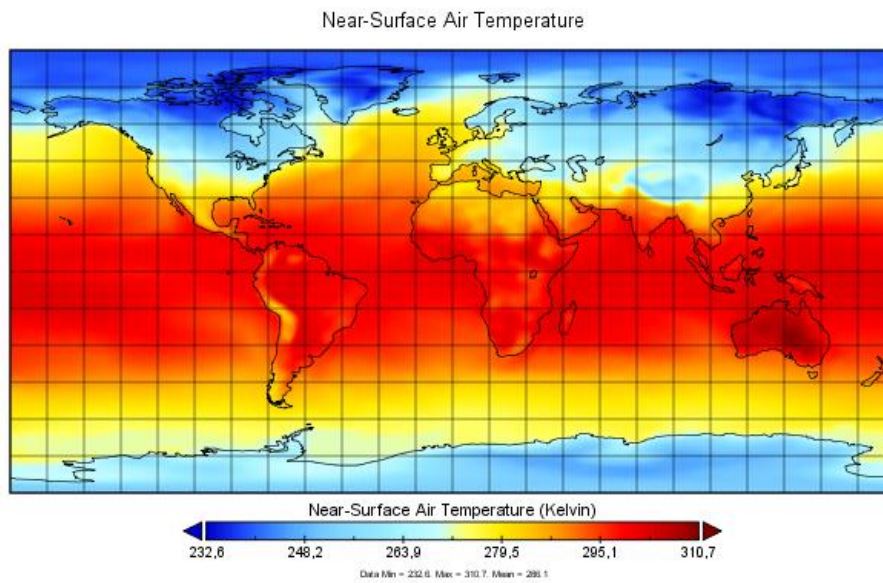
<b>Modelo</b>	<b>Institución</b>	<b>Resolución Nominal</b>	<b>Etiqueta</b>
ACCESS-CM2	CSIRO-ARCCSS. - CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), ARCCSS (Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science), Australia	250 km	r1i1p1f1
ACCESS-ESM1-5	CSIRO. - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia	250 km	r1i1p1f1
BCC-CSM2-MR	BCC. - Beijing Climate Center, China	100 km	r1i1p1f1
CAMS-CSM1-0	CAMS. - Chinese Academy of Meteorological Sciences, China	100 km	r1i1p1f1
CanESM5	CCCma. - Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canada	500 km	r10i1p1f1
CanESM5-CanOE	CCCma	500 km	r1i1p2f1
CESM2-WACCM	NCAR. - National Center for Atmospheric Research, USA	100 km	r1i1p1f1
CMCC-CM2-SR5	CMCC. - Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italy	100 km	r1i1p1f1
CMCC-ESM2	CMCC	100 km	r1i1p1f1
CNRM-CM6-1	CNRM-CERFACS. - CNRM (Centre National de Recherches Meteorologiques, France), CERFACS (Centre Europeen de Recherche et de Formation Avancee en Calcul Scientifique, France)	250 km	r1i1p1f2
CNRM-ESM2-1	CNRM-CERFACS. - CNRM	250 km	r1i1p1f2
FGOALS-f3-L	CAS. - Chinese Academy of Sciences, China	100 km	r1i1p1f1
GFDL-ESM4	NOAA-GFDL. - National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	100 km	r1i1p1f1
INM-CM5-0	INM. - Institute for Numerical Mathematics, Russia	100 km	r1i1p1f1
KACE-1-0-G	NIMS-KMA. - National Institute of Meteorological Sciences/Korea Meteorological Administration, Republic of Korea		r1i1p1f1
MIROC6	MIROC. - JAMSTEC (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japan), AORI (Atmosphere and Ocean Research Institute, Japan), NIES (National Institute for Environmental Studies, Japan), and R-CCS (RIKEN Center for Computational Science, Japan)	250 km	r1i1p1f1
MIROC-ES2L	MIROC. - JAMSTEC	500 km	r1i1p1f2
MRI-ESM2-0	MRI. - Meteorological Research Institute, Japan	100 km	r1i1p1f1
TaiESM1	AS-RCEC. - Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica, Taiwan	100 km	r1i1p1f1

## b. Descarga de GCM

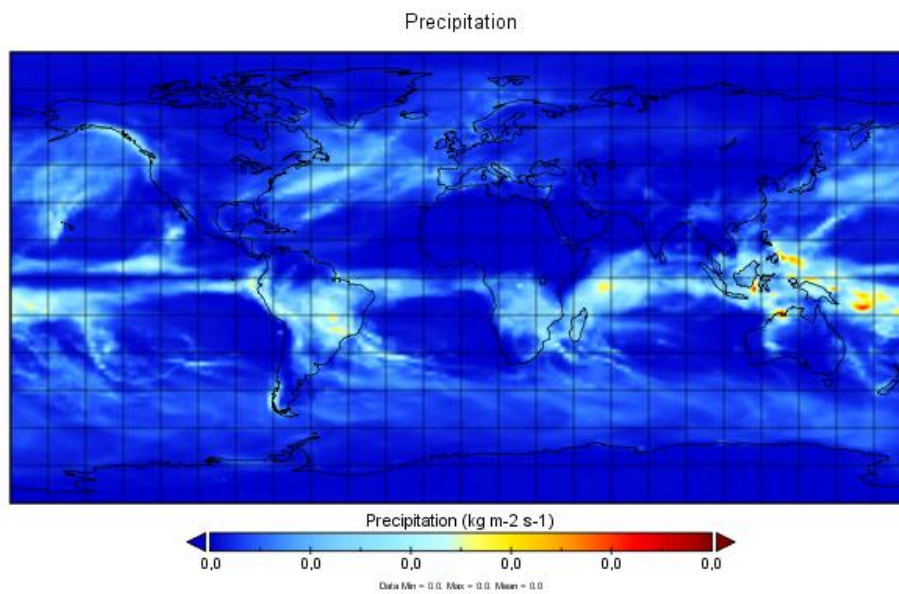
En RStudio se instaló las librerías “ncdf4” y “raster” para leer archivos en formato NetCDF que contienen la información climática global, esta información con la función “brick” fue importada como un raster (Pierce, 2021). Luego con rasterToPoints se convirtió en una matriz que al contar con información mundial se debió especificar que la zona a tratar es la sudamericana (Hijmans et al., 2022). Los datos del GCM se determinó con las coordenadas de cada estación en particular, para esto fue necesaria la librería DescTools, ya que su función es obtener los valores cercanos de un vector a un valor dado (Signorell et al., 2021). Las variables que se encuentran en WCRP tienen diferentes unidades, por esta razón, la variable temperatura se transformó a °C y la variable de precipitación a mm/mes. Este proceso se realizó tanto para los datos históricos como para cada uno de los 4 SSP, como se observa en la Figura 8, Figura 9, Figura 10 y Figura 11.



**Figura 8.** Temperatura media histórica (1990-2014) del GCM “ACCESS-CM2”

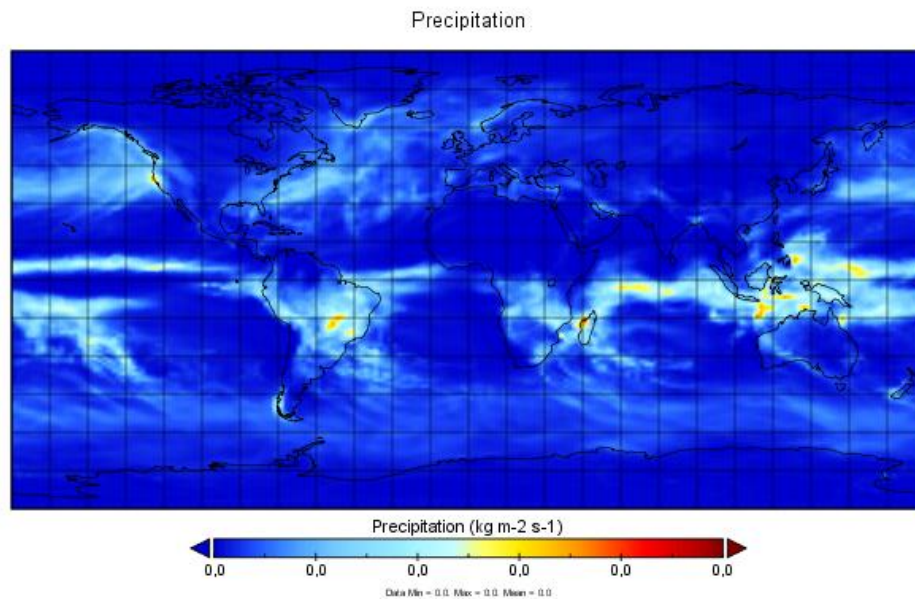


**Figura 9.** Temperatura media del SSP585 (2015-2100) del GCM “ACCESS-CM2”



**Figura 10.** Precipitación histórica (1990-2014) del modelo ACCESS-CM2





**Figura 11.** Precipitación futura (2015-2100) del modelo ACCESS-CM2

c. Reducción de escala estadística

(Pabón, 2011) (Walsh, 2011)(Walsh & Trainor, 2012) mencionan en sus trabajos que para realizar la reducción de escala estadística, se requiere la misma cantidad de años tanto para los datos observados e históricos como para los datos futuros, con esto se calculó el factor de ajuste, dividiendo al valor mensual multianual observado con el valor histórico para cada uno de los GCM (Armenta et al., 2015). De esta manera, por medio de la ecuación 4, se busca reducir la diferencia entre los valores observados y los valores históricos mediante la aplicación del factor de ajuste a los datos de los GCM:

$$X_{i,j}^* = \alpha_j X_{i,j}^{\text{mod}} \quad \text{Ec. 4}$$

En donde  $X_{i,j}^*$  es el valor ajustado de la variable X del i-ésimo año y del j-ésimo mes,  $X_{i,j}^{\text{mod}}$  es el valor simulado de la variable X del i-ésimo año y el j-ésimo

mes, y por último  $\alpha_j$  que corresponde al facto de ajuste para el j-ésimo mes. Este último se calcula mediante la ecuación 5:

$$\alpha_j = \frac{\overline{X_j^{obs}}}{\overline{X_j^{mod}}} \quad \text{Ec. 5}$$

Siendo  $\overline{X_j^{obs}}$  el promedio multianual de la serie de datos observados para el mes j-ésimo y  $\overline{X_j^{mod}}$  el promedio multianual de la serie de datos simulados para el mes j-ésimo.

#### d. Evaluación de los modelos CMIP6

Para la selección de los GCM que mejor se adaptaron a Intag, se evaluaron los 19 modelos identificados a cada una de las estaciones por diferentes pruebas estadísticas. De esta manera se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) que permite comparar todos los modelos climáticos para descomponer la fluctuación de estos en dos componentes: un componente entre-grupos (SCE) y otro dentro-de-grupos (SCD) (Shi et al., 2022).

La ecuación 6 hace referencia a la estimación de varianza que representa la desviación inherente de los modelos estudiados, en donde se estimó la variabilidad con la suma de cuadrados al interior del grupo para el número de observaciones menos el número de tratamientos (Fallas, 2014).

$$SCD = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^r n_j \bar{x}_j^2 \quad \text{Ec. 6}$$

Mientras que la ecuación 7 mide cuan variable es la media de cada tratamiento con respecto a la media original, en donde se estimó la varianza mediante la suma de cuadrados entre grupos para el número de tratamientos – 1.

$$SCE = \sum_{j=1}^r n_j (\bar{x}_j - \bar{x} \dots)^2 \quad \text{Ec. 7}$$

Y, por último, la ecuación 8 que representa la varianza total la cual es igual a la suma de la variación dentro de grupos y entre grupos.

$$SCT = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 \quad \text{Ec. 8}$$

Si la prueba F-ratio es menor a 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 19 variables, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó la Prueba de Múltiples rangos por el método para discriminar entre las medias, es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con esto se determinó que tratamientos son similares o diferentes, la ventaja de esta prueba es que es un método más corto y que las comparaciones se realizan tratamiento por tratamiento (Castro, 2014).

$$LSD = t_{\alpha/2; N-t} \cdot \sqrt{\hat{S}_R^2 \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \quad \text{Ec. 9}$$

Finalmente, se ejecutó Análisis de Componentes Principales (ACP) cuyo propósito es obtener un número reducido de combinaciones lineales que expliquen la mayor variabilidad de los datos (Peña, 2002). Las componentes son determinadas por la combinación lineal de las 19 variables originales, estas deben ser linealmente independientes (Satrustegui et al., 2014). Como se puede apreciar en la ecuación 10 el primer componente  $C^1$  es la combinación lineal de las variables originales  $X^j$  (Rueda et al., 2016).

$$C^1 = a_{11}x^1 + \dots + a_{1j}x^j + \dots + a_{1m}x^m \quad \text{Ec. 10}$$

Por otro lado, la ecuación del componente principal para el i-enésimo individuo está explicada por:

$$C_i^1 = a_{11}x_{i1} + \dots + a_{1j}x_{ij} + \dots + a_{1m}x_{im} \quad \text{Ec. 11}$$

Al no englobar la información contenida por los 19 modelos en la primera componente  $C^1$ , se construye una segunda componente principal  $C^2$ , luego una tercera y así sucesivamente (Haro et al., 2020). Además, para determinar las componentes principales se lo hace a partir de la matriz de varianzas-covarianzas definida por la ecuación 12:

$$V = \frac{1}{n} X^t X \quad \text{Ec. 12}$$

Debido a que las variables se encuentran reducidas y centradas entonces  $V=R$ , razón por la cual la matriz que representa la correlación es:

$$v_{ij} = cov(X^i, X^j) = \frac{cov(X^i, X^j)}{\sigma_{X^i} \sigma_{X^j}} = R(X^i, X^j) \quad \text{Ec. 13}$$

Es decir que los vectores y valores propios se calculan al definir la matriz  $R$ , si denotamos valores propios ordenados de forma ascendente, con esto se construye la matriz como:

$$V = [V_1 | V_2 | \dots | V_m] \quad \text{Ec. 14}$$

De esta manera la matriz  $V$  tiene como columnas los vectores  $v_1, v_2, \dots, v_m$ . El cálculo de la matriz de componentes principales es:

$$C = X.V \quad \text{Ec. 15}$$

Con esto, se obtuvo la tabla de pesos de los componentes y el gráfico de sedimentación en donde se identificó el modelo con mayor peso, siendo el mismo, el que represente los escenarios de cambio climático para cada estación.

- e. Interpolación de datos de temperatura futuros (ssp126, ssp245, ssp370, ssp585)

De igual manera que con los datos observados, se utilizó la ecuación 2 para el cálculo de la temperatura determinada y la ecuación 3 para el cálculo de la temperatura real, utilizando los valores proyectados hasta el año 2040 de cada una de las estaciones y para los cuatro SSP. Por último, se aplicó la interpolación por el método de IDW, en el software ArcMap 10.8.

- f) Interpolación de datos de precipitación futuros (ssp126, ssp245, ssp370, ssp585)

Se dispuso de la misma metodología empleada en los datos observados, ya que, al no tener una correlación con la altitud, simplemente se interpoló por el método de IDW el valor de la sumatoria anual en milímetros para cada uno de los cuatro escenarios de cambio climático.

### ***3.2.3 Modelización de Producción de Café Bajo los Nuevos Escenarios Climáticos***

- a. Obtención de datos de producción para la zona de estudio

La Asociación Agroartesanal de Caficultores Río Intag (AACRI) mediante la ayuda de sus dirigentes, proporcionó los datos informativos como: latitud, longitud, altitud, hectáreas de café y la producción histórica en el período 2011-2021 de los caficultores orgánicos que forman parte de la asociación.

- b. Extracción de datos de temperatura y precipitación

Con los datos obtenidos, se utilizó la herramienta “Extract Multi Values to Points” del software ArcMap 10.8 para extraer los datos observados desde el período de 2011-2021 pertenecientes a la temperatura y precipitación para los 32

productores identificados en la zona de estudio. El mismo procedimiento se realizó para los cuatro escenarios de cambio climático futuros en el período de 2019-2040.

c. Determinación de la normalidad en los datos de producción

Para determinar la normalidad de los datos, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks aplicada a los datos muestrales provenientes del registro histórico de producción de la asociación objeto de estudio. Según (García et al., 2022) esta prueba se utiliza para comparar la normalidad cuando el tamaño de la muestra es menor a 50 observaciones, por otra parte, (Cabrera et al., 2017) aseguran que esta prueba ha demostrado de manera general resultados adecuados en comparación con las pruebas clásicas de normalidad.

Al analizar la magnitud de variación, Tapia et al. (2021) afirma que se puede examinar la calidad de ajuste, el estadístico de la prueba es:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i Y_i^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad \text{Ec. 16}$$

$Y_i$  son los datos de los modelos ordenados, al ser la muestra aleatoria se tiene una distribución normal con media desconocida  $\mu$  y varianza  $\sigma$ , para representar la data de una manera más sencilla, se plantea la siguiente ecuación lineal:

$$Y_i = \mu + \sigma x_i = 1, 2, \dots, n \quad \text{Ec. 17}$$

El ajuste de mínimos cuadrados de (x,y) brinda la guía para encontrar el desconocido coeficiente. La matriz de la ecuación expresa el vector de los coeficientes:

$$\hat{a} = \frac{m'V^{-1}}{\sqrt{m'V^{-1}V^{-1}m}} \quad \text{Ec. 18}$$

Con esto se seleccionó a los productores que presentan una producción normal según la prueba estadística aplicada.

d. Correlación entre variables

Se aplicó un análisis de correlaciones canónicas (ACC) a las variables obtenidas, con el objetivo de identificar la dimensionalidad o estructura óptima de cada conjunto de variables, maximizando la relación entre los conjuntos de variables dependientes e independientes (Urrutia et al., 2011).

Además (Hernandez et al., 2018) afirman en su estudio que el ACC es el método de selección cuando se tienen variables multivariantes dependientes en un contexto de otra forma adecuado para una regresión múltiple.

Es un método multivariado lineal empleado para comparar dos conjuntos de datos, compuestos de un número  $p$  de variables  $X_i$  y  $q$  variables  $Y_i$ , con esto se crean combinaciones lineales  $x^*$  y  $y^*$ , a esto se conoce como variables canónicas (VC):

$$x^* = X\alpha = \sum_{i=1}^p \alpha_i x_i \quad \text{Ec. 19}$$

$$y^* = Y\beta = \sum_{j=1}^q \beta_j Y_j \quad \text{Ec. 20}$$

La correlación entre  $x^*$  y  $y^*$  son maximizadas por los vectores  $\alpha$  y  $\beta$ , cada VC no debe estar correlacionada con otras VC, además, deben tener varianza.

$$\text{Corr}[x_k^* y_M^*] = \begin{cases} r_c, & k = M \\ 0, & k \neq M \end{cases} \quad \text{Ec. 21}$$

En donde la correlación canónica es  $r_c$ . Las variables canónicas se calculan a partir de matrices de varianza y de covarianza  $[S_c]$  de las variables X y Y:

$$[S_c] = \begin{bmatrix} [S_{XX}] & [S_{XY}] \\ (p \times p) & (p \times q) \\ [S_{YX}] & [S_{YY}] \\ (q \times p) & (q \times q) \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 22}$$

Las matrices de varianza son  $[S_{XX}]$  y  $[S_{YY}]$ , para la covarianza son las  $p$  variables en  $x$  y las variables  $q$  en  $Y$ ;  $[S_{XY}]$   $[S_{YX}]$  son matrices de covarianza entre elementos de las variables  $X$  y  $Y$ . Las correlaciones canónicas entre las variables canónicas se encuentran dadas por la raíz cuadrada de los valores, las matrices son diferentes a cero:

$$[M_x] = [S_{XX}]^{-1}[S_{XY}][S_{YY}]^{-1}[S_{YX}] \quad \text{Ec. 23}$$

$$[M_y] = [S_{YY}]^{-1}[S_{YX}][S_{XX}]^{-1}[S_{XY}] \quad \text{Ec. 24}$$

Con esto tenemos a los vectores canónicos  $\alpha$  y  $\beta$  serán los vectores propios de las matrices satisfaciendo así:

$$[M_x]\alpha = r_c^2 \alpha \quad \text{Ec. 25}$$

$$[M_y]\beta = r_c^2 \beta \quad \text{Ec. 26}$$

Para la construcción del modelo predictivo los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  revelan cuales variables tienen la mayor fuerza explicativa dentro de la correlación entre el conjunto de datos (Díaz & Villegas, 2015).

#### e. Modelo de producción

Para el desarrollo del modelo de producción, se realizó una transformación por el Método de Cochrane-Orcutt, minimizando la suma de cuadrados residual del modelo, aquí se estima el modelo  $Y_t = X_t'\beta + \mu_t$  por el método de mínimos



cuadrados ordinarios (MCO) y se debe calcular los residuos  $\hat{\mu}_t$  (Lazzarotto & Masur, 2021). De esta manera se obtiene:

$$\hat{\mu}_t = p\hat{\mu}_{t-1} + v_t \quad t = 2, \dots, T \quad \text{Ec. 27}$$

El estimador así obtenido es coeficiente de autocorrelación de orden uno en los residuos:

$$\hat{p} = \frac{\sum_{t=2}^T \hat{u}_t \hat{u}_{t-1}}{\sum_t \hat{u}_{t-1}^2} \quad \text{Ec. 28}$$

Siempre y cuando los residuos estén en función de un estimador  $\beta$  en el modelo de producción para que sea consistente, con esto se puede estimar por MCO en el modelo transformado:

$$Y_t - \hat{p}Y_{t-1} = (x'_t - \hat{p}X_{t-1})\beta + w_t \quad t = 2, \dots, T \quad \text{Ec. 29}$$

Este tipo de modelos de regresión múltiple pueden ser aplicados tanto a datos de corte transversal como a datos provenientes de series temporales (Toro et al., 2010). El proceso interactivo finalizará una vez se haya alcanzado el criterio de convergencia establecido (Autocorrelación, n.d.).

Una vez establecida la ecuación que determine el cambio de producción en función de las 6 variables estudiadas, se procede a ingresar los valores a cada una de estas desde el 2019 hasta el 2040 para cada uno de los SSP.

#### f. Spline biarmónico

Hou et al. (2017) explican que una función biarmónica  $f : \mathbf{M} \rightarrow \mathbb{R}^d$  viene dada por la Ec. 30 en donde el punto de control es  $\lambda_i \in \mathbb{R}^d$ .

$$f(x) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \psi_j(x) \quad \text{Ec. 30}$$

Usando la matriz de representación, la interpolación biarmónica y las funciones pueden ser escritas como la Ec.31 y la Ec. 32.

$$f = \Lambda^T \Psi, \quad \text{Ec. 31}$$

$$\Psi = c + N\Phi, \quad \text{Ec. 32}$$

Donde  $c = [c_1, \dots, c_m]^T$ ,  $\Psi(x) = [\psi_1(x), \dots, \psi_m(x)]^T$ ,  $\Phi(x) = [\phi_1(x), \dots, \phi_m(x)]^T$ ,  $\Lambda = [\lambda_1, \dots, \lambda_m]^T$  y  $N = [n_{ij}]_{m \times m}$ .

### ***3.2.4 Socialización de los Resultados de la Investigación a los Productores***

Desde el inicio del proyecto se contempló la promoción y fortalecimiento de las capacidades técnicas para la conservación ambiental y la producción sostenible, por tal motivo se plantean diferentes lineamientos con el fin de generar programas de adaptación y respuesta frente al cambio climático, promoviendo una socialización con los actores clave que en este caso son los productores de café orgánico de AACRI. Para esto se elaboró un folleto que ofrece la información más relevante para los productores, que en este caso son los resultados pertenecientes al objetivo 2 y 3 referentes a los escenarios de cambio climático y al modelo de producción. Además, se realizó un video de carácter educativo y un resumen extendido que funcionen como un recurso indispensable al momento de la toma de decisiones en cuanto a la prevención y mitigación de los efectos del cambio climático.

## **2.3 Materiales y equipos**

Las herramientas que se utilizaron en el presente proyecto de investigación se clasificaron en materiales y equipos, tal y como se indica en la Tabla 4.

**Tabla 4. Materiales y equipos**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Datos de Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas (INAMHI)	2 computadores portátiles
Cartografía base	Impresora EPSON
Software Microsoft Office 365 (Word, Excel)	Cámara fotográfica
Software Rstudio 2022.02.1	
Software Infostat 2020	
Software ArcMap 10.8	
Software Matlab R2021a	
Datos históricos de producción (AACRI)	
Software Statgraphics Centurion XVI 16.1.03	

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se detallan los resultados obtenidos y la respectiva discusión para cada uno de los cuatro objetivos específicos planteados en el trabajo de investigación.

#### 4.1 Estandarización de los Parámetros Climáticos

Diouf et al. (2022) destaca que los estudios de cambio climático requieren bases de datos integrales, por lo que evalúa el desempeño de 5 métodos de imputación, afirmando que MissForest tiene un mejor rendimiento para datos de temperatura, pero para precipitación es imputeTS. Sin embargo, en el caso de Ecuador Cartaya et al. (2016) para homogenizar aplica la ronda y para el relleno de datos utilizó sustitución por el promedio e interpolación lineal.

Caira et al. (2021) explica que el cambio climático ha alterado el clima de la cuenca del río Coata, razón por la cual, investigaron los efectos que la temperatura y precipitación tuvieron sobre la agricultura, evaluando su comportamiento a lo largo de 48 años, sistematizó, corrigió y completo basándose en un análisis de consistencia, con pruebas no paramétricas y paramétricas. Yadav & Roychoudhury (2018) evaluaron el rendimiento de los paquetes de R: VIM, MICE, MissForest y HMISC, siendo VIM el mejor para datos pequeños y HMISC para conjunto de datos más grandes. Por otro lado, en la investigación actual se utilizó los paquetes: VIM, hydroTSM, HMISC, MissForest, PerformanceAnalytics.

##### 4.1.1 Homogenización de Datos

Olguin et al. (2021) estimaron la homogeneidad y consistencia de una base de datos de 34 años de 92 estaciones distribuidas en la región sierra de Jalisco México, presentando valores para la prueba t menores a 1.56, a diferencia de este

estudio, pues, el valor de la prueba *t* para las estaciones meteorológicas estuvieron entre 0.43 – 4.17.

**Tabla 5.** Valores de la prueba “*t*” y la prueba “*F*” para estaciones meteorológicas

<b>Estaciones</b>	<b>Tcal. (s.a)</b>	<b>Fcal. (s.a)</b>	<b>Ttab.</b>	<b>Ftab.</b>
Cayapas	3.48	2.34	1.97	1.36
Ibarra	1.06	1.43	2.00	1.85
Inguincho	4.17	1.48	1.97	1.49
La Perla	1.54	2.05	2.04	2.37
Lita	1.67	1.42	2.02	1.96
Mira	2.39	1.66	1.98	1.46
Otavalo	0.43	1.35	1.97	1.30
Quininde	3.30	1.30	1.99	1.88

Nota. s.a= Sin Ajustar

La prueba *t* de student y la prueba *F* de Fisher presentaron datos no consistentes, en algunos casos para valores de *Tcal* mayores a 1.97 y *Fcal* mayores a 1.47, como es el caso de la estación La Perla que se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Valores de la prueba “*t*” y la prueba “*F*” para estaciones pluviométricas

<b>Estaciones</b>	<b>Tcal. (s.a)</b>	<b>Fcal. (s.a)</b>	<b>Ttab.</b>	<b>Ftab.</b>
Apuela	0.99	1.29	1.97	1.32
Cayapas	1.64	1.06	1.97	1.34
Chontal Bajo	1.53	1.51	1.97	1.33
García Moreno	0.88	1.23	1.97	1.36
Ibarra	0.26	1.16	1.99	1.81
Inguincho	0.87	1.08	1.97	1.41
La Perla	2.13	6.46	1.97	1.47
Lita	0.8	1.13	1.99	2.38
Mira	0.07	1.1	1.97	1.41
Otavalo	1.24	1.28	1.97	1.29
Quininde	1.44	1.34	1.98	1.79
Selva Alegre	0.71	1.18	1.97	1.37

Nota. s.a= Sin Ajustar

Como resultado de la homogenización se obtuvo valores normalizados de la raíz del error cuadrático medio (*NRMSE*) más cercanos a cero para el caso de la temperatura pues se tiene un valor de 0.050, sin embargo, para la precipitación se tiene un valor mayor igual a 0.517, como se indica en la Tabla 7, evidenciando una mejoría significativa al corregir los datos de las series temporales de todas las estaciones.

Por otra parte, Lawal et al. (2021) afirma en su estudio que los valores de *NRMSE* en los conjuntos de datos fueron superiores a 0.85 para un total de 12 estaciones de temperatura y 15 de precipitación situados en la cuenca del lago Chad, África. De igual manera, Izadi et al. (2021) analizaron diferentes series temporales de 151 pluviómetros divididas en 9 zonas en Irán, determinando así un *NRMSE* por debajo de 1.2, concluyendo que la precisión de las estimaciones es relativamente cercana a los datos observados.

**Tabla 7.** *NRMSE* con datos sin corregir vs *NRSME* con datos corregidos

<b>Variables</b>	<b><i>NRMSE</i> (datos sin corregir)</b>	<b><i>NRMSE</i> (datos corregidos)</b>
Temperatura	0.05152691	0.05021117
Precipitación	0.54782950	0.51741320

#### **4.1.2 Relleno de Datos**

En el presente estudio al realizar el relleno de datos faltantes de las estaciones mediante la herramienta “*missforest*”, se obtuvo un error cuadrático medio (MSE) entre 0.036 y 0.240 para el caso de temperatura y de 335.80 a 19574.64 para precipitación, esto se observa en la Tabla 8 y Tabla 9 respectivamente.

**Tabla 8.** MSE estimado para los  
datos de las estaciones  
meteorológicas

<b>Estación</b>	<b>MSE</b>
Cayapas	0.036
Ibarra	0.079
Inguincho	0.077
La Perla	0.087
Lita	0.042
Mira	0.240
Otavalo	0.084
Quininde	0.063

**Tabla 9.** MSE estimado para los datos  
de las estaciones pluviométricas

<b>Estación</b>	<b>MSE</b>
Apuela	1928.95
Cayapas	19574.64
Chontal Bajo	3644.78
García Moreno	1171.92
Ibarra	670.37
Inguincho	1502.67
La Perla	335.80
Lita	10778.39
Mira	845.55
Otavalo	702.28
Quininde	9336.91
Selva Alegre	1153.69

Faisal & Tutz (2021) aplican medidas como el MSE para comparar el desempeño del método del vecino más cercano, de esta manera determinaron que el algoritmo miNNboot proporciona mejores resultados ya que posee un valor de MSE más pequeño (0.1197). Gómez & Joly (2020) realizaron una simulación basados en bosques aleatorios para realizar una regresión con entradas faltantes, sus resultados afirman que “*missforest*” tuvo valores de MSE entre 7.95 y 8.19.

Además, se identificó las medidas estadísticas como: mínimos, valores del primer cuartil, medianas, promedios, valores del tercer cuartil y los máximos para las series temporales completas en Tabla 10 y Tabla 11.

**Tabla 10.** Medidas estadísticas de las series temporales con datos completos de las estaciones meteorológicas entre 1990-2018

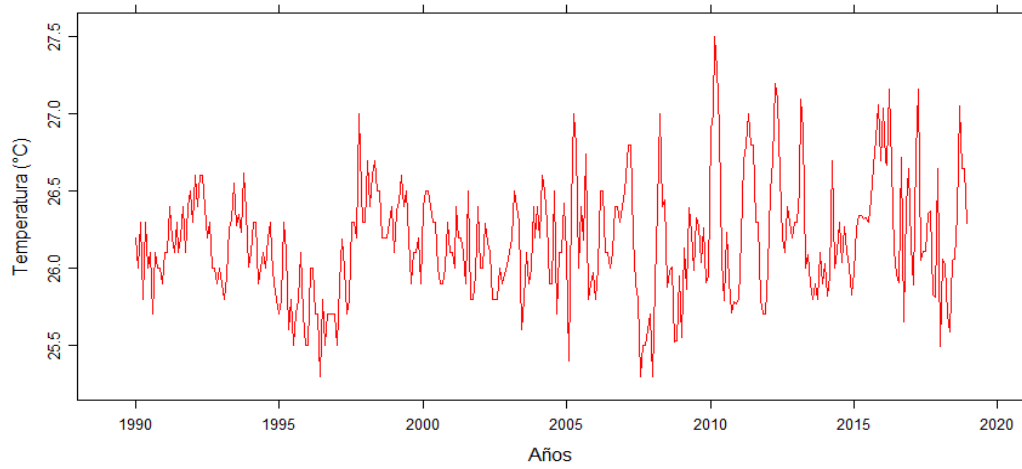
<b>Estaciones</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1st Qu</b>	<b>Mediana</b>	<b>Promedio</b>	<b>3rd Qu</b>	<b>Máximo</b>
Cayapas	25.30	25.90	26.10	26.17	26.40	27.50
Ibarra	15.80	16.62	16.80	16.90	17.17	18.40
Inguincho	8.70	10.20	10.50	10.50	10.90	12.00
La Perla	18.30	19.00	19.27	19.36	19.65	20.40
Lita	22.20	23.17	23.29	23.31	23.50	24.10
Mira	14.50	16.01	16.60	16.56	17.10	20.40
Otavalo	13.60	14.4	14.80	14.79	15.10	16.50
Quininde	24.40	24.92	25.43	25.38	25.79	26.70

**Tabla 11.** Medidas estadísticas de las series temporales con datos completos de las estaciones pluviométricas entre 1990-2018

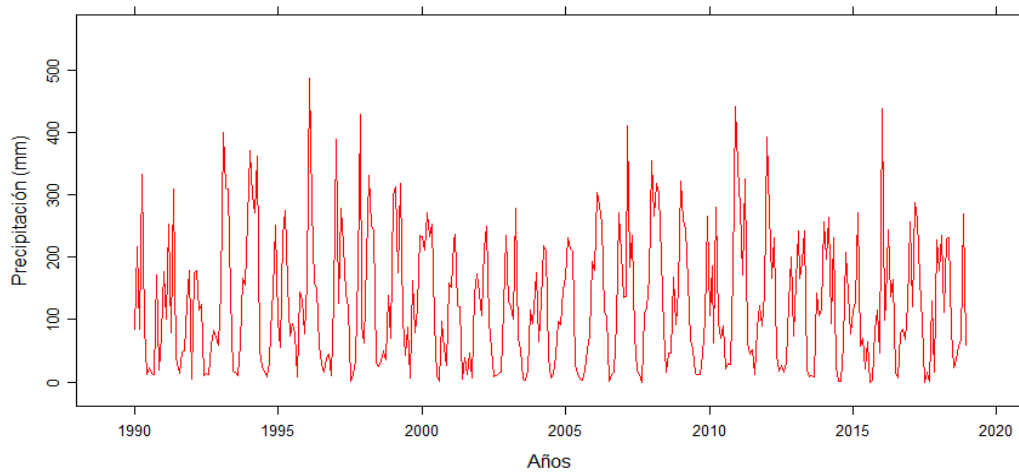
<b>Estaciones</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1st Qu</b>	<b>Mediana</b>	<b>Promedio</b>	<b>3rd Qu</b>	<b>Máximo</b>
Apuela	0	37.88	106.58	126.82	196.56	487.20
Cayapas	0.98	129.58	278.45	286.02	401.11	1039.43
Chontal Bajo	0	46.03	99.95	114.03	165.43	480.38
García Moreno	0	55.33	127.02	156.35	247.47	499.50
Ibarra	0.27	28.30	51.40	52.67	71.62	202.01
Inguincho	0	40.50	87.45	101.77	149.03	614.10
La Perla	0	35.67	43.41	48.40	55.99	146.96
Lita	0.2	135.40	221.70	229.30	285.20	708.60
Mira	0	9.48	35.85	46.63	71.87	307.30
Otavalo	0	27.66	59.53	98.79	100.95	267.90
Quininde	0	70.45	156.50	180.31	241.96	763.23
Selva Alegre	0.2	55.98	126.90	149.38	231.08	425.63

Para finalizar, se graficaron los datos completos desde el periodo de 1990-2018 de las estaciones meteorológicas y pluviométricas, como se indica en la Figura 12 y Figura 13. De esta manera se identifican los cambios que las variables meteorológicas sufrieron a través del tiempo, además, se buscó confirmar que los datos fueron completados con éxito.





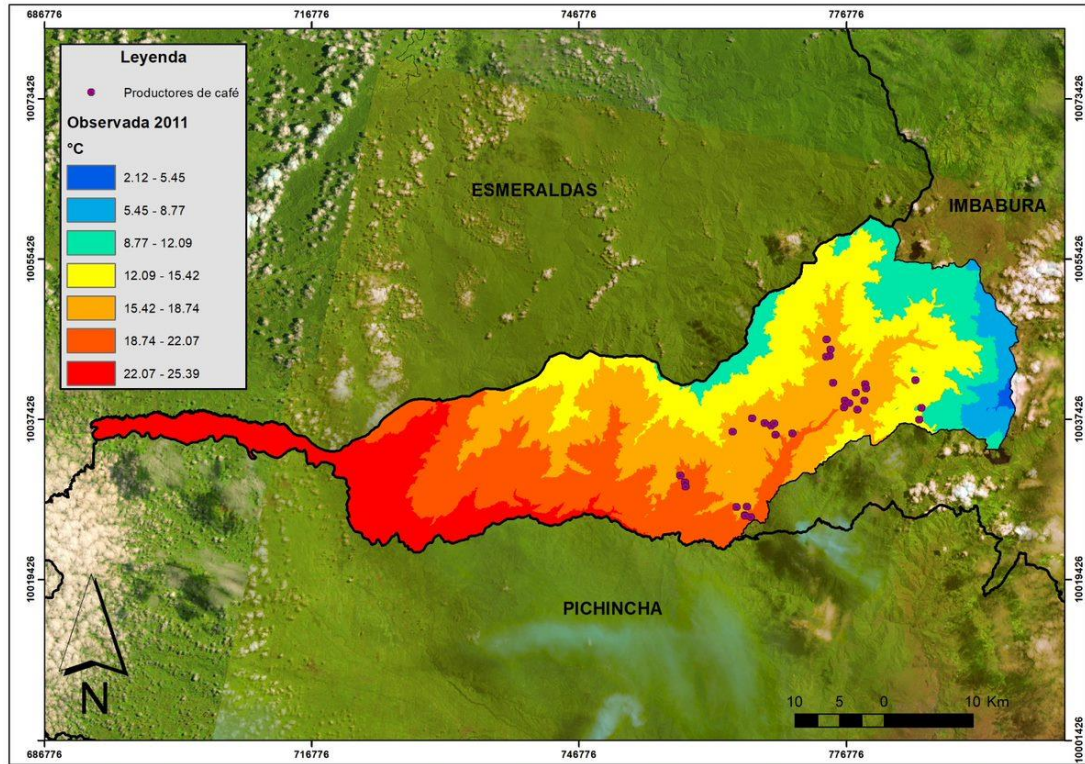
**Figura 12.** Datos completos pertenecientes a la estación meteorológica Cayapas



**Figura 13.** Datos completos pertenecientes a la estación pluviométrica Apuela

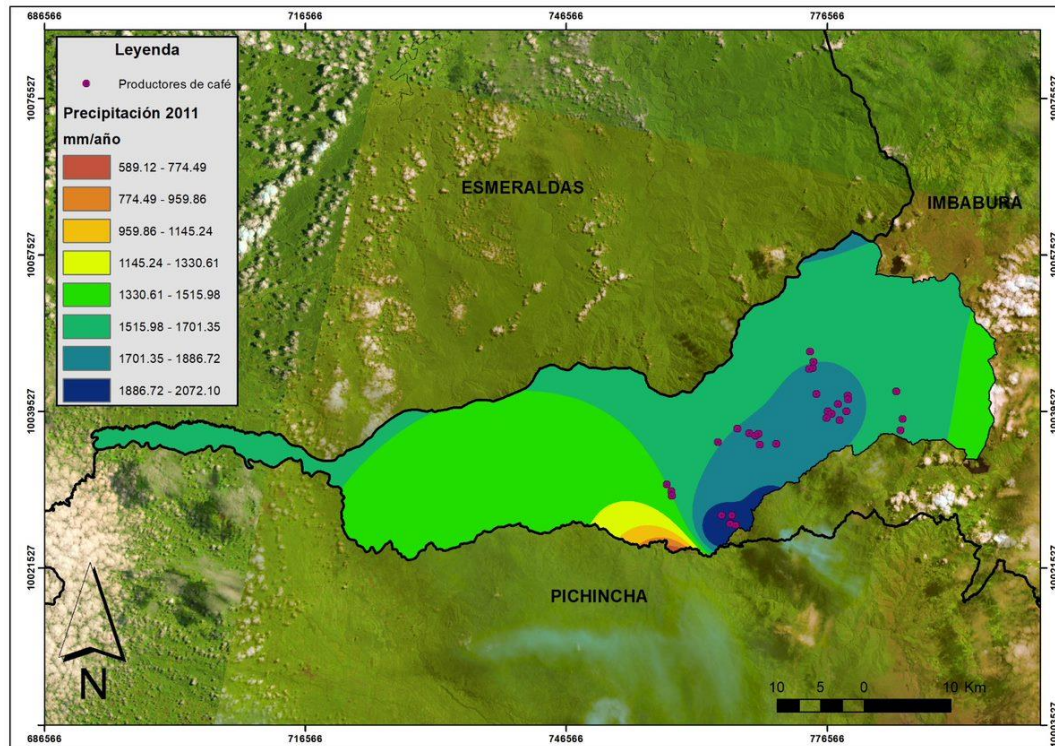
Fan et al. (2020) afirma mediante una comparación de datos observados y modelos CMIP6 para América del Sur que el aumento de temperatura será considerable en las regiones con elevaciones y latitudes altas. Esto se puede observar en la Figura 14, para el caso de la temperatura anual en el año 2011, en donde el valor de la temperatura máxima incrementa  $0.54^{\circ}\text{C}$ , mientras que para las

zonas de páramo se observa que aumentó 1.71°C. Corroborando lo mencionado, Moreno Ortega et al. (2022) menciona que la temperatura en los páramos Chilí-Barragán (Colombia) para el periodo 1981-2010 aumentó en 0.79°.



**Figura 14.** Temperatura Anual del año 2011 para la zona de Intag

Según Li et al. (2021) las precipitaciones en los trópicos y en altitudes altas verán los aumentos de frecuencia relativa más fuerte, con una tendencia a que la intensidad aumente. La Figura 15 muestra que para el período correspondiente a 2011 el dato de precipitación máxima ha aumentado en 414.55 mm y en el caso del dato de precipitación mínima en 77.21 mm, sin embargo, en zonas en donde había más precipitación existe una ligera reducción. De igual manera, Rivera & Arnould (2020) mencionan que las precipitaciones superaron los 100 mm durante la temporada de lluvias invernales a lo largo de la cordillera de los Andes y en el sur de Chile en el periodo de 1901-2014.



**Figura 15.** Precipitación anual del año 2011 para la zona de Intag

#### 4.2 Escenarios de Cambio Climático para el Año 2040 en Intag

Zamani et al. (2020) mencionan que el proyecto CMIP6 tiene mayor precisión con base en el proyecto CMIP5 al estimar 77% de las estaciones. Bağçaci et al. (2021) afirman que CMIP6 reduce el error en precipitación y temperatura en 11 y 6 % respectivamente, aumentando la correlación en un 13% para precipitación, esto permite tener una mejor resolución para la variabilidad climática futura. Además, Zhu & Yang (2020) afirman que los modelos simularon de manera realista la temperatura de la superficie y la distribución espacial de la precipitación, con una buena correlación.

Para la presente investigación se usaron datos de temperaturas y precipitación de 12 estaciones meteorológicas y se evaluaron 19 modelos CMIP6, a diferencia de Armenta et al. (2016) que escoge 14 GCMs para 4 estaciones meteorológicas (Inguincho (M001), Portoviejo (M0005), Nuevo Rocafuerte (M0007) y San Cristóbal (M0221) de cada región del país para determinar el cambio tanto de temperatura y precipitación en los escenarios proyectados. En el

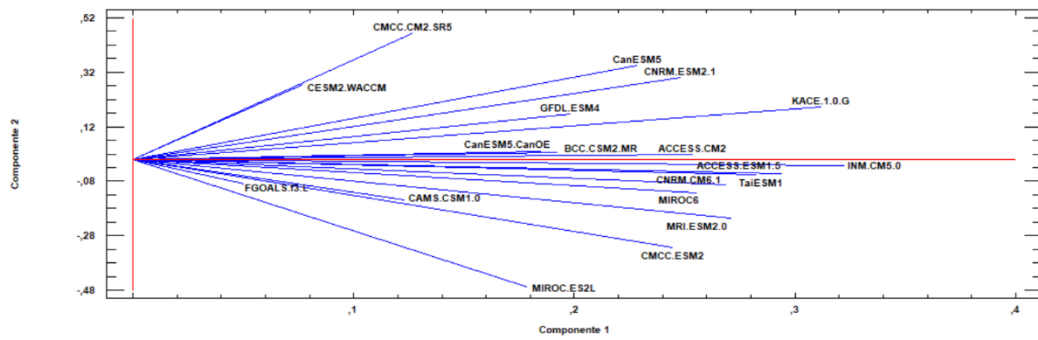
proyecto de generación de los escenarios de cambio climático para Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana CEPAL et al. (2020) argumentan que 15 modelos tienen mayor precisión al describir las condiciones climáticas para la región tropical.

#### ***4.2.1 Modelos CMIP6 Evaluados***

A partir de los ACP realizados a los 19 modelos de cada una de las estaciones meteorológicas y pluviométricas, se determinó el que mejor se adaptó a la zona de Intag, en donde los modelos climáticos globales más robustos fueron los elegidos para su representación gráfica.

Ocampo et al. (2022) comparó información satelital con observaciones in situ de 46 estaciones ubicadas en el suroeste de Colombia mediante ACP, agregando que la información satelital mensual representa correctamente la precipitación observada y que se puede utilizar en análisis hidroclimáticos futuros. Ren et al. (2020) busca determinar los valores adecuados que expliquen la variabilidad de los datos observados de temperatura para un modelo tridimensional mediante un ACP.

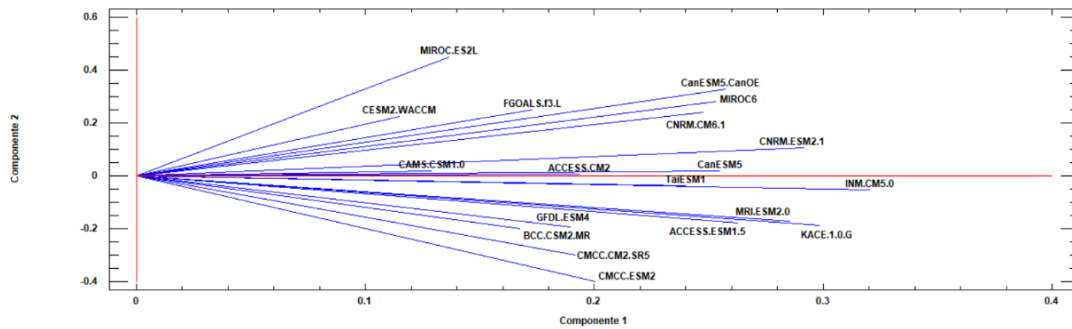
Bi et al. (2022) corrobora que realizar un ACP reduce la dimensionalidad de los datos permitiendo obtener los principales; de esta manera genera 2 componentes principales, en donde el primer componente explica el 68% de la variabilidad de los datos. A diferencia de este estudio que generó entre 4 a 7 componentes principales, los cuales explican en el primer componente entre 60 y 70 % de la variabilidad de los datos.



**Figura 16.** ACP de la estación meteorológica Quininde para el SSP126

Nota. Número de componentes: 6

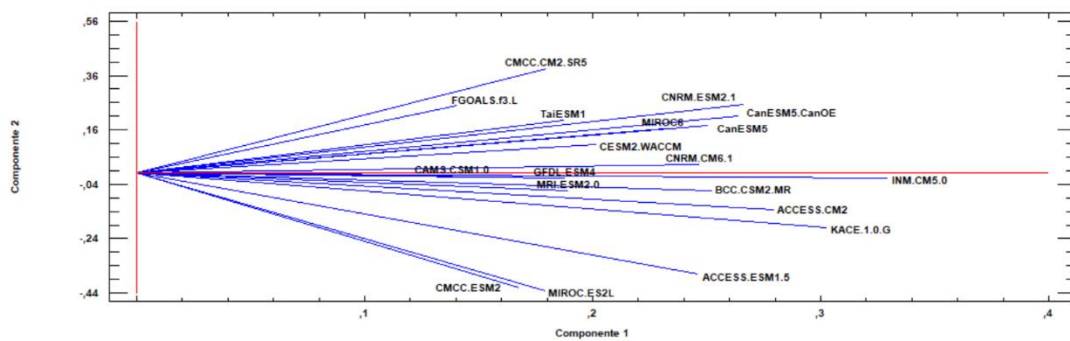
Variabilidad: 65.17%



**Figura 17.** ACP de la estación meteorológica Quininde para el SSP245

Nota. Número de componentes: 7

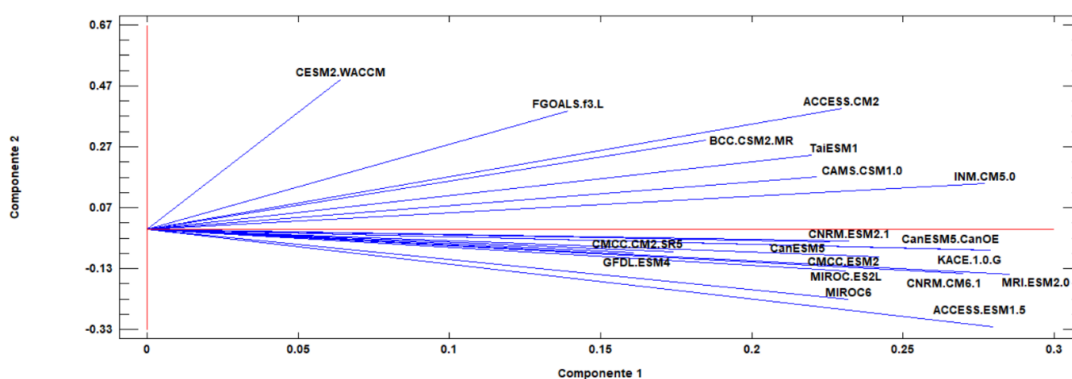
Variabilidad: 71.52%



**Figura 18.** ACP de la estación meteorológica Mira para el SSP370

Nota. Número de componentes: 6

Variabilidad: 66.96%



**Figura 19.** ACP de la estación meteorológica Quininde para el SSP585

Nota. Número de componentes: 6

Variabilidad: 67.82%

La Tabla 12 muestra los GCMs CMIP6 para temperatura que mejor se adaptaron. Armenta et al. (2016) de los 14 GCMs CMIP5 utilizados determinó que IPSL-CM5A-MR, MIROC-ESM, GISS-E2-R y CSIRO-MK3-6-0 explicaban de mejor manera el comportamiento de la temperatura y precipitación en Ecuador. Mientras que Zhu & Yang (2020) escogen para temperatura los siguientes modelos MPI-ESMI-2-HR, MIROC6, EC-Earth3-Veg, CAMS-CSM1-0, y GISS-E2-1-G-CC de 23 GCMs CMIP6.

**Tabla 12.** Modelo Climático Global de temperatura mejor adaptado a Intag

Estación	SSP126	Peso	SSP245	Peso	SSP370	Peso	SSP585	Peso
Cayapas	KACE.1.0.G	0.340524	INM.CM5.0	0.317657	INM.CM5.0	0.336483	CanESM5.CanOE	0.298853
Ibarra	KACE.1.0.G	0.345609	INM.CM5.0	0.316431	INM.CM5.0	0.33869	CanESM5.CanOE	0.299177
Inguincho	INM.C5.0	0.309461	INM.CM5.0	0.301303	INM.CM5.0	0.311469	INM.CM5.0	0.283916
La Perla	KACE.1.0.G	0.333903	INM.CM5.0	0.317264	INM.CM5.0	0.334232	INM.CM5.0	0.285446
Lita	KACE.1.0.G	0.358011	INM.CM5.0	0.311647	INM.CM5.0	0.33999	CanESM5.CanOE	0.298988
Mira	KACE.1.0.G	0.315407	INM.CM5.0	0.307502	INM.CM5.0	0.329419	CanESM5.CanOE	0.28698
Otavalo	INM.CM5.0	0.309081	INM.CM5.0	0.308088	INM.CM5.0	0.317539	INM.CM5.0	0.28634
Quininde	INM.CM5.0	0.322583	INM.CM5.0	0.320491	INM.CM5.0	0.318689	MRI.ESM2.0	0.285388

Los GCMs varían según el escenario establecido, por lo que para el escenario SPP126 son KACE.1.0.G (Cayapas, Ibarra, La Perla, Lita y Mira) e INM.CM5.0 (Inguincho, Otavalo y Quininde), para los escenarios SSP245 y SSP370 es INM.CM5.0 para todas las estaciones meteorológicas, mientras que para el escenario SSP585 los modelos elegidos fueron CanESM5.CanOE (Cayapas, Ibarra, Lita y Mira), INM.CM5.0 (Inguincho, La Perla y Otavalo) y MRI.ESM2.0 (Quininde).

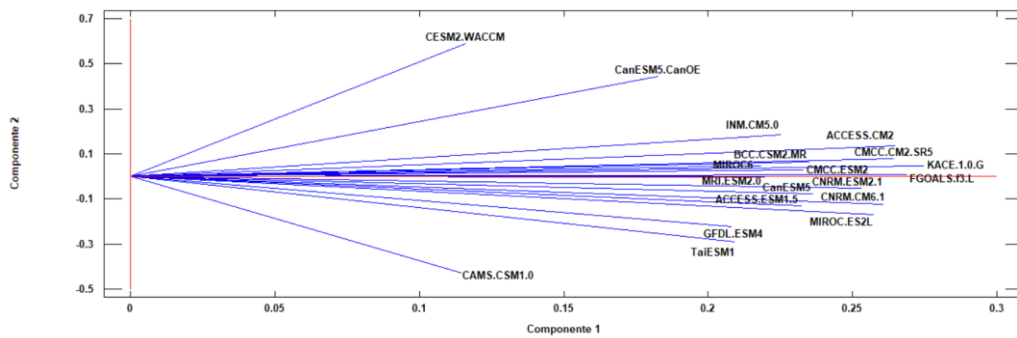
Zhu & Yang (2020) con respecto a la precipitación los modelos elegidos son NorESM2-LM, EC-Earth3-Veg, MRI-ESM2-0, MPI-ESMI-2-HR y CanESM5. X. Li et al. (2022) utiliza 73 estaciones en donde MIROC6 de LS3MIP exhibió un mejor desempeño en la simulación de precipitación. Rivera & Arnould (2020) utiliza 14 GCMs para 230 estaciones de Argentina y Chile, en donde los mejores modelos fueron CESM2, ESM2-WACCM, CanESM5, E3SM-1-0 y BCC-CSM2-MR.

**Tabla 13.** Modelo Climático Global de precipitación mejor adaptado a Intag

Estación	SSP126	Peso	SSP245	Peso	SSP370	Peso	SSP585	Peso
Apuela	KACE.1.0.G	0.24635	MIROC.ES2L	0.24529	MIROC.ES2L	0.249683	KACE.1.0.G	0.247011
Cayapas	KACE.1.0.G	0.258962	MIROC.ES2L	0.255388	MIROC.ES2L	0.267303	MIROC.ES2L	0.261034
Chontal Bajo	CMCC.CM2.SR5	0.248477	MIROC.ES2L	0.249421	MIROC.ES2L	0.256966	MIROC.ES2L	0.251261
García Moreno	KACE.1.0.G	0.247519	MIROC.ES2L	0.245915	MIROC.ES2L	0.25088	KACE.1.0.G	0.248119
Ibarra	KACE.1.0.G	0.252945	KACE.1.0.G	0.251045	MIROC.ES2L	0.257917	KACE.1.0.G	0.255948
Inguincho	KACE.1.0.G	0.251706	KACE.1.0.G	0.248822	MIROC.ES2L	0.254037	KACE.1.0.G	0.252648
La Perla	KACE.1.0.G	0.274838	KACE.1.0.G	0.274674	MIROC.ES2L	0.292973	MIROC.ES2L	0.279001
Lita	KACE.1.0.G	0.259393	KACE.1.0.G	0.255266	MIROC.ES2L	0.26394	MIROC.ES2L	0.25831
Mira	KACE.1.0.G	0.246664	KACE.1.0.G	0.246515	MIROC.ES2L	0.250307	KACE.1.0.G	0.24982
Otavalo	KACE.1.0.G	0.252877	KACE.1.0.G	0.250259	MIROC.ES2L	0.255186	KACE.1.0.G	0.254573
Quininde	KACE.1.0.G	0.257517	MIROC.ES2L	0.25973	MIROC.ES2L	0.270004	MIROC.ES2L	0.261864
Selva Alegre	KACE.1.0.G	0.247708	MIROC.ES2L	0.246115	MIROC.ES2L	0.251189	KACE.1.0.G	0.24844

En la Tabla 13 se encuentran los modelos de precipitación seleccionados para cada escenario, para el SPP126 son KACE.1.0.G (Apuela, Cayapas, García Moreno, Ibarra, Inguincho, La Perla, Lita, Mira, Otavalo, Quininde y Selva Alegre) y CMCC.CM2.SR5 (Chontal Bajo), para el escenario SSP245 son MIROC.ES2L (Apuela, Cayapas, Chontal Bajo, García Moreno, Quininde y Selva Alegre) y

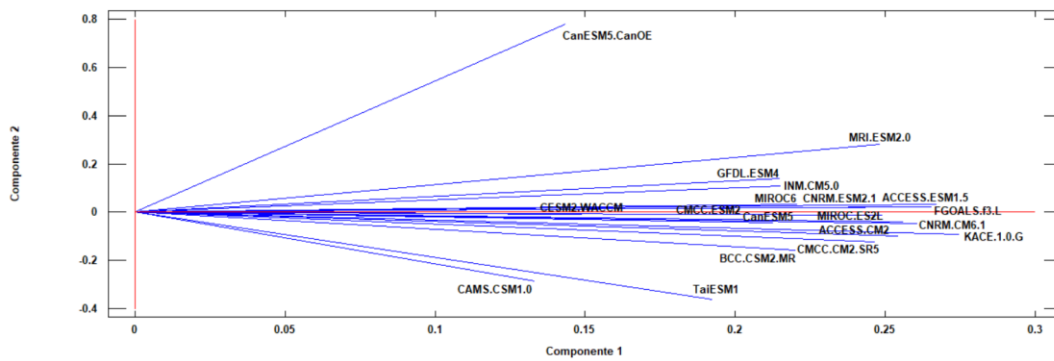
KACE.1.0.G (Ibarra, Inguincho, La Perla, Lita, Mira y Otavalo), para SSP370 es MIROC.ES2L para todas la estaciones meteorológicas, mientras que para el escenario SSP585 los modelos elegidos fueron KACE.1.0.G (Apuela, García Moreno, Ibarra, Inguincho, Mira y Quininde) y MIROC.ES2L (Cayapas, Chontal Bajo, La Perla, Lita y Quininde), como se ilustra en la Figura 20, Figura 21, Figura 22 y Figura 23.



**Figura 20.** ACP de la estación pluviométrica La Perla para el SSP126

Nota. Número de componentes: 2

Variabilidad: 47.62%

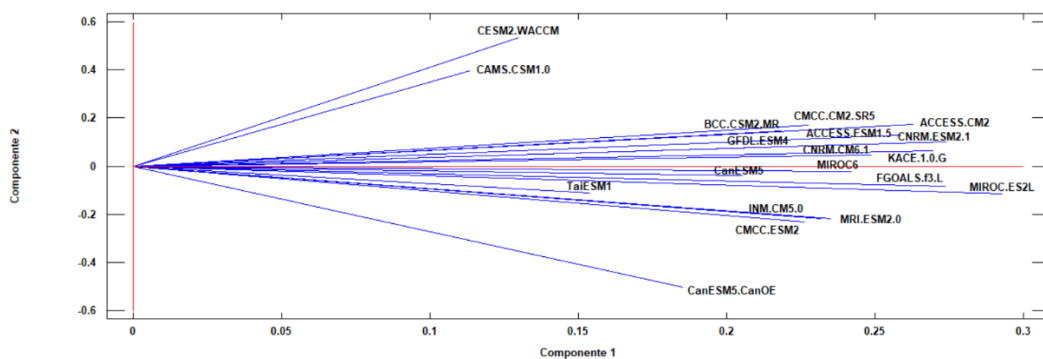


**Figura 21.** ACP de la estación pluviométrica La Perla para el SSP245

Nota. Número de componentes: 2

Variabilidad: 47.84%

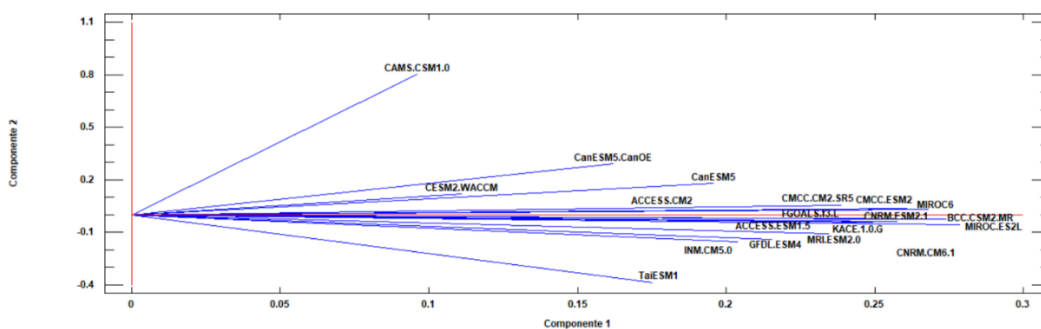




**Figura 22.** ACP de la estación pluviométrica La Perla para el SSP370

Nota. Número de componentes: 2

Variabilidad: 45.98%



**Figura 23.** ACP de la estación pluviométrica La Perla para el SSP585

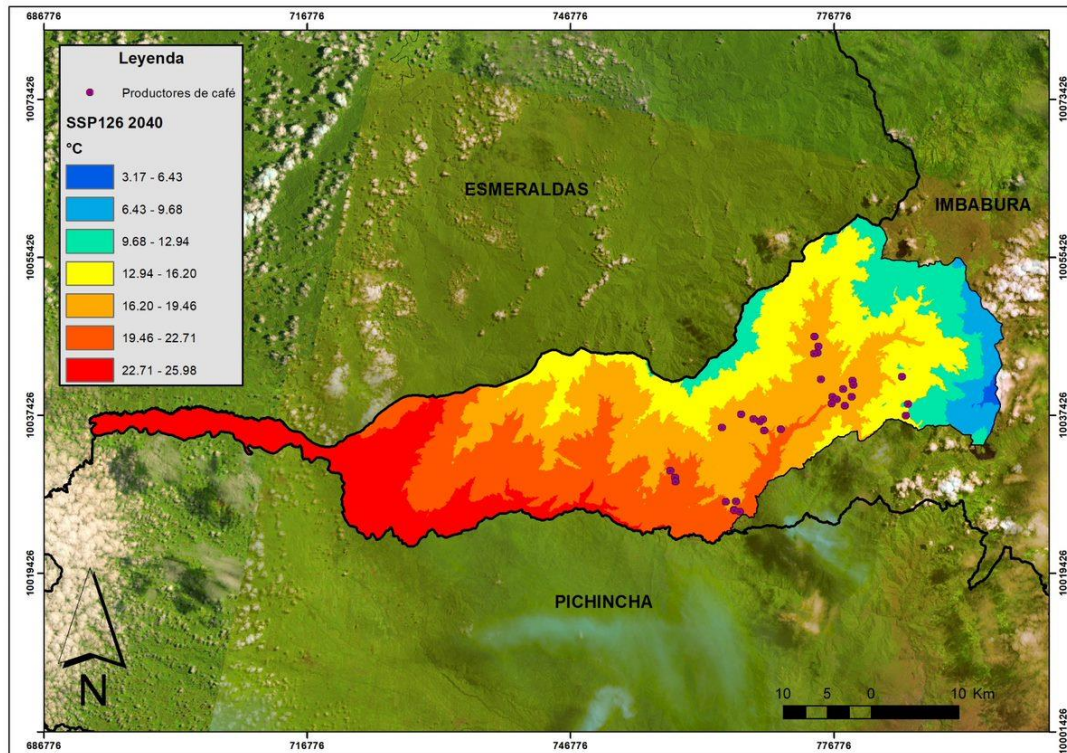
Nota. Número de componentes: 2

Variabilidad: 47.82%

#### 4.2.2 Escenarios de Cambio Climático de Temperatura

Guan et al. (2021) ensamblaron simulaciones de modelos climáticos bajo 3 tres diferentes SSP (SSP126, SSP245 y SSP585), en el primer escenario se tendrá un cambio de  $0.163\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  en la zona más baja, mientras en la zona más cálida  $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  para el 2100. Armenta et al. (2016) ajustaron simulaciones de 4 escenarios RCP CMIP5 de 2011 a 2040, en donde el escenario 2.6 explica que para la Amazonía ( $0.79\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0.71\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), Costa ( $0.73\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0.66\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y Sierra ( $0.57\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0.52\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Con respecto al escenario SSP126 proyectado en este estudio, se observa en la Figura 24, que en

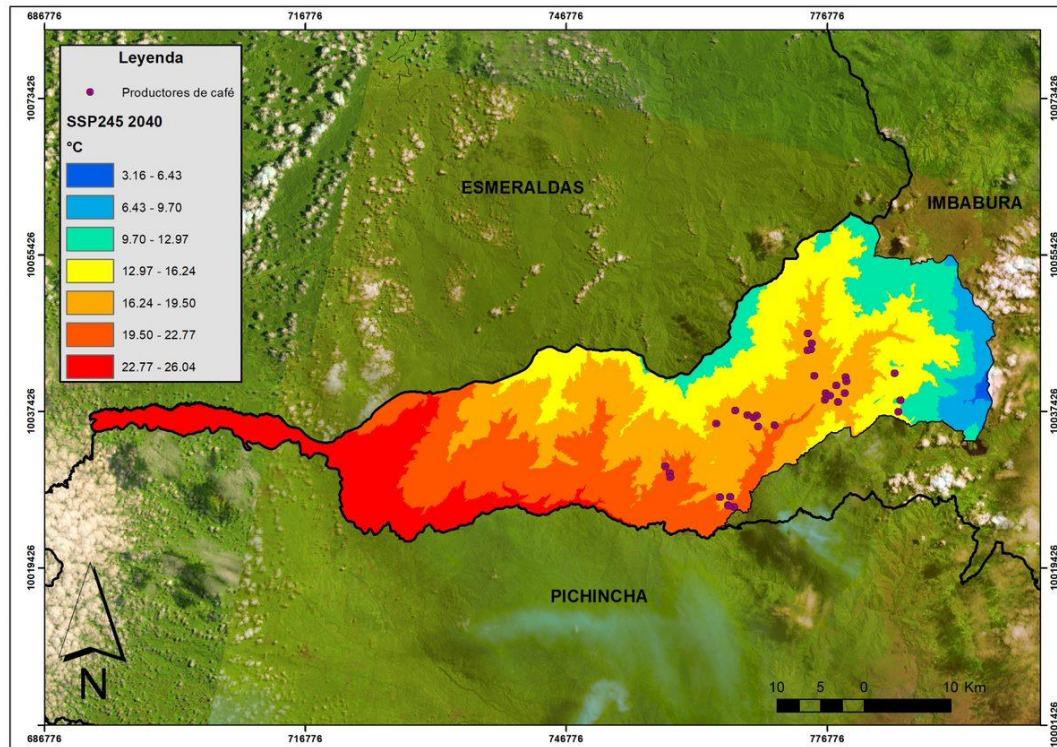
las partes más bajas aumentará en  $0.98^{\circ}\text{C}$ , y en las zonas más cálida aumentará en  $1.33^{\circ}\text{C}$ . Por lo tanto, el clima Ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo (EMSHH) y Tropical megatérmico húmedo (TMH) cumplen con el rango de temperatura que el café necesita, por otra parte, el clima Ecuatorial frío de alta montaña (EFAM) posee una temperatura supremamente inferior y finalmente el clima Tropical megatérmico muy húmedo (TMMH) sobrepasa la temperatura requerida para el cultivo.



**Figura 24.** Escenario de cambio climático SSP126 para temperatura

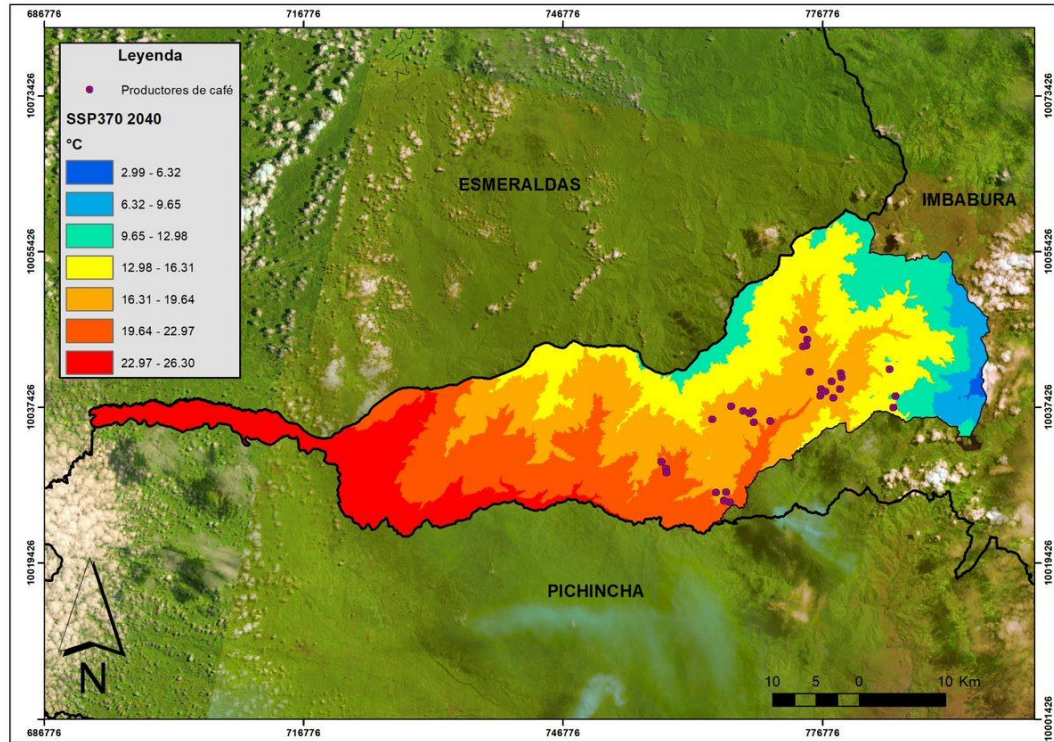
Hamed et al. (2022) compararon el cambio que existió entre escenarios RCP (4.5 $\sim$ 8.5) y SSP (245 $\sim$ 585) desde el 2020 hasta 2059, estableciendo que para SSP245, el cambio de temperatura será en la parte mínima 0.5 y en las partes más frías de 1 a 1.5. Guan et al. (2021) explica que para SSP245, la parte baja tendrá un aumento de  $0.392^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  y en la parte cálida de  $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , con respecto a Ecuador el RCP4.5 de Armenta et al. (2016) muestra las proyecciones para cada región del país, Amazonía ( $0.89\sim 0.83^{\circ}\text{C}$ ), Costa ( $0.91\sim 0.85^{\circ}\text{C}$ ) y Sierra ( $0.66\sim 0.62^{\circ}\text{C}$ ). La Figura 25 muestra el ensamble realizado al conjunto de modelos

climáticos en Intag, dando como resultado que en la parte más fría aumenta 1.33 °C y en las partes más calientes 1.05 °C. Siendo los climas (EMSHH) y (TMH) los idóneos para el cultivo de café arábigo, ya que se encuentran dentro de los rangos óptimos de temperatura entre 17 a 21 °C.



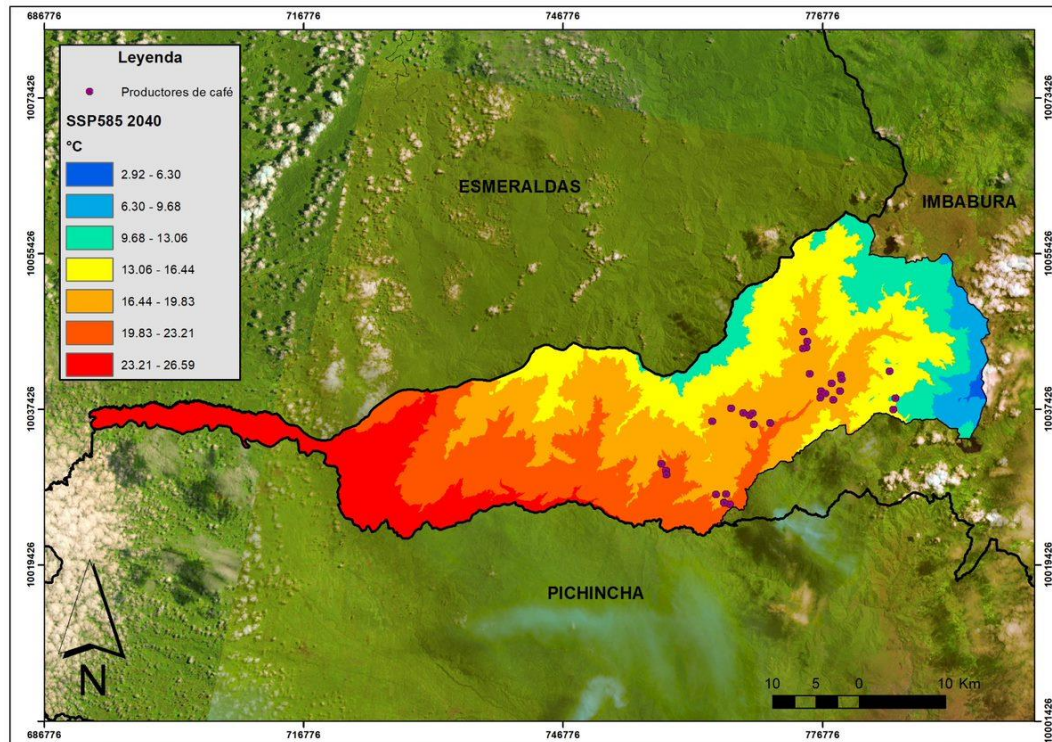
**Figura 25.** Escenario de cambio climático SSP245 para temperatura

En Ecuador para el 2040 Armenta et al. (2016) generaron las proyecciones de su tercer escenario para cada región del país, con los siguientes datos Amazonía (0.69^0.70°C), Costa (0.66^0.63°C) y Sierra (0.57^0.51°C). La temperatura de Intag se muestra en la Figura 26, en donde la temperatura máxima para el año 2040 aumentará 1.30°C y la temperatura mínima de la zona aumentará 1.16°C. De esta manera, el clima (EMSHH) y una pequeña parte del clima (TMH) específicamente en la parroquia de García Moreno que se encuentre dentro del rango óptimo de temperatura, serán los lugares donde el café se adaptará de mejor manera para el año 2040.



**Figura 26.** Escenario de cambio climático SSP370 para temperatura

Para el escenario RCP 8.5 Armenta et al. (2016) afirman los cambios que la temperatura tendrá en cada región del país, Amazonía ( $0.94 \pm 0.85$  °C), Costa ( $1.05 \pm 0.86$  °C) y Sierra ( $0.76 \pm 0.62$  °C). La Figura 27 indica un incremento en zonas cálidas de  $1.60$ °C y en zonas frías de  $1.08$ °C en el escenario SSP585 demostrando que la producción del café en el clima Tropical megatérmico húmedo (TMH) no se dará, ya que supera los rangos de temperatura para este cultivo, siendo el clima más apto el Ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo (EMSHH). Almazroui et al. (2020) mencionan que para 2059 toda África tendrá un incremento de  $1.8$ °C bajo el escenario SSP585. Sin embargo, estudios en Turquía bajo este escenario para el verano explican que la anomalía puede llegar hasta  $6.5$ °C en 2100 (Bağçaci et al., 2021).



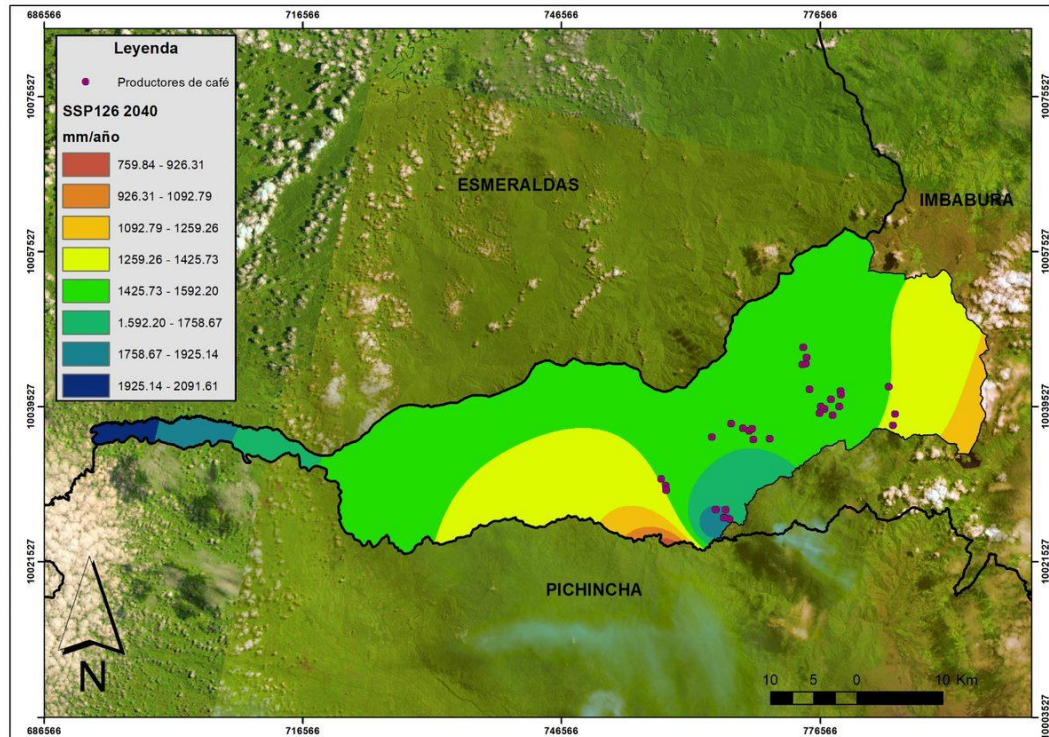
**Figura 27.** Escenario de cambio climático SSP585 para temperatura

#### ***4.2.3 Escenarios de Cambio Climático de Precipitación***

Almazroui et al. (2021) evaluaron el comportamiento de CMIP6 en América del Sur para los 4 SSP, como resultado determinaron que bajo el SSP126 existirá un aumento progresivo en la estacionalidad de la distribución de la precipitación anual entre 108 a 216 mm. Chen et al. (2020) analizaron los cambios en la precipitación global del monzón terrestre bajo modelos CMIP6, de esta manera prevén que la precipitación para el SSP126 aumente en  $(2.54 \pm 2.22 \%)$  para el periodo 2015-2099. En el presente estudio, el SSP126 ilustrado en la Figura 28, indica un ligero aumento en la sumatoria anual máxima en 83.71 mm, sin embargo, el valor mínimo anual indica una leve disminución por 39.27 mm.

De esta manera se infiere que en los climas (TMMH) y (TMH) existen rangos de precipitación entre los 1800 a 2000 mm, requisito indispensable para la producción de café, por otro lado, la mayor parte del clima (EMSHH) posee precipitaciones bajas de 1400 a 1700 mm a excepción de la parte baja de la

parroquia de García Moreno que cumple con los requisitos de precipitación para el cultivo.

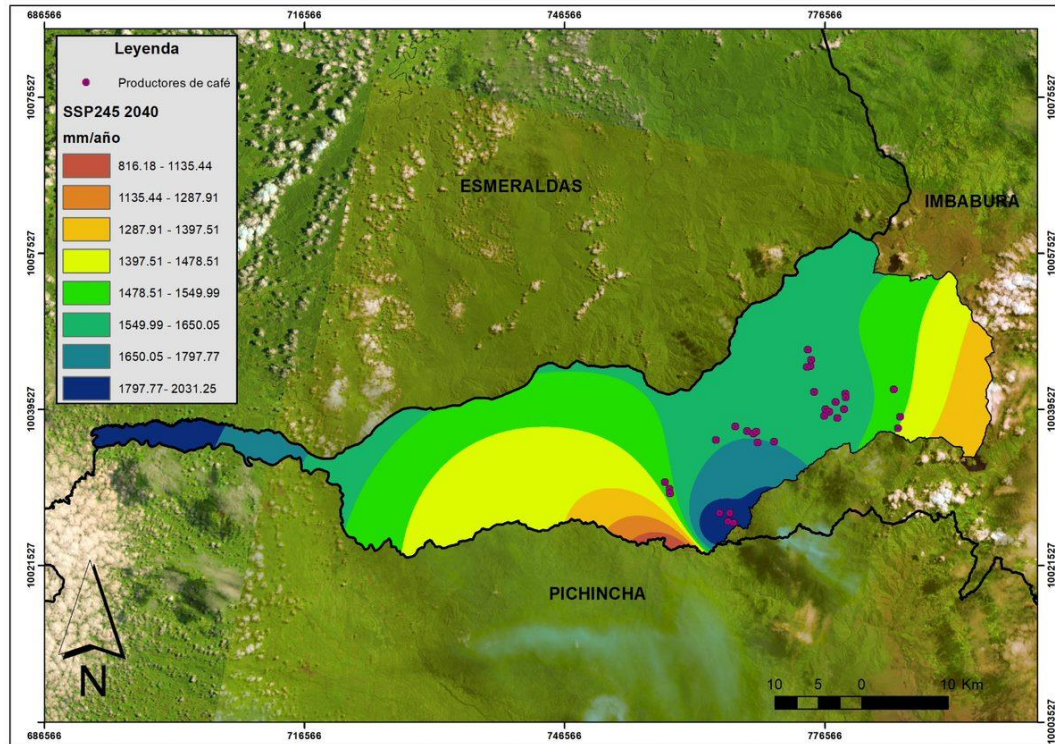


**Figura 28.** Escenario de cambio climático SSP126 para precipitación

Zhao et al. (2022) investigaron las futuras variaciones de precipitación para la cuenca del lago Poyang en China durante 2020-2100, utilizando modelos CMIP6 determinaron que para el SSP245 toda la cuenca estaría más húmeda con un aumento de precipitación a una tasa de 0.85 mm/año en promedio. De igual manera Wang et al. (2020) afirman en su estudio que bajo el SSP245 es probable que la precipitación monzónica terrestre aumente aproximadamente 2.8% por cada grado Celsius de calentamiento global. En la zona de Intag, La Figura 29 enseña el SSP245, este escenario muestra un aumento poco significativo en el valor de la sumatoria anual máxima de 23.35 mm, lo mismo sucede con el valor mínimo el cual aumenta en 17.07 mm.

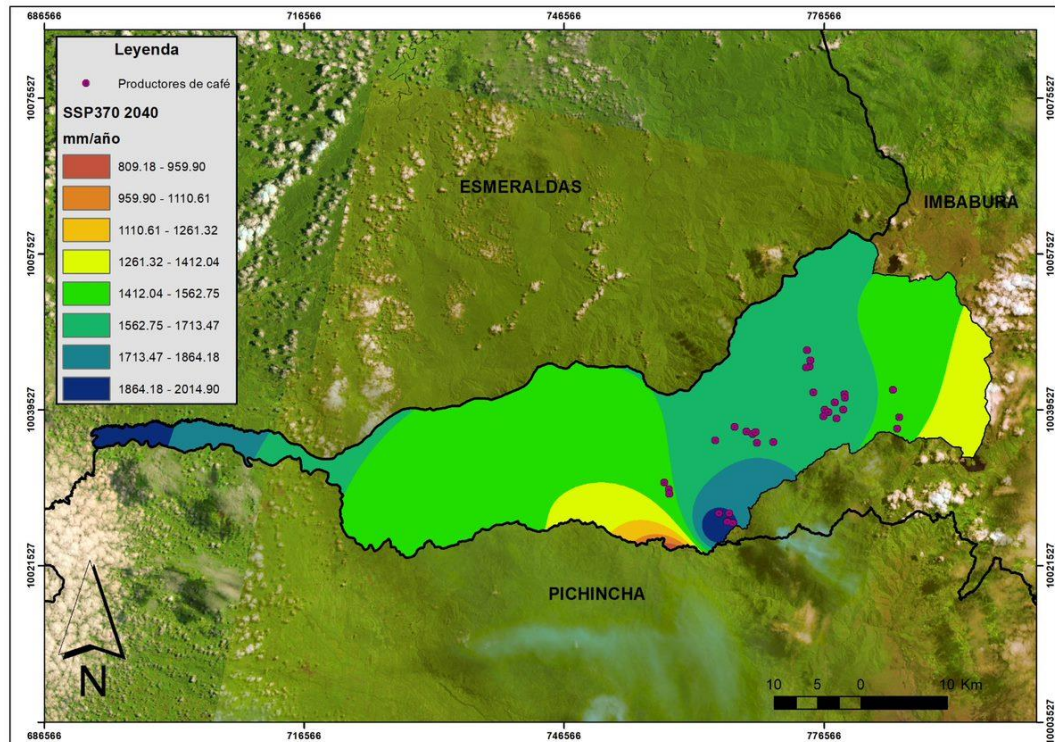
De igual manera que el anterior escenario, los climas (TMMH), (TMH) y el (EMSHH) poseen rangos de sumatoria anual de precipitación entre 1800 a 2000

mm, a diferencia del anterior escenario, la precipitación aumenta en la parte más baja de la parroquia de García Moreno.



**Figura 29.** Escenario de cambio climático SSP245 para precipitación

Según Wu et al. (2021) a nivel mundial, se proyecta que la frecuencia promedio de las precipitaciones durante un periodo de 30 años aumente en 48.79 mm para el SSP370. Xiang et al. (2022) afirma que existe incertidumbre en el cambio de la precipitación para el futuro en la cuenca del río Yarkant en China, además se espera que los aumentos en la precipitación sean del 10.79% bajo el SSP370. Por otro lado, para el presente estudio el SSP370 mostrado en la Figura 30, muestra un incremento en el valor máximo cada vez menos significativo, con un valor de diferencia de 7.0 mm, de igual manera, en el valor mínimo existe un incremento de 10.06 mm. Los climas (TMMH) y (TMH) son los que poseen precipitaciones dentro del rango ideal, por otro lado, existen cada vez menos lugares para el cultivo de café en el ecosistema (EMSHH).

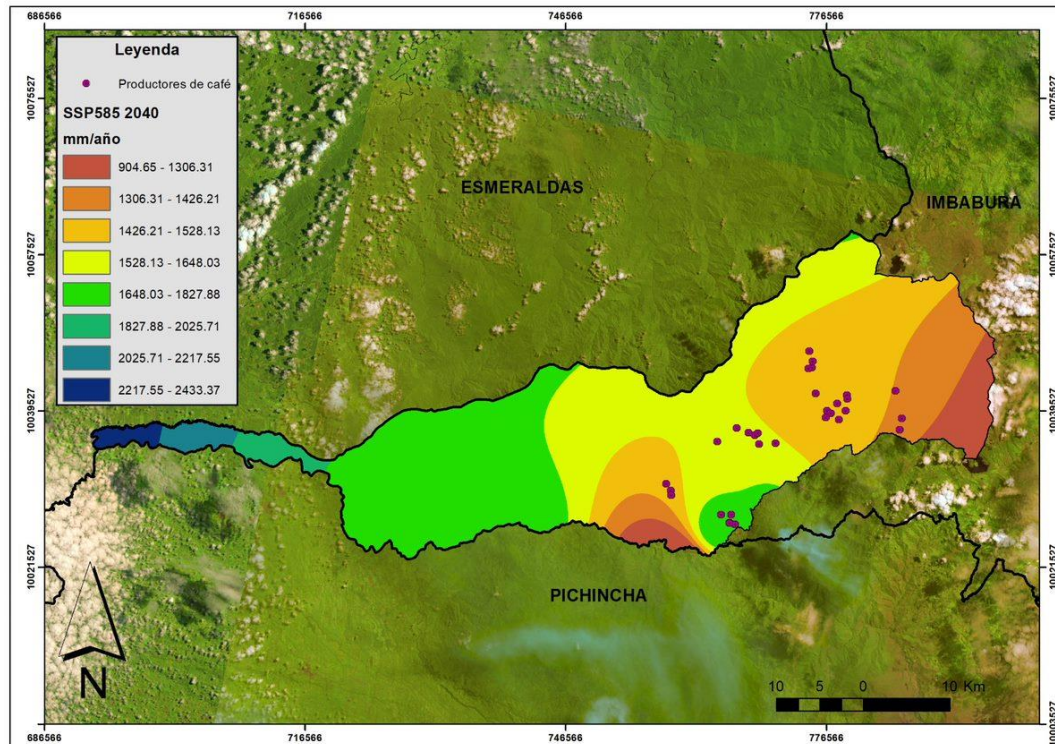


**Figura 30.** Escenario de cambio climático SSP370 para precipitación

Arunrat et al. (2022) afirma que la precipitación máxima y mínima aumentaría en el SSP585, pues se espera la mayor precipitación para el periodo 2070-2100 con un valor anual de 1744.6 mm, es decir un aumento del 5.8%. Según Bian et al. (2021) para el periodo 1980-2100 el SSP585 muestran la mayor tasa creciente de precipitación media anual con un valor de 10.3 a 28 mm por década. La Figura 31 muestra el SSP585 para la zona de estudio, se observa un incremento notablemente considerable en cuanto al valor máximo, con una diferencia de 425.47 mm, de igual manera el valor mínimo tiende a aumentar por 105.53 mm.

En el escenario trágico la precipitación aumenta considerablemente, se prevé desbordamiento de ríos, deslaves por la gran cantidad de agua que caerá por  $m^2$  y la pendiente que la zona de Intag presenta, provocando pérdida a los pobladores que se asientan en su alrededor. Estas tragedias hoy en día son visibles, los productores de café ya enfrentan estos problemas en la actualidad, necesitan la información meteorológica para enfrentar estos cambios.





**Figura 31.** Escenario de cambio climático SSP585 para precipitación

### 4.3 Modelo de Producción de Café en Escenarios de Cambio Climático

#### 4.3.1 Análisis de Normalidad de Datos

Silva (2016) realizó un modelo ARIMAX para analizar el rendimiento del cultivo de arroz con variables como: fertilizantes, capital en maquinaria, temperatura y precipitación media, sin embargo, el resultado de la prueba de Shapiro Wilks tiene un valor de  $p$  igual a 0.014, por lo que decidieron retirar del análisis las variables como: fertilizantes y capital en maquinaria por tener coeficientes cercanos a cero. Vallejo & Rodríguez (2018) realizaron un modelo matemático para la predicción de biomasa residual de café, asegurando que tras aplicar Shapiro Wilks para las variables (altura, altura de fuste, altura de copa, diámetro de copa, diámetro de fuste, biomasa) el valor de  $p$  fue 0.95903, por lo tanto, tienen un comportamiento normal para la aplicación del modelo.

La Tabla 14 indica el resultado de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks realizada para los 32 productores que se encuentran dentro de la zona de Intag, se debe recalcar que para una mejor eficiencia del modelo de producción se tomaron en cuenta solamente los datos cuyo valor de p en la prueba fueron mayores a 0.7 tal y como se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 14.** Shapiro-Wilks para los datos históricos de los 32 productores de café orgánico de la zona de Intag

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
ALMENDARIS HUERA CORNELIO ..	11	20.94806516	3.805111278	0.914427551	0.419166667
ALMENDARIS HUERA MARCO O.	11	19.88038982	3.567109503	0.955958217	0.819055556
ANDRANGO PILLAJO SEGUNDO C.	11	8.377065018	2.054971962	0.916571538	0.432780488
ANGULO GUERRERO JOSE J.	11	8.210246836	1.744945268	0.963396411	0.875823529
ARIAS GOMEZ LUIS H.	11	10.99898065	2.41725346	0.938992077	0.652836735
BOLAÑOS FLORES HECTOR E.	11	27.79240291	5.285888135	0.953683129	0.796128205
CARANQUI SALAS HECTOR A.	11	12.8741841	4.667458606	0.822791008	0.0293
CHUQUIMARCA VACA F.	11	13.55150448	4.090071368	0.932234395	0.587923077
CHUSQUILLO ARAQUE MARIA A.	11	8.767974109	5.361313546	0.608951331	0
FLORES LOZA SEGUNDO C..	11	9.087974109	3.319077306	0.844215691	0.059888889
GOMEZ ANDRADE ANGEL M.	11	8.929084509	1.457999384	0.897182589	0.278238095
HERRERA CHAPI ALFONSO O.	11	8.116964364	2.831669167	0.856115504	0.086
HIDALGO ARIAS LUIS A.	11	10.00393513	8.596011291	0.690218337	0
LITA ANDRADE LUIS A.	11	10.93433775	8.092239726	0.623330851	0
MEJÍA LUCERO ALBA E.	11	12.97514298	5.135892899	0.789910788	0.00925
MORALES ARIAS ENRIQUE G.	11	19.57038982	4.729980556	0.906247526	0.345590909
PEÑAFIEL VACA MANUEL M.	11	17.62433135	3.781043665	0.957154606	0.827714286
PIEDRA ARIAS RIGOBERTO	11	27.98149382	5.077489819	0.902087255	0.3136
PIEDRA VERRONES JORGE R.	11	10.52600441	5.372689062	0.806460168	0.017096774
PROAÑO AYALA DORIAN G.	11	9.58080097	4.356400544	0.79652469	0.012
QUIGUANGO PANTOJA SEGUNDO	11	14.27256509	4.057476309	0.949072973	0.752482759
QUILCA CALDERON SEGUNDO	11	7.477065018	1.320847644	0.899274503	0.292263158
RAMIREZ CHAMORRO JUSTINO	11	10.49019491	2.876656342	0.900940105	0.304547619
RAMIREZ CHAMORRO LUIS A.	11	7.939034715	1.52124645	0.965793458	0.89452381
RODRIGUEZ FUERTES MARIA C.	11	5.387874521	1.023743142	0.980030466	0.974454545
SHEAR NICHOLAS PETER	11	5.995045527	1.295071223	0.971479877	0.930076923
TORRES JOSE BENJAMIN	11	5.661818182	0.796113286	0.911521458	0.391136364
VACA NARVAEZ LUIS H.	11	5.669090909	1.22091322	0.88840467	0.223416667
VACA RUIZ EDGAR R.	11	19.67948073	3.698120008	0.952311244	0.784909091
VACA RUIZ LEYDA	11	6.000298764	1.191107121	0.967983763	0.908129032
VARELA AYALA LUIS E.	11	7.983629964	1.590504717	0.984533401	0.98825
VOSMEDIANO MANOSALVAS B.	11	9.832013091	1.572638008	0.914551091	0.414277778

**Tabla 15.** Productores de café orgánico de la zona de Intag con valor de p mayor a 0.7

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
ALMENDARIS HUERA MARCO O.	11	19.8803898	3.5671095	0.95595822	0.819055556
ANGULO GUERRERO JOSE J.	11	8.21024684	1.74494527	0.96339641	0.875823529
BOLAÑOS FLORES HECTOR E.	11	27.7924029	5.28588814	0.95368313	0.796128205
PEÑAFIEL VACA MANUEL M.	11	17.6243313	3.78104367	0.95715461	0.827714286
QUIGUANGO PANTOJA SEGUNDO	11	14.2725651	4.05747631	0.94907297	0.752482759
RAMIREZ CHAMORRO LUIS A.	11	7.93903472	1.52124645	0.96579346	0.89452381
RODRIGUEZ FUERTES MARIA C.	11	5.38787452	1.02374314	0.98003047	0.974454545
SHEAR NICHOLAS PETER	11	5.99504553	1.29507122	0.97147988	0.930076923
VACA RUIZ EDGAR R.	11	19.6794807	3.69812001	0.95231124	0.784909091
VACA RUIZ LEYDA	11	6.00029876	1.19110712	0.96798376	0.908129032
VARELA AYALA LUIS E.	11	7.98362996	1.59050472	0.9845334	0.98825

#### 4.3.2 Correlación de Variables

La producción de cultivos se ve determinada por diferentes tipos de variables, por esta razón para optimizar estrategias de fertilización llevando a una agricultura sostenible Ning et al. (2020) mediante el ACC explica que el 22.4% de la variación fúngica del suelo viene dado por pH, COS, N total, K total, P y K disponibles. Además, con un ACC Rodríguez et al. (2021) indican que las variables (áreas, municipios y gallinaza) explican el 89% de la producción de biogás.

En la Tabla 16 se puede apreciar la correlación canónica existente para el conjunto de variables establecido, el primer conjunto de variables (tiempo, hectáreas de café, temperatura y precipitación) tiene una CC de 0.980206 mientras que para el segundo conjunto de variables (latitud, longitud y altitud) cuenta con una CC de 0.511899.

**Tabla 16.** Correlaciones canónicas en los 3 conjuntos de variables de producción

Número	Eigenvalor	Correlación Canónica	Lambda de Wilks	Chi-Cuadrada	G.L.	Valor-P
1	0.960804	0.980206	0.026727	300.633	12	0.0000
2	0.26204	0.511899	0.681876	31.7813	6	0.0000
3	0.0759977	0.275677	0.924002	6.56038	2	0.0376

A las variables se las estandarizó restándoles primero sus medias y luego dividiéndolas en la desviación estándar, de esta manera se identifica en la Tabla 17 y Tabla 18 que los valores de p son menores que 0.05, con esto se puede afirmar que tienen una correlación estadísticamente significativa con una confianza del 95%. Rivas et al. (2019) identificaron dos variables canónicas 0.801 y 0.504 respectivamente, siendo altamente significativas con un valor de  $p < 0.01$ .

**Tabla 17.** Coeficientes de variables canónicas del primer conjunto

Tiempo	0.202966	0.0105048	0.149645
Ha Café	-0.0137051	-0.762132	-0.856391
Temperatura	-0.995039	-0.592626	-0.127654
Precipitación	-0.0999455	0.662314	-0.821172

**Tabla 18.** Coeficientes de variables canónicas del segundo conjunto

Longitud	0.259144	-0.0536679	-1.7153
Latitud	0.0283912	-1.72092	1.0434
Altitud	0.765422	1.56149	0.577543

De esta manera se obtiene las combinaciones lineales de dos conjuntos de variables que presentan una mayor correlación entre ellas, en donde el primer conjunto de combinaciones lineales es la ecuación 33 y el segundo conjunto es la ecuación 34.

$$0.202966 * t - 0.0137051 * hascafé - 0.995039 * Temp - 0.0999455 * Prec \quad \mathbf{Ec. 33}$$

$$0.259144 * Long + 0.0283912 * Lat + 0.765422 * Alt \quad \mathbf{Ec. 34}$$

### 4.3.3 Modelo de Producción

Bangladesh es el tercer país productor de arroz en el mundo, por lo que Abdullah et al. (2021) utilizan la transformación de Cochrane-Orcutt para series temporales con el área de producción y el rendimiento de arroz, buscando así el crecimiento de este cultivo por periodos en diferentes regiones, las variables presentaron valores menores a 0.05. Cacay et al. (2021) aplican el procedimiento Cochrane-Orcutt para estimar el modelo económico en una serie de tiempo, en donde el valor-p es menor a 0.05.

En la Tabla 19 se observa que al tener un valor-p menor a 0.05, en donde las variables tienen una relación estadísticamente significativa, por esta razón la variable latitud fue eliminada ya que el valor de p fue mayor a 0.05 con un nivel de confianza del 95%.

**Tabla 19.** Transformación Cochrane-Orcutt aplicada a cada variable de producción de café

<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Estándar Error</i>	<i>T-Statistic</i>	<i>Value-P</i>
CONSTANTE	-1418.19	537.748	-2.63727	0.0102
Tiempo	0.607589	0.275965	2.20169	0.0308
Longitud	0.000455657	0.0000874954	5.20778	0.0000
Altitud	-0.0489567	0.00471514	-10.3829	0.0000
Temperatura	-4.31196	1.20254	-3.58571	0.0006
Precipitación	0.00261911	0.00123077	2.12802	0.0366
Ha de Café	11.7842	0.594466	19.8232	0.0000

Note. Autocorrelation = 0.534427

A partir de seis variables, áreas, zonas de productividad, precipitación, humedad relativa y temperatura, Kittichotsawat et al. (2022) analizan la predicción del rendimiento anual del café, utilizando redes neuronales y regresión lineal múltiple, con una precisión de predicción de R-cuadrada 0.9524 y RMSE 0.0642. Para identificar el impacto que los minerales tienen en la calidad de fruta Huang et al. (2021) evalúan la predicción del modelo teniendo valores R-cuadrado de 0.06772, 0.5520 y 0.6025.

En la Tabla 20 se observa el R-Cuadrada de 93.1186% explicando así la precisión del modelo de Producción, el estadístico R-Cuadrada ajustada es más apropiado para comparar modelos con diferente número de variables independientes dando como resultado 92.5681%, el error estándar del estimado es 2.2905 y un error absoluto medio (MAE) es 1.70511.

**Tabla 20.** Análisis de Varianza del modelo de producción

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	5324.58	6	887.429	169.15	<b>0.0000</b>
Residuo	393.48	5	5.2464		
Total (Corr.)	5718.06	1			

Nota. R-cuadrada = **93.1186 por ciento**  
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = **92.5681 por ciento**  
Error estándar del est. = **2.2905**  
Error absoluto medio = **1.70511**

Finalmente, la ecuación 35 explica la fórmula establecida para el modelo que cada productor tendrá dependiendo sus variables y de los valores de temperatura y precipitación en cada uno de los escenarios de cambio climático.

$$\text{Producción} = -1418.19 + 0.607589 * \text{Tiempo} + 0.000455657 * \text{Latitud} - 0.0489567 * \text{Altitud} - 4.31196 * \text{Temperatura} + 0.00261911 * \text{Precipitación} + 11.7842 * \text{Hectáreas de café. Ec. 35}$$

#### 4.3.4 Producción bajo los nuevos requerimientos ambientales

##### a. Comparación entre Producción observada y futura

Yaguas (2017) presenta una metodología de superficie de respuesta para la optimización de producción de maíz empleando tres factores: irrigación, nitrógeno y densidad de plantas, como resultado del ANOVA obtuvieron valores de p (>0.05) y valores de F de 21.49, por lo tanto, el modelo propuesto describe adecuadamente la producción al no existir diferencias significativas. Thoai et al. (2018) aplican dos modelos para optimizar ésteres metílicos en el proceso de producción de biodiesel a partir de aceites comestibles, los resultados del ANOVA muestran un valor de p

(<0.0001) y un valor de F de 2318.83 y 828.49 para variables como: temperatura y tiempo de reacción respectivamente, por lo tanto, existe diferencias significativas entre las medias de ambas variables.

Por otro lado, al comparar la producción de café en Intag bajo los 4 escenarios de cambio climático (SSP126, SSP245, SSP370, SSP585) con los datos de producción históricos, se obtuvo la Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24 respectivamente, en donde se puede observar cómo se descompone la varianza de los datos en dos componentes entre grupos y dentro de grupos. Dando un valor superior a la razón F de 97.58, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor a 0.05, existe diferencia significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95 % de confianza. De esta manera se acepta la hipótesis alternativa la cual menciona que el cambio climático afectaría de alguna manera la actividad cafetera en la zona de Intag para los 4 escenarios de cambio climático.

**Tabla 21 . ANOVA para el escenario “SSP126” vs datos históricos de producción**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	6824.23	1	6824.2300	<b>110.36</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	34503.20	558	61.8337		
Total (Corr.)	41327.40	559			

**Tabla 22 . ANOVA para el escenario “SSP245” vs datos históricos de producción**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	6950.79	1	6950.7900	<b>112.17</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	34576.30	558	61.9647		
Total (Corr.)	41527.10	559			

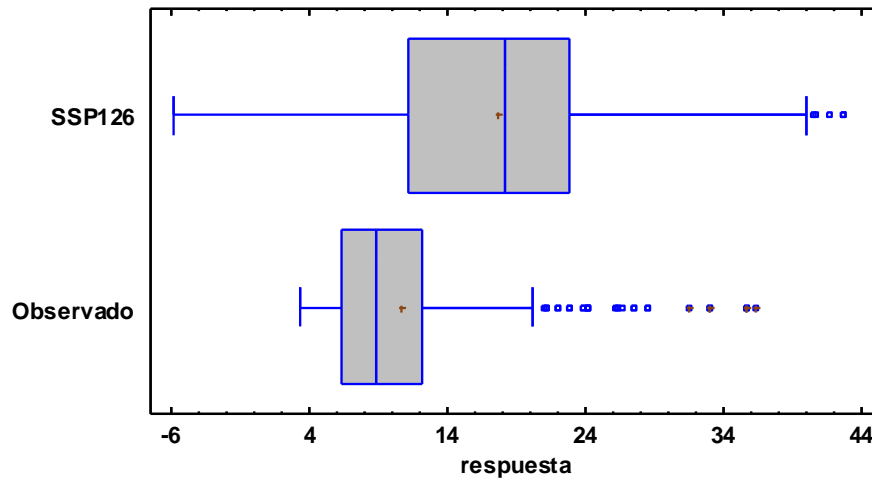
**Tabla 23 . ANOVA del escenario SSP370 vs datos históricos de producción**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	6720.54	1	6720.5400	<b>108.60</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	34530.20	558	61.8821		
Total (Corr.)	41250.80	559			

**Tabla 24 . ANOVA del SSP585 vs datos históricos de producción**

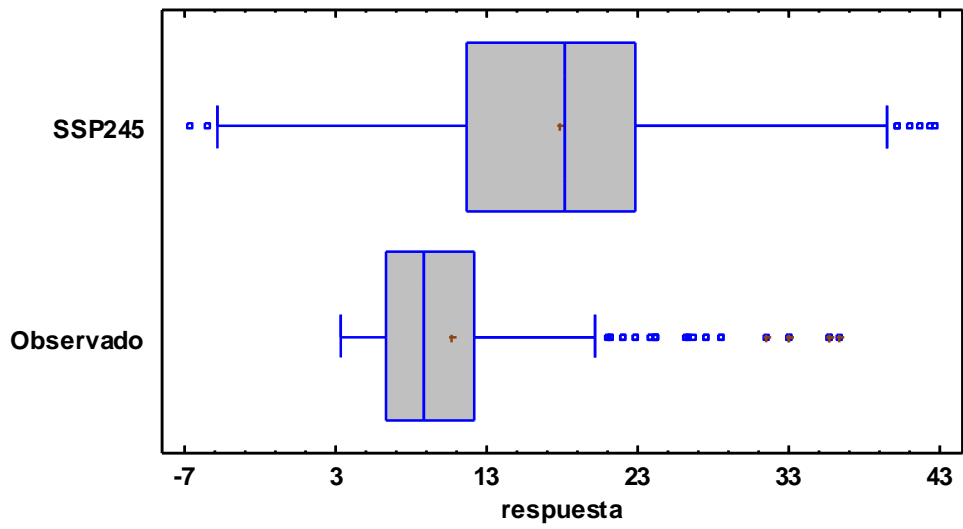
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	6019.15	1	6019.1500	<b>97.58</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	34420.50	558	61.6855		
Total (Corr.)	40439.70	559			

A través de la Figura 32, Figura 33, Figura 34 y Figura 35 para el 95% de confianza, los 4 escenarios de cambio climático afectarían positivamente en la producción de café, pues al ser comparados con los datos observados, se puede evidenciar un incremento en el valor de la producción, sin embargo, la dispersión en los valores de los SSP585 y SSP370 son notablemente mayores a la de los otros escenarios. Resultados similares presentó Talchabhadel (2021), al aplicar modelos para simular la precipitación en Nepal, afirmó en su diagrama de cajas que el SSP585 presenta una mayor desviación en sus datos en comparación con el SSP245.

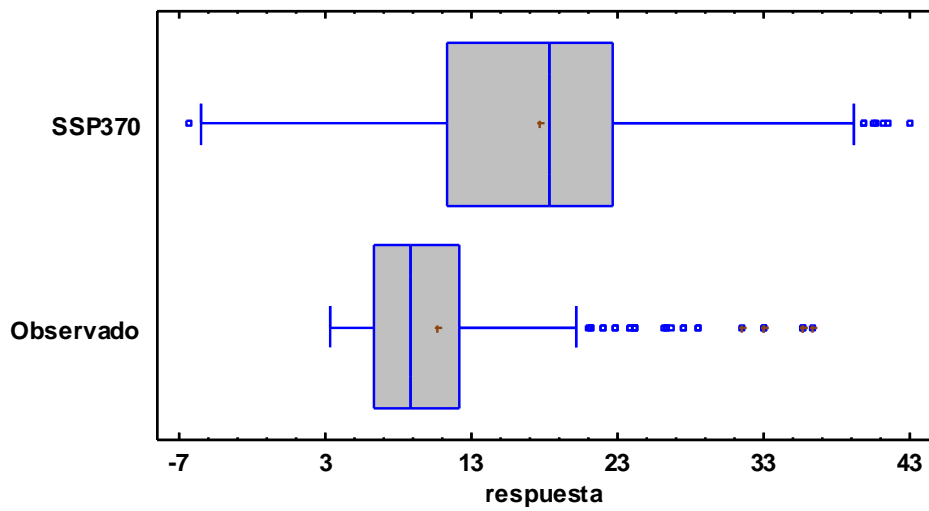


**Figura 32.** Diagrama de Cajas y Bigotes del escenario “SSP126” vs datos históricos de producción

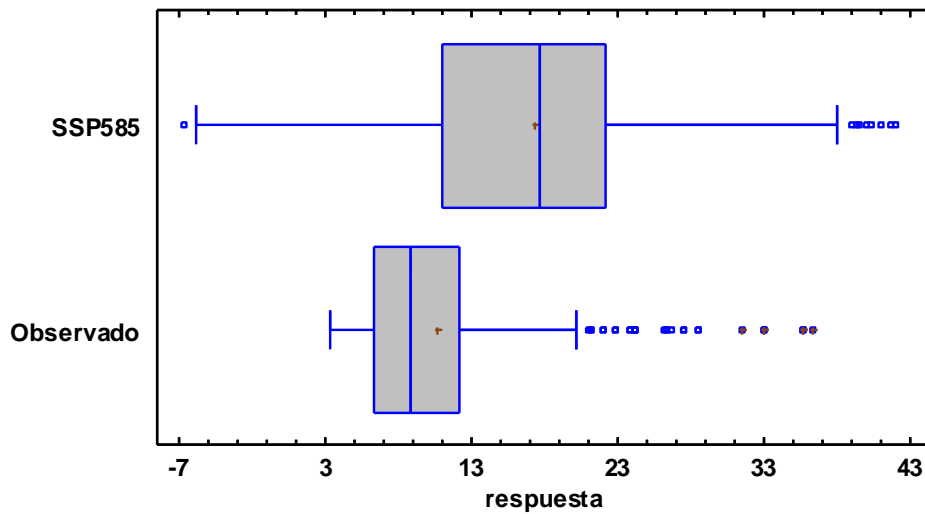




**Figura 33.** Diagrama de Cajas y Bigotes del SSP245 vs datos históricos de producción

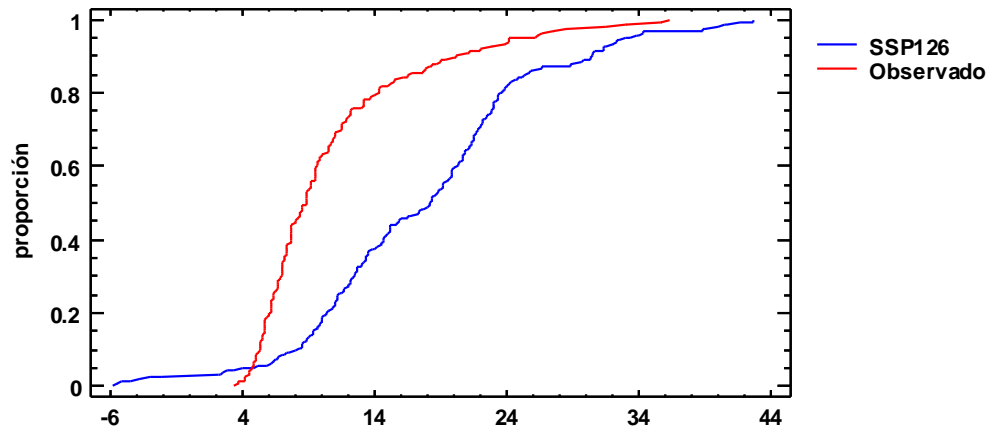


**Figura 34.** Diagrama de Cajas y Bigotes del SSP370 vs datos históricos de producción

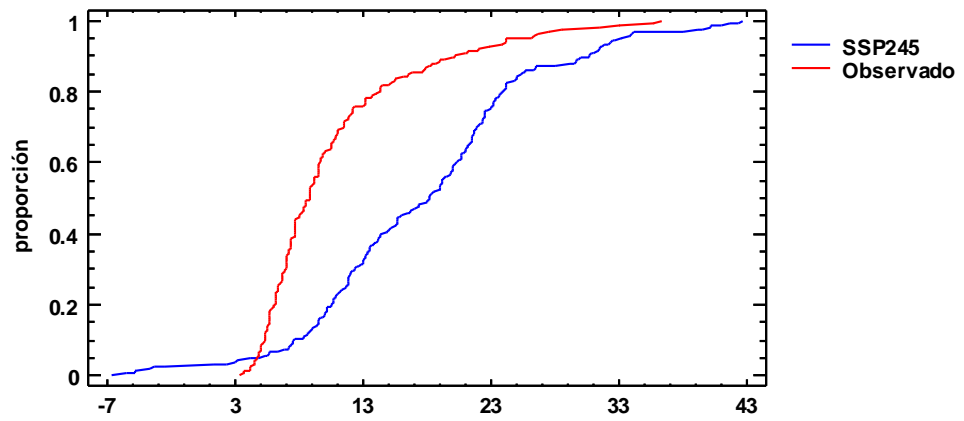


**Figura 35.** Diagrama de Cajas y Bigotes del SSP585 vs datos históricos de producción

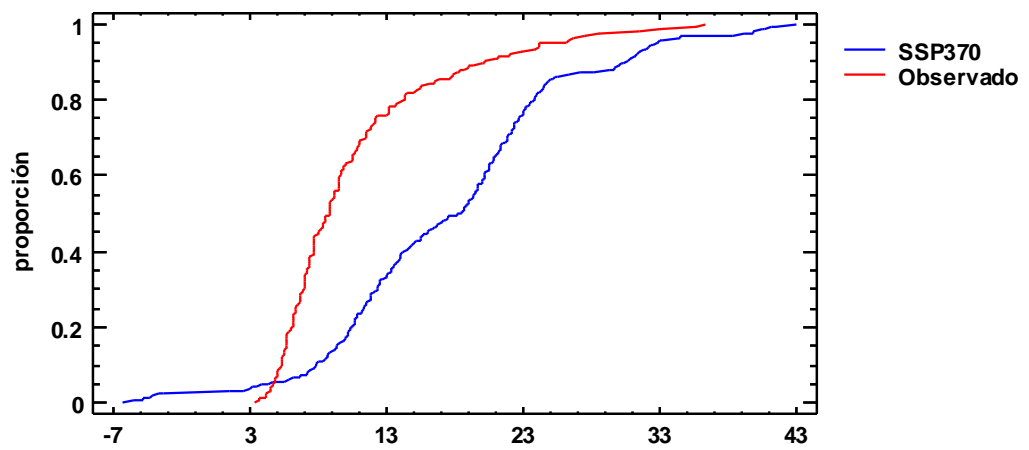
Por otro lado, la Figura 36, Figura 37, Figura 38 y Figura 39 muestran los cambios para la producción futura en los diferentes escenarios de cambio climático, pues se proyectó que este fenómeno aumentaría la producción al indicar diferencia entre sus desviaciones típicas, superando en todos los escenarios al valor observado, en cuantiles de 0.9, sin embargo, existe una reducción para los SSP245, SSP370 y SSP585 con un valor de hasta 0.1 cuantiles en comparación con los datos observados. Iqbal et al. (2022) realizaron un modelo hidrológico para simular extremos de caudal, en su gráfica de cuantiles muestra una reducción de precipitación de -8% para 0.1 cuantiles en el SSP245 y un aumento en un futuro cercano para el SSP375 del 28% en cuantiles altos, como 0.90.



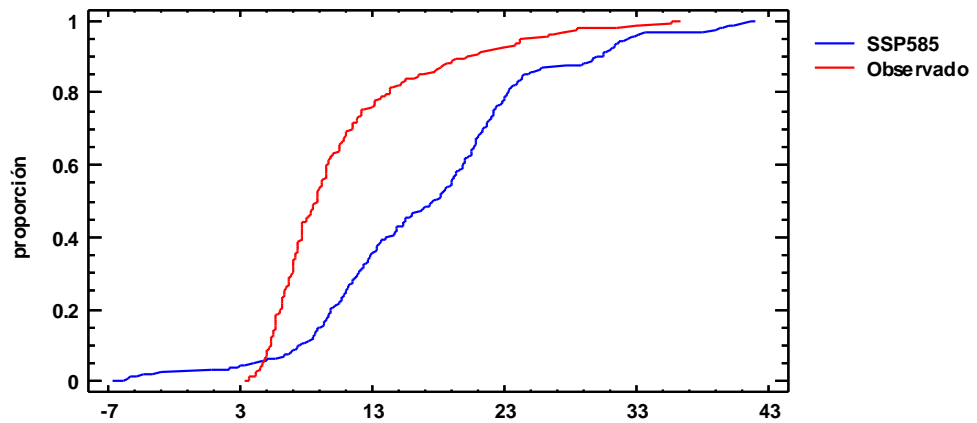
**Figura 36.** Diagramas de Cuantiles del SSP126 vs datos históricos de producción



**Figura 37.** Diagrama de Cuantiles del SSP245 vs datos históricos de producción



**Figura 38.** Diagrama de Cuantiles del SSP370 vs datos históricos de producción



**Figura 39.** Diagrama de Cuantiles del SSP585 vs datos históricos de producción

#### **4.3.5 Producción bajo Nuevos Requerimientos Ambientales**

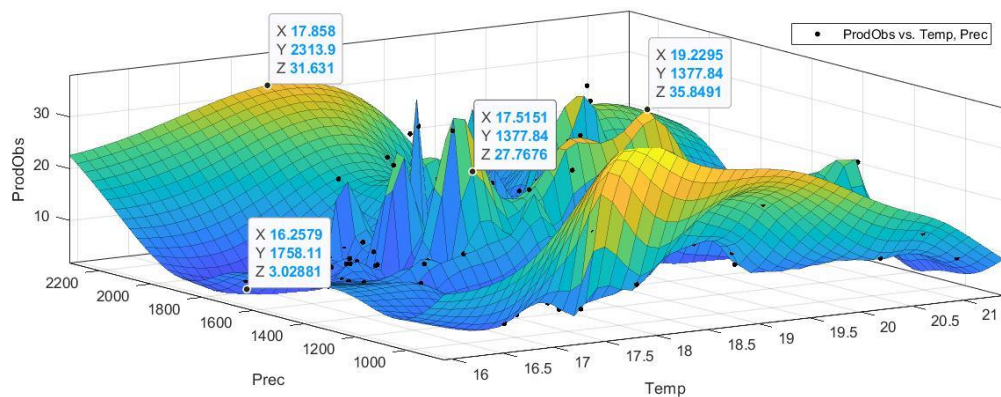
Sosa et al. (2020) identificaron las áreas óptimas para el cultivo de tres especies de pitahayas mediante el GCM (MIROC6) del escenario SSP126, determinando que las variables más significativas del modelo fueron: la temperatura, precipitación y radiación solar, afirmando así que esta especie se puede cultivar en hábitats extensos en Mesoamérica, por ser eficaces en soportar cambios climáticos. Chemura et al. (2021) evaluaron el riesgo cuantitativo del impacto del cambio climático en la idoneidad de cinco especies de café bajo los 4 SSP, determinando que la idoneidad para el SSP370 se mantenga estable, sin embargo, para el SSP126, SSP245 y SSP585, es probable que la idoneidad del cultivo aumente. De igual manera, (Zhang et al., 2021) utilizaron el modelo MaxEnt para analizar el rango de aumento y disminución de *Coffea arabica* bajo el escenario SSP370 en Yunnan-China, afirmando así que la idoneidad de la especie para el periodo 2021-2100 migró hacia la mayor altitud y latitud.

Para determinar el impacto que el cambio climático tendrá en el rendimiento de cereales, Xiao et al. (2021) utilizan 27 GCMS bajo los escenarios SSP245 Y SSP585, estableciendo que, la precipitación aliviará el estrés hídrico aumentando 31.9% en la década del 2040, el aumento de temperaturas adelanta el periodo de crecimiento de los cultivos, la fecha de madurez, la duración de reproducción y el periodo de crecimiento. Gür, (2022) explica que la temperatura y precipitación futura también influyen en *Spermophilus xanthoprimum*, los impactos más leves se observa en SSP126 y SSP245, mientras que en SSP370 y SSP585 las zonas frías se calientan, provocando un impacto negativo en esta especie.

A partir de impactos históricos y futuros del cambio climático Morera et al. (2022) buscan identificar la productividad micorrizas y macrofungos sapotróficos, en donde el RCP 8.5 predice que la productividad total de los hongos disminuirá de manera general y en mayor medida en bosques de *P. uncinata* y *P. sylvestris*. En la Figura 40, 41, 42 y 43 se tiene el modelo de producción de *Coffea arabica* con una interpolación biarmónica de los escenarios SSP126, SSP245,

SSP370 y SSP585 respectivamente, en donde se puede observar que el cambio climático afecta positivamente a la producción de café en Intag.

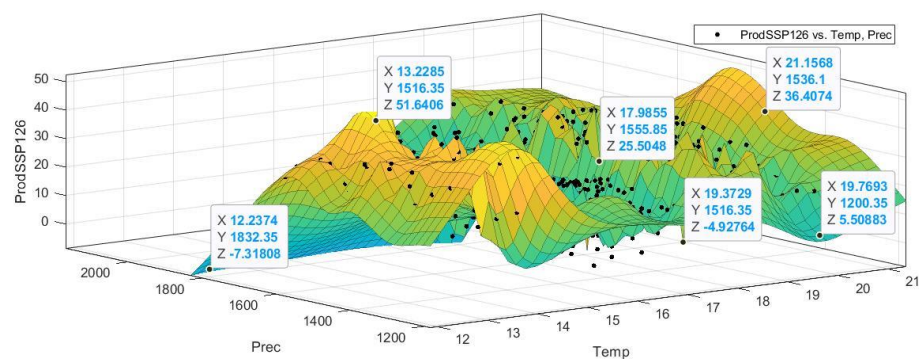
#### 4.3.6 Interpolación biarmónica de producción observada y futura.



**Figura 40.** Modelo de Producción Observada en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura)

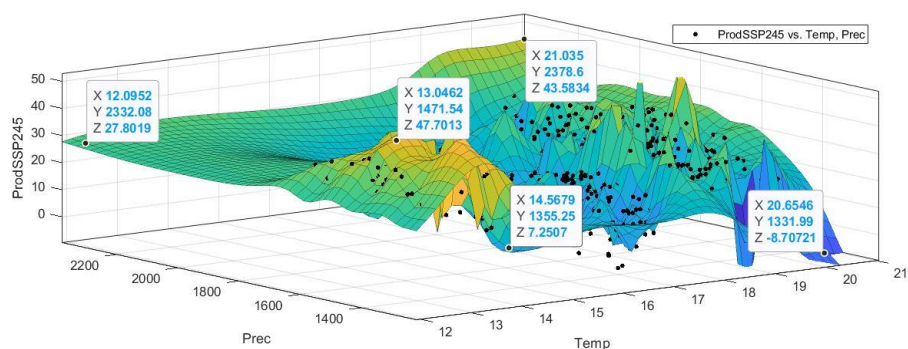
Una vez establecido los valores para producción en cada uno de los escenarios, mediante una interpolación spline biarmónica (IBS) se obtuvo datos suavizados. Hou et al. (2017) explican que este método de ajuste de superficie cuenta con un  $R^2$  de 0.9622, demostrando que el método de superficies 3D tiene mayor precisión de predicción. Sulaiman et al. (2022) expanden sus datos con un ISB a través de la estimación de más valores, en donde la superficie más suave pasa exactamente por los puntos de entrada. Liu et al. (2019) afirman que ISB tomó el resultado de la muestra como condición límite y construye la hipersuperficie en el espacio variable, con un  $R^2$  de 0.8958 y RMSE de 0.1382.

En la Figura 40 se puede apreciar como la temperatura tiene un rango de 16-21 °C, la precipitación es de 1000-2200 mm/año y producción de 0-30 qq/ha, el color amarillo de las curvas representa el lugar más apto para producción en función de su temperatura y precipitación.



**Figura 41.** Modelo de Producción en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura) del SSP126

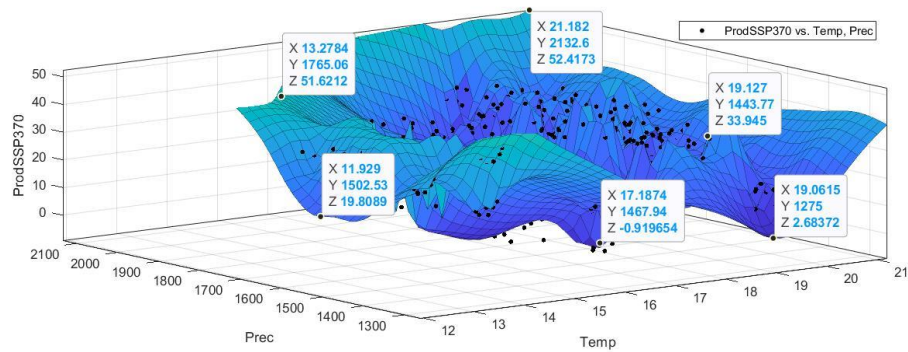
Con los datos meteorológicos regionalizados del SSP126, se obtuvo que los modelos de INM.CM5.0, KACE.1.0.G y CMCC.CM2.SR5 se adaptaron mejor a la zona. La Figura 41 muestra la predicción para producción de *Coffea arabica* para el 2040 en donde la temperatura tiene un rango de 12-21 °C, mientras que la precipitación entre 1200-2000 mm/año y para producción 0-50 qq/ha. Cuando se alcanza una sostenibilidad tomando un camino verde, claramente se observa que la producción de café puede darse a diferentes temperatura y precipitaciones.



**Figura 42.** Modelo de Producción en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura) del SSP245

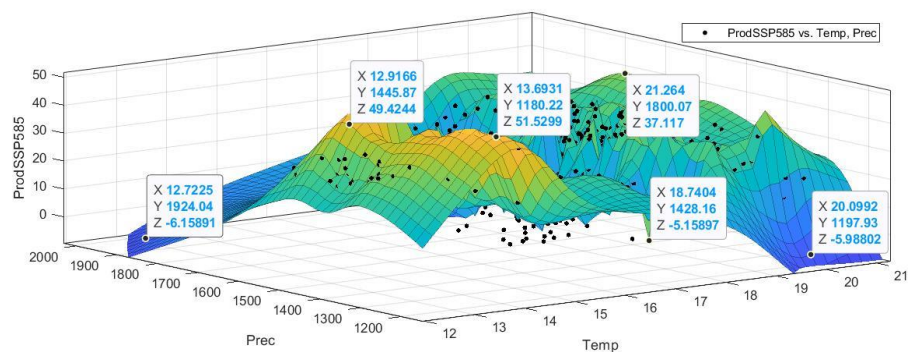
Para este escenario INM.CM5.0, MIROC.ES2L Y KACE.1.0.G tuvieron mayor peso en el ACP es por esto que la Figura 42 explica la producción en función

del SSP245, en donde la temperatura tiene un rango entre 12-21 °C, la precipitación entre 1400-2200 mm/año y la producción 0-50 qq/ha. Siendo los sitios con temperaturas 18-20 °C y precipitaciones < 1400 mm/año los cuales tendrán problemas en su producción.



**Figura 43.** Modelo de Producción en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura) del SSP370

La Figura 43 explica la producción en función del SSP370, en donde la temperatura tiene un rango entre 12-21 °C, la precipitación entre 1300-2200 mm/año y la producción 0-50 qq/ha. Así como se tiene lugares en donde la producción será de 51.6212 qq/ha también existen lugares en donde la producción será negativa. Los GCM que ayudaron a determinar los rangos para este modelo de producción 3D fueron INM.CM5.0 y MIROC.ES2L.



**Figura 44.** Modelo de Producción en 3D (Producción vs Precipitación vs Temperatura) del SSP585



La Figura 44 muestra datos suavizados, en donde temperatura tiene un rango entre 12-21 °C, la precipitación entre 1200-2000 mm/año y para producción 0-50 qq/ha. Siendo los sitios con temperaturas 19-21 °C y precipitaciones < 1200 mm/año los cuales tendrán problemas con su producción. Además, claramente se observa como lugares que en 2018 tenían buena producción de café para el 2040 ya no se tendrán. Los rangos fueron establecidos por CanESM5CanOE, INME.CM5.0, MRI.ESM2.0, KACE.1.0.G y MIROC.ES2L para SSP585.

#### **4.4 Socialización de los Resultados Obtenidos a los Productores de Intag**

##### ***4.4.1 Materiales de Socialización***

Aguiar & Cruz (2018) afirma que los folletos informativos con explicaciones sencillas de conceptos y resultados han ampliado su impacto en estrategias e iniciativas nacionales y locales de adaptación al cambio climático. Según Boza et al. (2021) la aplicación de folletos y archivos multimedia para la socialización de proyectos de investigación son muy importantes para la toma de decisiones y la solución de problemas en una localidad a mediano y largo plazo. Además, según (Marques & Reis, 2017) la producción y difusión de videos digitales puede utilizarse como una actividad de enseñanza y particularmente de aprendizaje enfocados en problemáticas ambientales.

Debido a esto, en las siguientes páginas se puede observar el folleto informativo realizado con una extensión de 16 hojas, las mismas que cuentan con los resultados de los escenarios de cambio climático y con las imágenes del modelo de producción de café para cada SSP.



# **EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DEL CAFÉ (*Coffea arabica*) AL 2040 EN COTACACHI - ECUADOR**



**Elaborado por:**

*Byron Raúl Burbano Cushicahua*

*Anderson Sebastián Flores Chiriboga*

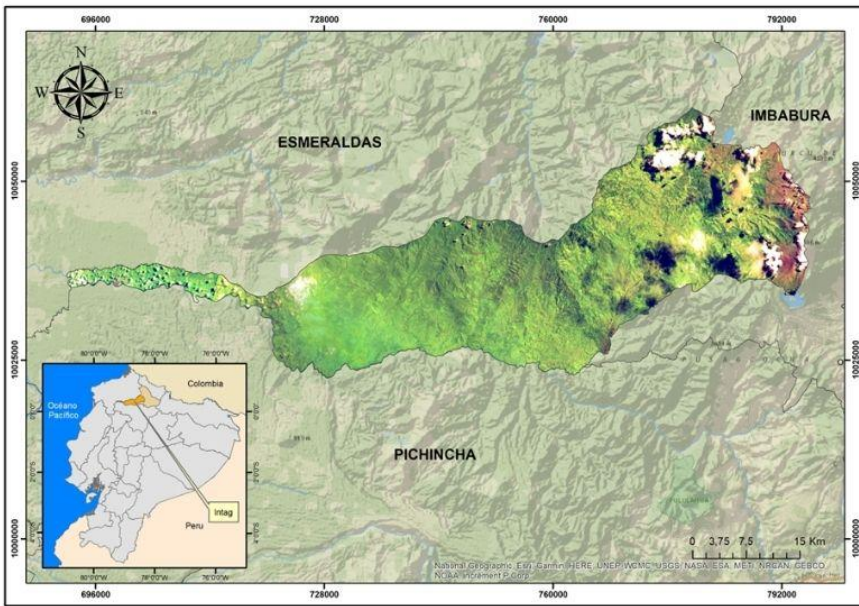
**Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables**  
**Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA)**  
**Universidad Técnica del Norte**  
**Ibarra-2022**

Esta publicación se hace en el marco del Trabajo de Investigación "Evaluación del Cambio Climático en la Producción del Café (*Coffea arabica* L.) al 2040 en Cotacachi-Ecuador.

# ÍNDICE

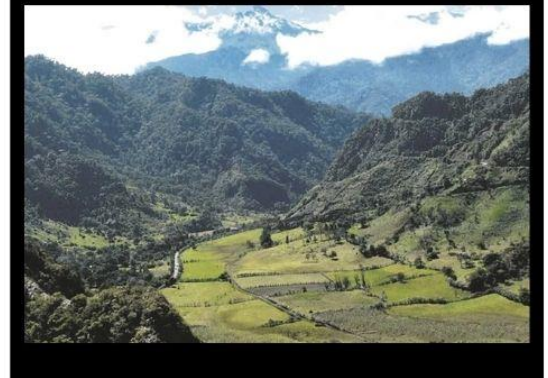
1.	Área de estudio y cambio climático	4
2.	Escenarios de Cambio Climático (SSP)	5
2.1	Escenario Optimista y Moderado	5
2.2	Escenario Pesimista y Trágico	6
3.	Condiciones Ambientales del Cultivo de Café	7
4.	Datos Observados de Temperatura y Precipitación - 2011	8
5.	Escenarios de Cambio Climático de Temperatura - 2040	9
5.1	Escenario Optimista y Moderado de Temperatura - 2040	9
5.2	Escenario Pesimista y Trágico de Temperatura - 2040	10
6.	Escenarios de Cambio Climático de Precipitación - 2040	11
6.1	Escenario Optimista y Moderado de Precipitación - 2040	11
6.2	Escenario Pesimista y Trágico de Precipitación - 2040	12
7.	Modelo de Producción en base a los Escenarios de Cambio Climático	13
7.1	Modelo de Producción para los Escenarios Optimista y Moderado	13
7.2	Modelo de Producción para los Escenarios Pesimista y Trágico	14
8.	<b>Referencias</b>	15

# ÁREA DE ESTUDIO



Intag se ubica al occidente de la provincia de Imbabura, norte de Ecuador, en un valle subtropical que conforman las cuencas del Río Intag y parte del Río Guayllabamba, su altitud varía entre los 1 200 msnm hasta los 2900 msnm (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Santa Ana de Cotacachi 2015-2035, 2015).

El territorio Intag cuenta con dos regiones de alta biodiversidad: el Chocó y los Andes tropicales. Por esta razón, se tiene un elevado endemismo y la abundancia de especies en peligro de extinción, convierten a esta área en una de las más importantes del planeta.



## CAMBIO CLIMÁTICO

### ¿QUÉ SUCEDERÁ?

Se prevé que el cambio climático a nivel mundial producirá temperaturas extremas, inundaciones y escasez de agua, pues, la acción humana ha provocado un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), afectando significativamente al desarrollo de la flora y fauna, disminuyendo la tasa de crecimiento de la producción agrícola.

Un claro ejemplo de este problema, se presenta en el cultivo de café en la Zona de Intag. Este sector no cuenta con información pertinente acerca de cómo el cambio climático afectará a la zona agrícola.

# ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO (SSP)

El presente trabajo de investigación utilizó cuatro escenarios de cambio climático. A continuación, se explica brevemente cada uno de ellos:

- SSP126. Este escenario optimista, asume que existe un modelo económico "sustentable" y bajo crecimiento de la población.



- SSP245. Escenario moderado, en algunas zonas ya se pueden ver los efectos del cambio climático.



# ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO (SSP)

- SSP370. Considerado el escenario pesimista, en algunas zonas ya se pueden ver desastres provocados por el cambio climático.



- SSP585. Se puede entender como el escenario más trágico, debido a un consumo excesivo de combustibles fósiles y carbón.



---

# CONDICIONES AMBIENTALES DEL CULTIVO DE CAFÉ

---

El desarrollo adecuado de *Coffea arabica* comprende de dos factores importantes: la precipitación media anual que necesita este recurso es de 1 800 a 2 000 mm con un período de sequía para iniciar la floración. Si el cultivo recibe precipitaciones mayores a 3 000 mm tiene un deterioro en sus características organolépticas, además se recomienda tener un promedio de humedad relativa de 70 a 95 %, ya que esto ayudará a mejorar la calidad del producto.

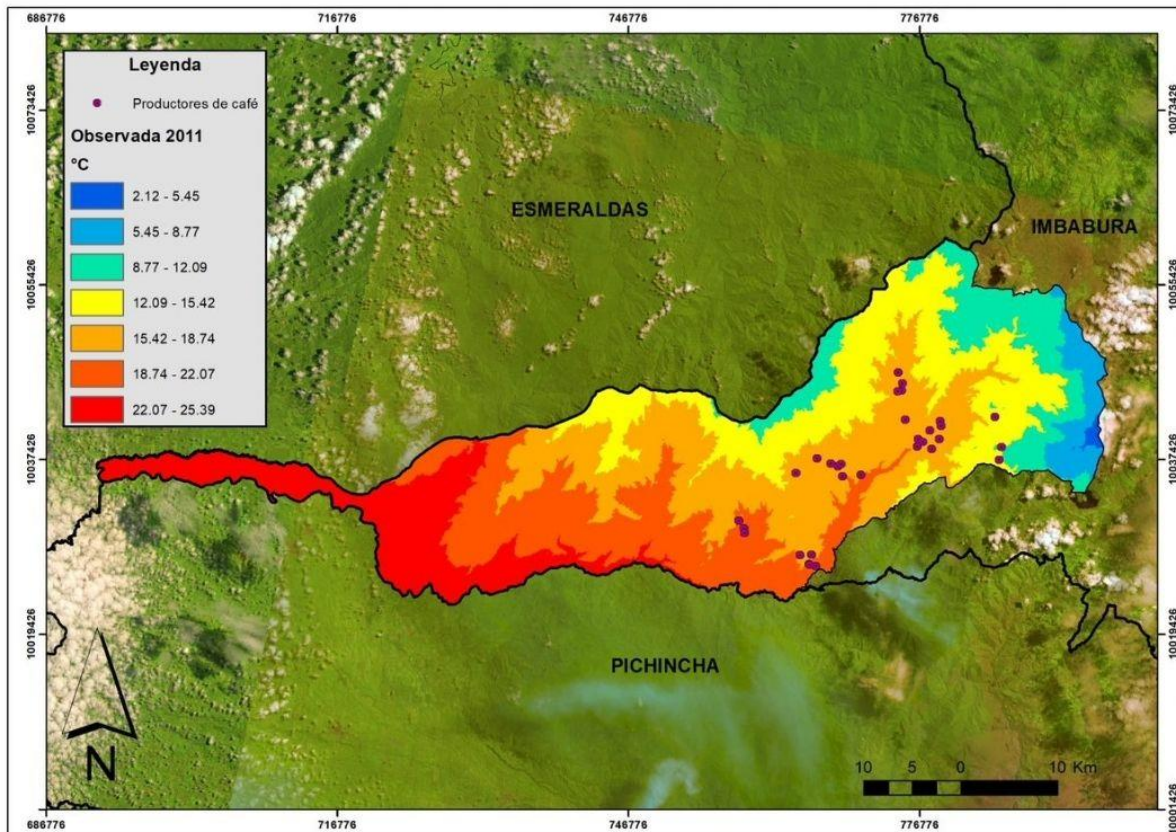
Por otro lado, la temperatura adecuada oscila entre 17 y 21 °C, no se deben superar o disminuir debido a que pueden marchitar los botones florales, de igual manera, la altitud es esencial, ya que se recomienda ubicar al cultivo entre los 1 000 y 2 000 msnm, pues, se tendrá un café de calidad con buen sabor, aroma, cuerpo y acidez.



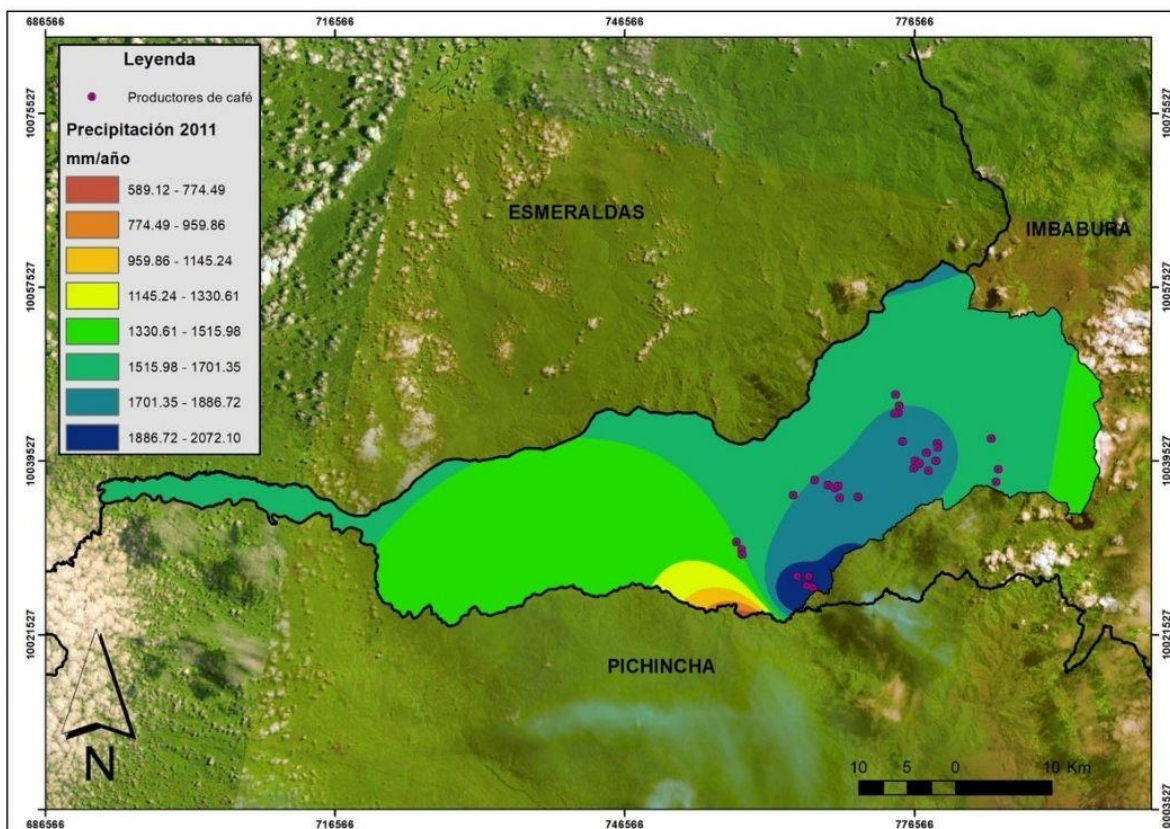


# ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

## DATOS OBSERVADOS DE TEMPERATURA - 2011

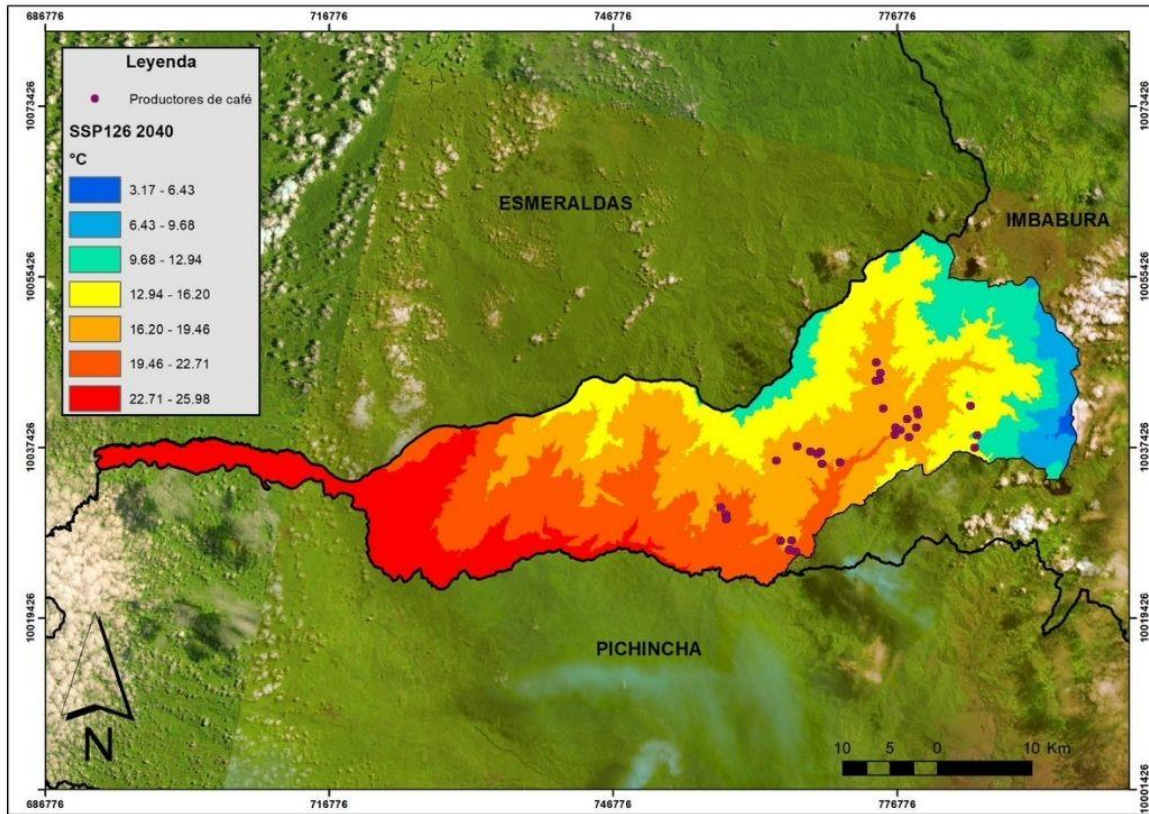


## DATOS OBSERVADOS DE PRECIPITACIÓN - 2011

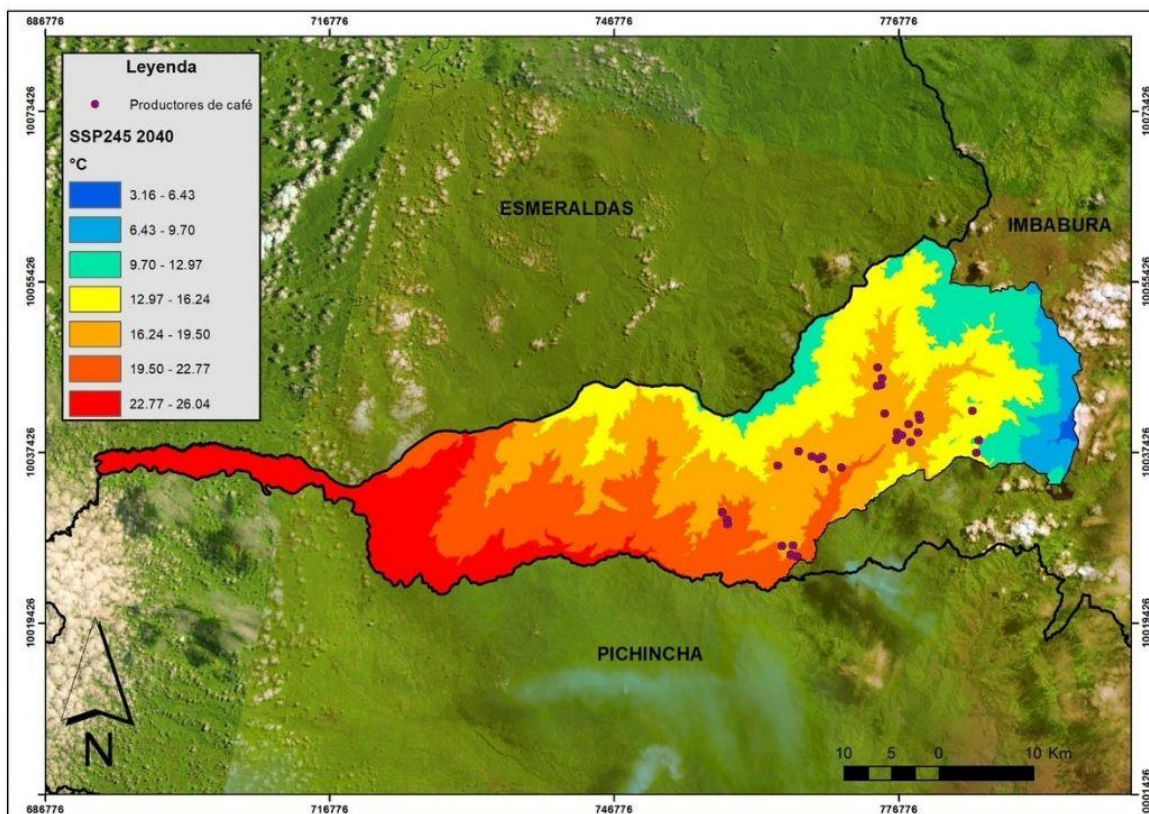


# ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE TEMPERATURA - 2040

## ESCENARIO OPTIMISTA - SSP126

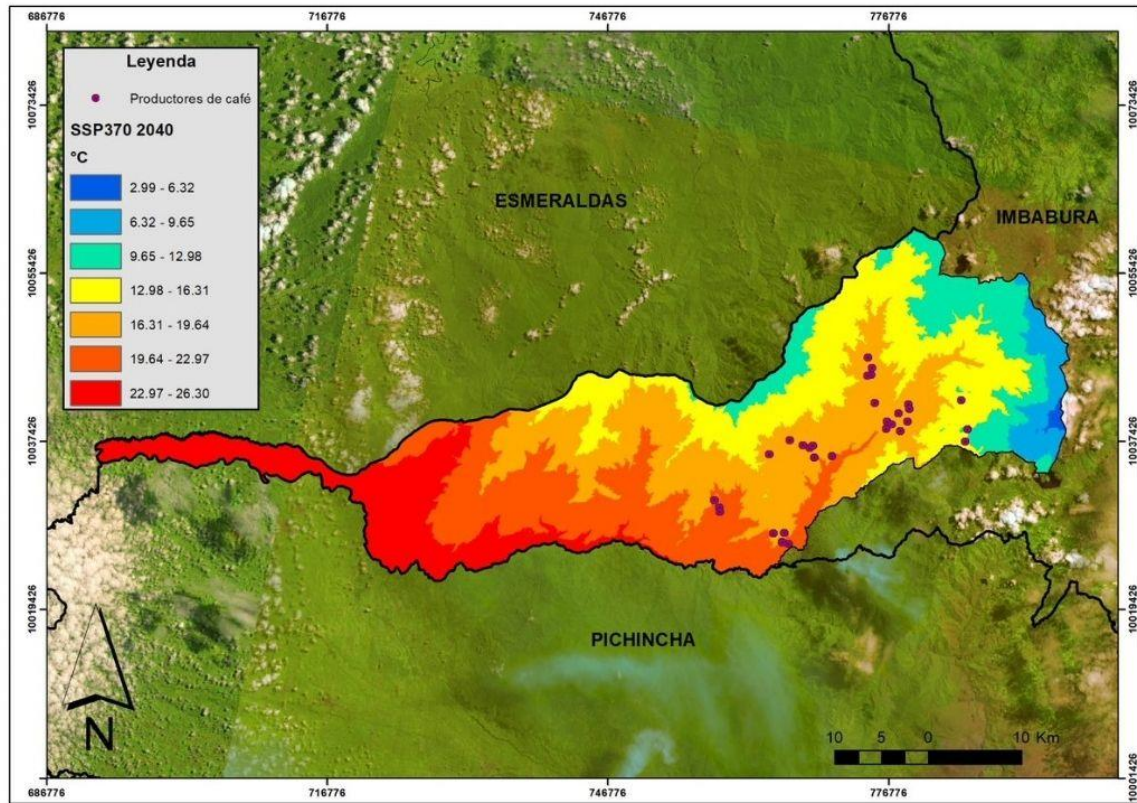


## ESCENARIO MODERADO - SSP245

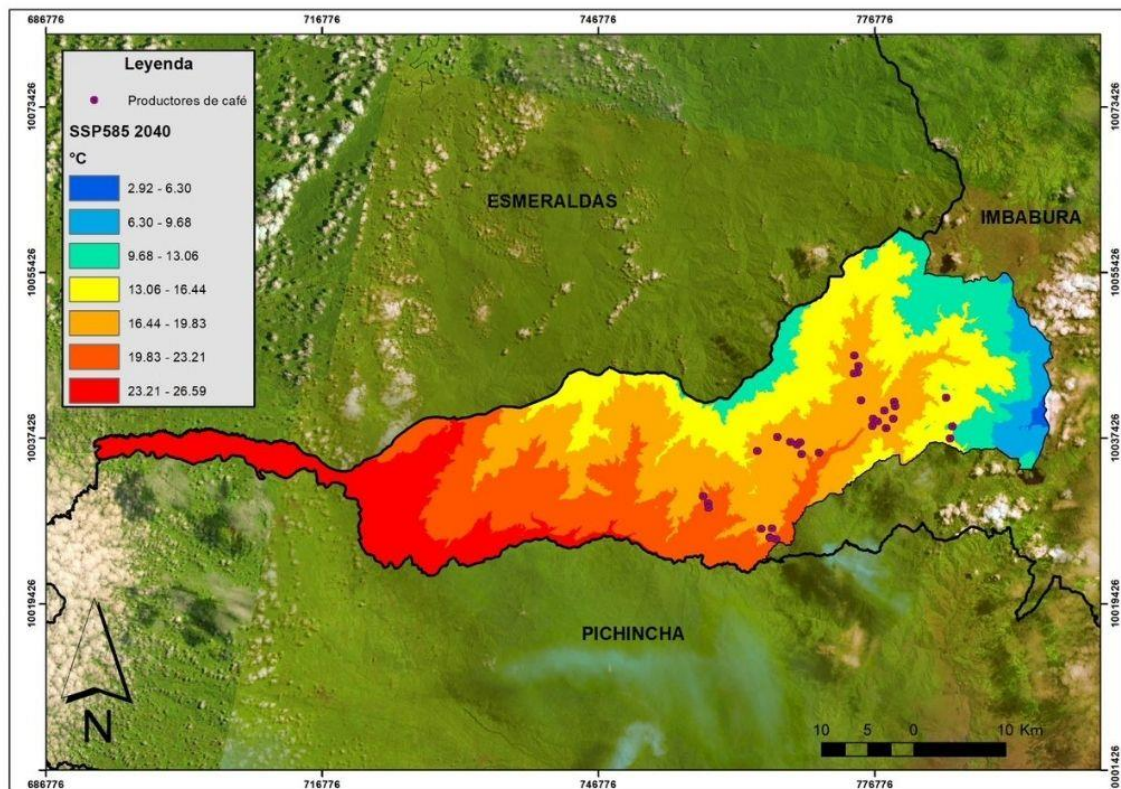


# ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE TEMPERATURA - 2040

## ESCENARIO PESIMISTA - SSP370

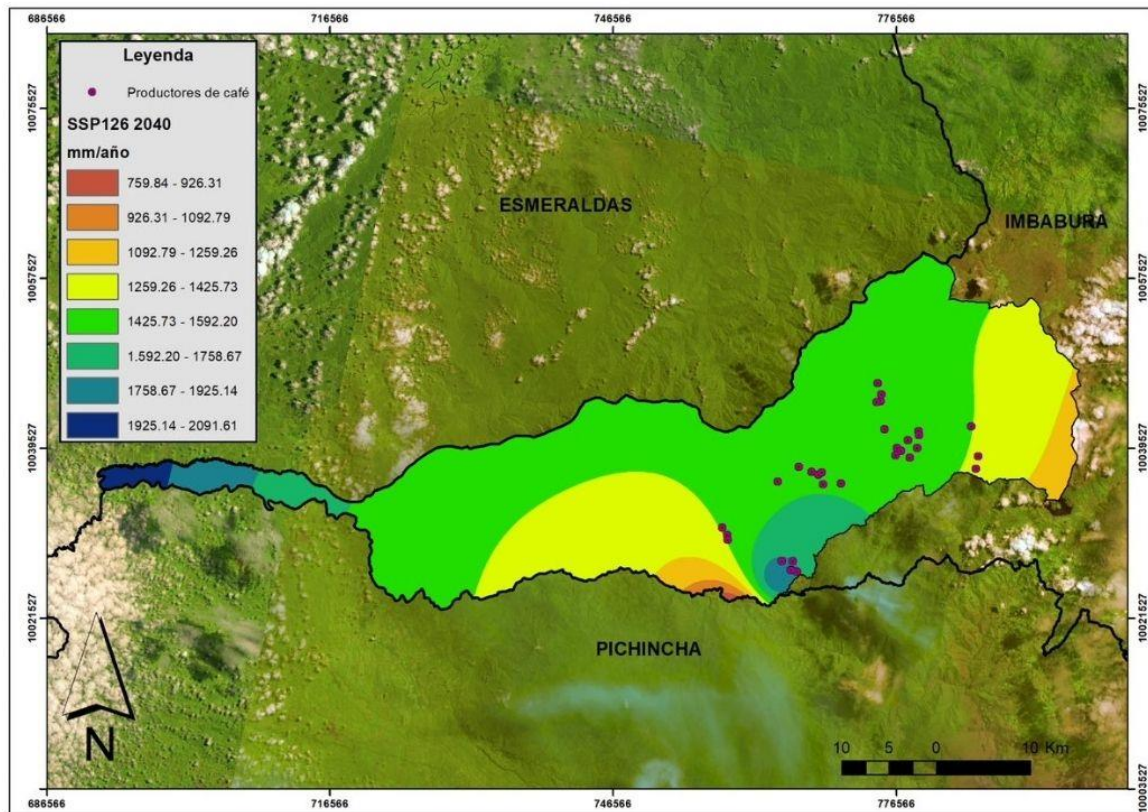


## ESCENARIO TRÁGICO - SSP585

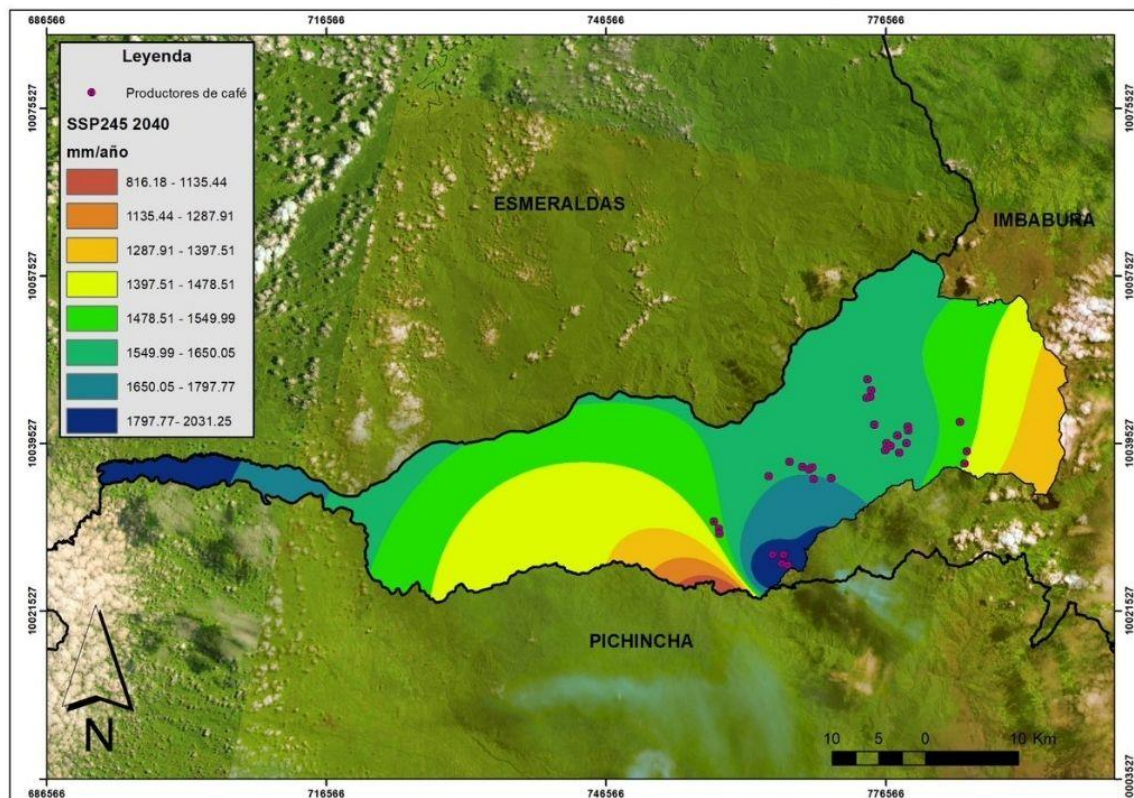


# ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE PRECIPITACIÓN - 2040

## ESCENARIO OPTIMISTA - SSP126

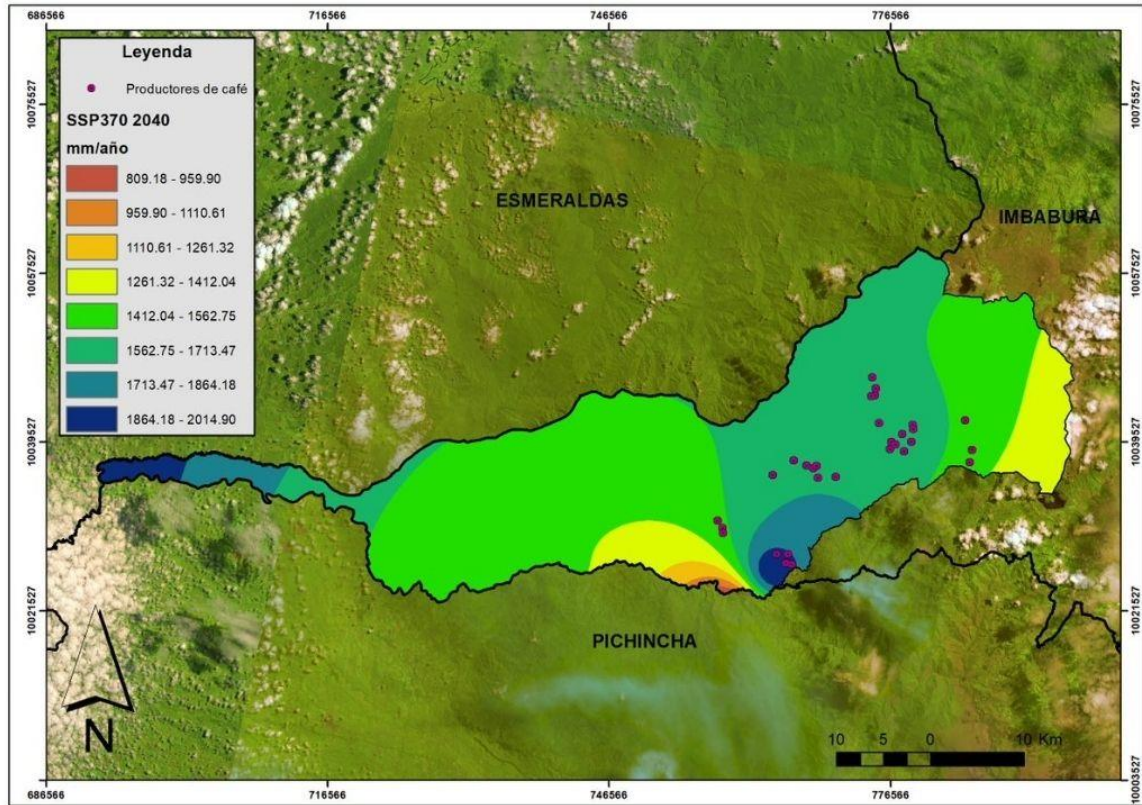


## ESCENARIO MODERADO - SSP245

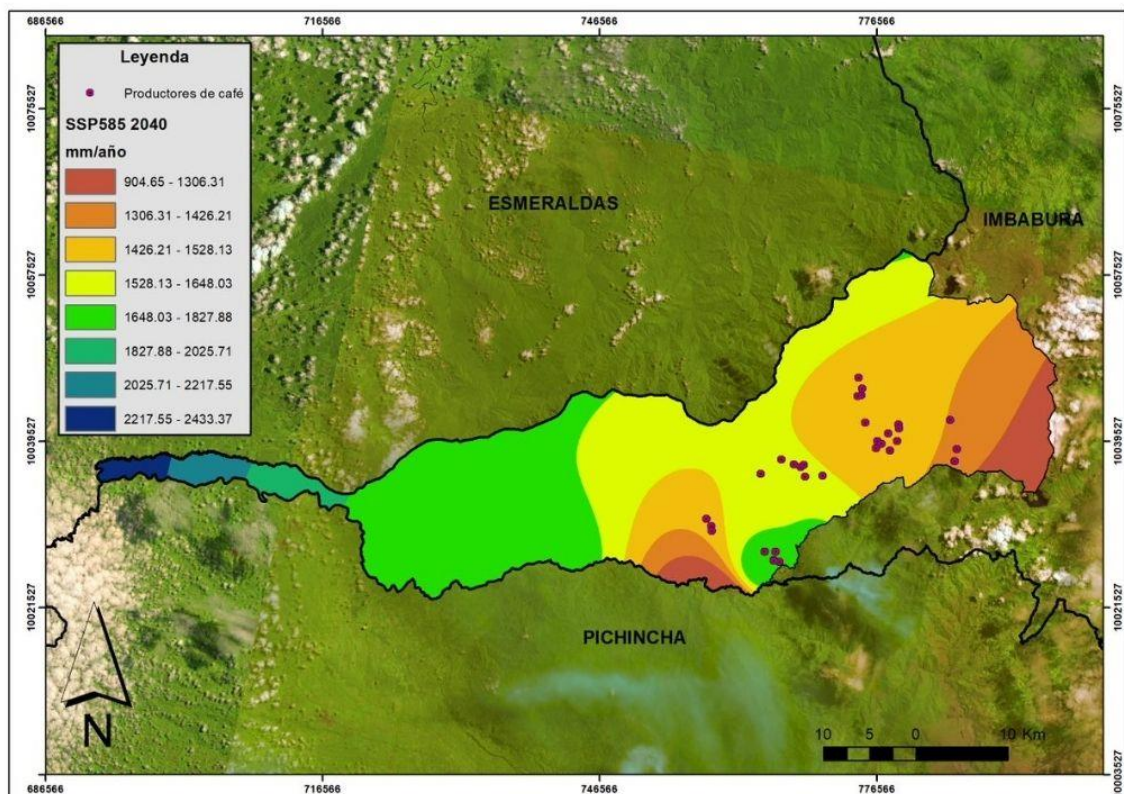


# ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE PRECIPITACIÓN - 2040

## ESCENARIO PESIMISTA - SSP370



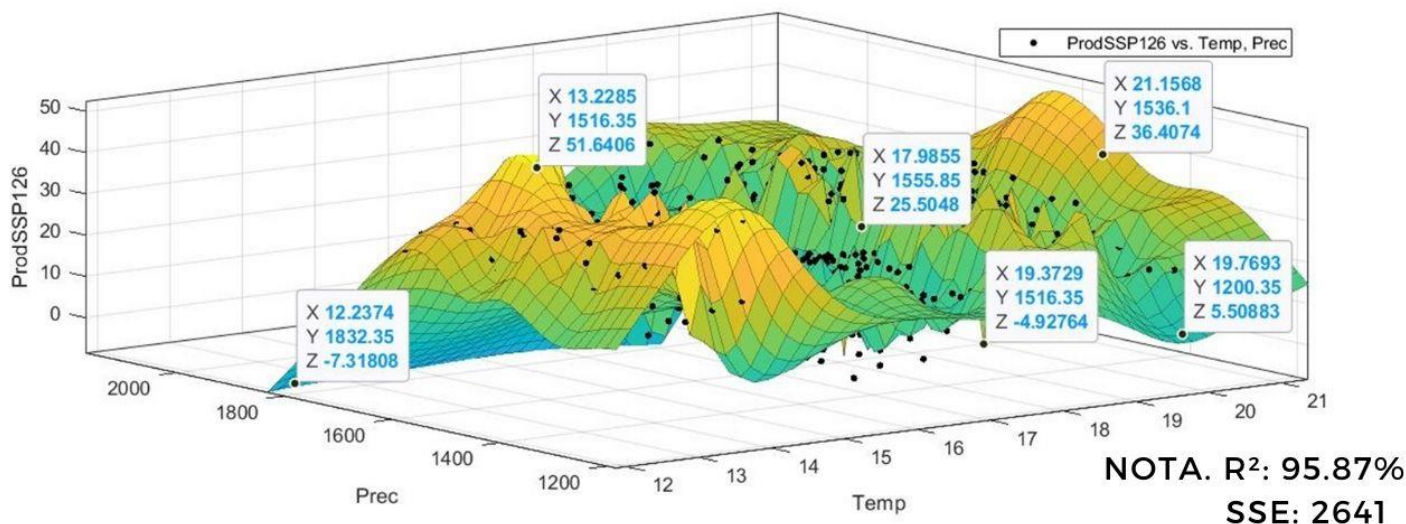
## ESCENARIO TRÁGICO - SSP585



# MODELOS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN BASE A LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

En las siguientes Figuras se puede observar el modelo de producción de *Coffea arabica* de los escenarios Optimista, Moderado, Pesimista y Trágico, en donde se puede observar que el cambio climático afecta positivamente a la producción de café en Intag. Para que el modelo tenga una mejor optimización en su resultado, se aplicó una interpolación biarmónica dando como resultado un % de efectividad del modelo del: 95.87%, 95.88% , 95.86% y 95.76% respectivamente.

## ESCENARIO OPTIMISTA - SSP126

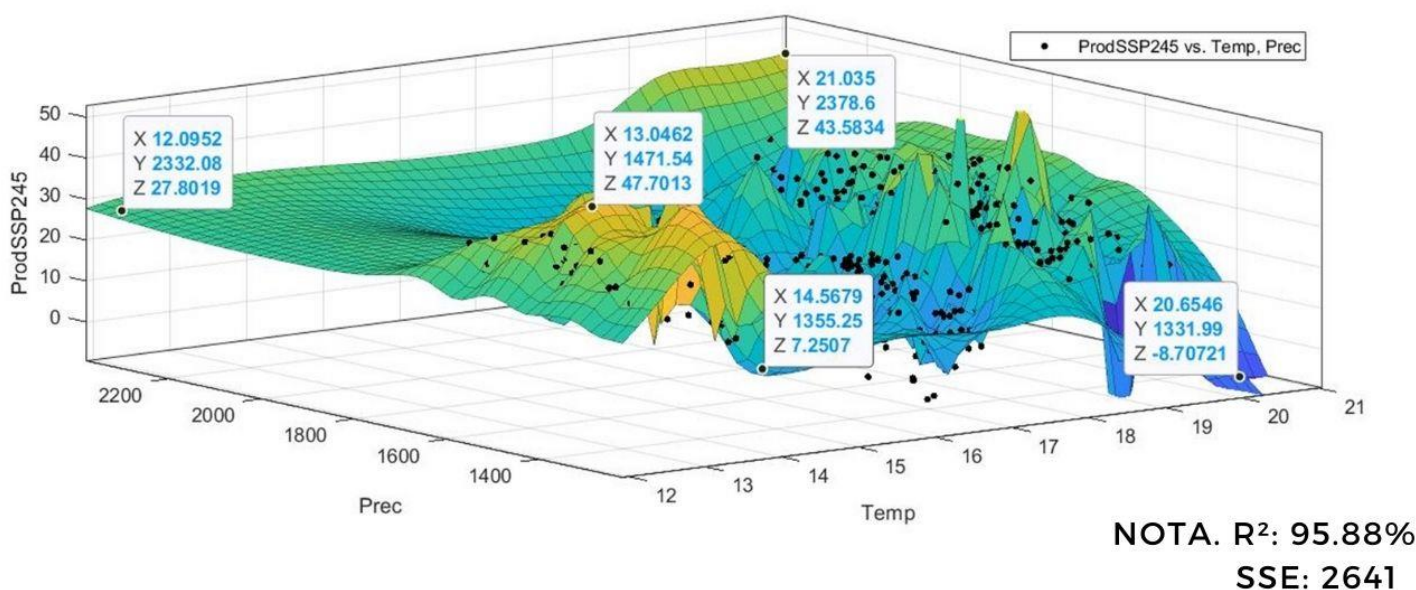


Rango de Temperatura: 12 - 21 °C

Rango de Precipitación: 1200 - 2000 mm

Donde: X= Temperatura, Y= Precipitación y Z= Producción (qq/ha)

## ESCENARIO MODERADO - SSP245



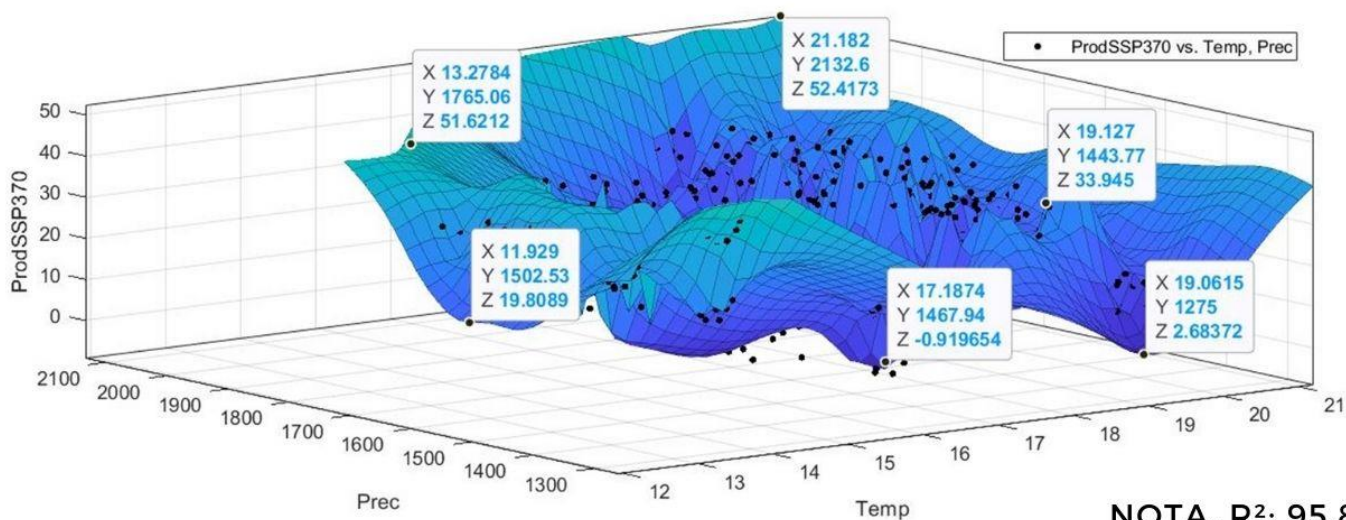
Rango de Temperatura: 12 - 21 °C

Rango de Precipitación: 1400 - 2200 mm

Donde: X= Temperatura, Y= Precipitación y Z= Producción (qq/ha)

# MODELOS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN BASE A LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

## ESCENARIO PESIMISTA - SSP370



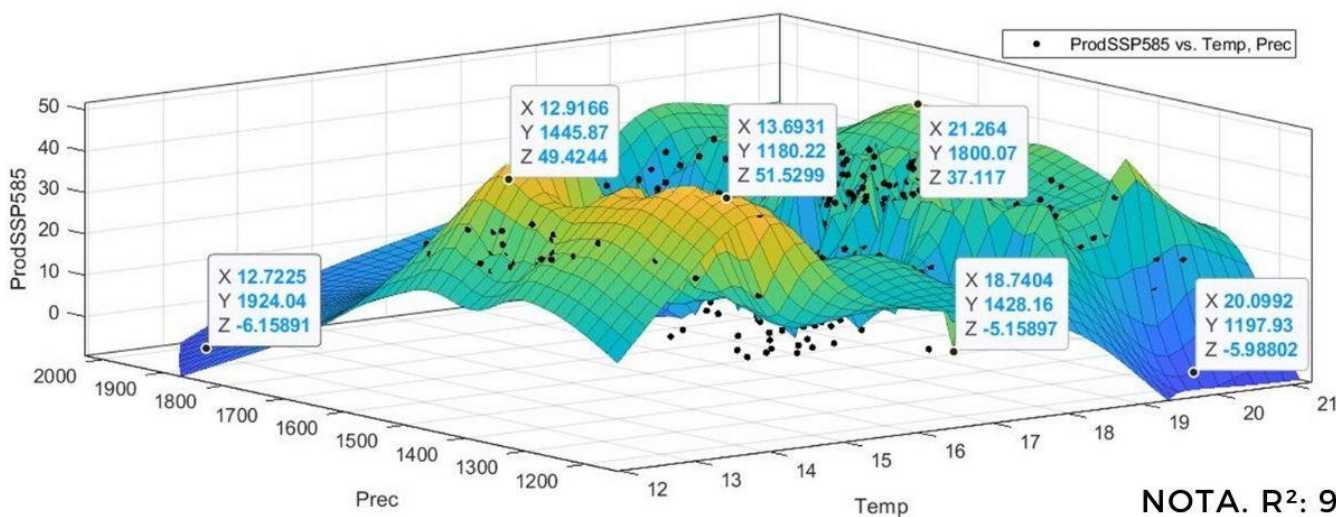
NOTA. R<sup>2</sup>: 95.87%  
SSE: 2641

Rango de Temperatura: 12 - 21 °C

Rango de Precipitación: 1300 - 2100 mm

Donde: X= Temperatura, Y= Precipitación y Z= Producción (qq/ha)

## ESCENARIO TRÁGICO - SSP585



NOTA. R<sup>2</sup>: 95.76%  
SSE: 2641

Rango de Temperatura: 12 - 21 °C

Rango de Precipitación: 1200 - 2000 mm

Donde: X= Temperatura, Y= Precipitación y Z= Producción (qq/ha)

## REFERENCIAS

---

- Armenta, E., Villa, L., & Jácome, P. (2016). PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PARA ECUADOR, BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.
- Armenta, G., Delgado, J., & Ruiz, J. (2015). Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100. In Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (Vol. 6, Issue 31).
- Armenta, G., Villa, J., & Jácome, P. (2016). Proyecciones Climáticas de Precipitación y Temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de cambio climático.
- Arunrat, N., Sereenonchai, S., Chaowiwat, W., & Wang, C. (2022). Climate change impact on major crop yield and water footprint under CMIP6 climate projections in repeated drought and flood areas in Thailand. *Science of the Total Environment*, 807, 150741. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150741>
- Bağçacı, S. Ç., Yucel, I., Duzenli, E., & Yilmaz, M. T. (2021). Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576>
- Bian, G., Zhang, J., Chen, J., Song, M., & He, R. (2021). Projecting Hydrological Responses to Climate Change Using CMIP6 Climate Scenarios for the Upper Huai River, China. *Frontiers in Environmental Science*, 9(December), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.759547>
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1–2), 89–101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Cabrera, G., Zanazzi, J. F., Zanazzi, J. L., & Boaglio, L. (2017). Comparación de potencias en pruebas estadísticas de normalidad, con datos escasos. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 4(2), 47–52.
- Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., & Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 168–181. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>
- Diouf, S., Dème, H., Dème, A., & Hadji Dème, E. (2022). Imputation methods for missing values: the case of Senegalese meteorological data. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03565166>
- Echevarría, R. (2020). Apuntes de MATLAB orientados a métodos numéricos elementales. 43.
- Eduardo, G., Porras, A., Luis, J., Cedeño, V., & Jácome, P. S. (2016). PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PARA ECUADOR, BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.



## REFERENCIAS

---

- Fan, X., Duan, Q., Shen, C., Wu, Y., & Xing, C. (2020). Global surface air temperatures in CMIP6: Historical performance and future changes. *Environmental Research Letters*, 15(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb051>
- García, M., Solórzano, E., & Macas, L. (2022). Modelado matemático para la predicción de biomasa residual del café. *Revista de Investigación Talentos*, 9(1), 33–44. <https://doi.org/10.33789/talentos.9.1.159>
- Haro, S., Lema, L., Meneses, A., & Escudero, A. (2020). Determinación del comportamiento meteorológico del viento en la provincia de Chimborazo Ecuador. 1.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2018). Anuario Meteorológico.
- Jiménez, E., & Cifuentes, J. (2018). COMPENDIO DE ARTICULOS- Instrumentacion, Ingeniería Mecanica [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12435.78880>
- Lawal, I. M., Bertram, D., White, C. J., Jagaba, A. H., Hassan, I., & Shuaibu, A. (2021). Multi-criteria performance evaluation of gridded precipitation and temperature products in data-sparse regions. *Atmosphere*, 12(12), 1–27. <https://doi.org/10.3390/atmos12121597>
- MacDonald, G. (2020). Climate, Capital, Conflict: Geographies of Success or Failure in the Twenty-First Century. *Annals of the American Association of Geographers*, 110(6), 9–13. <https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1800300>
- Olguin López, J. L., Chávez-De La Lima, J. D., Guevara-Gutiérrez, R. D., Mancilla-Villa, Ó. R., Palomera-García, C., & Cruz-Sandoval, G. (2021). Consistencia, homogeneidad y distribución de la precipitación pluvial y temperatura, Región Sierra de Amula, Jalisco, México. *Revista Geográfica de América Central*, 1(68), 357–382. <https://doi.org/10.15359/rgac.68-1.13>
- Rivas, J., Perea, J. M., de Pablos Heredero, C., Angon, E., Barba, C., & García, A. (2019). Canonical correlation of technological innovation and performance in sheep's dairy farms: Selection of a set of indicators. *Agricultural Systems*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102665>
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2019). Sector Cafetero Ecuatoriano: Panorama general. *Universidad Técnica de Ambato*, 1–4.
- Wang, B., Jin, C., & Liu, J. (2020). Understanding Future Change of Global Monsoons Projected by CMIP6 Models. *Journal of Climate*, 33(15), 6471–6489. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0993.1>



Adicional a esto, se elaboró un video y un resumen extendido como se observa en la Figura 45 y Figura 46 respectivamente, para que los actores clave puedan evidenciar de manera didáctica el impacto que tendrá el cambio climático en sus cultivos, específicamente el de *Coffea arabica*, ilustrando de igual manera mediante los modelos en 3D que en todos los escenarios la producción de café aumentará, beneficiando a los pequeños y medianos productores de la zona de estudio.



**Figura 45.** Video para la socialización de resultados

#### EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE *Coffea arabica L.* AL 2040 EN INTAG

(Burbano, B.) (Flores, A.) (Guamán, J) (Oña, T) (Basantes, F)

brburbanoc@utn.edu.ec  
asflores@utn.edu.ec

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

##### 1. Resumen

El cambio climático afectaría de manera significativa a la producción de alimento, puesto que, las variables que influyen en el desarrollo de una planta cambiarían radicalmente, provocando así efectos negativos en la seguridad alimentaria mundial. Es por esto que se pretende evaluar los efectos del cambio climático en la producción de café al 2040 en Intag, mediante información climática observada e histórica desde 1990-2018 y futura desde 2019-2040, con esto se generó los 4 escenarios de cambio climático para el 2040, razón por la cual se afirma que el páramo es uno de los lugares más afectados por el cambio climático con variaciones de temperatura de 1 a 1.6°C y una reducción notable en su precipitación. Para el desarrollo del modelo de producción fue necesario contar con información climática que cada uno de los productores tendría en los escenarios proyectados, concluyendo que el cambio climático afectará positivamente a la producción de café (*Coffea arabica L.*) en Intag, ya que la temperatura y precipitación, se encuentran en rangos óptimos de producción.

**Palabras clave:** cambio climático, GCMs, CMIP6, producción, modelo, escenarios.

##### 2. Introducción

Se prevé que el cambio climático a nivel mundial producirá temperaturas extremas, inundaciones y escasez de agua, pues, la acción humana ha provocado un aumento de las emisiones de GEI, afectando significativamente al desarrollo de la flora y fauna disminuyendo la tasa de crecimiento de la producción agrícola, limitando así la disponibilidad de alimento esencial para la nutrición del ser humano. Un claro ejemplo se presenta en el cultivo de café en la Zona de Intag. Siendo de suma importancia predecir y evaluar escenarios de cambio climático a través de modelos climáticos, para conocer los efectos que podría afectar a la producción de *Coffea arabica*, para el 2040 en Intag y de esta manera facilitar la toma de decisiones, aplicando además una agricultura climáticamente inteligente con la finalidad de ayudar a las personas que se dedican a la producción de este recurso a responder de manera eficaz ante los impactos que generaría el cambio climático, aumentando de forma sostenible la productividad mediante la adaptación y resiliencia de estos cultivos.

**Figura 46.** Resumen extendido del Trabajo de Investigación

De esta manera, el 17 de julio del presente año, se realizó una reunión de carácter presencial como se indica en la Figura 47, para la socialización de los resultados con el respectivo presidente y comité técnico de AACRI, ya que ellos son los encargados del control y calidad de la producción de cada uno de los caficultores orgánicos, debido a esto, el comité técnico se hizo responsable de transmitir este tipo de información de carácter técnico y científico a cada uno de ellos, todo esto con la finalidad de crear consciencia dentro de la zona implementando temas sobre la producción, así como también la preservación, prevención y mitigación de los efectos del cambio climático. Por último, se entregó a AACRI los siguientes recursos tanto en formato físico como digital: resumen extendido, folleto informativo y video, todo esto se encuentra evidenciado en el oficio de recibimiento firmado por el presidente de la asociación.



**Figura 47.** Entrega de folleto informativo y recursos en formato digital

Adicional a esto, el día 29 de julio del 2022, se desarrolló el foro “Agroecología y Cambio Climático”, donde se encontraban directivos del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear, la Unidad de Organizaciones Campesinas e Indígenas de Cotacachi (UNORCAC), del Comité Central de Mujeres (UNORCAC), de la Asamblea de Unidad Cantonal de Cotacachi y la Fundación de Servicios para el Desarrollo Alternativo (SEDAL), así como también, productores de cultivos como: café, mora, cebada y trigo, ganaderos y apicultores. Este espacio fue muy importante para la socialización respectiva de cómo el cambio climático afectará a los productores de café de la zona de estudio, mediante una presentación y ponencia de 10 minutos dirigida a los productores como se observa en la Figura 48, en donde también se hizo la entrega de los folletos realizados a cada uno de los directivos, observar Anexo 14.



**Figura 48.** Ponencia dirigida a los directivos y productores

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Existen valores faltantes, inconsistentes y no homogéneos en los datos meteorológicos de los anuarios del INAMHI para las 12 estaciones, obteniendo valores de NRMSE muy cercanos a cero para temperatura, sin embargo, para la precipitación se obtuvo un valor mayor, esto se debe a la variación en la precipitación para cada estación. En el relleno de datos, los resultados muestran valores bajos de MSE para temperatura, por lo tanto, *missforest* es adecuado para imputar satisfactoriamente este tipo de datos faltantes.

De los 19 modelos climáticos globales identificados, mediante el ACP se determinó que los GCMs que mejor se adaptaron a Intag. Para el SSP126 son KACE.1.0.G e INM.CM5.0, mientras que el INM.CM5.0 es para el SSP245 y SSP370, sin embargo para el SSP585 son los GCMs CanESM5.CanOE, INM.CM5.0 y MRI.ESM2.0. Al interpolar la información climática se observa que el calentamiento de Intag para el 2040 es inminente en los 4 escenarios, siendo el SSP585 el que muestra un calentamiento más dramático y precipitaciones que afectaran a la mitad de la zona de Intag.

Los datos de producción observada en comparación a los datos de producción por los escenarios aumentan de 30 a 50 qq/ha respectivamente, por lo que se puede afirmar que se acepta la hipótesis alternativa, ya que el cambio climático afectará positivamente a la actividad cafetera, aunque existen rangos de temperatura y precipitación en donde no podrá darse café.

La socialización de los resultados de investigación a la Asociación Agroartesanal de Caficultores Río Intag (AACRI), se realizó de manera satisfactoria a los 32 productores de la zona por medio del comité técnico y el

presidente de la asociación, de igual manera, se socializó mediante la participación del “Foro Agroecología y Cambio Climático” a directivos del cantón Cotacachi y productores no solo de café sino también de otros cultivos, esto con la finalidad de fomentar una correcta toma de decisiones a nivel técnico, para de esta manera, conseguir una producción sostenible y resiliente en cualquiera de los escenarios de cambio climático descritos anteriormente.

## **5.2. Recomendaciones**

En Ecuador los datos de variables meteorológicas son escasos y los que hay tienen errores, son inconsistentes ya sea por una mala toma de datos, por mover de lugar la estación o por otros factores, para esto se recomienda. No tratar los datos mediante regresión lineal, medias o el vecino más cercano, ya que esto provoca un sesgo en los datos, haciéndolos poco confiables para estudios de cambio climático o predicción de producción.

Para estudios de cambio climático es mejor usar el proyecto CMIP6, debido a que los GCMs han presentado mayor precisión en la mayoría de los estudios realizados, reduciendo el error en datos de temperatura y precipitación. Para entender mejor la variabilidad climática se debe aumentar la proyección.

Para mejorar la precisión del modelo, se recomienda adjuntar la variable plagas, cuando y donde afectaron a los productores, como los insumos que utilizaron para fertilización, estableciendo así una serie de tiempo cuantificada, para obtener una precisión cercana a la 100%.

## REFERENCIAS

- Abdullah, A. M., Sheikh, I., Abdur, R., Abdullah, A., Qayum, M. A., Ahmed, R., Farhat, N. M., Hossain, M. I., & Kabir, M. S. (2021). Growth and trend analysis of area, production and yield of rice: A scenario of rice security in Bangladesh. *PLoS ONE*, 16(12 December). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261128>
- Acuña, D., & Robles, D. (2015). *Manual de Meteorología y de Gestión de la Información Climática*.
- Aguiar, W., & Cruz, Y. (2018). Gestión integrada de la formación, investigación y extensión universitaria para la adaptación al cambio climático. Management of the Formation, Investigation and University Extension for Adapting to Climatic Change. *Revista Estudios Del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 6(3).
- Alejo, L. (2000). *Impacto del año ocasionado por la broca de café (Hypothenemus hampei) en el beneficio húmedo de la región de Huatusco, Veracruz*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Almazroui, M., Ashfaq, M., Islam, M. N., Rashid, I. U., Kamil, S., Abid, M. A., O'Brien, E., Ismail, M., Reboita, M. S., Sörensson, A. A., Arias, P. A., Alves, L. M., Tippett, M. K., Saeed, S., Haarsma, R., Doblas-Reyes, F. J., Saeed, F., Kucharski, F., Nadeem, I., ... Sylla, M. B. (2021). Assessment of CMIP6 Performance and Projected Temperature and Precipitation Changes Over South America. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 155–183. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00233-6>
- Almazroui, M., Saeed, F., Saeed, S., Nazrul Islam, M., Ismail, M., Klutse, N. A. B., & Siddiqui, M. H. (2020). Projected Change in Temperature and Precipitation Over Africa from CMIP6. *Earth Systems and Environment*, 4(3), 455–475. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00161-x>
- Álvarez, A., Salazar, S., Ruiz, J., & Medina, G. (2017). Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate 'hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4035. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.671>



- Andrade, L., & Moreano, R. (2013). Sistema de Información para la Interpolación de datos de Temperatura y de Precipitación. *Revista Politecnica*, 32(1), 70–75.
- Araín, M. A. (2011). Climate Change Impacts on Water Quality and Quantity. *Global Bioethics*, 24(1–4), 77–78.  
<https://doi.org/10.1080/11287462.2011.10800702>
- Arévalo, D., & Padilla, C. (2016). Medición de la Confiabilidad del Aprendizaje del Programa RStudio Mediante Alfa de Cronbach. *Revista Politécnica*, 37(1), 68–68.
- Armenta, E., Villa, L., & Jácome, P. (2016). *PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PARA ECUADOR, BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO*.
- Armenta, G., Delgado, J., & Ruiz, J. (2015). Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura para Colombia 2011-2100. In *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático* (Vol. 6, Issue 31).
- Armenta, G., Villa, J., & Jácome, P. (2016). *Proyecciones Climáticas de Precipitación y Temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de cambio climático*.
- Arunrat, N., Sereenonchai, S., Chaowiwat, W., & Wang, C. (2022). Climate change impact on major crop yield and water footprint under CMIP6 climate projections in repeated drought and flood areas in Thailand. *Science of the Total Environment*, 807, 150741.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150741>
- Asociación Agroartesanal de Caficultores Río Intag. (n.d.). *RIO INTAG AACRI*. Retrieved June 23, 2021, from <http://aacri.com/origen/>
- Autocorrelación. (n.d.). *Tema 4: Autocorrelación*.
- Bağçacı, S. Ç., Yucel, I., Duzenli, E., & Yilmaz, M. T. (2021). Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research*, 256.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576>

- Banco Central del Ecuador. (2021, January 4). *La economía ecuatoriana creció 4,5% en el tercer trimestre, al comparar con el segundo trimestre de 2020*. <https://n9.cl/ka8z5>
- Baquero, M., Paredes, A., & Vinueza, R. (2013). *Desarrollo Territorial con Enfoque de Sistemas Agroalimentarios Localizados (AT - SIAL) Valle del Intag, Ecuador*.
- Batanero, C., & Díaz, C. (2008). Analisis de datos con Statgraphics. In *Universidad de Granada*.
- BCE. (2013). *Encuesta Coyuntural del Sector Agropecuario*.
- Bi, H., Ni, Z., Tian, J., Jiang, C., Sun, H., & Lin, Q. (2022). Influence of lignin on coal gangue pyrolysis and gas emission based on multi-lump parallel reaction model and principal component analysis. *Science of the Total Environment*, 820. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153083>
- Bian, G., Zhang, J., Chen, J., Song, M., & He, R. (2021). Projecting Hydrological Responses to Climate Change Using CMIP6 Climate Scenarios for the Upper Huai River, China. *Frontiers in Environmental Science*, 9(December), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.759547>
- Boza, Y., Hervis, E., & Keeling, M. (2021). La investigación educativa y la socialización de resultados en la escuela cubana actual. *Emerging Trends in Education*. <https://doi.org/10.19136/etie.a4n7.4452>
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle Rivera, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1–2), 89–101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Bustillos, R. (2019). *Diseño e Implementación de una Red de Estaciones Pluviométricas para el Distrito Metropolitano de Quito con un Sistema de Comunicación por Enlace de Radio en Banda Libre*. Escuela Politécnica Nacional.
- Cabrera, G., Zanazzi, J. F., Zanazzi, J. L., & Boaglio, L. (2017). Comparación de potencias en pruebas estadísticas de normalidad, con datos escasos. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 4(2), 47–52.

- Cacay, C., Ramírez, G., & Campuzano, J. (2021). Efecto del Crecimiento Económico y la Presión Fiscal sobre el Impuesto al Valor Agregado. *Scielo*, 1–16. <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i47.1750>
- Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., & Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 168–181. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>
- Caira Mamani, C. M., Lopez Loayza, C., & Carhuarupay Molleda, Y. F. (2021). Efecto de la temperatura y precipitación sobre la agricultura en la cuenca Coata-Puno, Perú. *Revista Alfa*, 5(14), 285–296. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.118>
- Camargo, M. (2010). The impact of climatic variability Brazil, climate change on Arabic Coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 239–247.
- Cartaya, S., Zurita, S., & Montalvo, V. (2016). Métodos de ajuste y homogenización de datos climáticos para determinar índice de humedad de Lang en la provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 16, 94. [https://doi.org/10.33936/la\\_tecnica.v0i16.540](https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i16.540)
- Castro, H. (2014). *Pruebas de Rango Múltiple* (Facultad de Ciencias Químicas, Ed.; p. 10).
- CEPAL, CAC, & SICA. (2020). *Análisis espacial de datos históricos y escenarios de cambio climático en México, Centroamérica, Cuba, Haití y la República Dominicana*. [www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps)
- Chemura, A., Mudereri, B. T., Yalaw, A. W., & Gornott, C. (2021). Climate change and specialty coffee potential in Ethiopia. *Scientific Reports*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87647-4>
- Chen, Z., Zhou, T., Zhang, L., Chen, X., Zhang, W., & Jiang, J. (2020). Global Land Monsoon Precipitation Changes in CMIP6 Projections. *Geophysical Research Letters*, 47(14). <https://doi.org/10.1029/2019GL086902>
- Chow, V. Te, Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. In M. E. S. R (Ed.), *Hidrología Aplicada* (Issue (13°; McGrawHill, Ed.). Santafé de Bogotá.).

- Clifford, M. (1985). *Coffee; botany, biochemistry and production of beans and beverage*. (Willson K.). Croom Helm.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2018). La Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible. In *Revista de Derecho Ambiental* (Issue 10). <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2018.52077>
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador 2008*. 1–136.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2015). *Acuerdo de París*.
- De Leon, R. (2013). *Manual para la Elaboración de Mapas de Vulnerabilidad a Deslizamientos y Sequías utilizando como herramienta Sistemas de Información Geográfica* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://doi.org/10.1190/segam2013-0137.1>
- Díaz, D., & Villegas, N. (2015). Correlación canónica entre índices macroclimáticos y variables meteorológicas de superficie en Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(2), 543–552. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n2.2015.185>
- Diouf, S., Dème, H., Dème, A., & Hadji Dème, E. (2022). *Imputation methods for missing values: the case of Senegalese meteorological data*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03565166>
- Echevarría, R. (2020). *Apuntes de MATLAB orientados a métodos numéricos elementales*. 43.
- Faisal, S., & Tutz, G. (2021). Multiple imputation using nearest neighbor methods. *Information Sciences*, 570, 500–516. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.04.009>
- Fallas, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(4), 306–310.
- Fan, X., Duan, Q., Shen, C., Wu, Y., & Xing, C. (2020). Global surface air temperatures in CMIP6: Historical performance and future changes. *Environmental Research Letters*, 15(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb051>

- Fernández, G., & Johnston, M. (2006). Crecimiento y Temperatura. *Fisiología Vegetal (FA Squeo & L.*
- Fórum Cultural del Café. (2020). El Café en Ecuador. *Fórumcafé*, 1–2.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Naub, T., Peters, T., & Bendix, J. (2012). *Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization.* <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.08.004>.
- García, M., Solórzano, E., & Macas, L. (2022). Modelado matemático para la predicción de biomasa residual del café. *Revista de Investigación Talentos*, 9(1), 33–44. <https://doi.org/10.33789/talentos.9.1.159>
- Gómez, I., & Joly, E. (2020). *Regression with Missing Data , a Comparison Study of Techniques Based on Random Forests.* 1–20.
- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2013). Cambio climático 2013 Bases físicas Resumen para responsables de políticas. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Guan, X., Zhang, J., Bao, Z., Liu, C., Jin, J., & Wang, G. (2021). Past variations and future projection of runoff in typical basins in 10 water zones, China. *Science of the Total Environment*, 798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149277>
- Gür, H. (2022). The future impact of climate and land-use changes on Anatolian ground squirrels under different scenarios. *Ecological Informatics*, 70, 101693. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101693>
- Guzmán, F. (2013). *Escenarios de cambio climático en San Martín y su impacto en el cultivo del café. figura 1*, 1–16.
- Hamed, M. M., Nashwan, M. S., Shahid, S., Ismail, T. bin, Wang, X. jun, Dewan, A., & Asaduzzaman, M. (2022). Inconsistency in historical simulations and future projections of temperature and rainfall: A comparison of CMIP5 and CMIP6 models over Southeast Asia. *Atmospheric Research*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105927>

- Haro, S., Lema, L., Meneses, A., & Escudero, A. (2020). *Determinación del comportamiento meteorológico del viento en la provincia de Chimborazo Ecuador. 1.*
- Hernandez, J. L., García, J. E., & Gastélum, J. (2018). Generalization of the canonical correlation method applied to an economy problem Generalización del método de correlaciones canónicas aplicado a un problema de economía. *Revista Internacional de Gestión Del Conocimiento y La Tecnología*, 6(1), 1–14.
- Hijmans, R. J., van Etten, J., Sumner, M., Cheng, J., Baston, D., Bevan, A., Bivand, R., Busetto, L., Canty, M., Fasoli, B., Forrest, D., Ghosh, A., & Golicher, D. (2022). *Geographic data analysis and modeling*. 1–249.
- Hou, F., He, Y., Qin, H., & Hao, A. (2017). Knot Optimization for Biharmonic B-splines on Manifold Triangle Meshes. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(9), 2082–2095. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2605092>
- Huang, X., Wang, H., Luo, W., Xue, S., Hayat, F., & Gao, Z. (2021). Prediction of loquat soluble solids and titratable acid content using fruit mineral elements by artificial neural network and multiple linear regression. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 278). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109873>
- Instituto Geográfico Militar [IGM]. (2011). *Base escala 1:50.000*.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2013). *Activación Territorial con Enfoque de Sistemas Agroalimentarios Localizados (AT-SIAL): Valle del Intag, Ecuador*.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2013). *Introducción a la Meteorología y a la Climatología*.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2018). *Anuario Meteorológico*.
- IPCC. (2002). *Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC*.
- Iqbal, Z., Shahid, S., Ismail, T., Sa, Z., & Farooque, A. (2022). Distributed Hydrological Model Based on Machine Learning Algorithm : Assessment of

- Climate Change Impact on Floods. *Sustainability*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14116620>
- Isaza, C., & Cornejo, J. (2013). *Escenarios de cambio climático en San Martín y su impacto en el cultivo del café* (Issue figura 1).
- Izadi, N., Karakani, E. G., Saadatabadi, A. R., Shamsipour, A., Fattahi, E., & Habibi, M. (2021). Evaluation of ERA5 Precipitation Accuracy Based on Various Time Scales over Iran during 2000–2018. *Water (Switzerland)*, *13*(18). <https://doi.org/10.3390/w13182538>
- Jiménez, E., & Cifuentes, J. (2018). *COMPENDIO DE ARTICULOS-Instrumentacion, Ingeniería Mecánica* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12435.78880>
- Jiménez, E., Gonzáles, W., & Pazmino, L. (2019). Sistemas Silvopastoriles y Cambio Climático: Estimación y Predicción de Biomasa Arbórea. *Revista de Ciencias de La Vida*, *29*(1), 45–55.
- Kittichotsatsawat, Y., Tippayawong, N., & Yaibuathet Tippayawong, K. (2022). *Prediction of annual coffee production yield using artificial neural network and multiple linear regression techniques*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1504007/v1>
- Kowarik, A., & Templ, M. (2016). Imputation with the R Package VIM. *Journal of Statistical Software*. <https://doi.org/10.18637/jss.v074.i07>.
- Lawal, I. M., Bertram, D., White, C. J., Jagaba, A. H., Hassan, I., & Shuaibu, A. (2021). Multi-criteria performance evaluation of gridded precipitation and temperature products in data-sparse regions. *Atmosphere*, *12*(12), 1–27. <https://doi.org/10.3390/atmos12121597>
- Lazarotto, E., & Masur, K. (2021). Modelo de regresión múltiple para previsiones temporales de una base alargada usando un múltiplo. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, *8*.
- Li, C., Zwiers, F., Zhang, X., Li, G., Sun, Y., & Wehner, M. (2021). Changes in Annual Extremes of Daily Temperature and Precipitation in CMIP6 Models. *JOURNAL OF CLIMATE*, 3441–3460. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-1013.1>

- Li, X., Fang, G., Wen, X., Xu, M., & Zhang, Y. (2022). Characteristics analysis of drought at multiple spatiotemporal scale and assessment of CMIP6 performance over the Huaihe River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *41*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101103>
- Liu, X., Li, H., Shi, X., & Fu, J. (2019). Application of biharmonic equation in impeller profile optimization design of an aero-centrifugal pump. *Engineering Computations (Swansea, Wales)*, *36*(5), 1764–1795. <https://doi.org/10.1108/EC-08-2018-0378>
- MacDonald, G. (2020). Climate, Capital, Conflict: Geographies of Success or Failure in the Twenty-First Century. *Annals of the American Association of Geographers*, *110*(6), 9–13. <https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1800300>
- Mamani, C. M., Loayza, C., & Molleda, Y. F. (2021). Efecto de la temperatura y precipitación sobre la agricultura en la cuenca Coata-Puno, Perú. *Revista Alfa*, *5*(14), 285–296. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.118>
- Marques, A. R., & Reis, P. (2017). Producción y difusión de vídeos digitales sobre contaminación ambiental. Estudio de caso: Activismo colectivo basado en la investigación. *Revista Eureka*, *14*(1), 215–226. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i1.16](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.16)
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. [MAATE]. (2013). *Política de Estado la Estrategia Nacional de Cambio Climático*. 532, 1–114.
- Ministerio del Ambiente y Agua. (2020). *Ecuador tiene políticas sobre el Cambio Climático*. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-tiene-politicas-sobre-el-cambio-climatico/>
- Monroig, M. (2016). *Morfología Del Cafeto*. 4.
- Moreno Ortega, C. D., Palma Barragán, J. D., Trilleras Motha, J. M., & Salamanca García, J. A. (2022). Vulnerabilidad ecológica del complejo de páramos Chilí-Barragán, Colombia, a los incrementos de temperatura en un escenario de cambio climático. *Revista Geográfica*, *164*, 21–37. <https://doi.org/10.35424/regeo.164.2022.988>
- Morera, A., Martínez de Aragón, J., de Cáceres, M., Bonet, J. A., & de-Miguel, S. (2022). Historical and future spatially-explicit climate change impacts on mycorrhizal and saprotrophic macrofungal productivity in Mediterranean pine



- forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108918>
- Morfín, V., Castillo, P., & Viscaíno, G. (2006). El cultivo de café (*Coffea arábica* L.) en colima. *Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.*, 85.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. 62301.*
- Ning, Q., Chen, L., Jia, Z., Zhang, C., Ma, D., Li, F., Zhang, J., Li, D., Han, X., Cai, Z., Huang, S., Liu, W., Zhu, B., & Li, Y. (2020). Multiple long-term observations reveal a strategy for soil pH-dependent fertilization and fungal communities in support of agricultural production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106837>
- Noboa, G., & Quelal, A. (2015). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. In *Tesis*. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39079>
- Ocampo-Marulanda, C., Fernández-Álvarez, C., Cerón, W. L., Canchala, T., Carvajal-Escobar, Y., & Alfonso-Morales, W. (2022). A spatiotemporal assessment of the high-resolution CHIRPS rainfall dataset in southwestern Colombia using combined principal component analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(5). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101739>
- Olguin López, J. L., Chávez-De La Lima, J. D., Guevara-Gutiérrez, R. D., Mancilla-Villa, Ó. R., Palomera-García, C., & Cruz-Sandoval, G. (2021). Consistencia, homogeneidad y distribución de la precipitación pluvial y temperatura, Región Sierra de Amula, Jalisco, México. *Revista Geográfica de América Central*, 1(68), 357–382. <https://doi.org/10.15359/rgac.68-1.13>
- Olivares, B. (2010). Características de interés agrícola de la precipitación en la agricultura de secano. *ResearchGate*.
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J. F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma. (2018). *Agricultura climáticamente inteligente*.
- Pabón, D. (2011). *El Cambio Climático en el Territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca* (p. 128).
- Parada, P., Miranda, V., Ortiz, G., Cervantes, J., & Cerdán, C. (2022). Climatic suitability for *Coffea arabica* L. front to climate events extreme: Tree cover importance. *Scientia Agropecuaria*, 13(1), 53–62. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.005>
- Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes* (S.A. MCGRA).
- Pérez, P., & Geissert, K. (2006). Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) - Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Inerciencia*, 556–562.
- Pierce, D. (2021). *Interface to Unidata netCDF (Version 4 or Earlier) Format Data Files*.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Santa Ana de Cotacachi 2015-2035. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial-Cantón Cotacachi 2015-2035*. 317.
- Ponce, L., Orellana, K., Acuña, I., Alfonso, J., & Fuentes, T. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: perspectivas. *Revista Estudios Del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 6(1), 307–325.
- Pourrut, P., Róvere, O., Romo, I., & Villacrés, H. (n.d.). Clima del Ecuador. *Artículo III*.
- Pozo, A. C. (2014). Análisis de los factores que inciden en la producción de café en el Ecuador 2000 – 2011. *Facultad De Economía*, 80.
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, Registro Oficial N° 507 2 (2019).
- Ren, L., Song, C., Wu, W., Guo, M., & Zhou, X. (2020). Reservoir effects on the variations of the water temperature in the upper Yellow River, China, using principal component analysis. *Journal of Environmental Management*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110339>
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S.,

- Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Rikolto. (n.d.). *UNCAFÉ: conformando el gremio de caficultores del Ecuador, Rikolto en Latinoamérica*. Retrieved June 23, 2021, from <https://latinoamerica.rikolto.org/es/noticias/uncafe-conformando-el-gremio-de-caficultores-del-ecuador>
- Rivas, J., Perea, J. M., de Pablos Heredero, C., Angon, E., Barba, C., & García, A. (2019). Canonical correlation of technological innovation and performance in sheep's dairy farms: Selection of a set of indicators. *Agricultural Systems*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102665>
- Rivera, J. A., & Arnould, G. (2020a). Evaluation of the ability of CMIP6 models to simulate precipitation over Southwestern South America : Climatic features and long-term trends ( 1901 – 2014 ). *Atmospheric Research*, 241(December 2019), 104953. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104953>
- Rivera, J. A., & Arnould, G. (2020b). Evaluation of the ability of CMIP6 models to simulate precipitation over Southwestern South America: Climatic features and long-term trends (1901–2014). *Atmospheric Research*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104953>
- Rodrigues, S., Tagima, A., Sarnighausen, V., Oliveira, P., & Padovani, C. (2021). POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS ASSOCIADO AO VALOR BRUTO DE PRODUÇÃO ANIMAL E USO DA ÁREA RURAL DE MUNICÍPIOS PAULISTAS. *Periodicidade: Semestral*, 11, 2021. <http://portal.amelica.org/ameli/>
- Rueda, J., Elles, C., Sánchez, E., González, Á., & Rivillas, D. G. (2016). Identificación de patrones de variabilidad climática a partir de análisis de componentes principales, Fourier y clúster k-medias. *Revista Tecnura*, 20(50), 55–68. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a04>
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2019). Sector Cafetero Ecuatoriano: Panorama general. *Universidad Técnica de Ambato*, 1–4.

- Santillán, K., & Zamora, B. (2021). Análisis Climático y de Cambio Climático en el Distrito Metropolitano de Quito. In *Tesis*.
- Satrustegui, K., Guitiérrez, J., & Goitisoló, B. (2014). Evidencias e interrogantes sobre desarrollo, financiación externa y AOD: un Análisis de Componentes Principales. *Economía Mundial*, 153–178.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES]. (2017). Plan Nacional del Buen vivir 2017-2021. *Educational Research*, 1, 150.
- Shi, L., Feng, P., Wang, B., Liu, D. L., Zhang, H., Liu, J., & Yu, Q. (2022). Assessing future runoff changes with different potential evapotranspiration inputs based on multi-model ensemble of CMIP5 projections. *Journal of Hydrology*, 612(PA), 128042. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128042>
- Signorell, A., Aho, K., Alfons, A., Anderegg, N., Aragon, T., Arachchige, C., Arppe, A., Baddeley, A., Barton, K., Bolker, B., Borchers, H., Caeiro, F., Champely, S., Chessel, D., Chhay, L., Cooper, N., Cummins, C., Dewey, M., Doran, H., ... Zeileis, A. (2021). *Tools for Descriptive Statistics*.
- Silva, L. (2016). Modelo Estadístico para el análisis del Rendimiento del Cultivo de Arroz en Colombia. *Economista*, 25.
- Silva, M., Várzea, V., Guerra, G., Fernández, D., Petitot, A., Bertrand, F., & Lashermes, F. (2006). Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee Berry disease. *Braz. Journal Plant. Physiol*, 119–147.
- Sistema Nacional de Información [SNI]. (2017). *Archivos de Información Geográfica*.
- Sosa, V., Guevara, R., Gutiérrez, B. E., & Ruiz, C. (2020). Optimal areas and climate change effects on dragon fruit cultivation in Mesoamerica. *Journal of Agricultural Science*, 158(6), 461–470. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000775>
- Stekhoven, D., & Buehlmann, P. (2012). MissForest - nonparametric missing value imputation for mixed-type data. *Bioinformatics*, 112–118. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btr597>
- Sulaiman, B., Natsheh, E., & Tarapiah, S. (2022). Towards a better indoor positioning system: A location estimation process using artificial neural

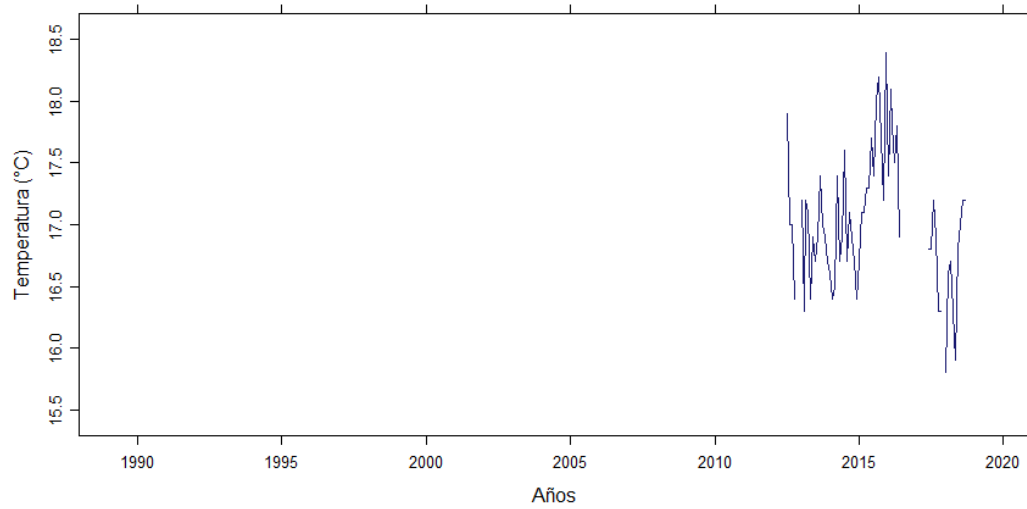
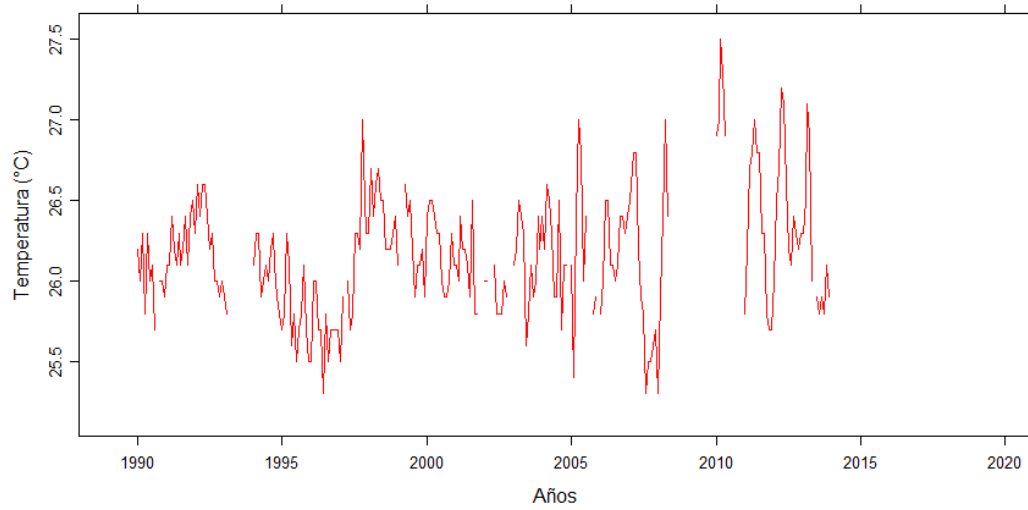
- networks based on a semi-interpolated database. *Pervasive and Mobile Computing*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2022.101548>
- Talchabhadel, R. (2021). Observations and climate models confirm precipitation pattern is changing over Nepal. *Jalawaayu*, 1(1), 25–46. <https://doi.org/10.3126/jalawaayu.v1i1.36448>
- Tapia, F., Ernesto, C., Cevallos, F., Carlos, K. L., Flores Tapia, E., & Lissette, K. (2021). Pruebas Para Comprobar La Normalidad De Datos En Procesos Productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk Y Kolmogórov-Smirnov. *Periodicidad: Semestral*, 23(2), 2021.
- Thoai, D. N., Tongurai, C., Prasertsit, K., & Kumar, A. (2018). Predictive Capability Evaluation of RSM and ANN in Modeling and Optimization of Biodiesel Production from Palm ( *Elaeisguineensis* ) Oil. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(10), 7529–7540.
- Toro, P., García, A., Aguilar, C., Acero, R., Perea, J., & Vera, R. (2010). *Modelos Económicos para el Desarrollo de Funciones de Producción* (Vol. 1).
- Try, S., Tanaka, S., Tanaka, K., Sayama, T., Khujanazarov, T., & Oeurng, C. (2022). Comparison of CMIP5 and CMIP6 GCM performance for flood projections in the Mekong River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 40(November 2021), 101035. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101035>
- Urrutia, J., Cruz, E., & Palomino, R. (2011). Una aplicación de las Correlaciones Canónicas en Climatología. *Scientia Et Technica*, XVI, 263–268.
- Vallejo, L., & Rodríguez, L. (2018). Factores explicativos del sector cafetero colombiano de 1980 al 2016. *Territorio y Desarrollo*, 2, 46–57.
- VanderMolen, A. (2016). *Los efectos del cambio climático en la producción agrícola de Cotacachi*. (Ediciones).
- Viguera, B., Martínez-Rodríguez, R., Donatti, C., Harvey, C., & Alpízar, F. (2017). Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica , estrategias de mitigación y adaptación. *Catie*, 49.
- Voltaire, A., Saint-Martin, D., Sénési, S., Decharme, B., Alias, A., Chevallier, M., Colin, J., Guérémy, J. F., Michou, M., Moine, M. P., Nabat, P., Roehrig, R., Salas y Méliá, D., Sférian, R., Valcke, S., Beau, I., Belamari, S., Berthet, S.,

- Cassou, C., ... Waldman, R. (2019). Evaluation of CMIP6 DECK Experiments With CNRM-CM6-1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(7), 2177–2213. <https://doi.org/10.1029/2019MS001683>
- Walsh, J. (2011). *Statistical downscaling*.
- Walsh, J., & Trainor, S. (2012). *Development of Climate Change Model Layers: Downscaling for Alaska's Coastal Seas*.
- Wang, B., Jin, C., & Liu, J. (2020). Understanding Future Change of Global Monsoons Projected by CMIP6 Models. *Journal of Climate*, 33(15), 6471–6489. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0993.1>
- Wu, Y., Miao, C., Sun, Y., AghaKouchak, A., Shen, C., & Fan, X. (2021). Global Observations and CMIP6 Simulations of Compound Extremes of Monthly Temperature and Precipitation. *GoHealth*, 1–13. <https://doi.org/10.1029/2021GH000390>
- Xiang, Y., Wang, Y., Chen, Y., & Zhang, Q. (2022). Impact of Climate Change on the Hydrological Regime of the Yarkant River Basin, China: An Assessment Using Three SSP Scenarios of CMIP6 GCMs. *Remote Sens*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14010115>
- Xiao, D., Liu, D. L., Feng, P., Wang, B., Waters, C., Shen, Y., Qi, Y., Bai, H., & Tang, J. (2021). Future climate change impacts on grain yield and groundwater use under different cropping systems in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106685>
- Yadav, M. L., & Roychoudhury, B. (2018). Handling missing values: A study of popular imputation packages in R. *Knowledge-Based Systems*, 160(December 2017), 104–118. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.06.012>
- Yaguas, O. (2017). RESPONSE SURFACE METHODOLOGY FOR THE OPTIMIZATION OF AN AGRICULTURAL PRODUCTION. *Ingeniería Industrial*, 205–222. <https://doi.org/https://doi.org/10.22320/S07179103/2017.13>
- Zamani, Y., Hashemi Monfared, S. A., Azhdari moghaddam, M., & Hamidianpour, M. (2020). A comparison of CMIP6 and CMIP5 projections for precipitation to observational data: the case of Northeastern Iran. *Theoretical and Applied*

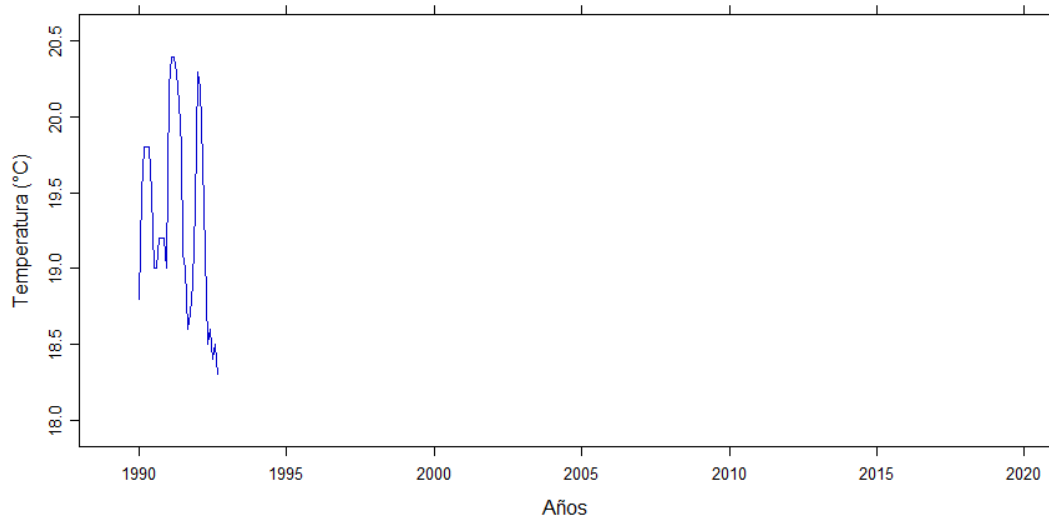
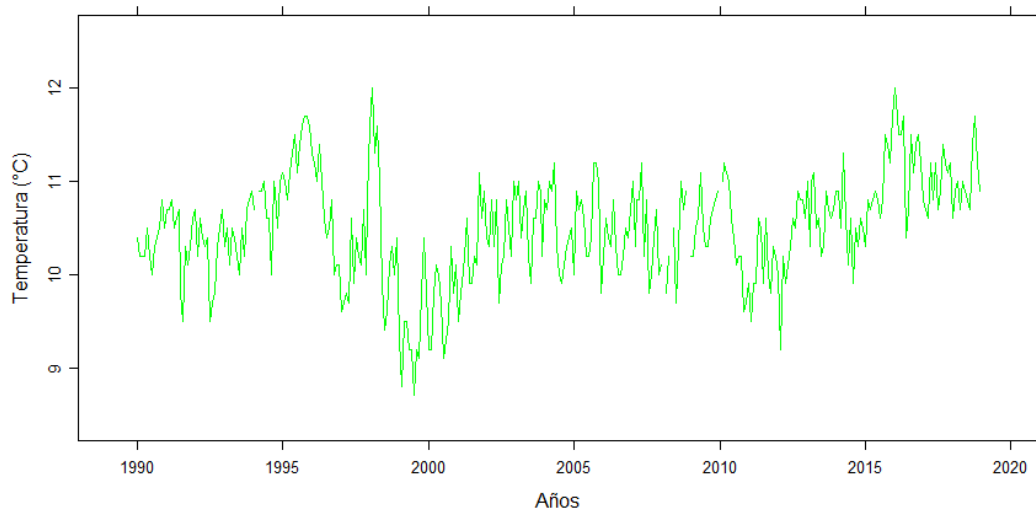
- Climatology*, 142(3–4), 1613–1623. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03406-x>
- Zea, J., Montealegre, J. E., Hurtado, G., González, O. C., Pabón, J. D., & León, G. (2001). *La atmósfera, el tiempo y el clima*. 113–134.
- Zelinka, M. D., Myers, T. A., McCoy, D. T., Po-Chedley, S., Caldwell, P. M., Ceppi, P., Klein, S. A., & Taylor, K. E. (2020). Causes of Higher Climate Sensitivity in CMIP6 Models. *Geophysical Research Letters*, 47(1). <https://doi.org/10.1029/2019GL085782>
- Zhang, S., Liu, X., Li, R., Wang, X., Cheng, J., Yang, Q., & Kong, H. (2021). AHP-GIS and MaxEnt for delineation of potential distribution of Arabica coffee plantation under future climate in Yunnan, China. *Ecological Indicators*, 132, 108339. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108339>
- Zhao, N., Jiao, Y., & Zhang, L. (2022). Projections of precipitation change from CMIP6 based on a new downscaling method in the Poyang Lake basin, China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42(June), 101138. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101138>
- Zhu, Y. Y., & Yang, S. (2020). Evaluation of CMIP6 for historical temperature and precipitation over the Tibetan Plateau and its comparison with CMIP5. *Advances in Climate Change Research*, 11(3), 239–251. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2020.08.001>

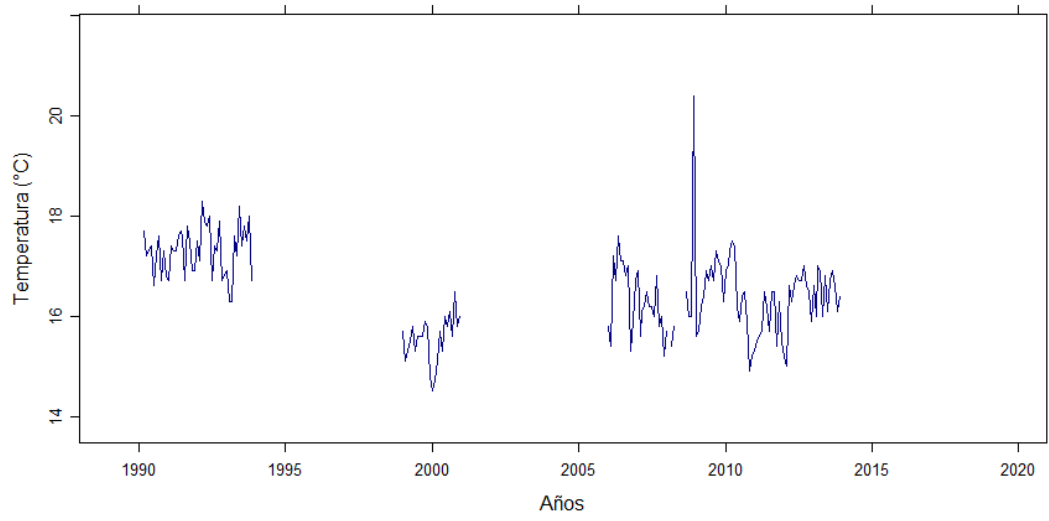
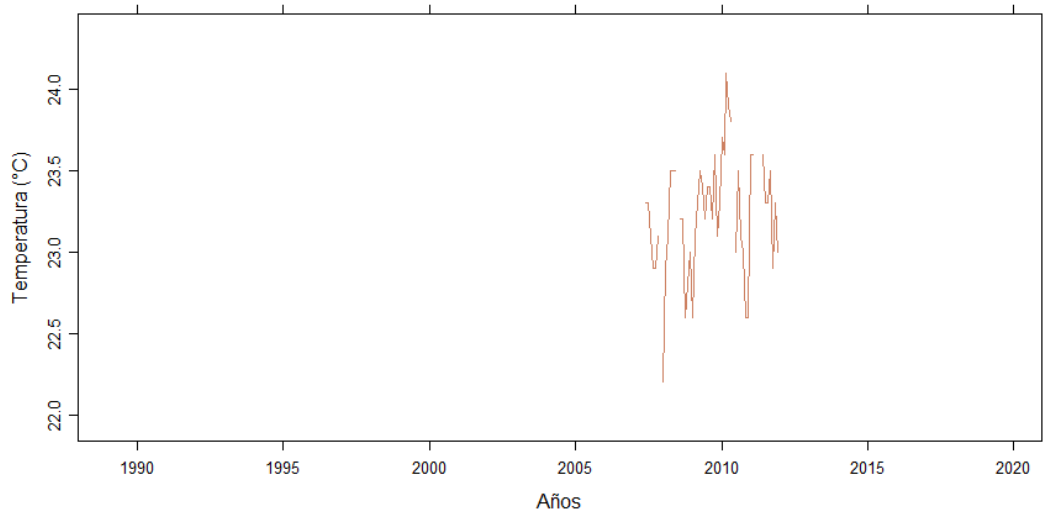
## ANEXOS

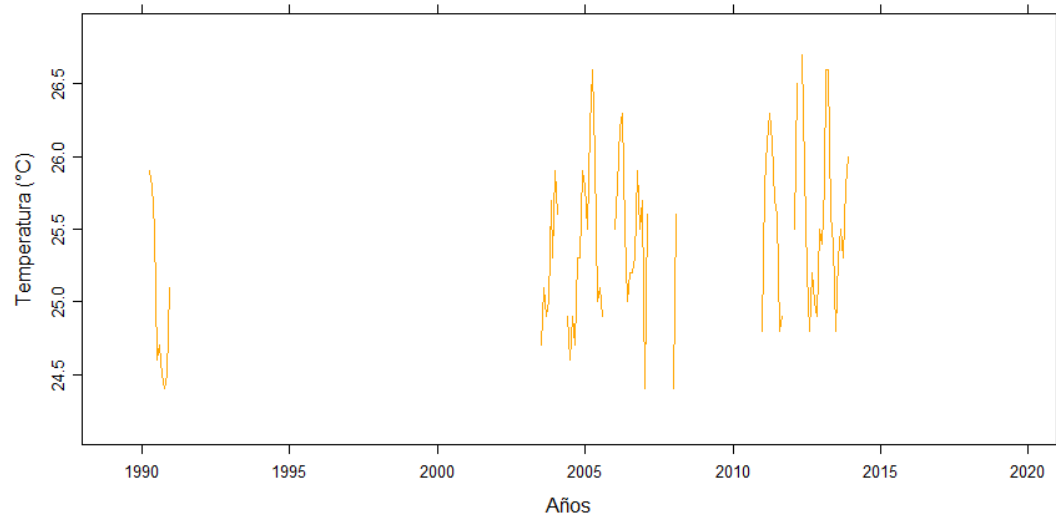
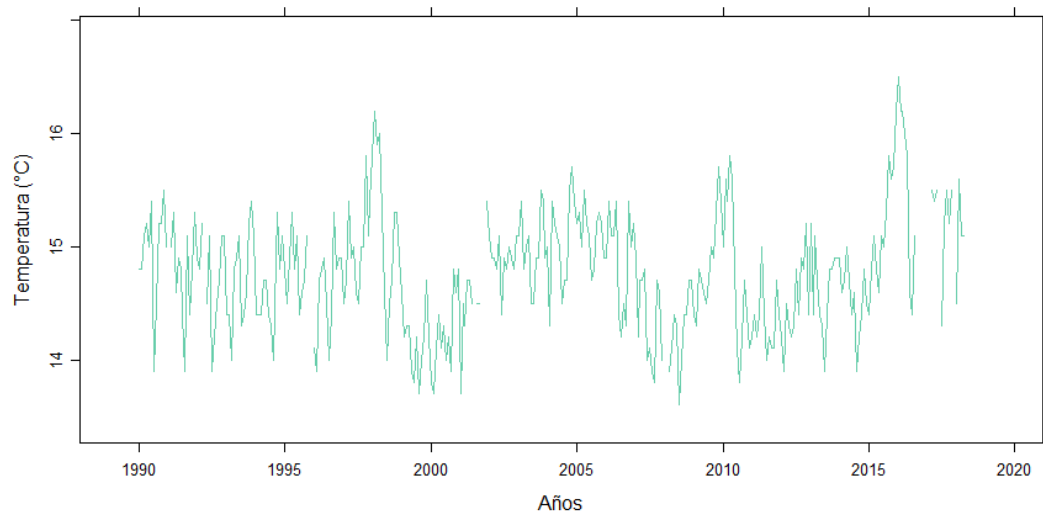
### Anexo 1. Datos disponibles de estaciones meteorológicas



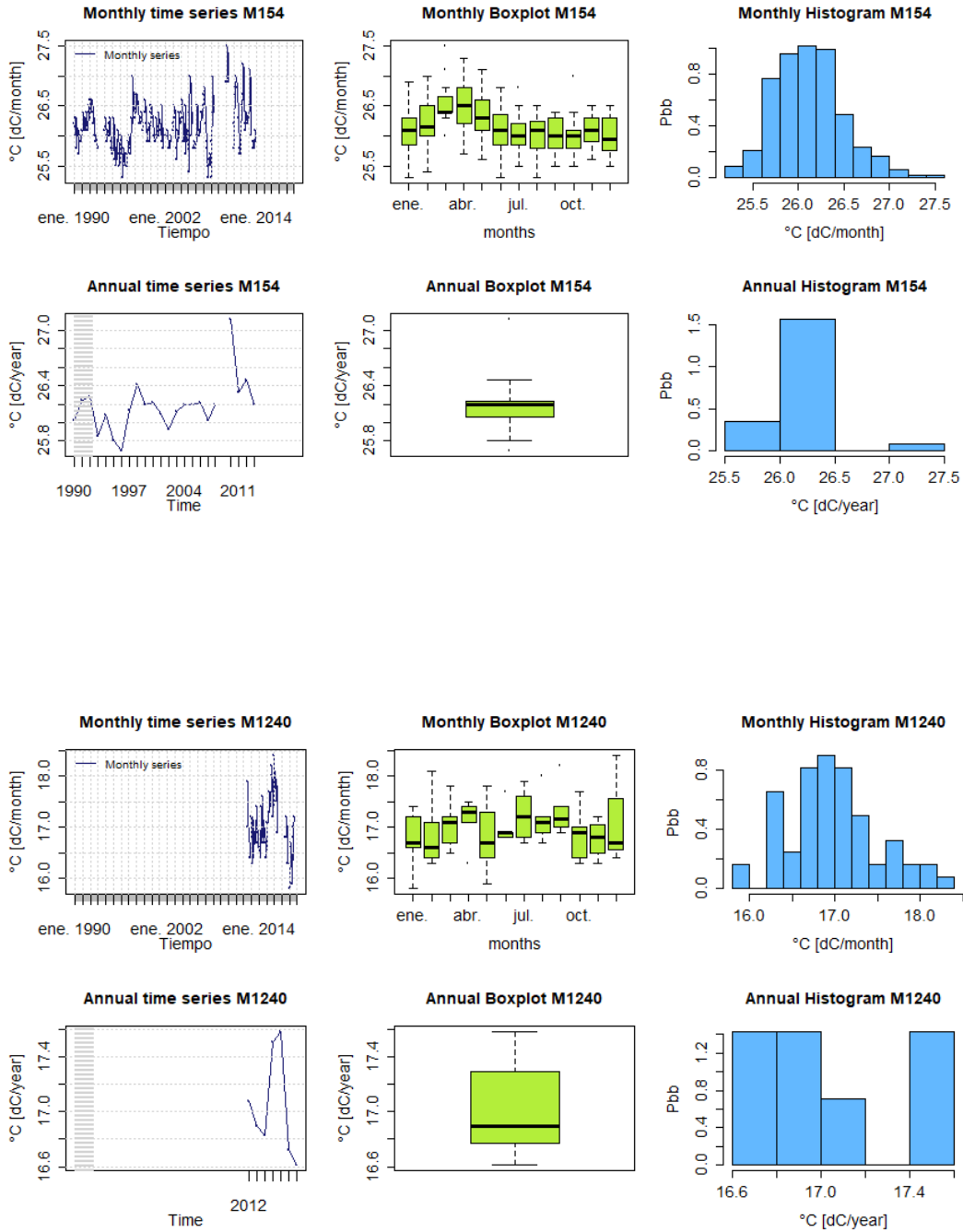


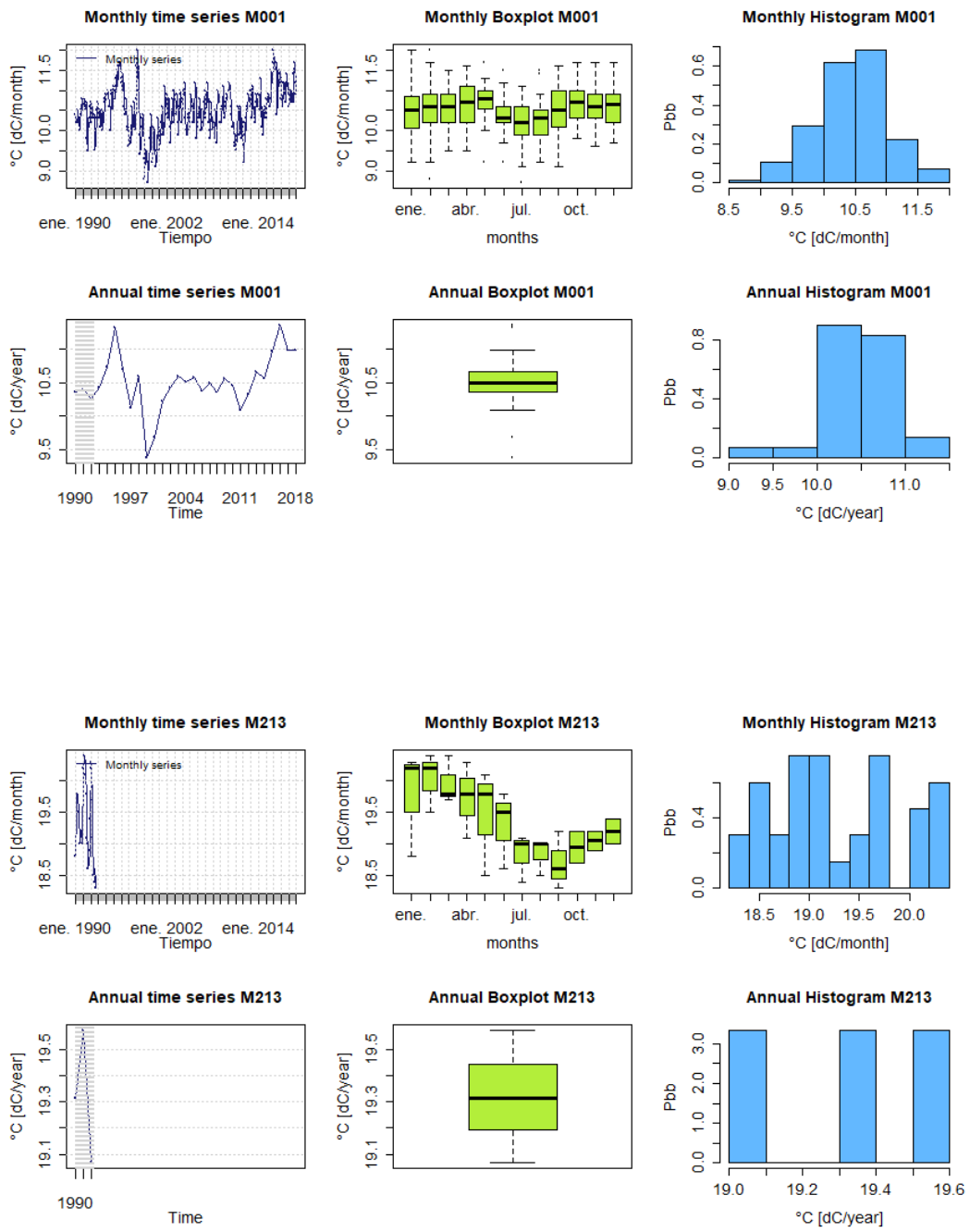


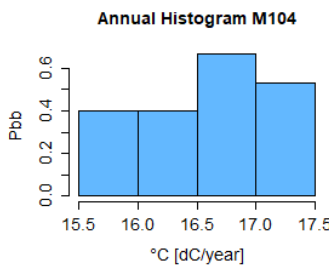
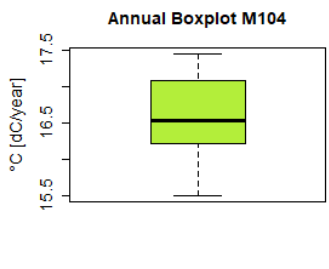
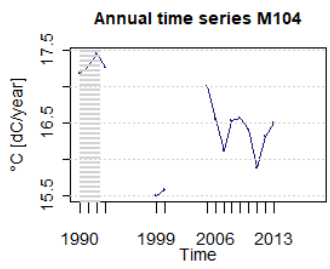
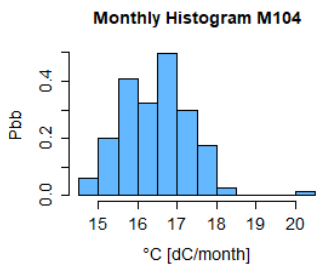
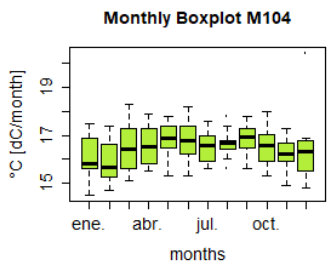
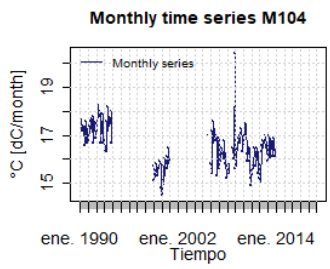
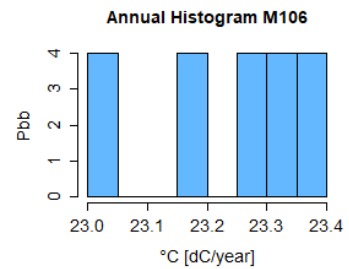
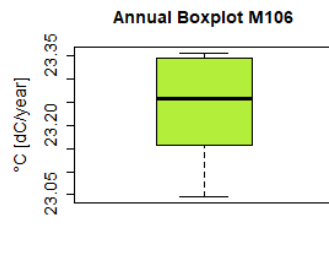
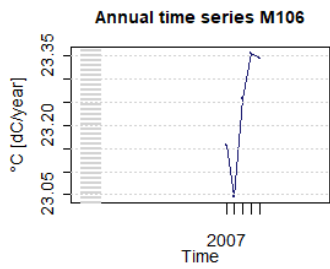
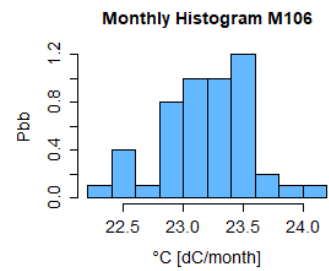
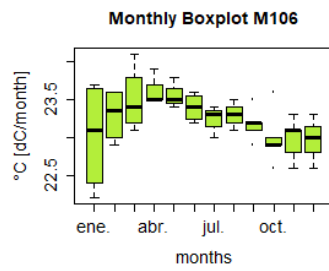
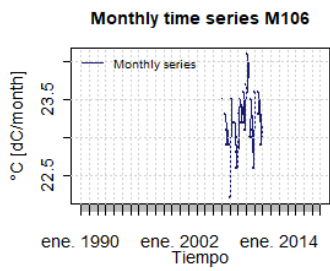


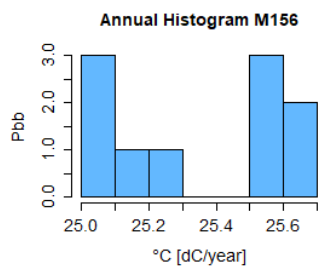
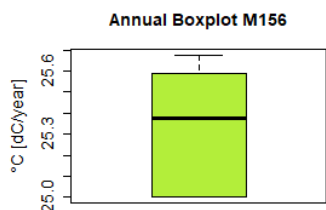
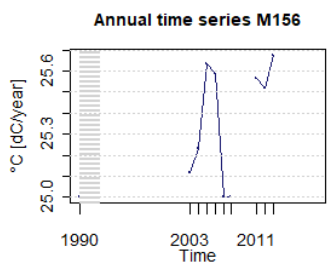
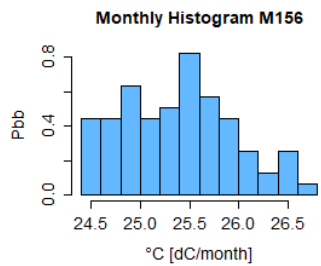
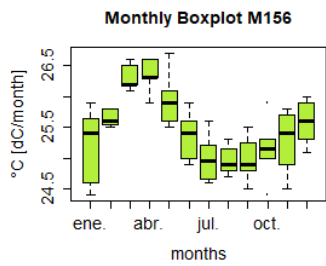
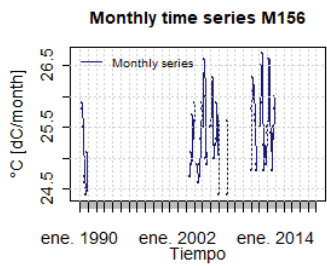
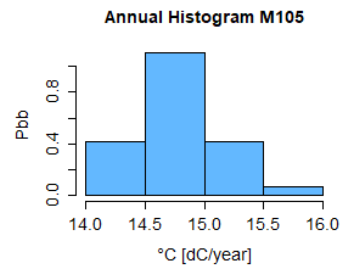
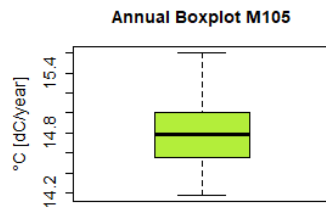
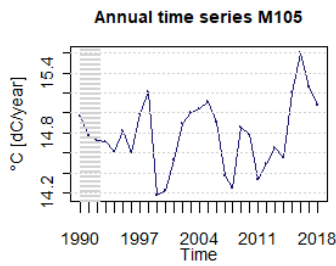
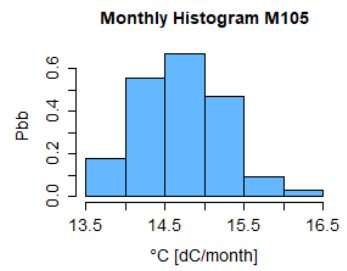
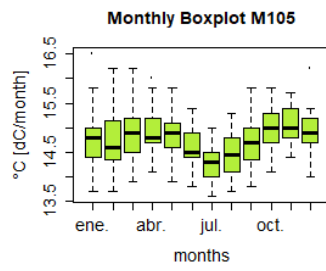
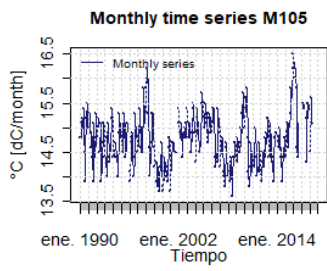


## Anexo 2. Análisis de datos disponibles de estaciones meteorológicas

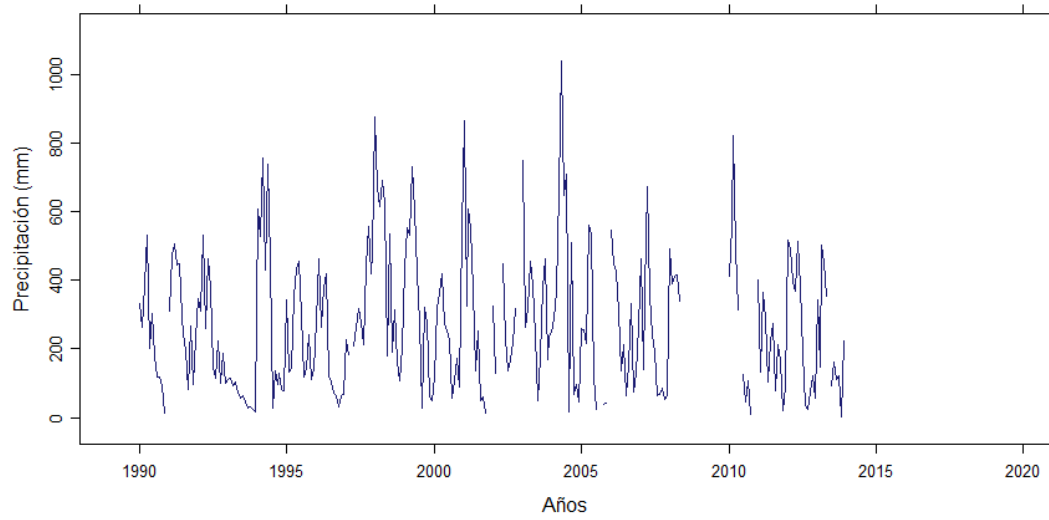
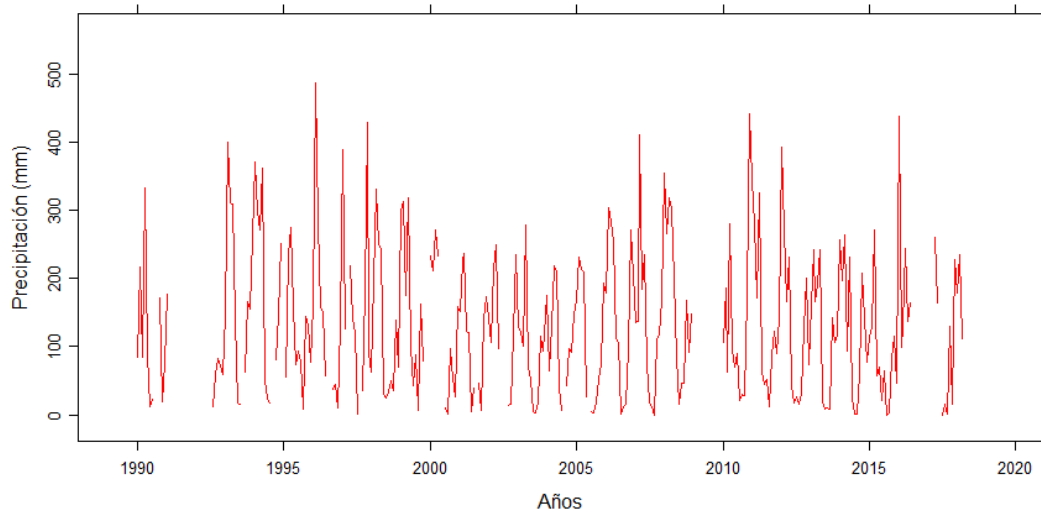




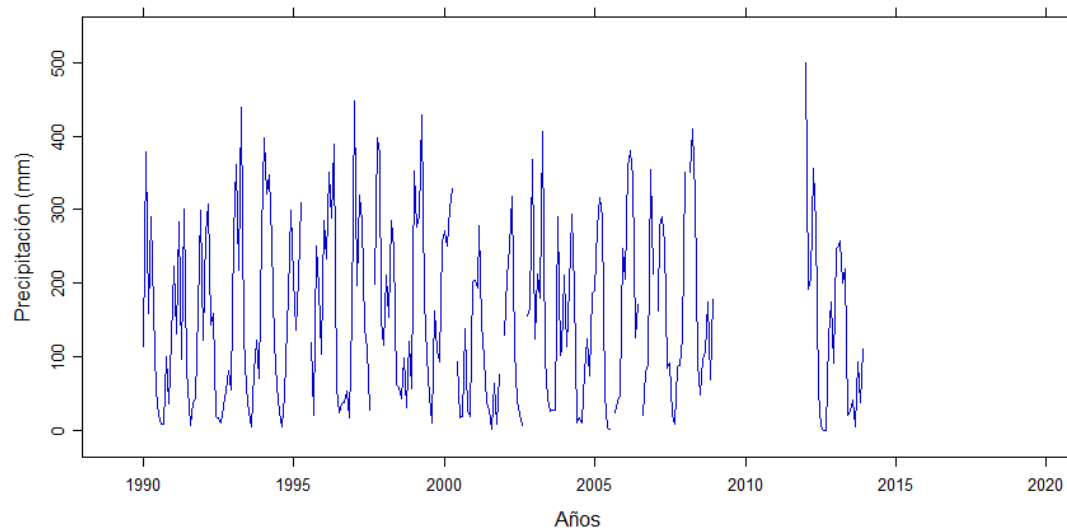
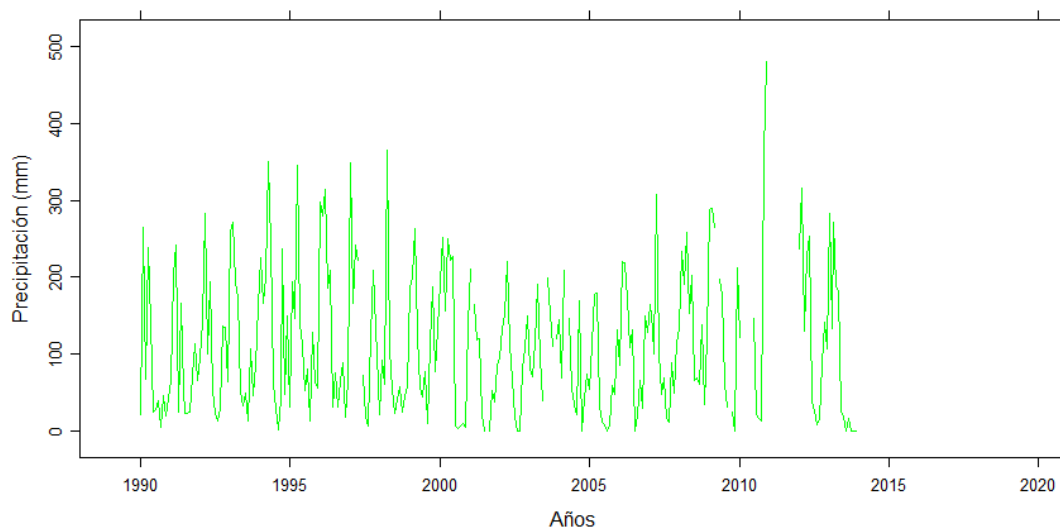


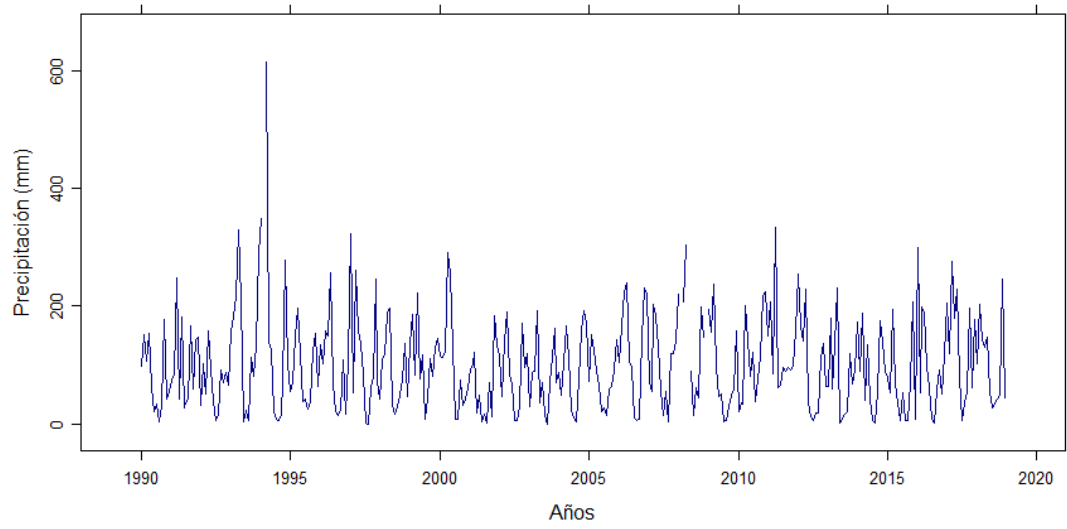
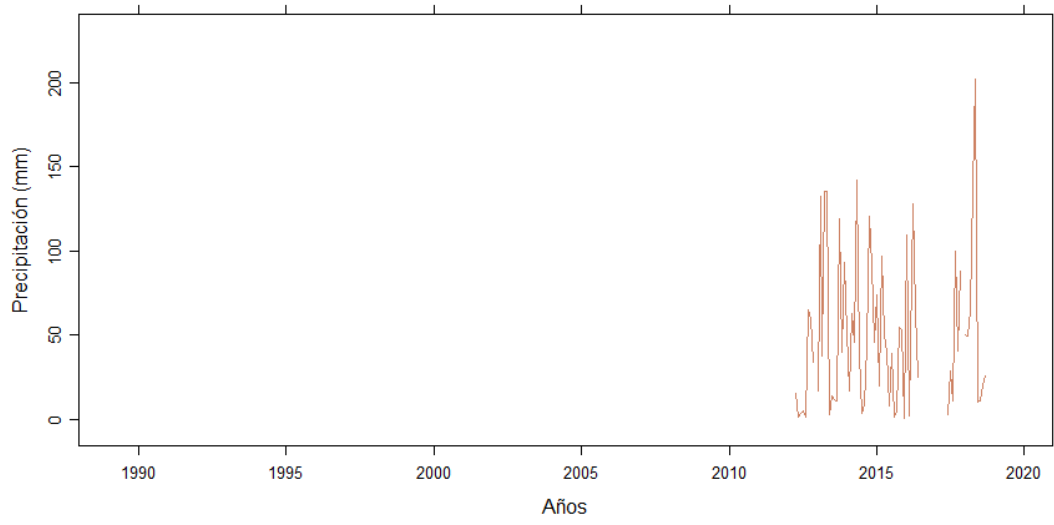


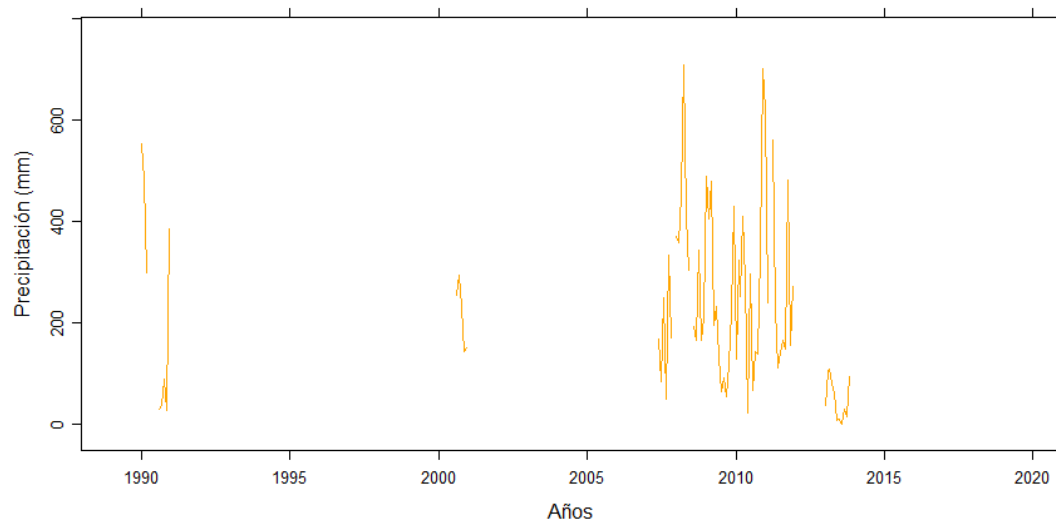
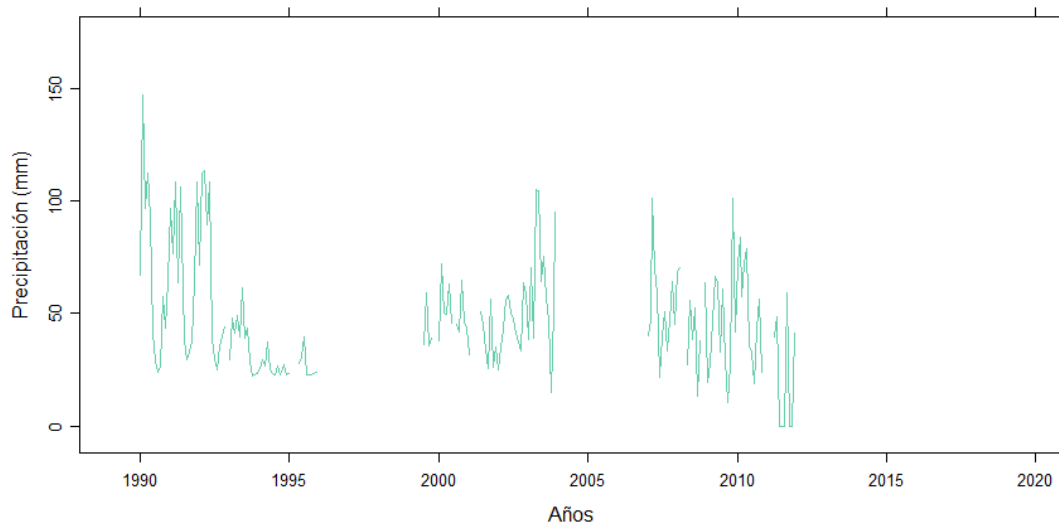
### Anexo 3. Datos disponibles de estaciones pluviométricas

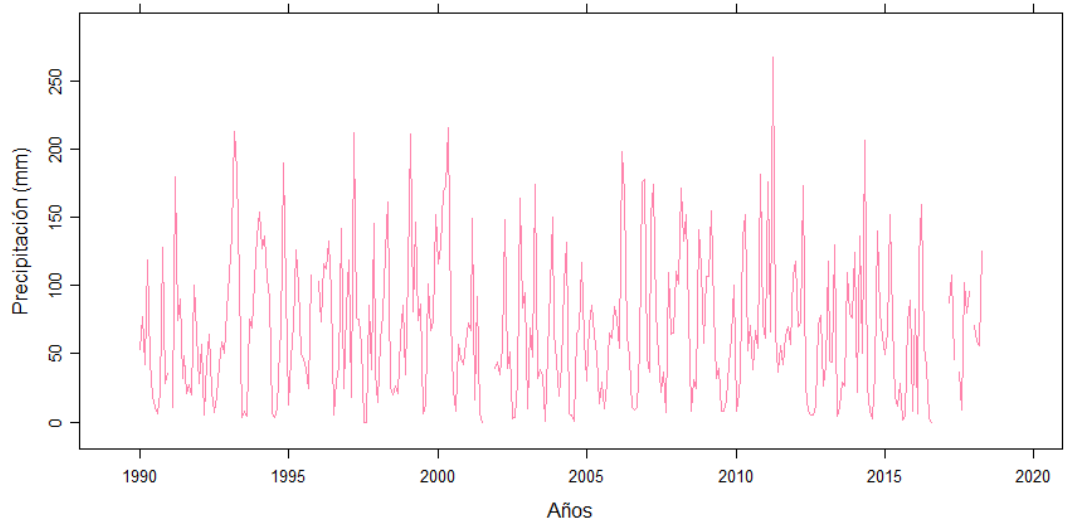
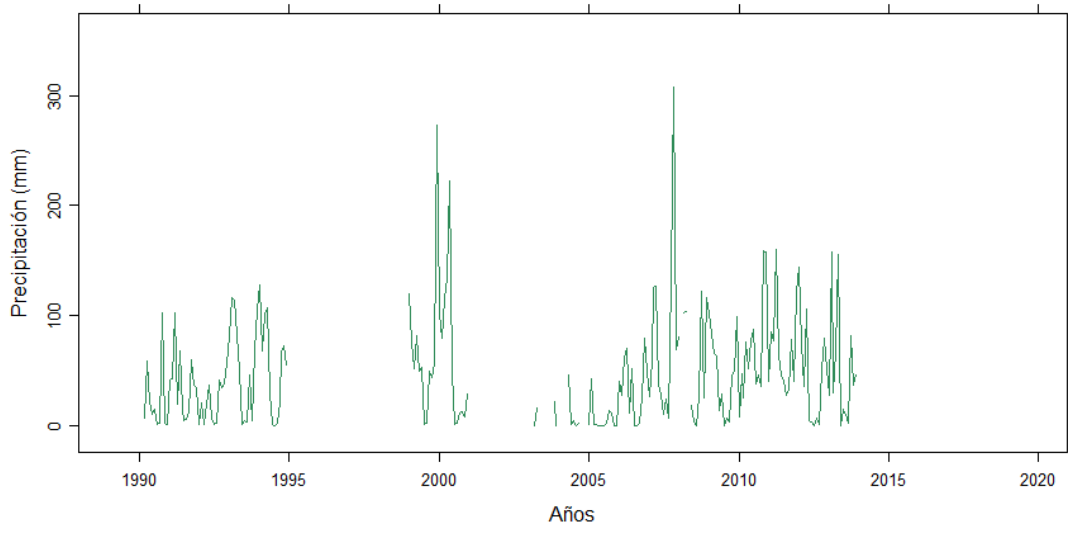


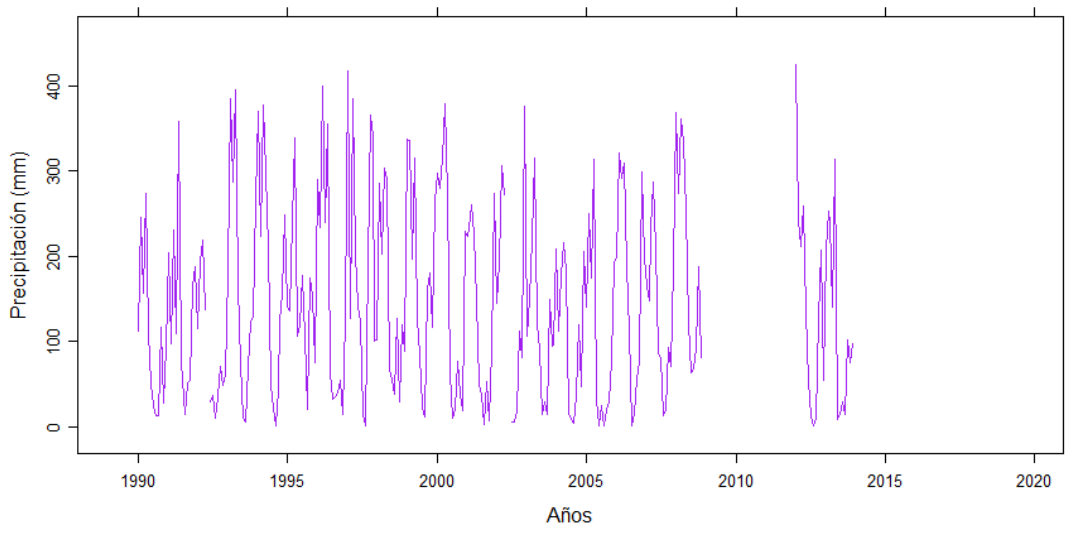
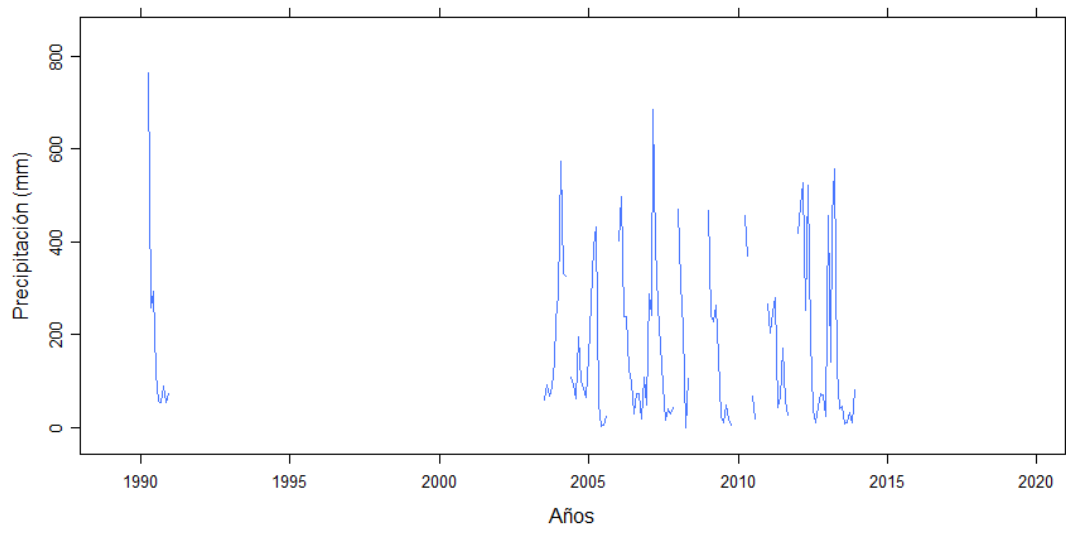




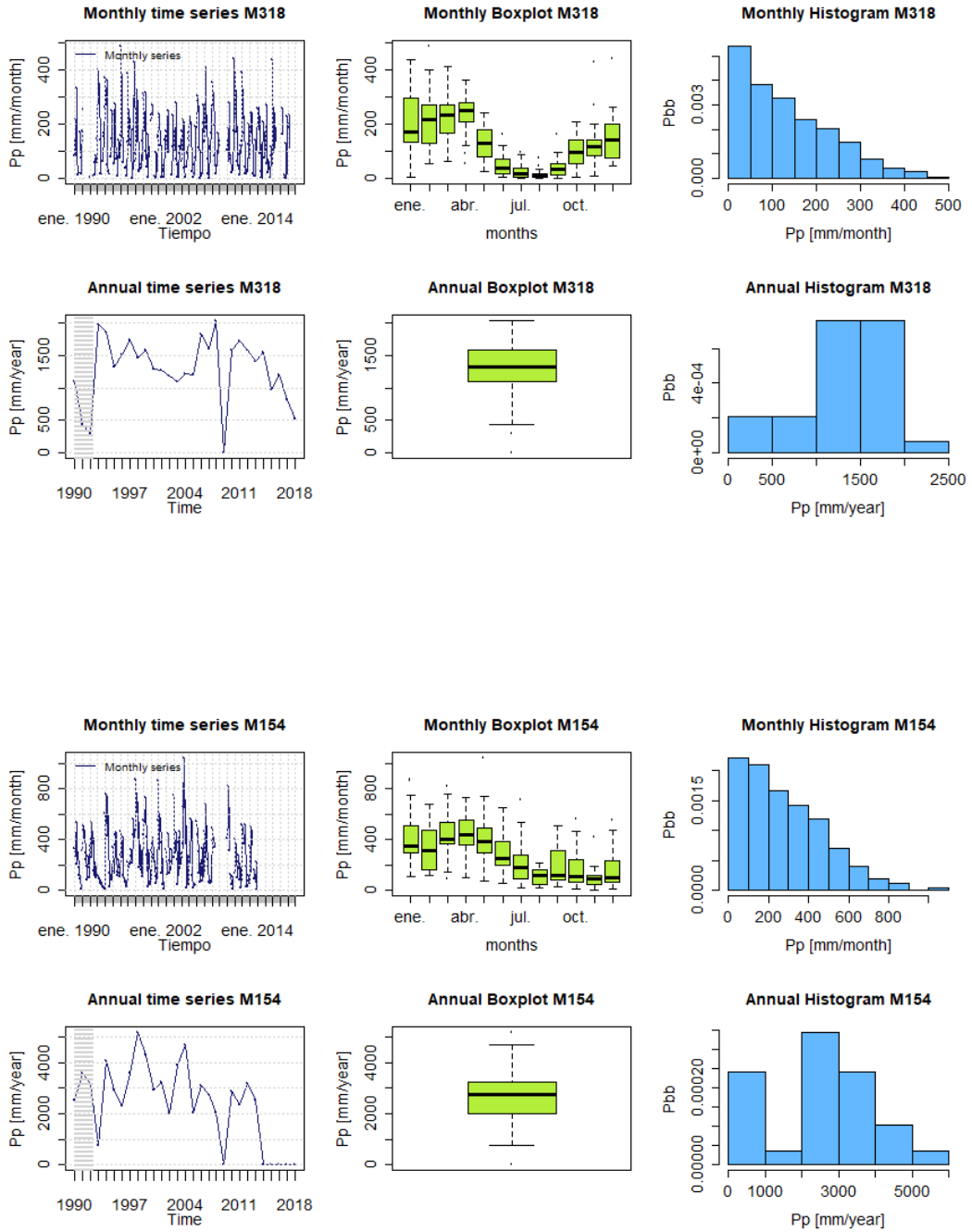


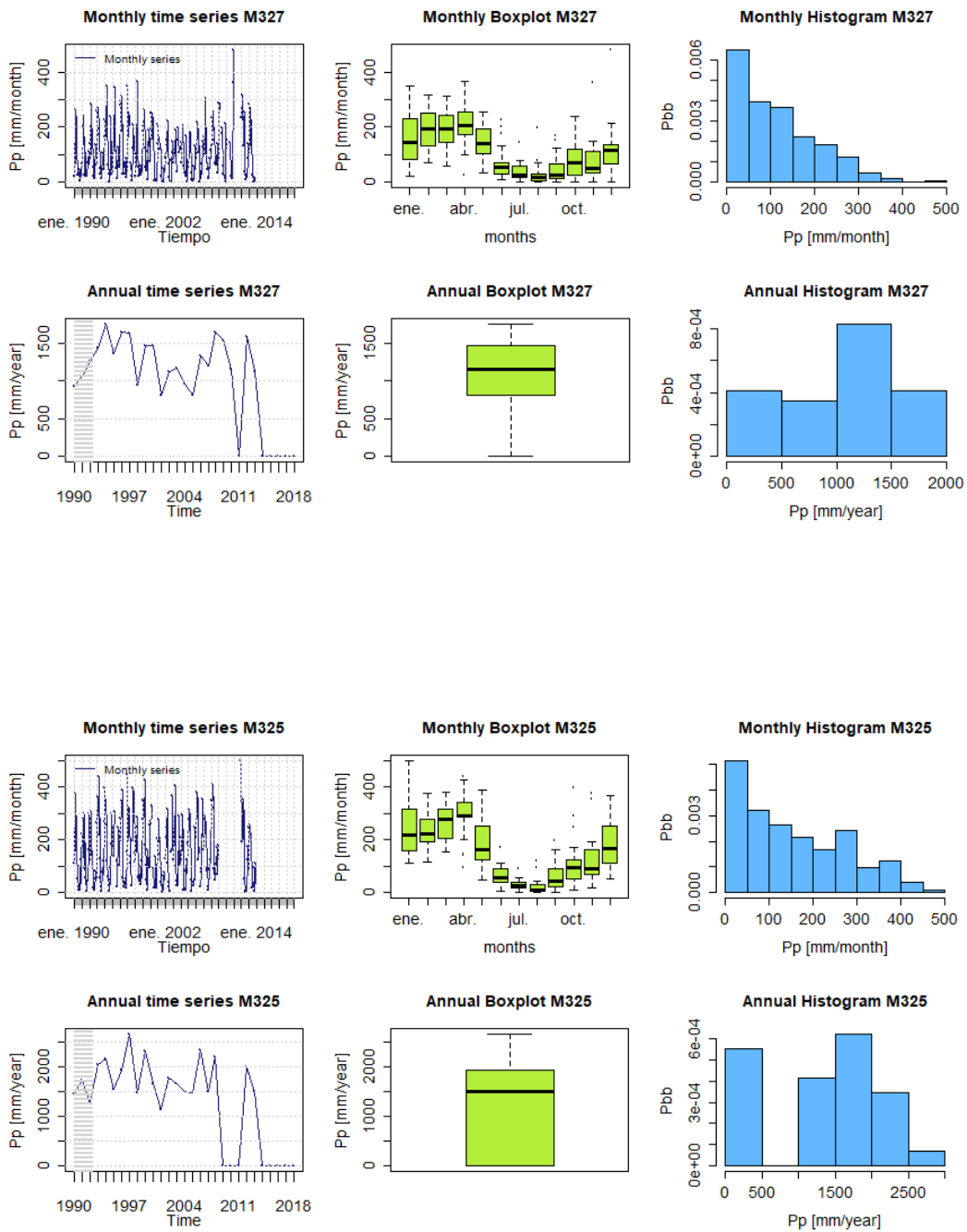


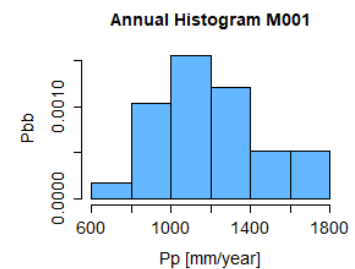
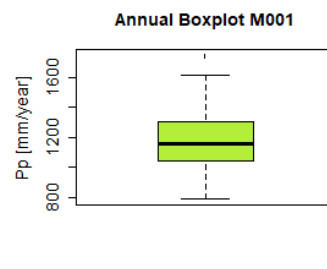
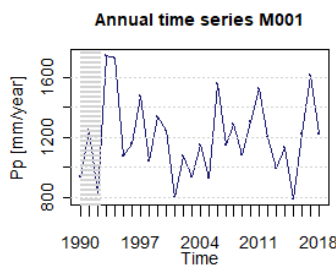
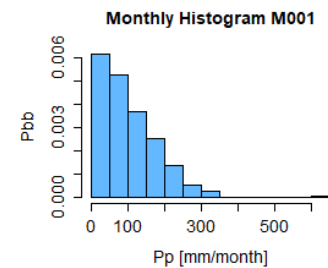
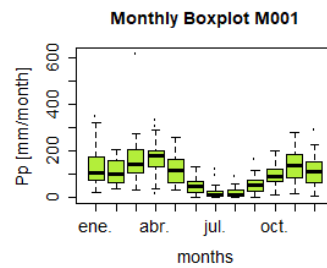
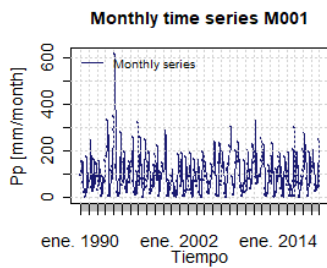
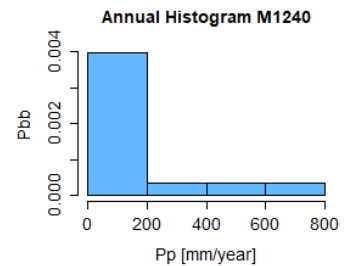
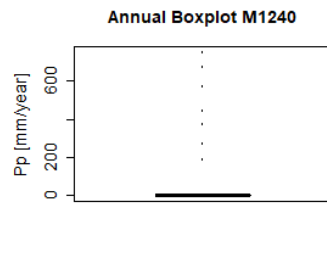
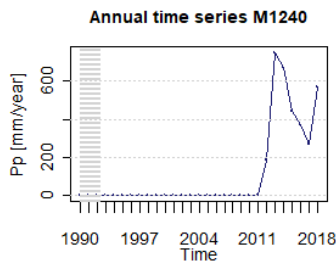
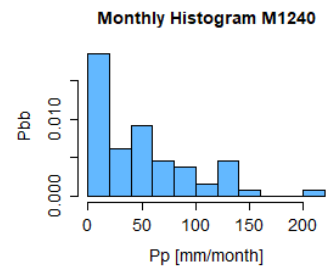
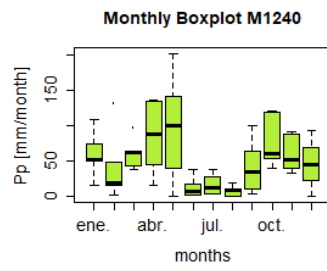
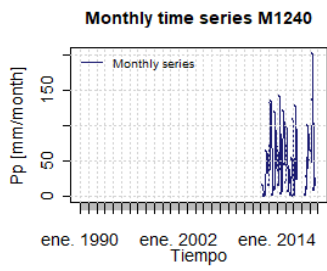




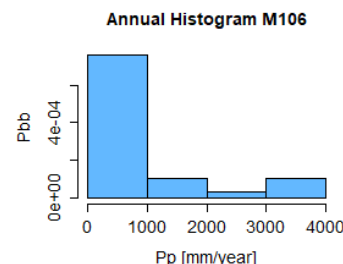
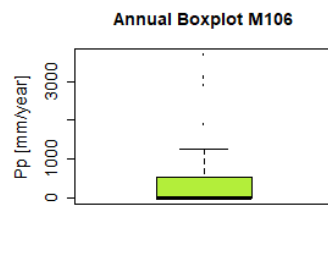
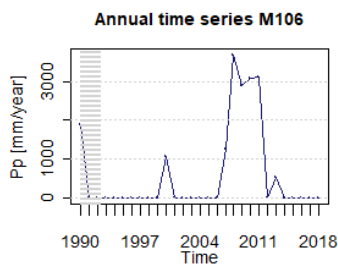
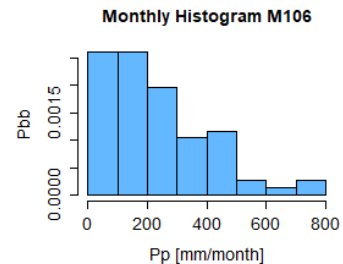
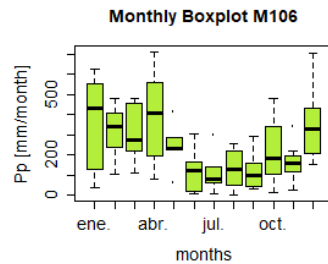
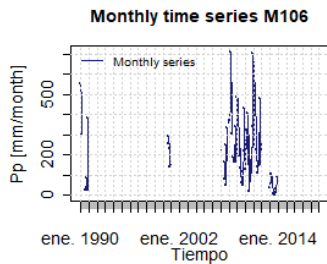
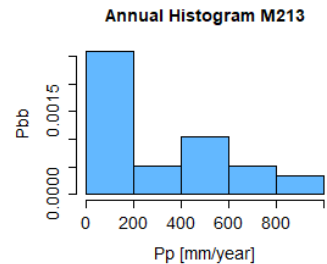
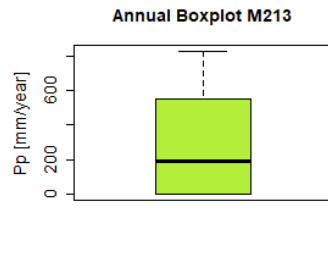
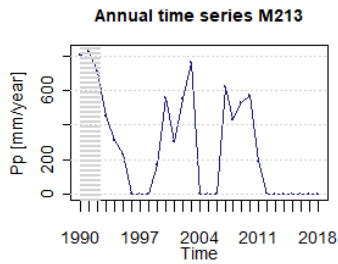
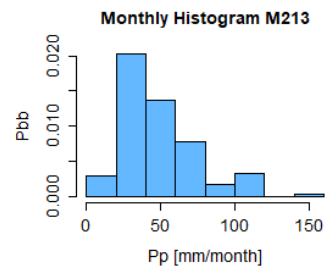
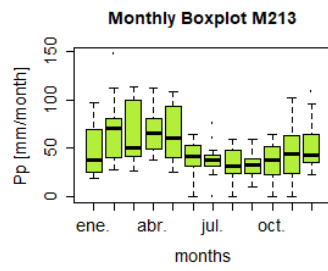
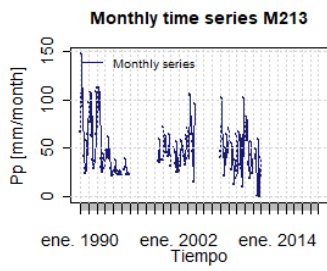
## Anexo 4. Análisis de datos disponibles de estaciones pluviométricas

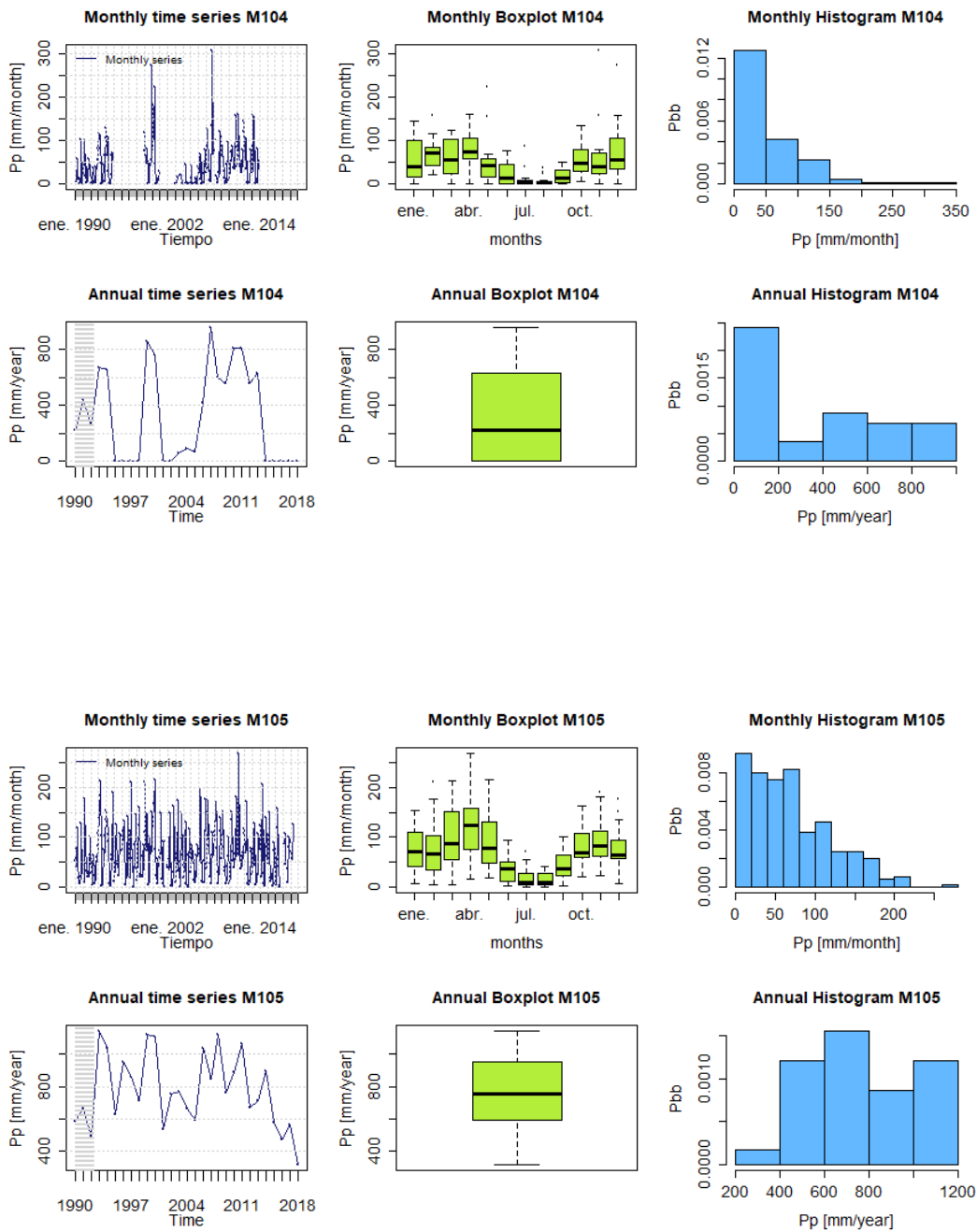


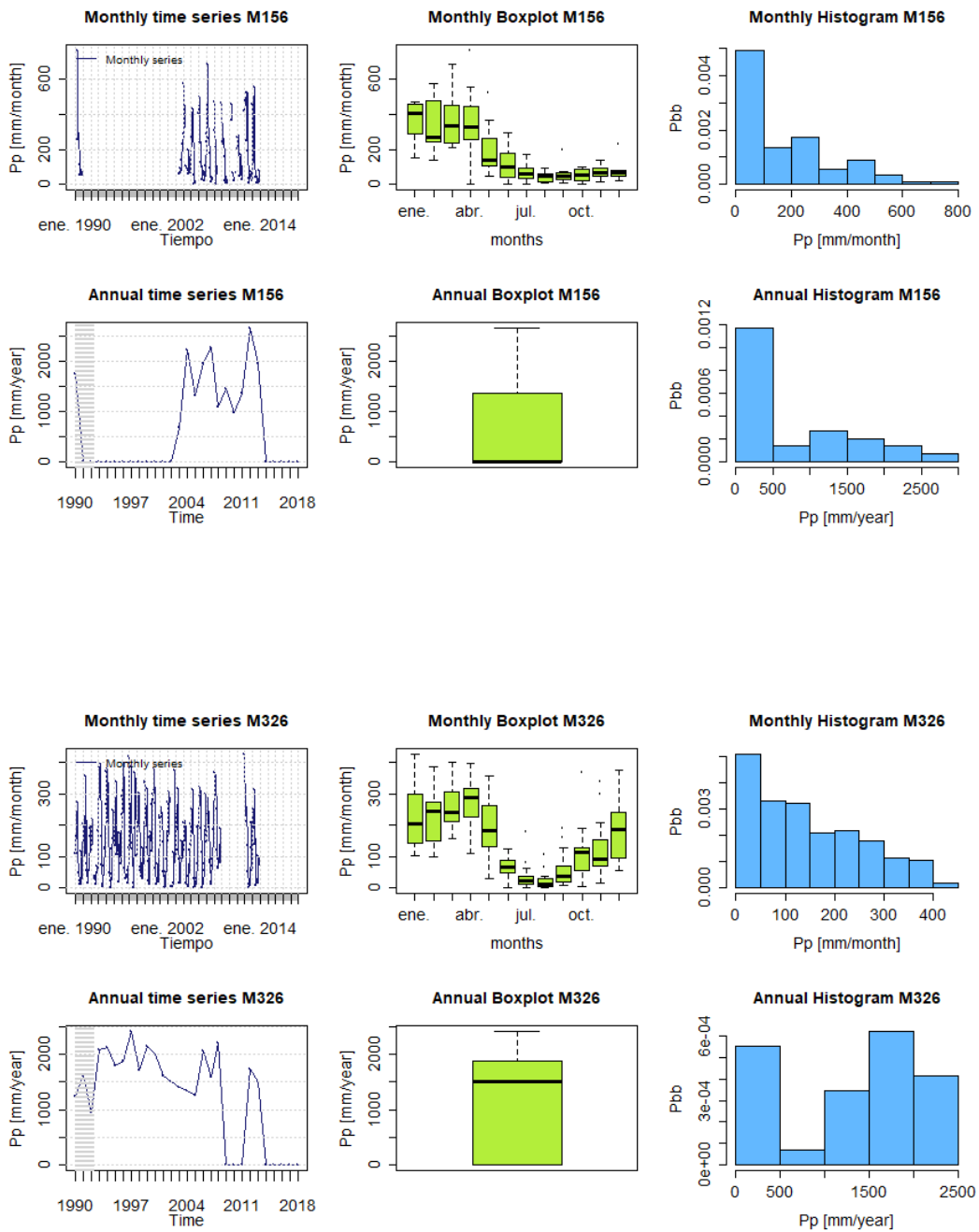






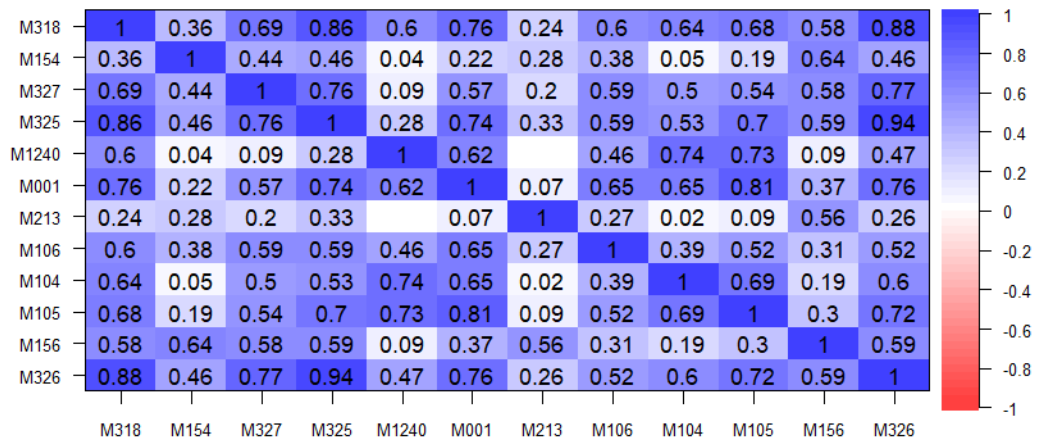
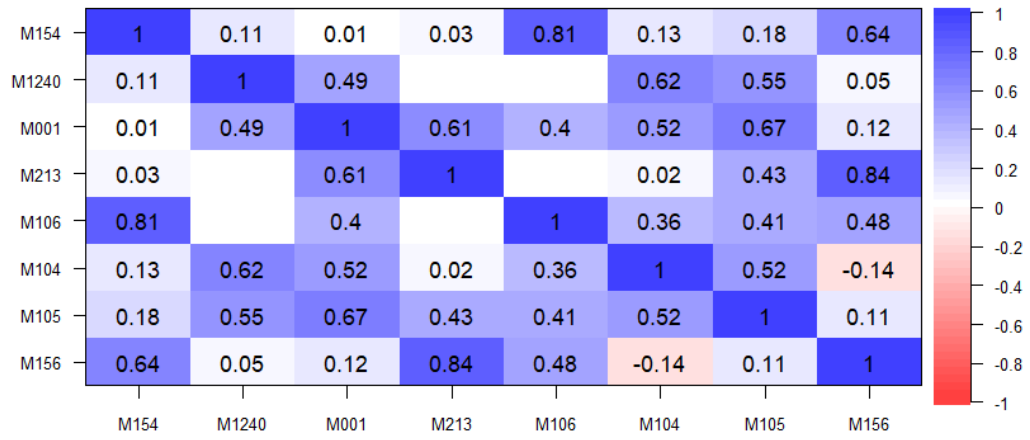


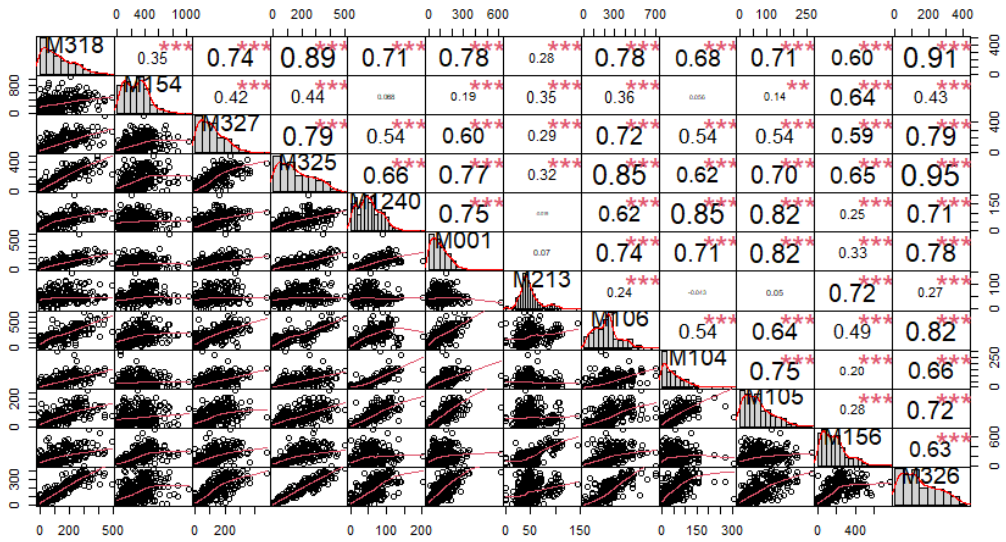
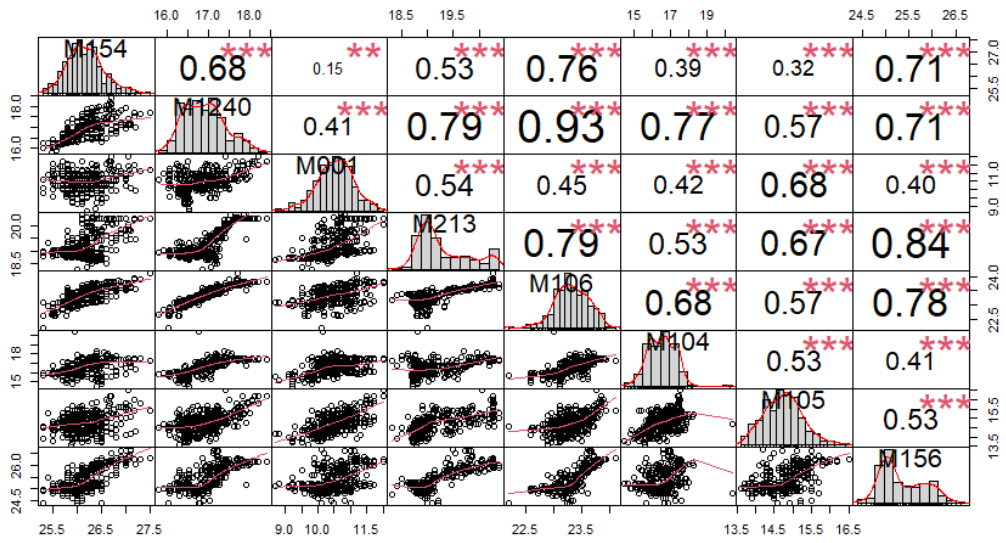




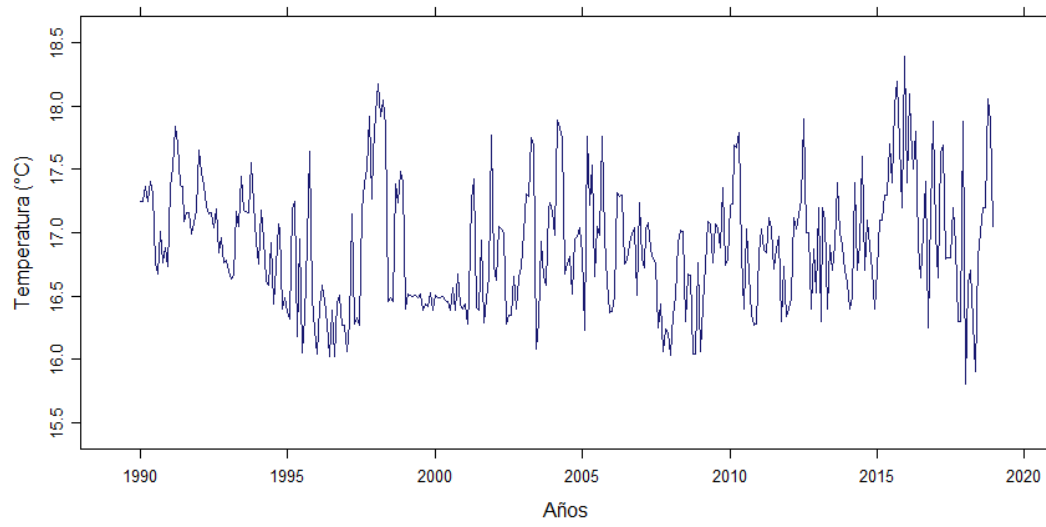
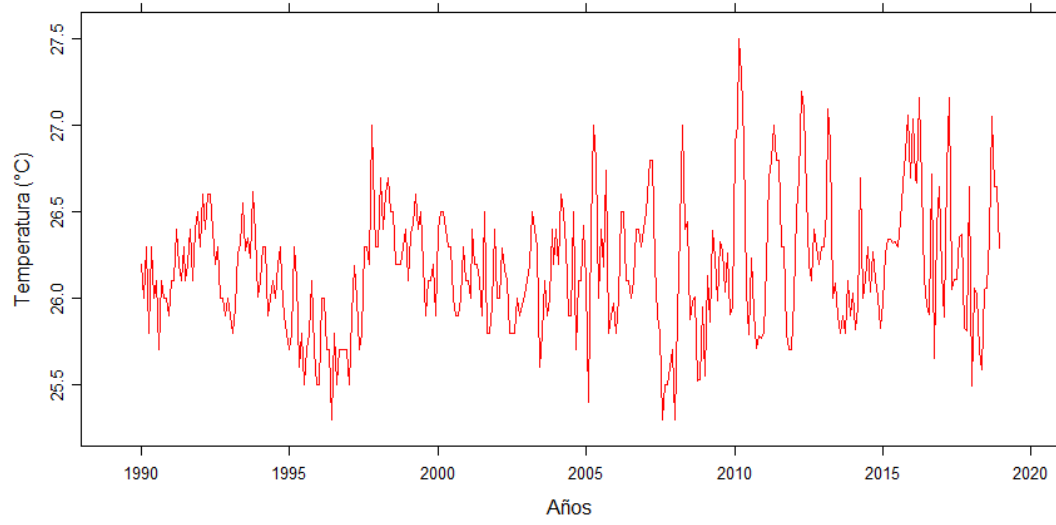


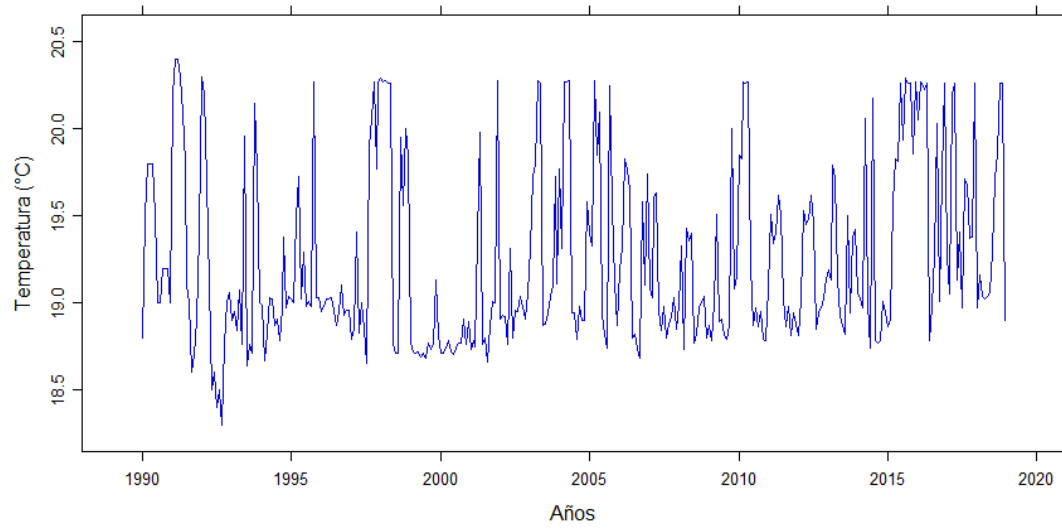
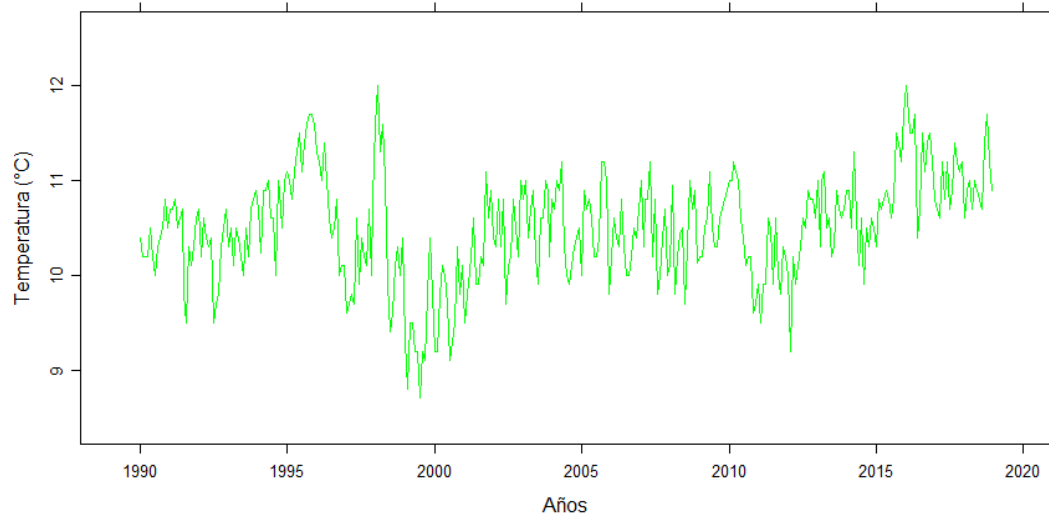
### Anexo 6. Matriz de correlación de las estaciones meteorológicas y pluviométricas



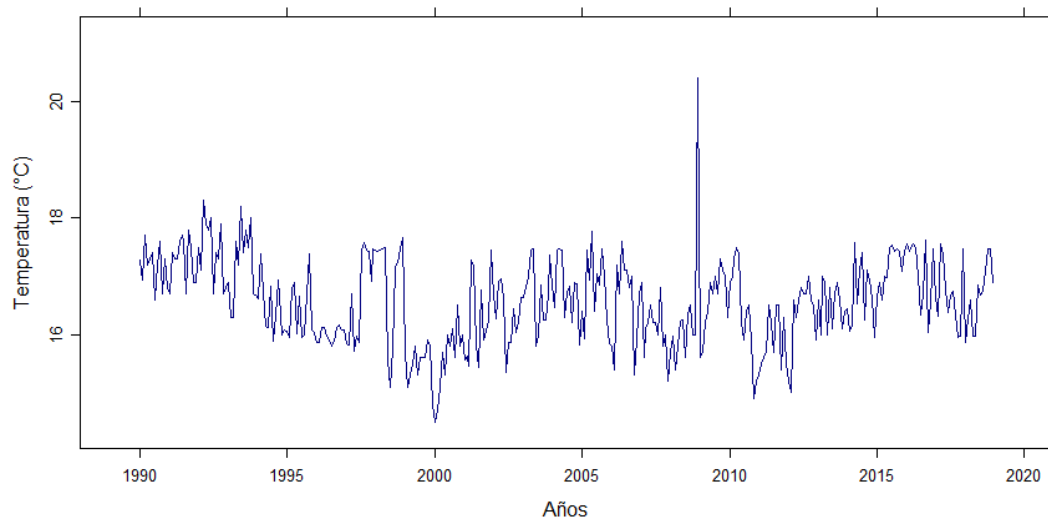
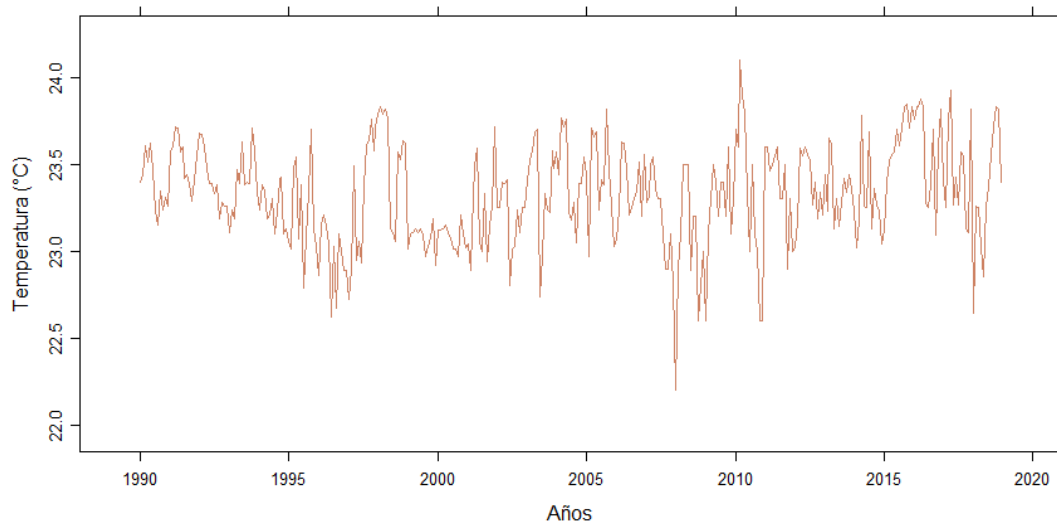


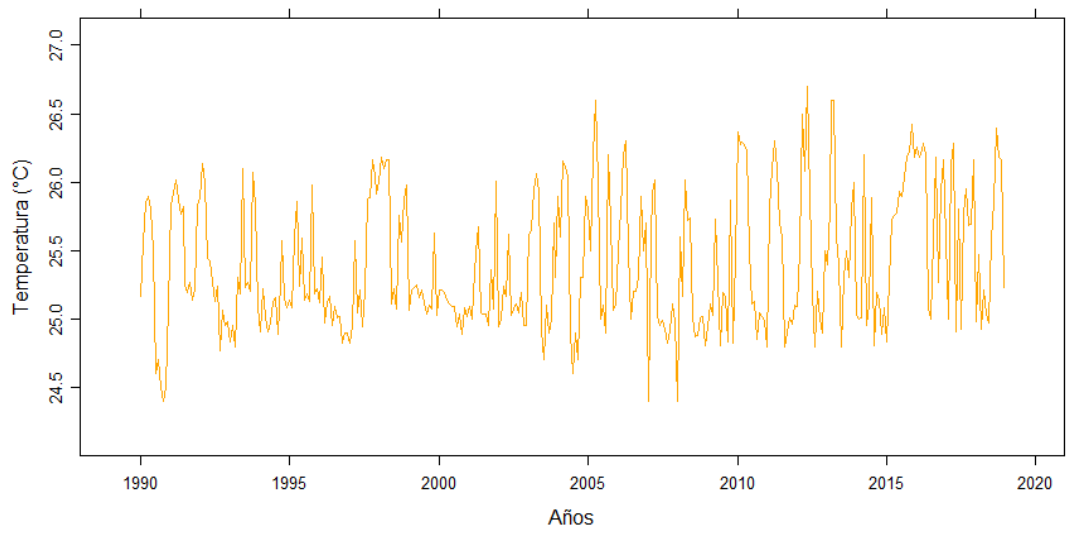
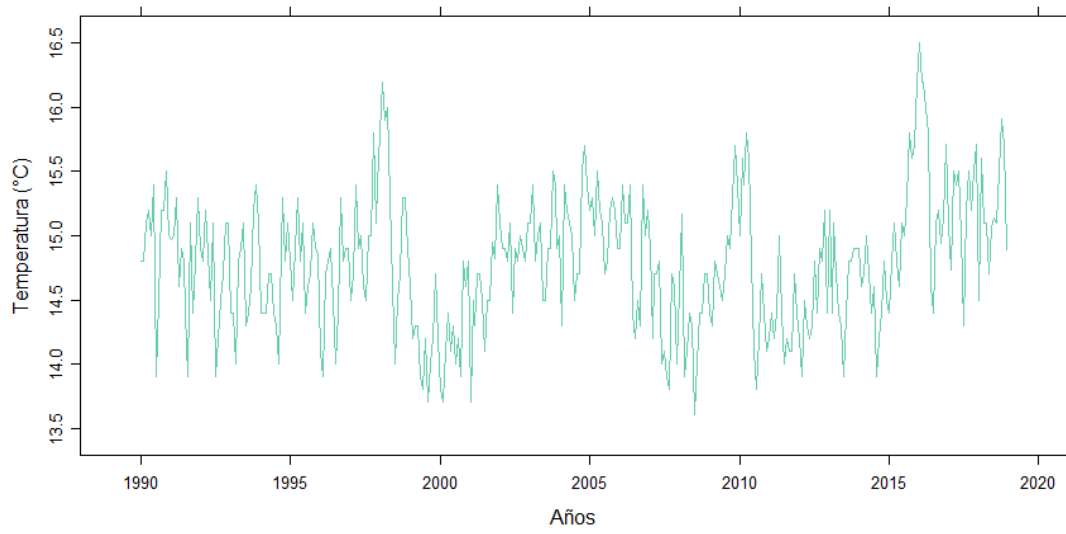
## Anexo 7. Datos completos de las estaciones meteorológicas



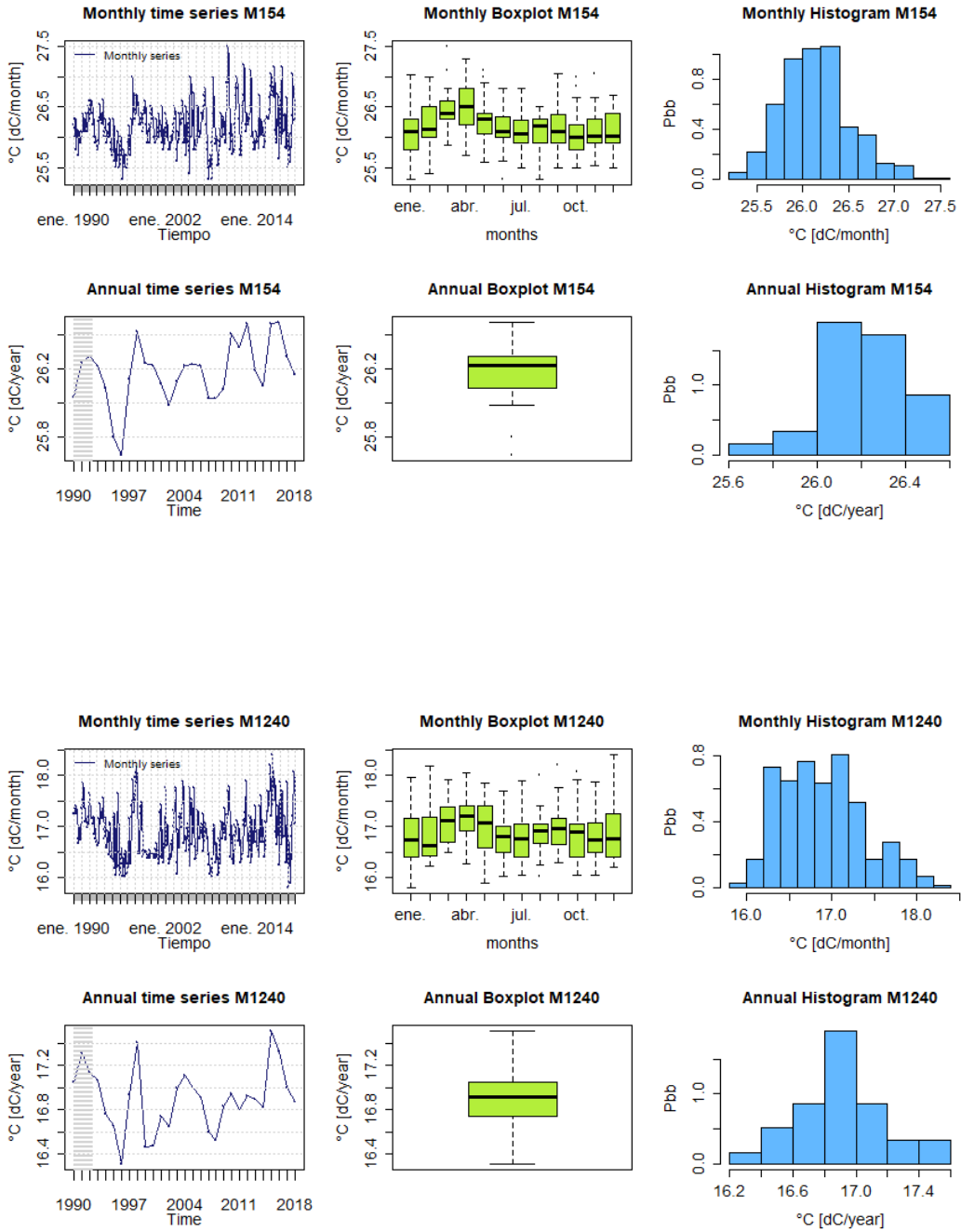


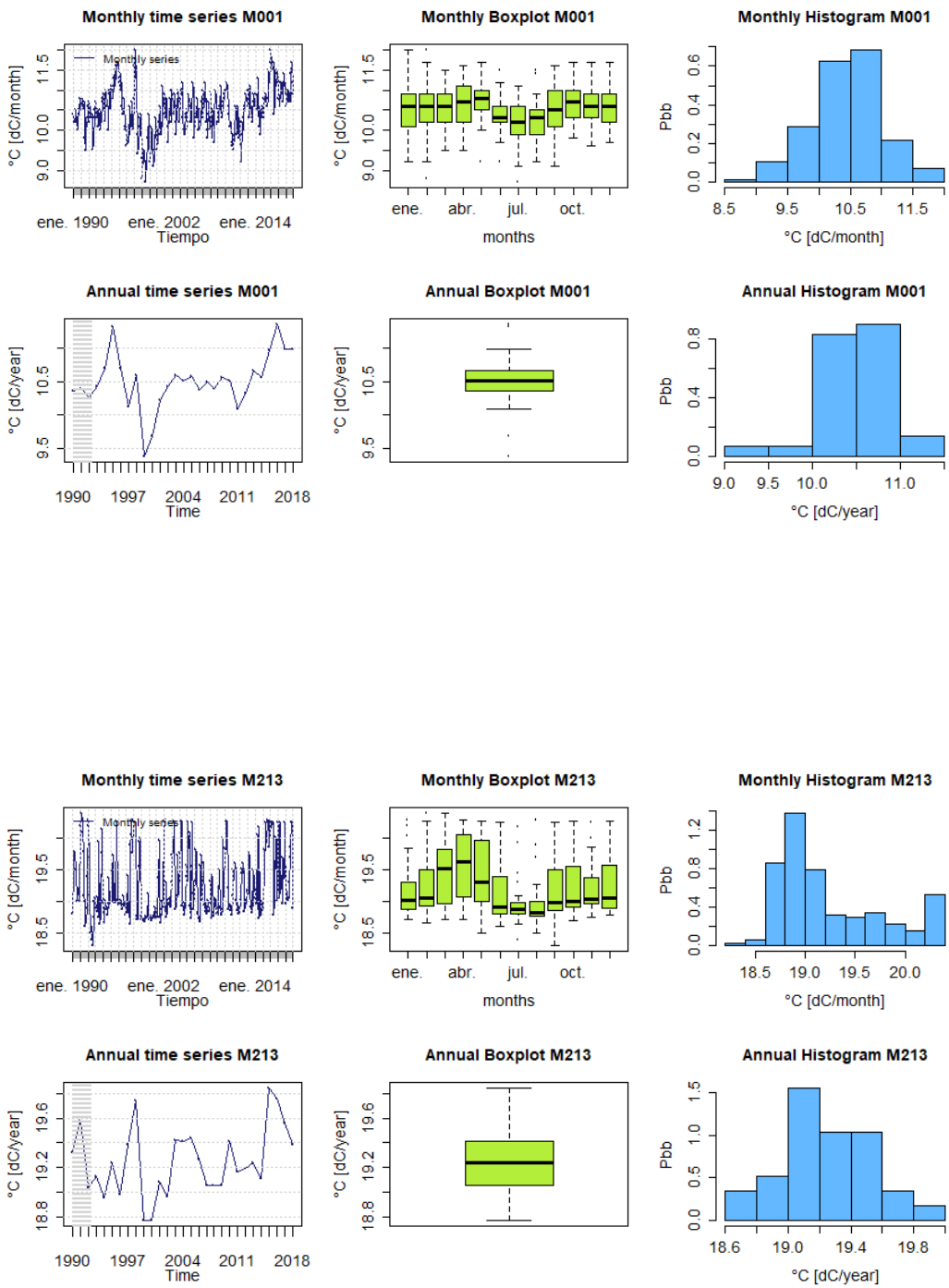


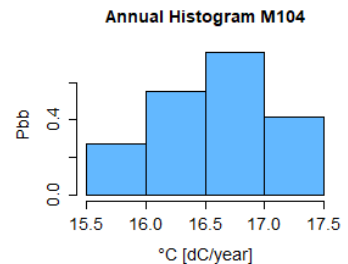
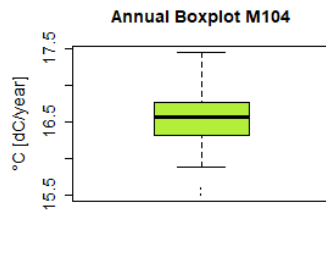
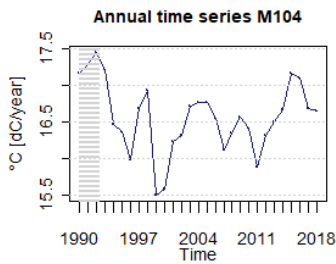
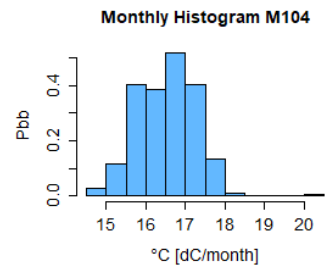
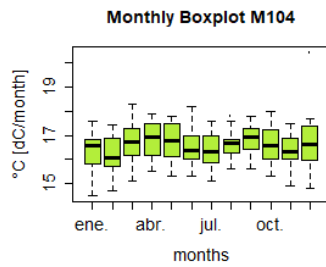
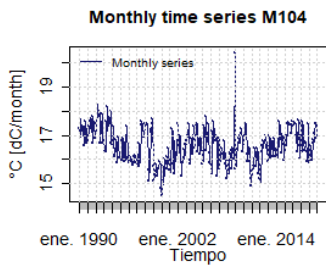
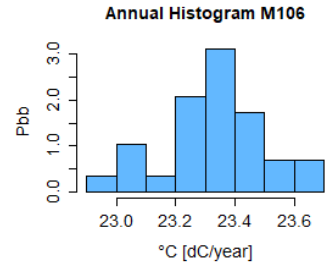
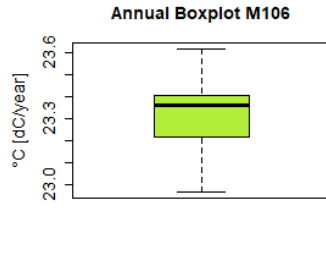
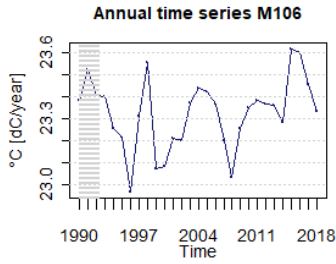
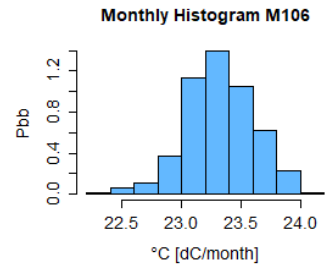
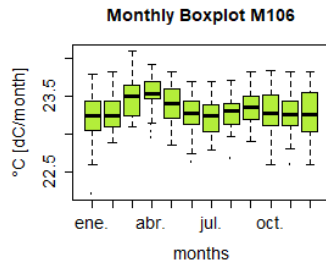
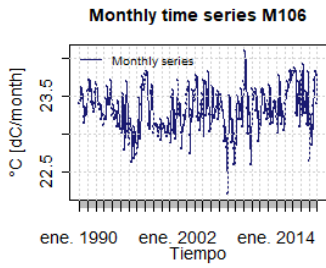


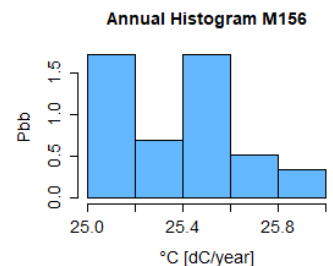
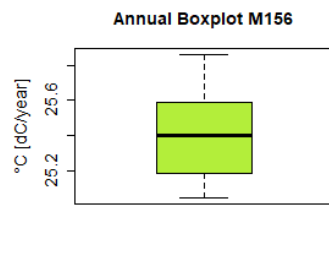
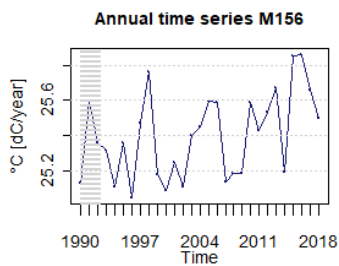
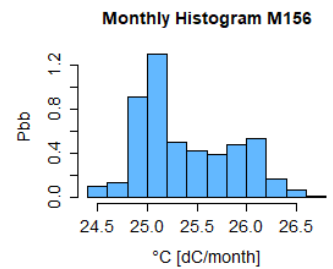
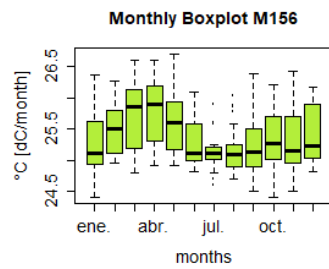
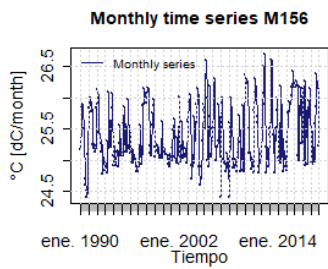
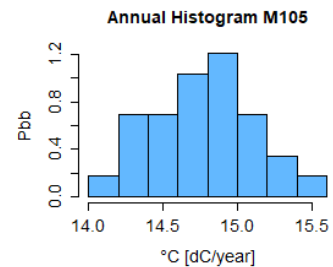
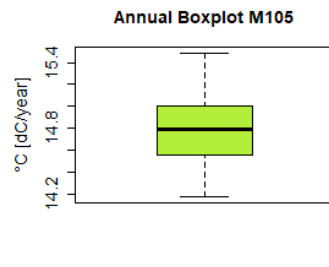
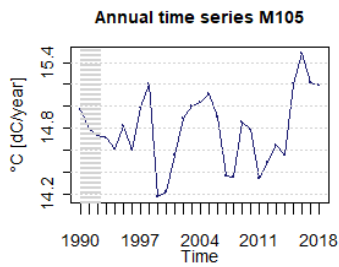
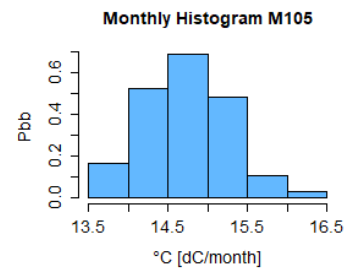
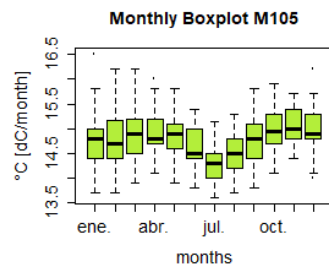
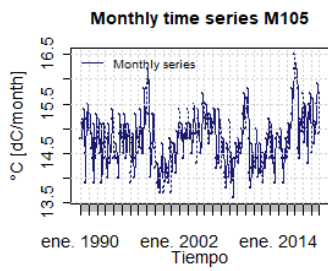


## Anexo 8. Análisis de datos completos de estaciones meteorológicas

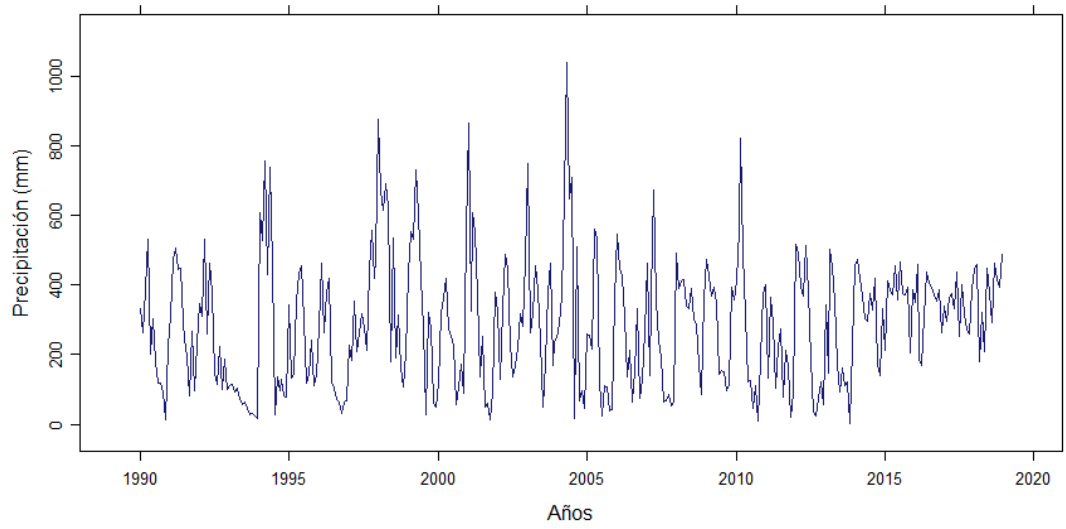
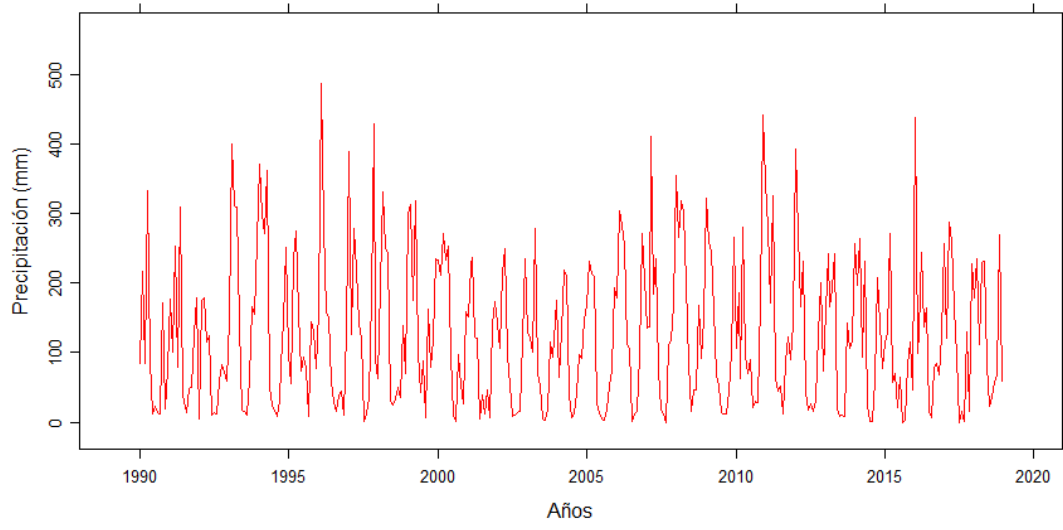


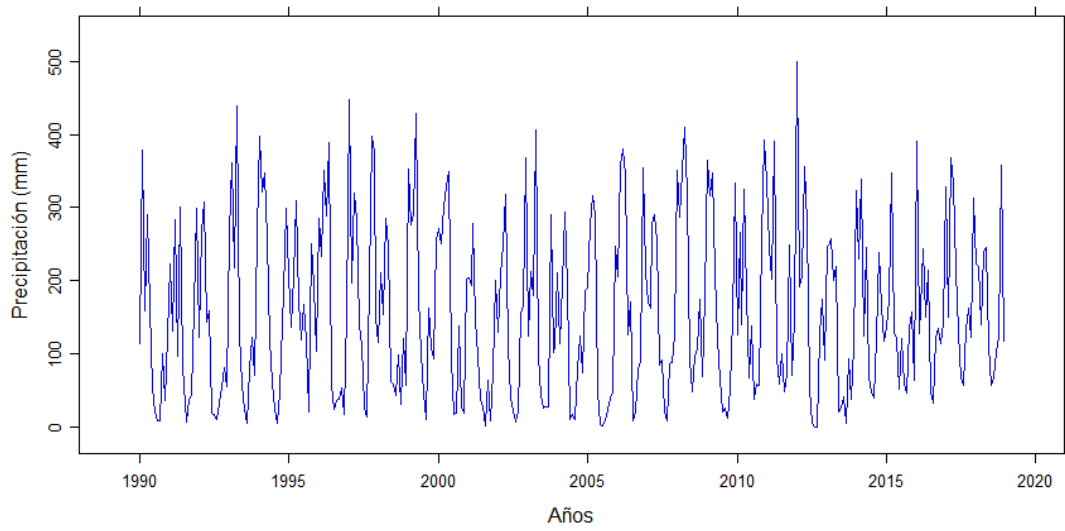
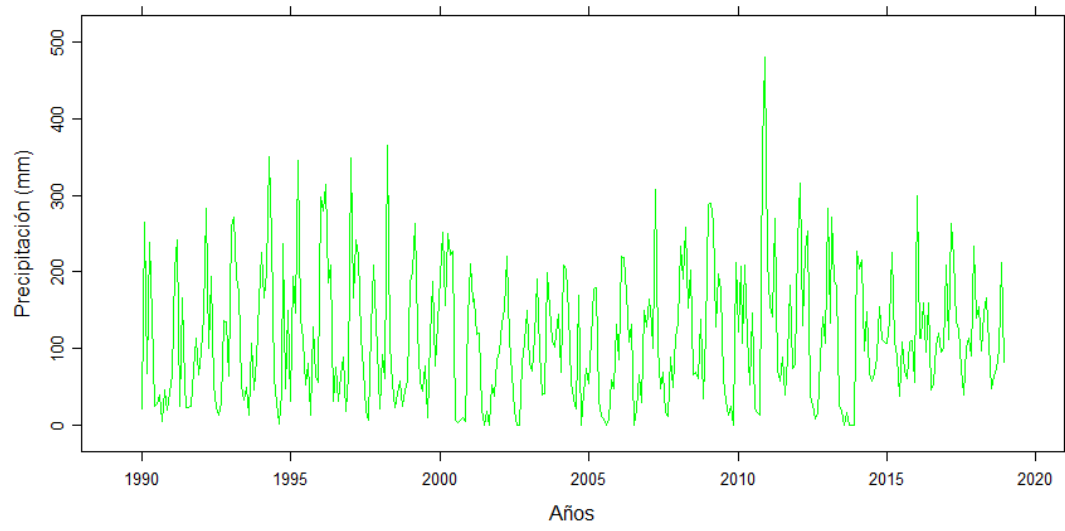




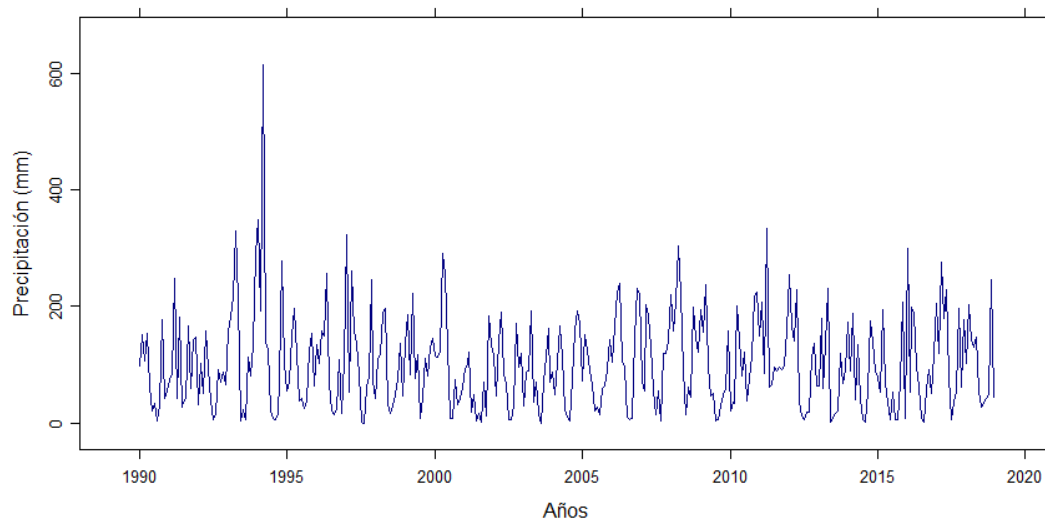
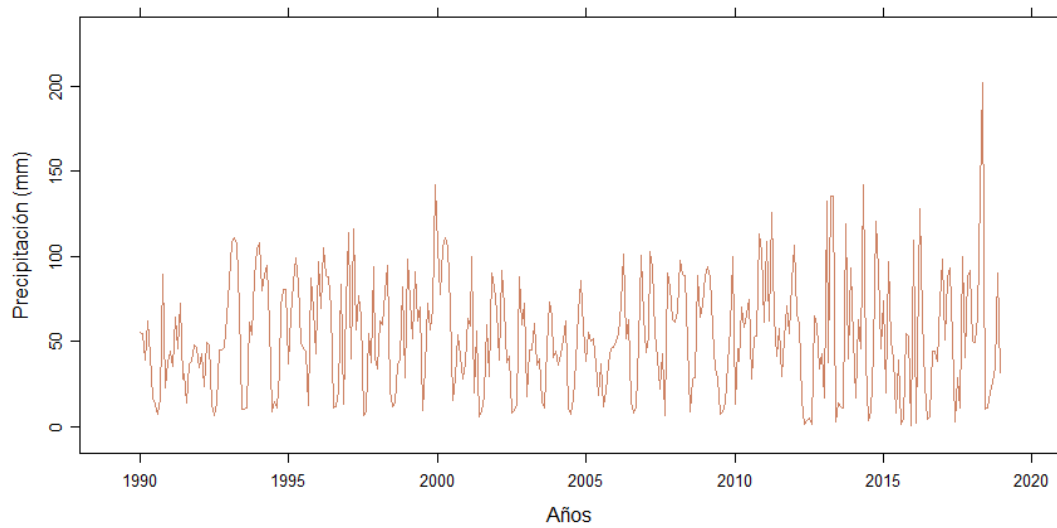


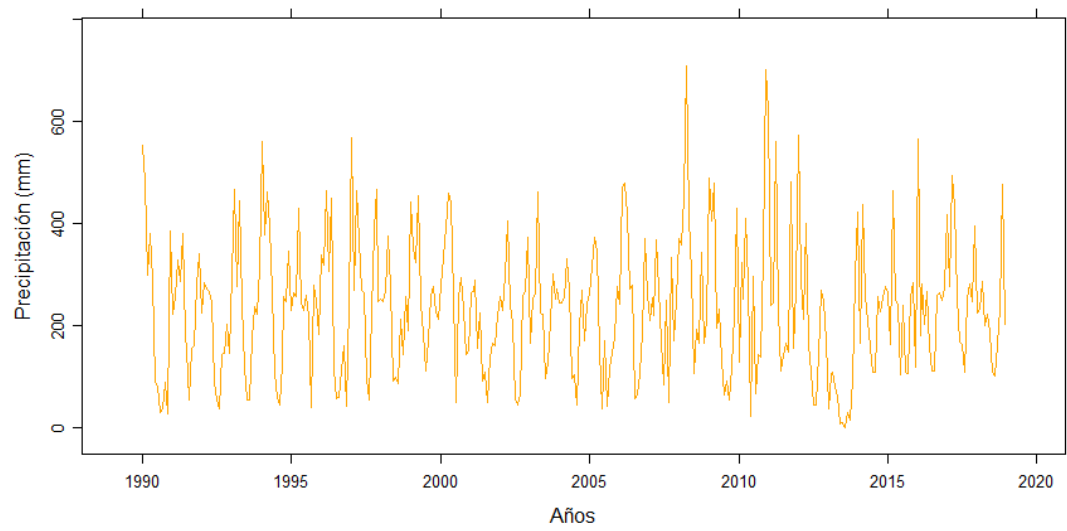
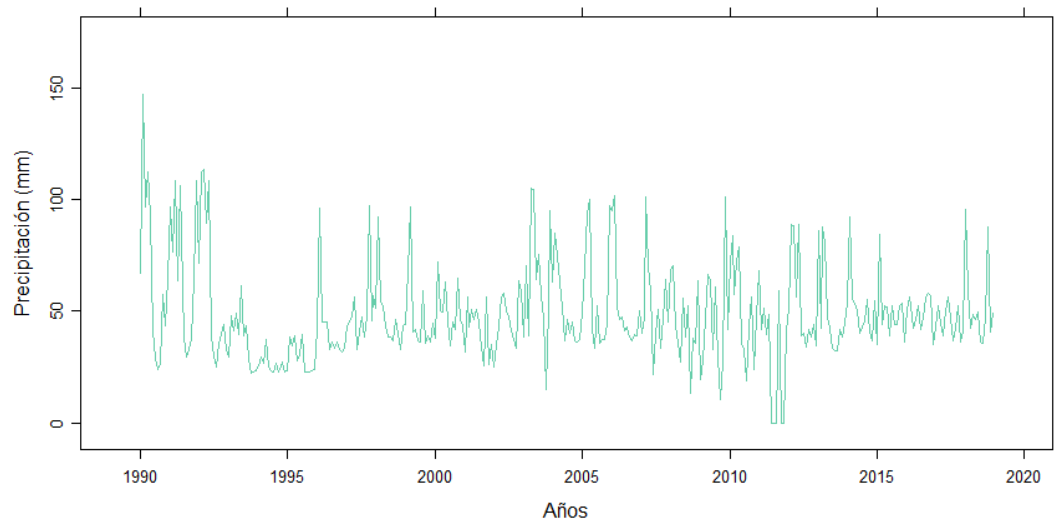
### Anexo 9. Datos completos de las estaciones pluviométricas

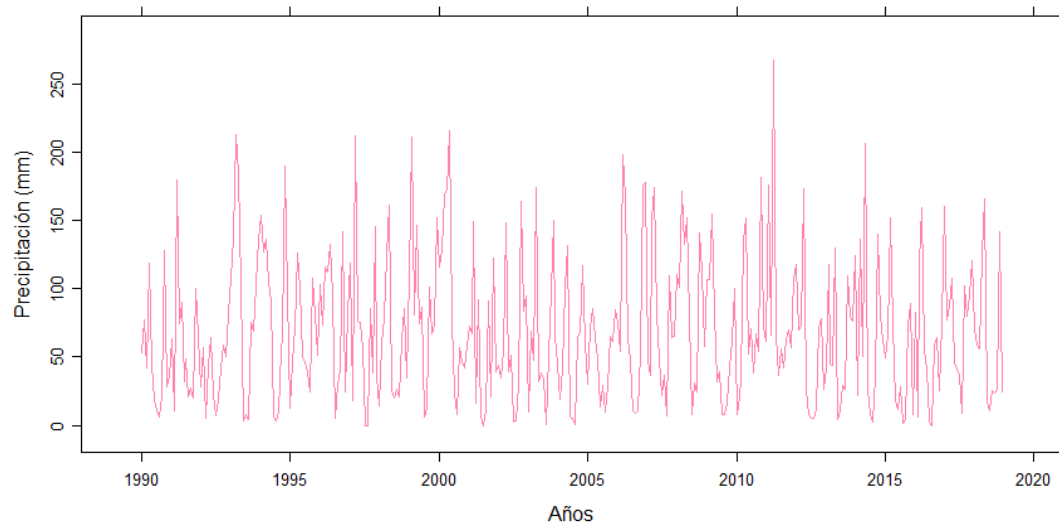
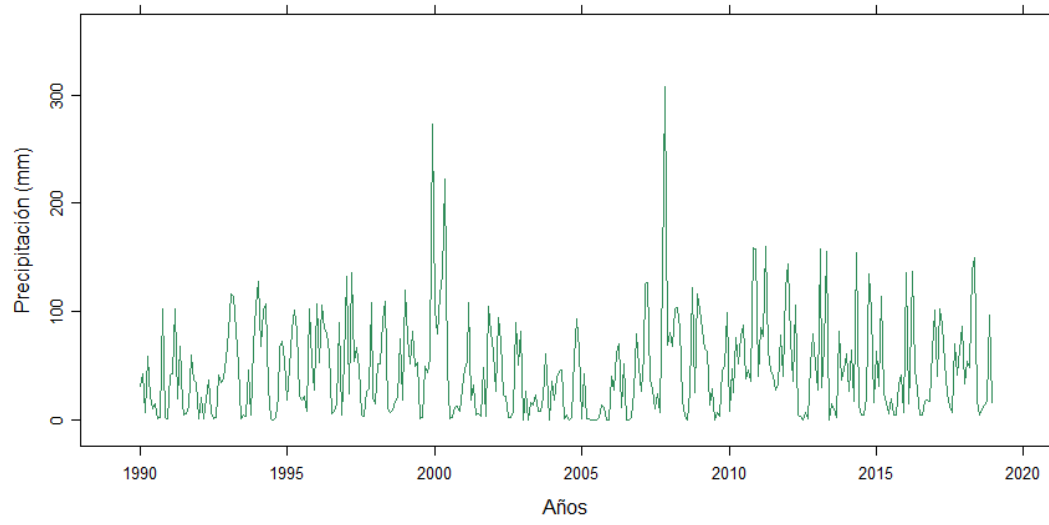


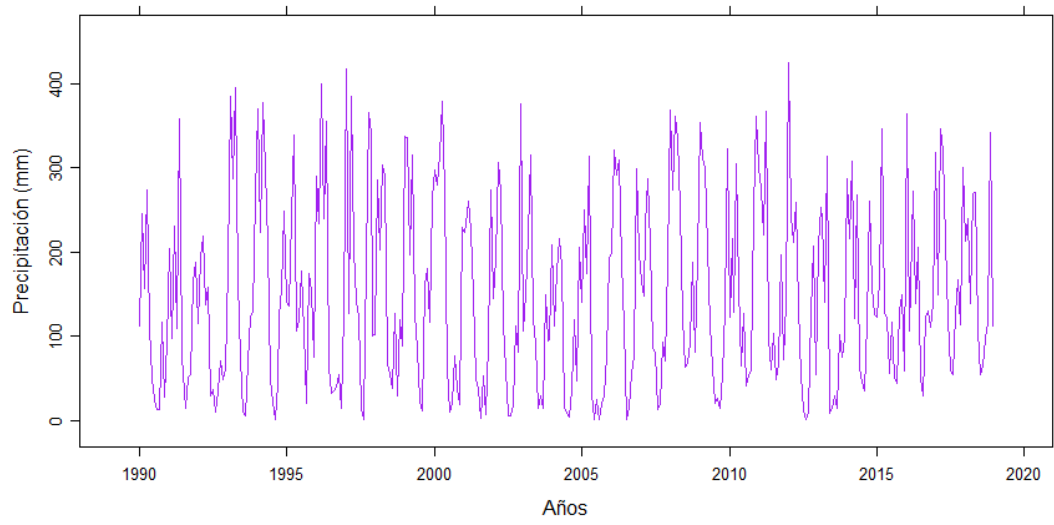
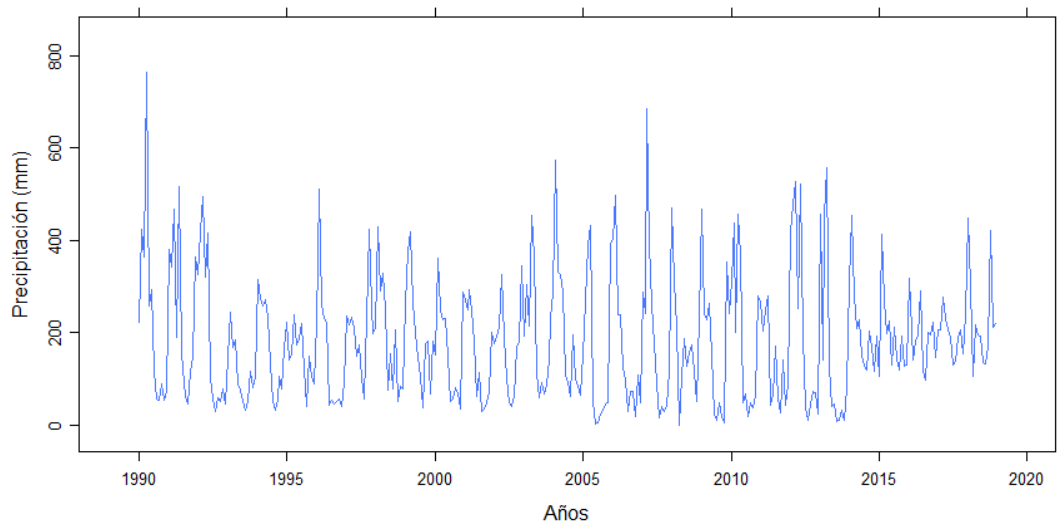




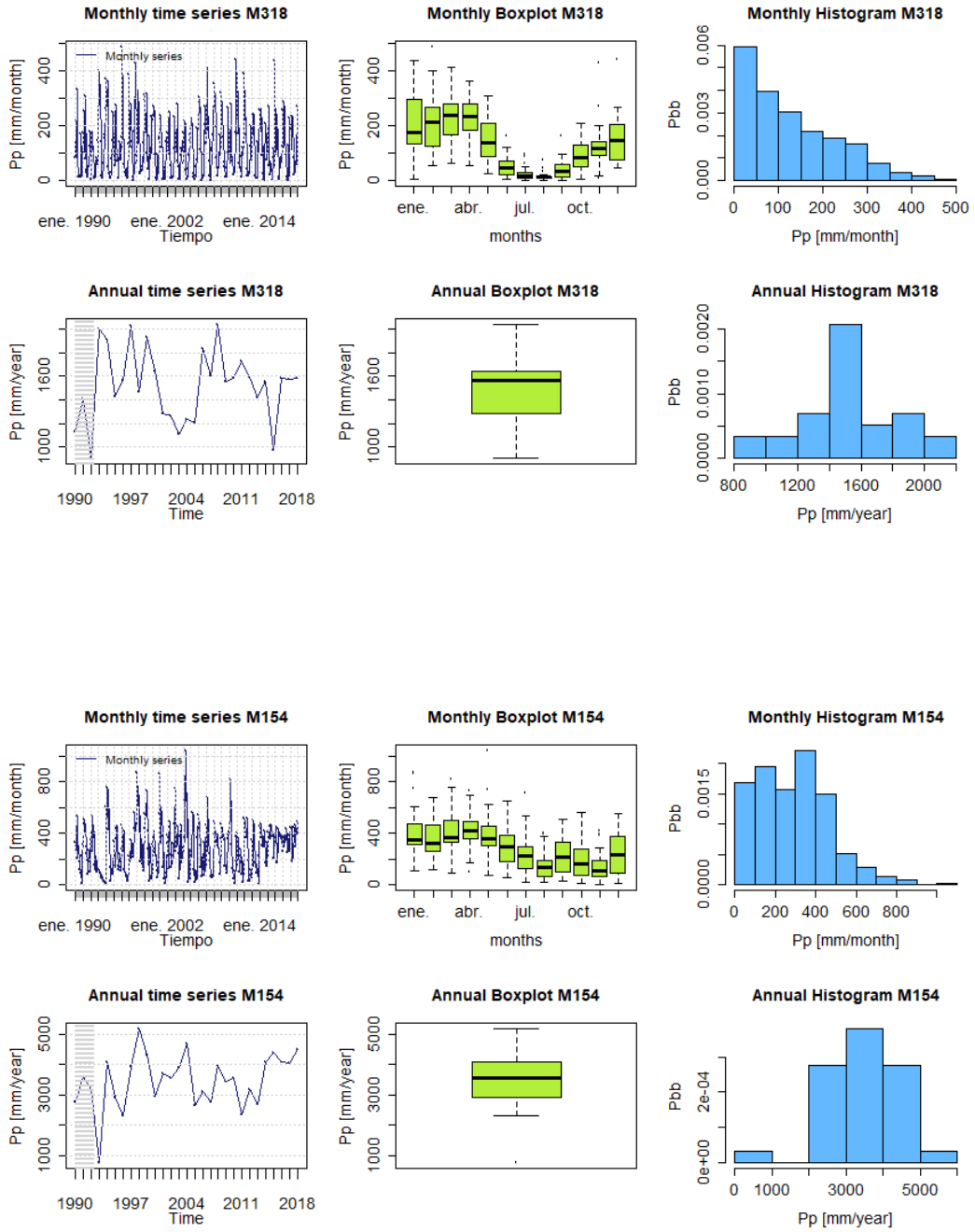


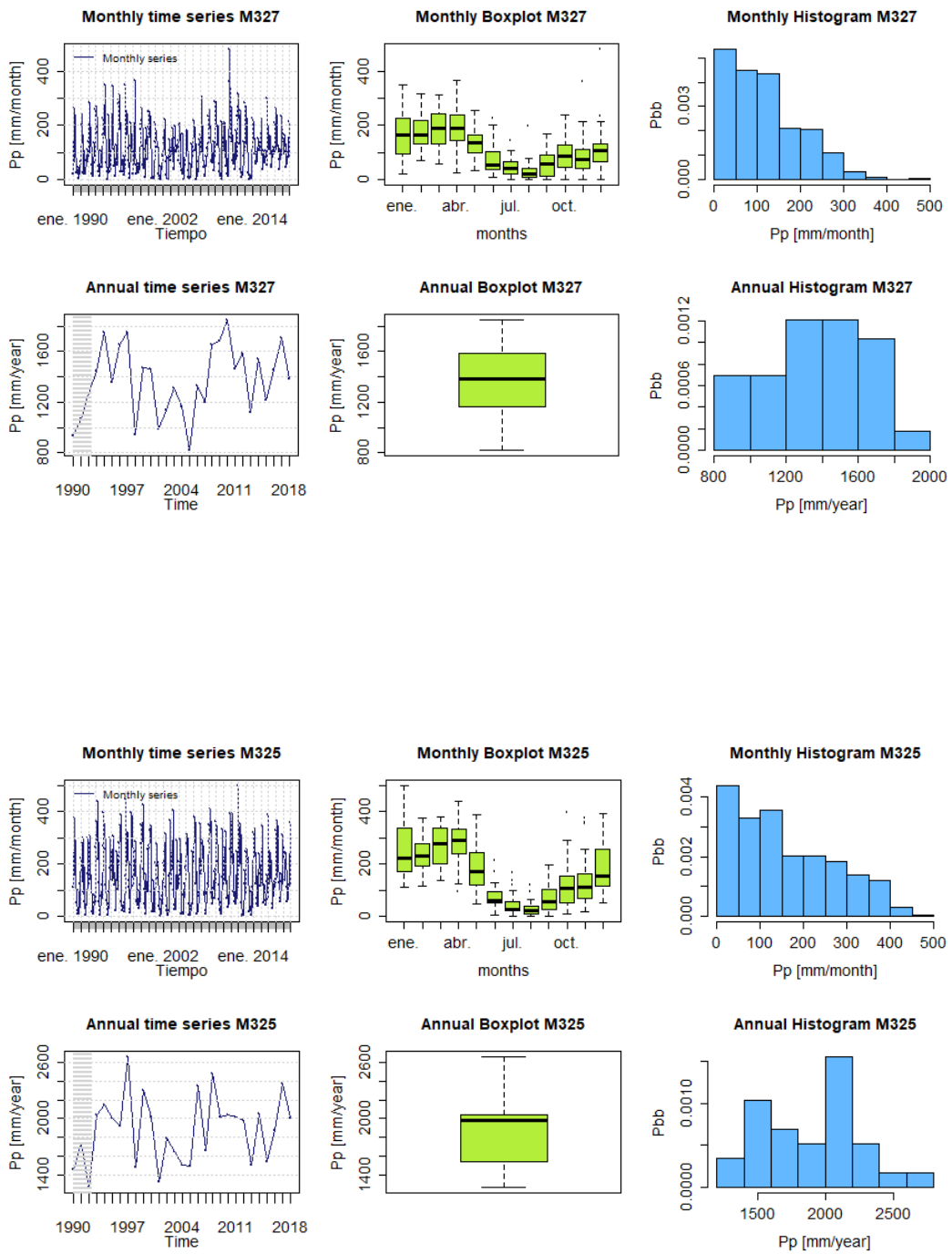


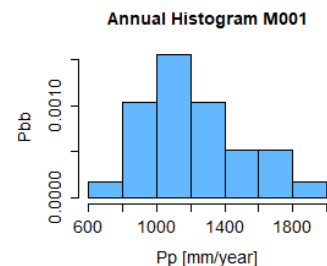
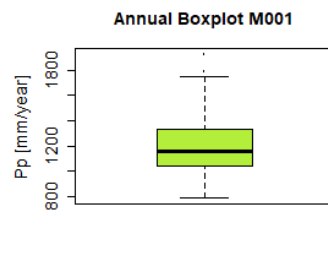
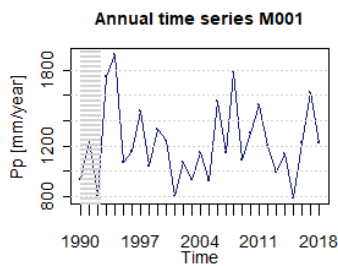
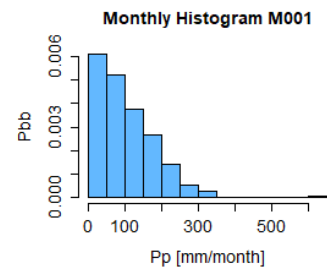
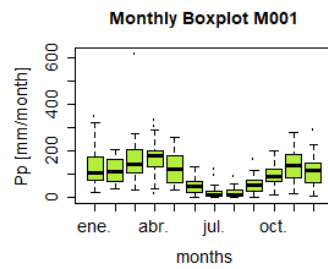
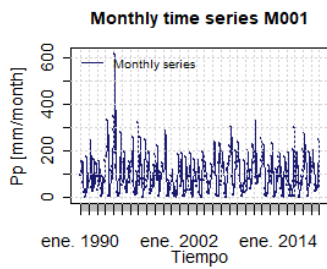
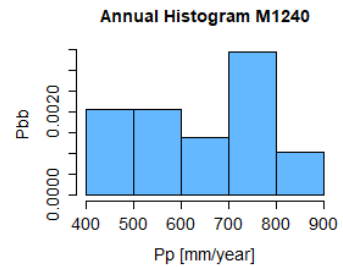
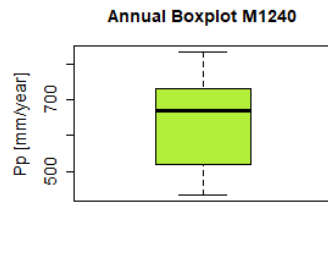
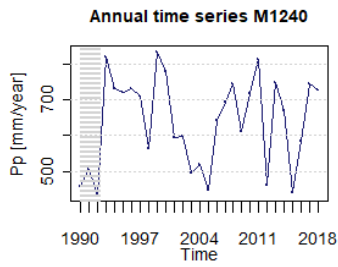
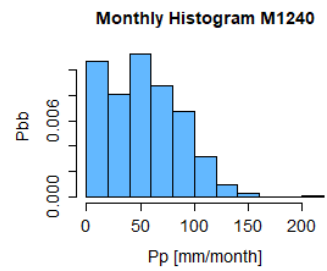
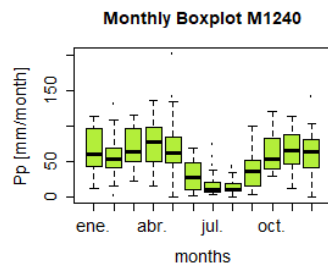
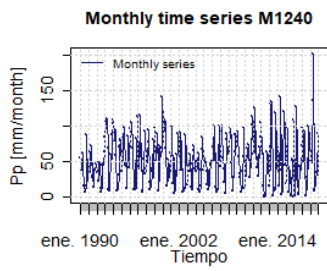


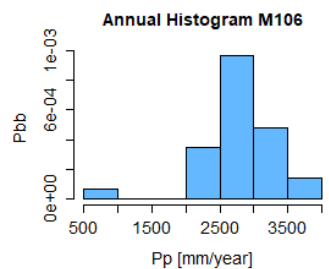
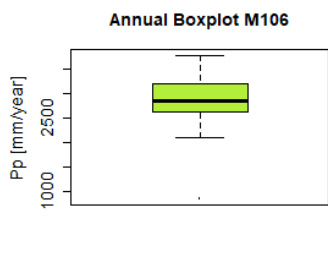
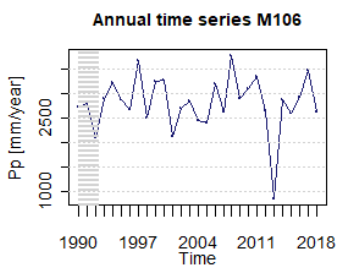
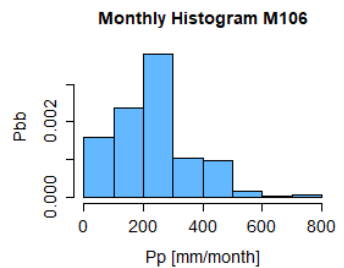
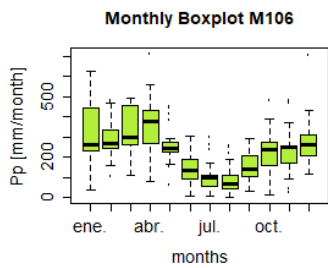
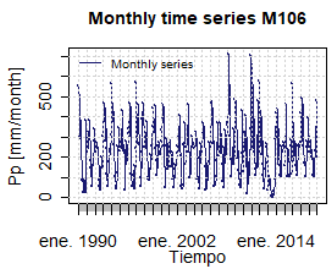
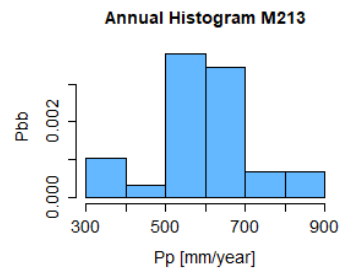
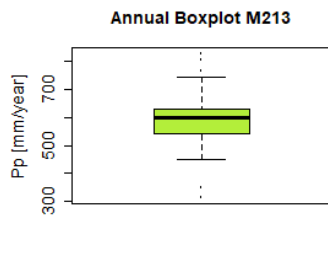
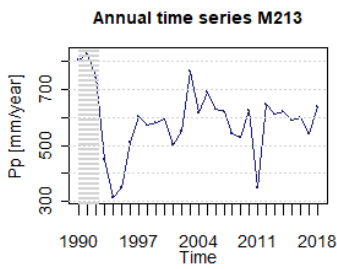
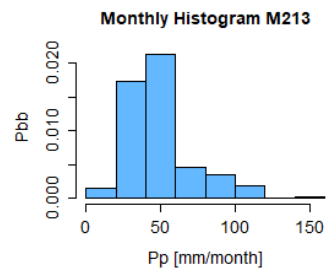
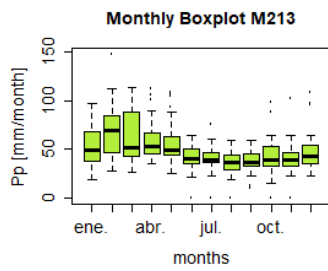
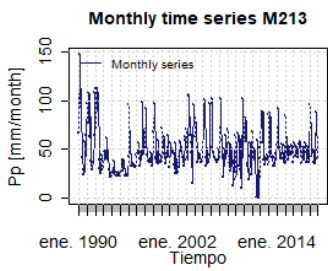


## Anexo 10. Análisis de datos completos de las estaciones pluviométricas

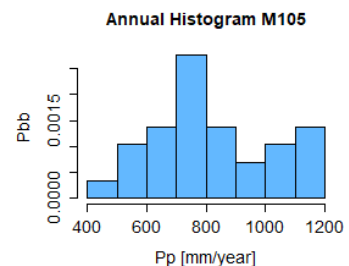
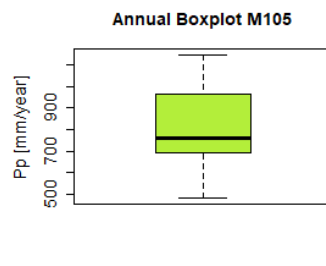
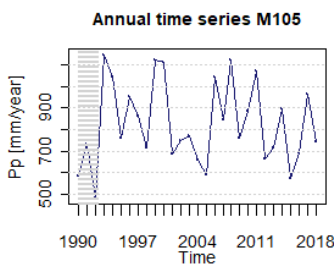
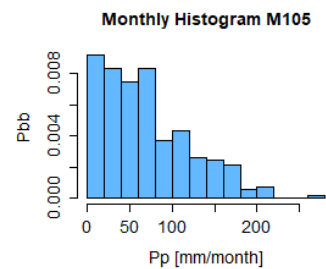
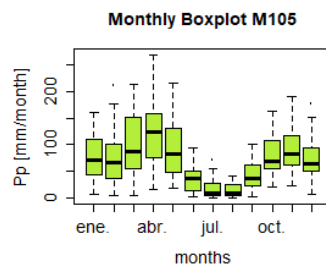
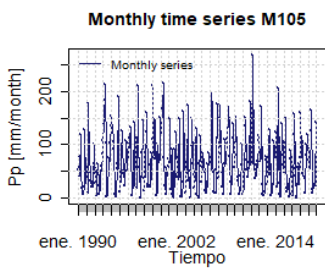
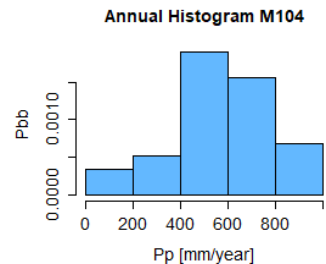
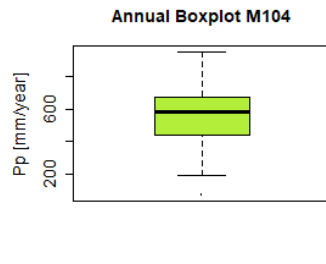
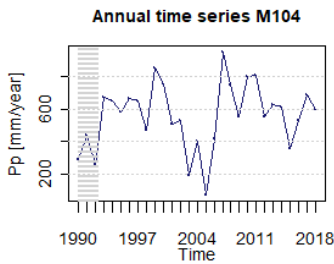
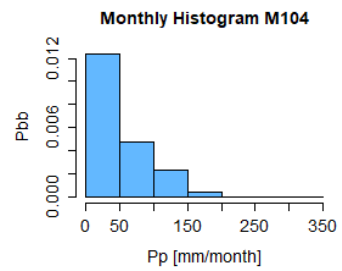
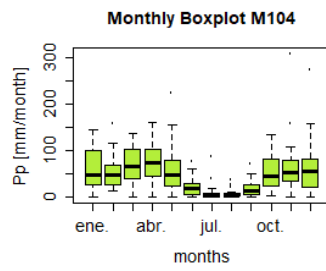
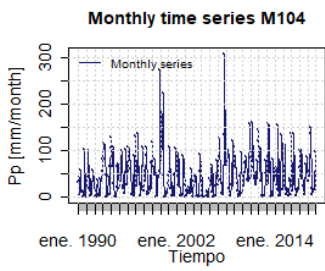


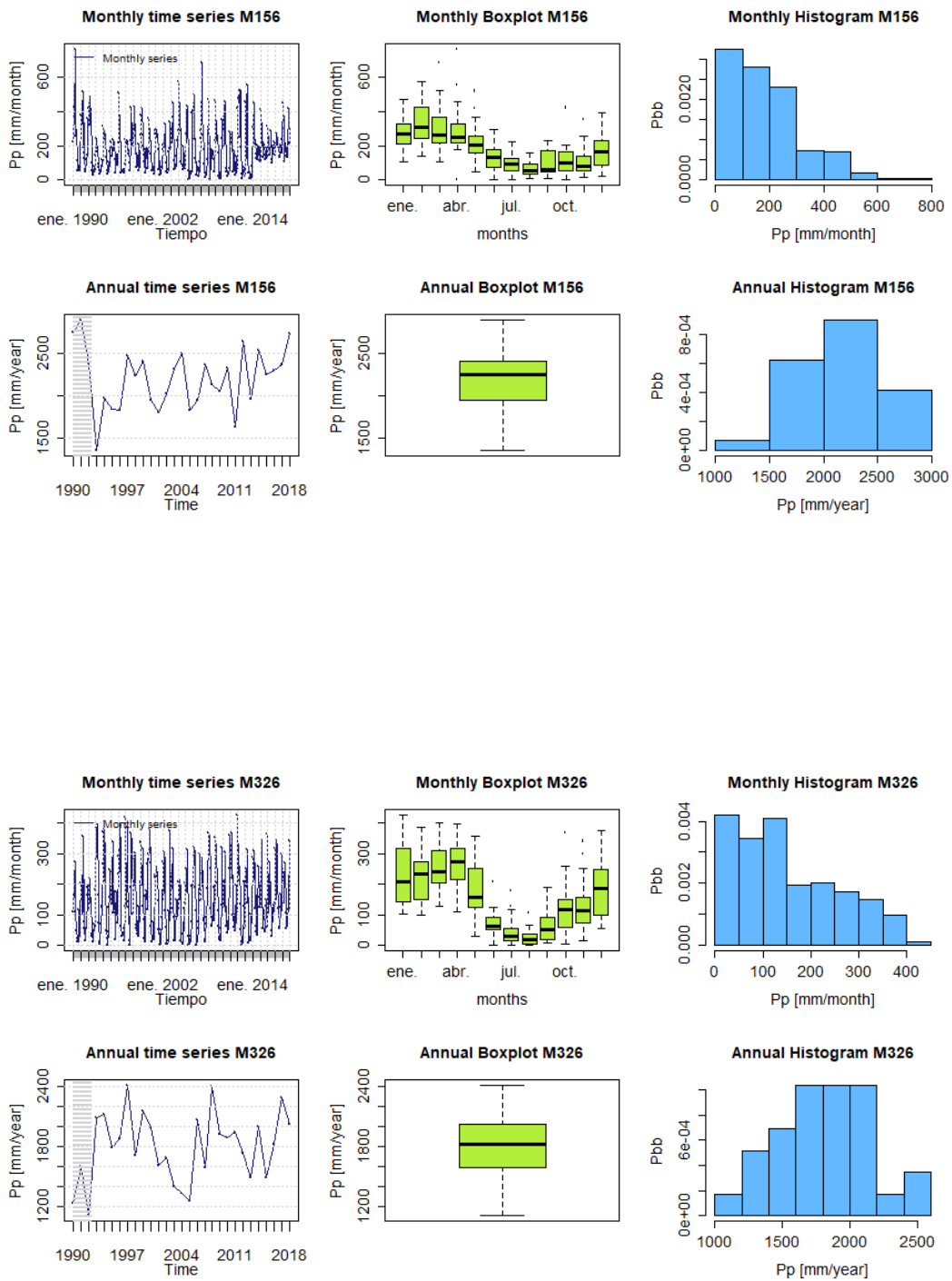




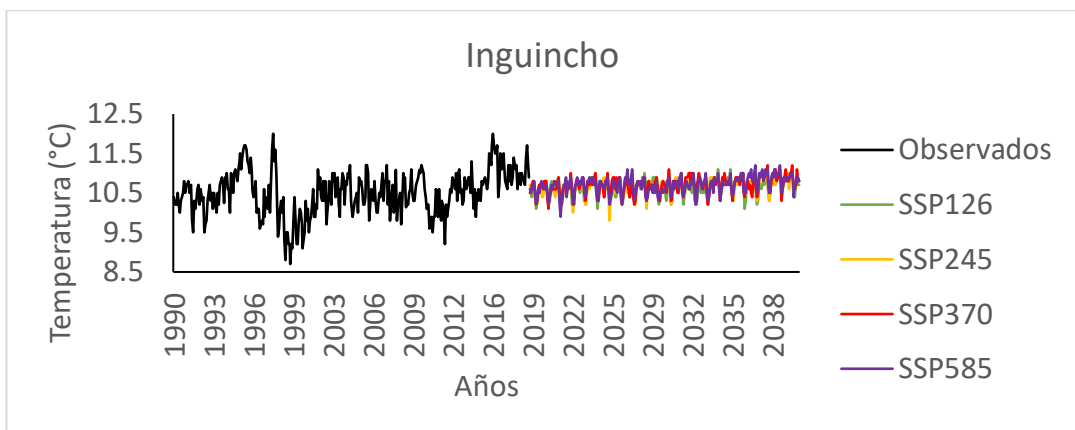
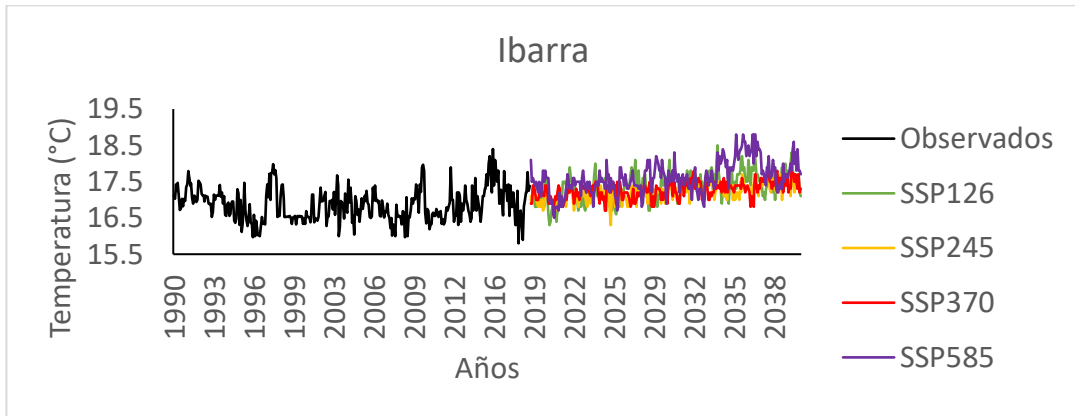
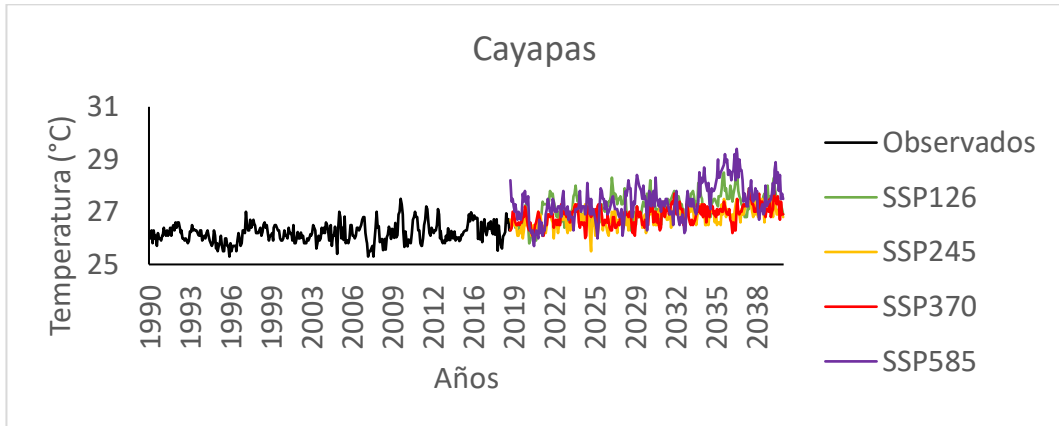


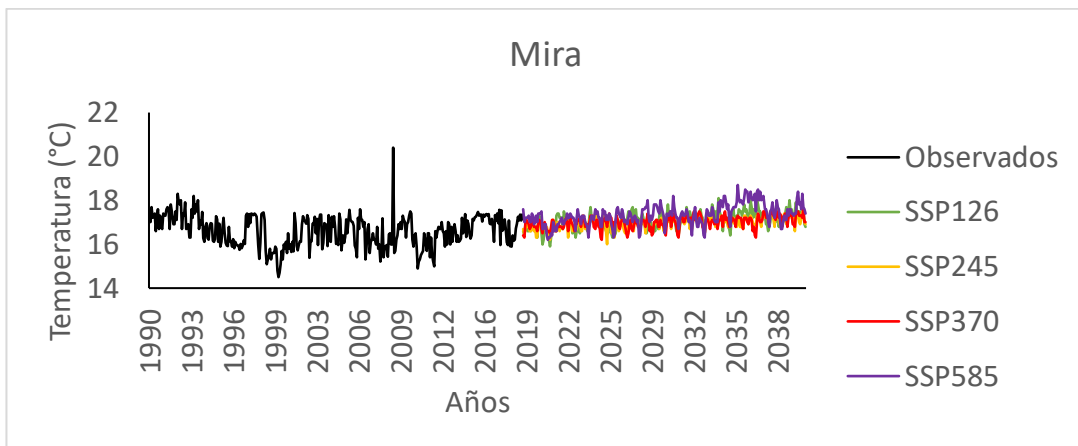
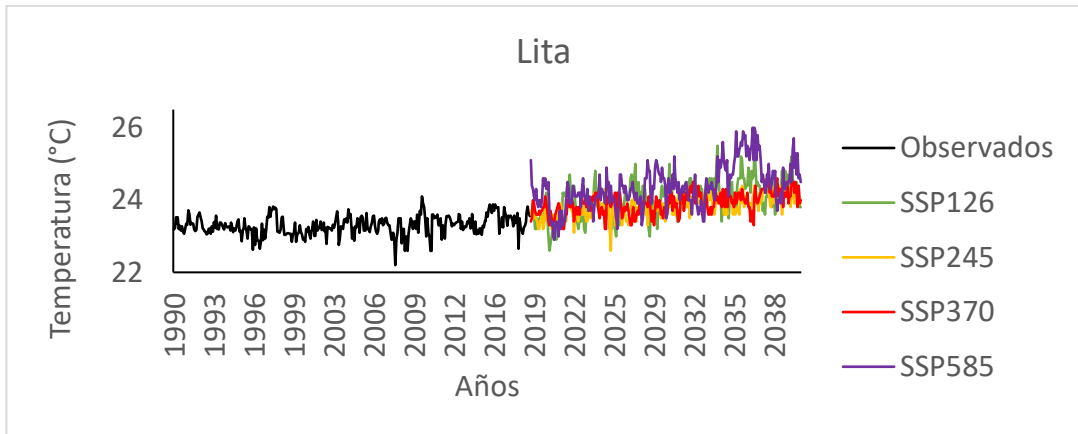
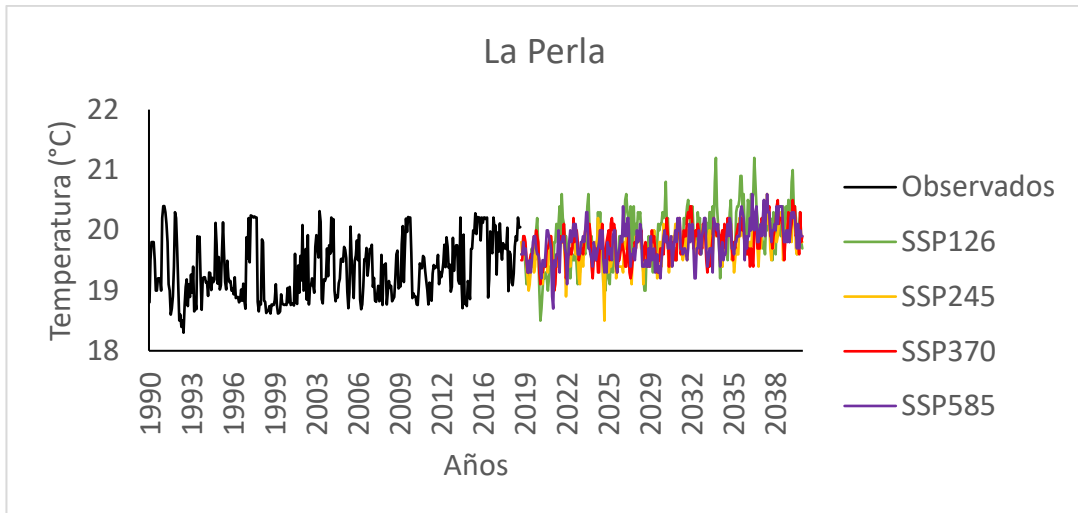


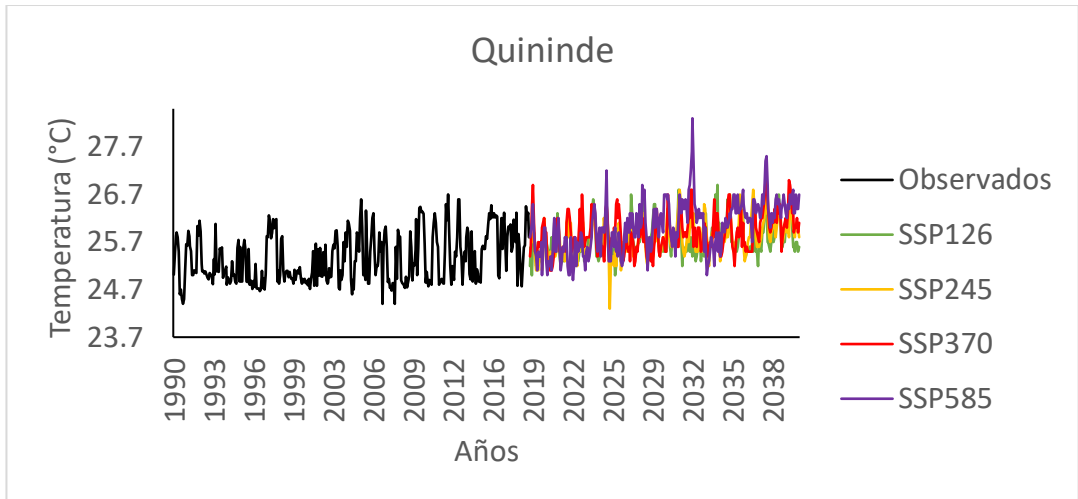
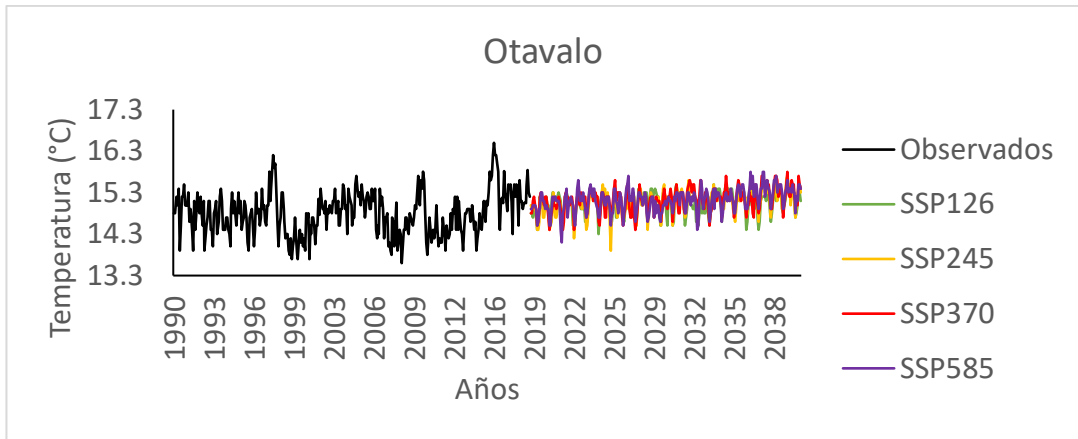




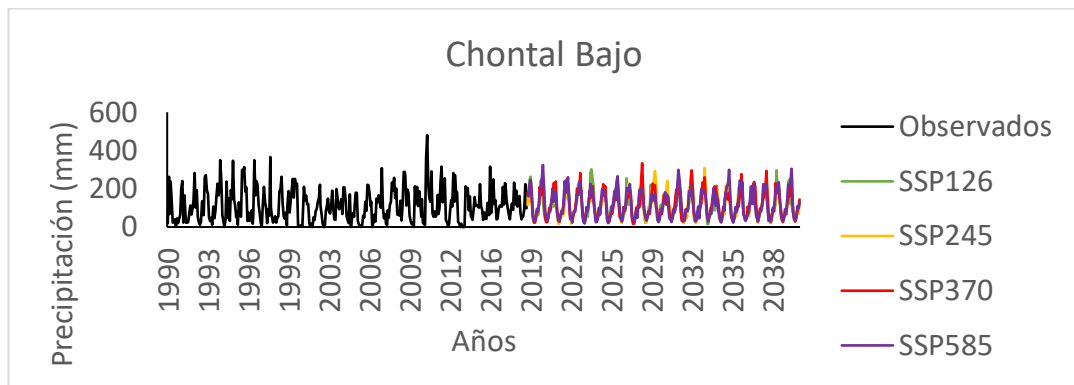
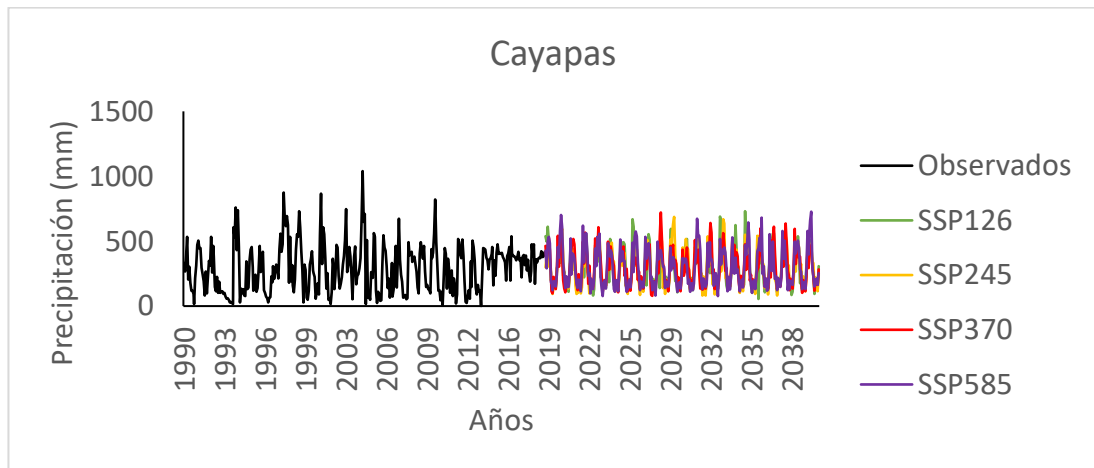
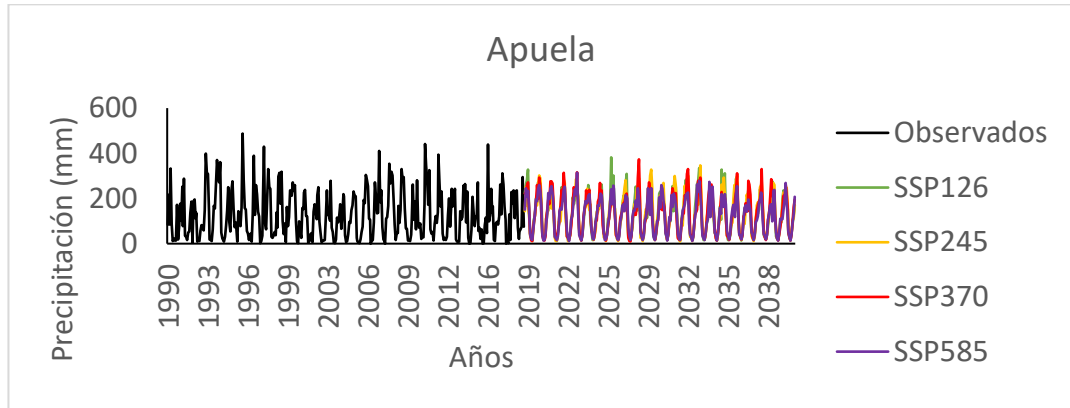
### Anexo 11. Proyección para estaciones meteorológicas

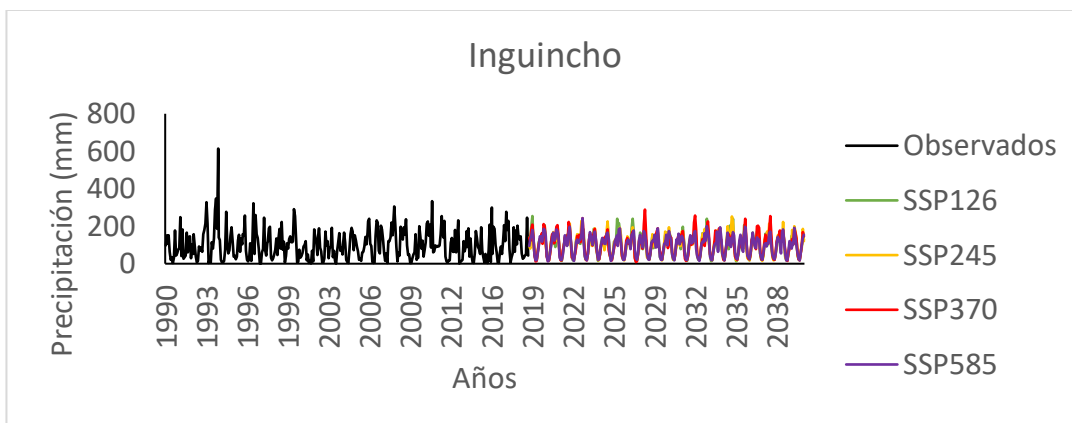
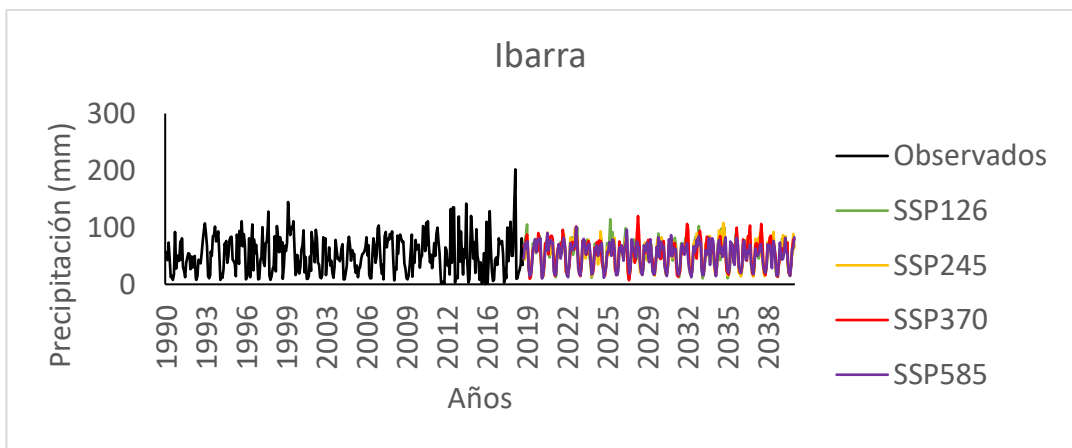
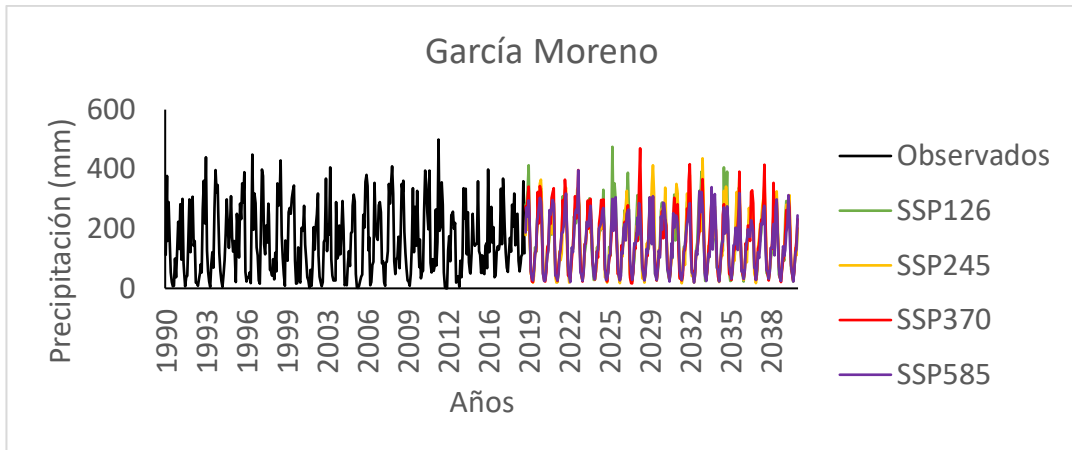


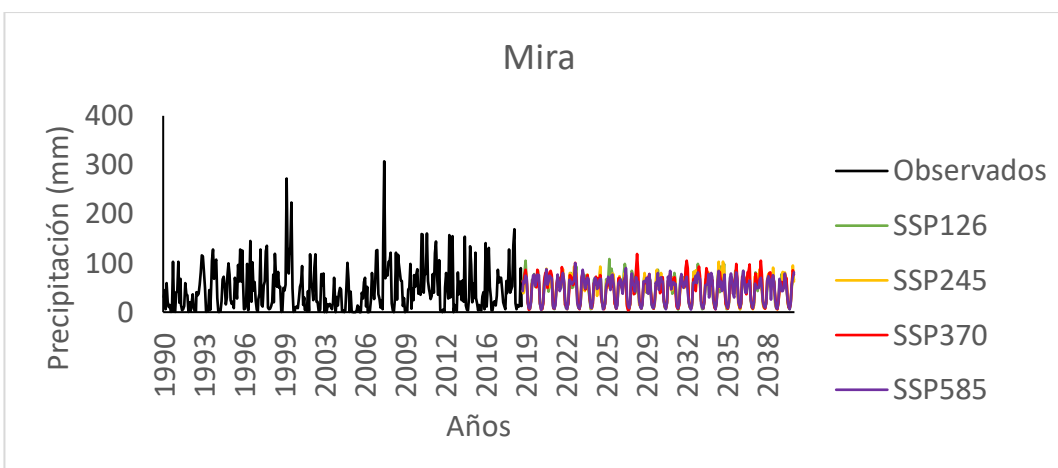
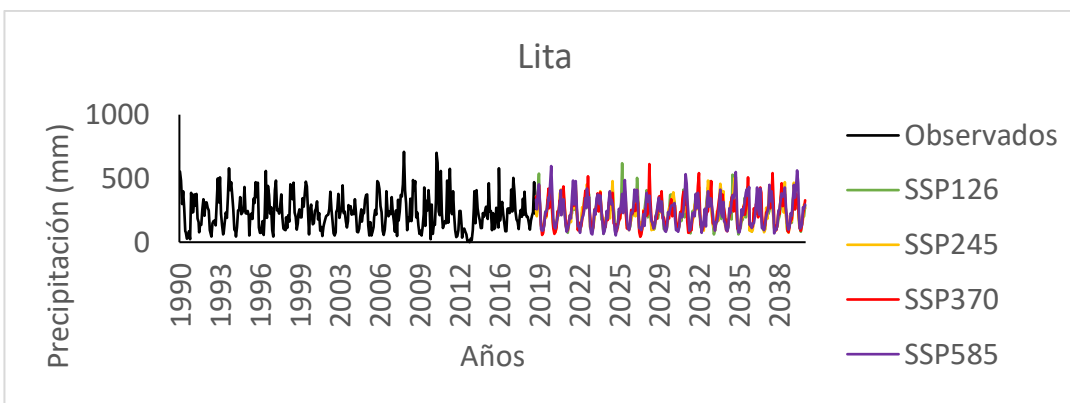
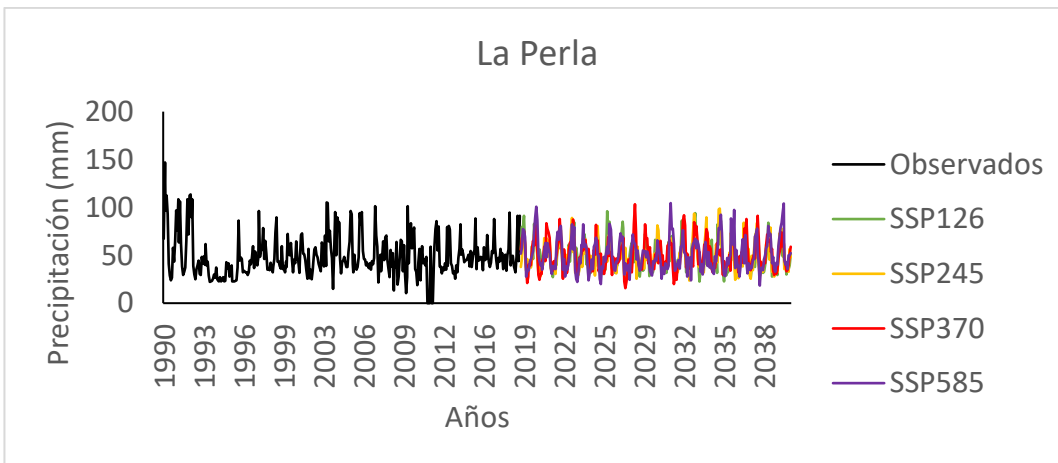




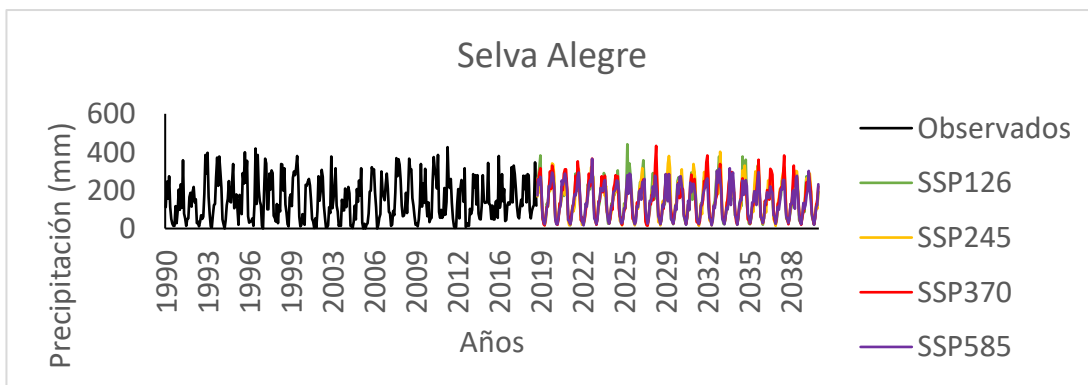
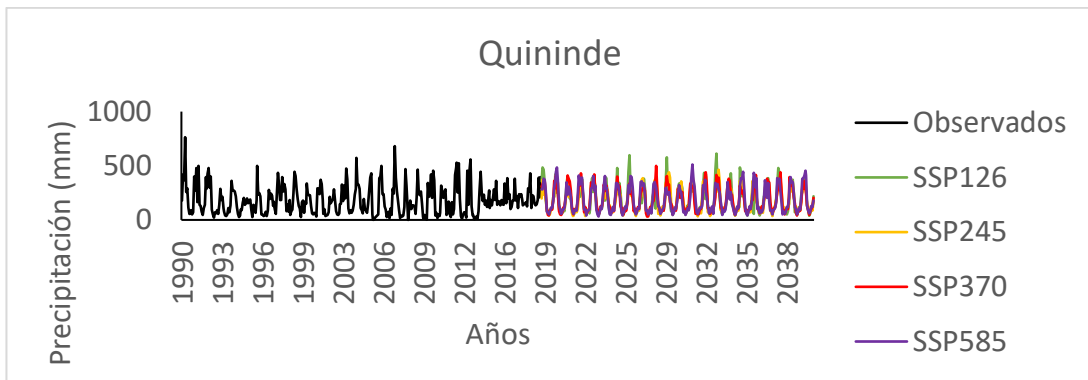
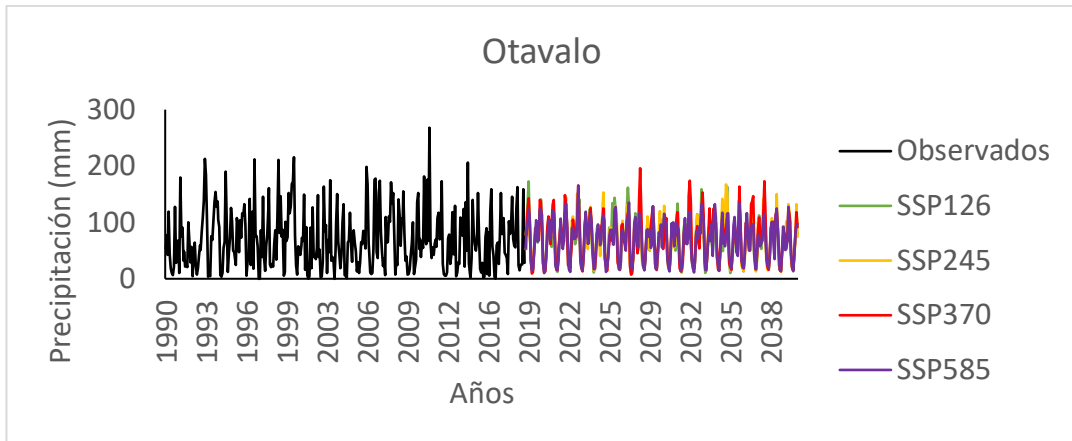
## Anexo 12. Proyección para estaciones pluviométricas











## Anexo 13. Códigos

```
1
2 #####
3 # instalar paquetes #
4 #####
5 install.packages(c("readxl", "tidyverse", "cluster", "factoextra", "NbClust", "tidyr",
6 "rstatix"))
7 install.packages(c("ggpubr", "rstatix", "hydroTSM", "psych", "tidyverse", "gifs"))
8 install.packages(c("forecast", "zoo", "lubridate", "psych", "xts", "missForest", "openxlsx", "mice", "VIM"))
9 #####
10 # activar paquetes para procesar datos #
11 #####
12
13 library(ggplot2) #realizar graficas
14 library(forecast); library(gganimate); library(gifs); library(gapminder); library(xts)
15 library(zoo); library(latticeextra); library(lattice); library(usingR)
16 library(tidyverse); library(car); library(tseries); library(foreign)
17 library(astsa); library(stats); library(magrittr); library(ggpubr); library(rstatix)
18 library(readxl)#para activar libreria datos importados como excel y otros
19 library(lubridate)#para manipular fechas y tiempo
20
21
22 library(palmerpenguins); library(mice)
23 library(openxlsx) #exportar datos calculados
24 #ingresos de imagen
25 library(jpeg)
26 library(png)
27
28 img <- readJPEG(choose.files())
29 #datos de data.frame
30 #ingrese datos de excel en formato .xlsx
31 #####
32 # importar datos con choose.files() desde una carpeta #
33 #####
34
35 choose.files()
36 df <- read_excel("E:\\UNIVERSIDAD\\TESIS\\Datos observados INAMHI\\Temperatura\\Relleno de Datos\\Análisis\\DT_ESTACIONES.xlsx")
37 getwd()
38 setwd("E:/UNIVERSIDAD/TESIS/Datos Observados INAMHI/Temperatura/Relleno de Datos/Gráficos/")
39
40 #####
41 # manipulacion de datos para procesar nuestro trabajo #
42 #####
43
44 view(df)
45 names(df)
46 dim(df)
47 class(df)
48 summary(df)
49 idx <- as.Date(df$DATE) #ESCOGE y extrae la primera columna de
50 #la data "df" y debe aparecer en valores
51 date.matrix <- as.data.frame(df[, -1])#excluye la primera columna de la data "df"
52
53 #####
54 # observacion de datos faltantes #
55 #####
56 str(date.matrix)
57 date.xts <- as.xts(date.matrix, order.by=idx)
58 date.xts
59 date.zoo <- as.zoo(date.xts)
60 date.zoo
61
62 summary(date.zoo)
63 Ymax<-max(date.zoo, na.rm = T)
64 Ymax
65 par()
66
67 xyplot(date.zoo$M156, main = "QUININDE (M156)", xlab="Años", ylab="Temperatura (°C)",
68 col=c("orange1"),
69 ylim = c(24.2, 26.8), frequency=80)
70
71 #COLORES
72 xyplot(date.zoo$M154, main = " Datos de las temperaturas existentes en las estaciones meteorológicas", xlab="Años",
73 col=c("red", "black", "midnightblue", "green", "mediumblue", "lightsalmon3",
74 "navy", "mediumaquamarine", "orange1", "seagreen", "palevioletred1", "royalblue1"),
75 ylim = c(15, 19), frequency=80)
76
77 #CONTINUA
78 library(VIM)
79 val_p <- agrp(date.matrix, col=c("mediumblue", "yellow2"), numbers=T,
80 labels=names(date.matrix), cex.axis=0.8, cex.numbers= 0.75,
81 gap=2, ylab=c("datos faltantes", "Registro histórico de estaciones"))
82
83 val_p
84 summary(val_p)
85 library(hydroTSM)#para realizar grafica tipo hidrológico
86 hydroplot(as.zoo(date.xts[, 8]), na.rm = TRUE, var.type = "Temperature",
87 pfreq = "ma", xlab="Tiempo", ylab = "°C",
88 col=c("midnightblue", "olivedrab2", "steelblue1"),
89 main=names(date.xts[, 8]) )
90
91 #####
92 # Matriz de CORRELACION entre estaciones #
93 #####
94 install.packages("Hmisc")
95 library(Hmisc)
96 library(psych)#grafica la correlacion
97 pre1 <- df[, -1]
98 pre1 <- rcorr(as.matrix(pre1, ncol = 8)) #excelente metodo de correlacion en bloques
99 data1 <- pre1$r
100 corPlot(data1, cex = 1.1, cex.axis=0.8, main = "Matriz de correlación entre estaciones")
101
102 library(corrplot)
103 corrplot(data1, method="number", type = c("lower"), mar = c(1, 1, 1, 1))
104
```

```

105 #*****#
106 # COMPLETACION DE DATOS faltantes #
107 #*****#
108 sapply(date.matrix,class)
109 #hacemos la imputacion
110 library(missForest)#para imputar datos
111 imp <- missForest(date.matrix,maxiter = 15,verbose = TRUE,
112                 variablewise = FALSE,mtry = floor(sqrt(ncol(date.matrix))),
113                 replace = TRUE,parallelize = c("no", "variables", "forests"))
114 imp$OOBError
115
116 imp <- missForest(date.matrix,maxiter = 18,verbose = TRUE,
117                 variablewise = TRUE,mtry = floor(sqrt(ncol(date.matrix))),
118                 replace = TRUE,parallelize = c("no", "variables", "forests"))
119 imp$OOBError
120 sapply(date.matrix,class)
121 dfimp <- as.data.frame(imp$ximp)
122 view(dfimp)
123 gar.imp <- round(dfimp,2)
124
125
126 #*****#
127 # GRAFICAR CON LOS DATOS COMPLETADOS #
128 #*****#
129 data <- as.data.frame(gar.imp)
130 date.matrix.compl <- as.data.frame(gar.imp)
131 str(date.matrix.compl)
132 date.xts.compl <- as.xts(date.matrix.compl,order.by=idx)
133 date.xts.compl
134 date.zoo.compl <- as.zoo(date.xts.compl)
135 date.zoo.compl
136
137 summary(date.zoo.compl)
138 Ymax1<-max(date.zoo.compl, na.rm = T)
139 Ymax1
140
141 xyplot(date.zoo.compl$M156, main = "QUININDE (M156)",
142       col=c("orange1"),
143       ylim = c(24.2,27),xlab="Años", ylab="Temperatura ('C)")
144
145
146 #COLOR
147 xyplot(date.zoo$M105, main = "OTAVALO (M105)",
148       col=c("red","black","midnightblue","green","mediumbblue","lightsalmon3",
149           "navy","mediumaquamarine","orange1","seagreen","palevioletred1","royalblue1"),
150       ylim = c(0,Ymax1),xlab="Tiempo-años")
151
152 #CONTINUA
153
154 library(hydroTSM)#para realizar grafica tipo hidrologico
155 hydroplot(as.zoo(date.xts.compl[,8]),na.rm = TRUE,var.type = "Temperature",
156          pfreq = "ma",xlab="Tiempo",ylab = "'C",
157          col=c("midnightblue", "olivedrab2", "steelblue1"),
158          main=names(date.xts.compl[,8]) )
159
160 install.packages("gclus")
161 library(gclus)
162
163
164 # correlaci3n en terminos absolutos
165
166 install.packages("PerformanceAnalytics")
167 library(PerformanceAnalytics)
168 chart.Correlation(data, histogram = TRUE, method = "pearson")
169
170
171 #*****#
172 # Extension de datos #
173 #*****#
174
175 write.xlsx(gar.imp,"compl_estaciones_2.xlsx")
176

```

```

152 #CONTINUA
153
154 library(hydroTSM)#para realizar grafica tipo hidrologico
155 hydroplot(as.zoo(date.xts.compl[,8]),na.rm = TRUE,var.type = "Temperature",
156          pfreq = "ma",xlab="Tiempo",ylab = "'C",
157          col=c("midnightblue", "olivedrab2", "steelblue1"),
158          main=names(date.xts.compl[,8]) )
159
160 install.packages("gclus")
161 library(gclus)
162
163
164 # correlaci3n en terminos absolutos
165
166 install.packages("PerformanceAnalytics")
167 library(PerformanceAnalytics)
168 chart.Correlation(data, histogram = TRUE, method = "pearson")
169
170
171 #*****#
172 # Extension de datos #
173 #*****#
174
175 write.xlsx(gar.imp,"compl_estaciones_2.xlsx")
176

```

```

2
3 library(tidyverse)
4
5 dts <- read.csv('datos.csv')
6 vls <- as.matrix(dts[,2:13])
7 vls <- t(vls)
8 vls <- matrix(vls, ncol = 1)
9
10 df <- data.frame(A = rep(min(dts$anho):max(dts$anho), rep(12,39)), as.data.frame(vls))
11 names(df) <- c("Anho", "PP")
12
13 md <- mean(df$PP)
14 dvs <- sd(df$PP)
15
16 qtl <- quantile(df$PP, probs = c(0.25, 0.75))
17 ric <- qtl[2] - qtl[1]
18 paso <- 2*ric
19 CEi <- qtl[2]+paso
20 CEs <- qtl[2]+2*paso
21
22 plot(df$PP, col = ifelse(df$PP > CEs, "red", "gray70"),
23      pch= ifelse(df$PP > CEs, 8, 19), xlab = "Tiempo", ylab = "Precipitacion (mm)")
24 abline(h = c(CEi, CEs, md), col = c("blue", "red", "black"), lty = 2)
25
26 dtz <- data.frame(z = (df$PP - md)/dvs)
27
28 plot(dtz$z, col = ifelse(dtz$z > 3, "red", "gray70"),
29      pch= ifelse(dtz$z > 3, 8, 19), xlab = "Tiempo", ylab = "Precipitacion (mm)")
30 abline(h = 3, col = "red", lty = 2)
31
32 boxplot(dts[,2:13], xlab = "Meses", ylab = "Precipitacion (mm)",
33         col = c(rainbow(12)), horizontal = F, boxwex = 0.6, border = "gray50")
34
35 hist(df$PP)
36
37 qqnorm(df$PP, pch = 1)
38 qqline(df$PP, col = "blue", lty = 2)
39

```

```

%CREATEFIT(TEMPERATURA,PREC,PROD_SSP126)
% Create a fit.
%
% Data for 'untitled fit 1' fit:
%     X Input : Temperatura
%     Y Input : Prec
%     Z Output: Prod_SSP126
% Output:
%     fitresult : a fit object representing the fit.
%     gof : structure with goodness-of fit info.
%
% See also FIT, CFIT, SFIT.

% Auto-generated by MATLAB on 15-Nov-2022 22:53:39

%% Fit: 'untitled fit 1'.
[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData( Temperatura,
Prec, Prod_SSP126 );

% Set up fittype and options.
ft = 'biharmonicinterp';

% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft,
'Normalize', 'on' );

% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'untitled fit 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData );
legend( h, 'untitled fit 1', 'Prod_SSP126 vs.
Temperatura, Prec', 'Location', 'NorthEast',
'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Temperatura', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Prec', 'Interpreter', 'none' );
zlabel( 'Prod_SSP126', 'Interpreter', 'none' );
grid on

```

```

function [fitresult, gof] = createFit(Temperatura, Prec,
Prod_SSP245)
%CREATEFIT(TEMPERATURA,PREC,PROD_SSP245)
% Create a fit.
%
% Data for 'untitled fit 1' fit:
%     X Input : Temperatura
%     Y Input : Prec
%     Z Output: Prod_SSP245
% Output:
%     fitresult : a fit object representing the fit.
%     gof       : structure with goodness-of fit info.
%
% See also FIT, CFIT, SFIT.

% Auto-generated by MATLAB on 15-Nov-2022 23:02:25

%% Fit: 'untitled fit 1'.
[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData( Temperatura,
Prec, Prod_SSP245 );

% Set up fittype and options.
ft = 'biharmonicinterp';

% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft,
'Normalize', 'on' );

% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'untitled fit 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData );
legend( h, 'untitled fit 1', 'Prod_SSP245 vs.
Temperatura, Prec', 'Location', 'NorthEast',
'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Temperatura', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Prec', 'Interpreter', 'none' );
zlabel( 'Prod_SSP245', 'Interpreter', 'none' );
grid on

```

```

function [fitresult, gof] = createFit(Temperatura, Prec,
Prod_SSP370)
%CREATEFIT(TEMPERATURA,PREC,PROD_SSP370)
% Create a fit.
%
% Data for 'untitled fit 1' fit:
%   X Input : Temperatura
%   Y Input : Prec
%   Z Output: Prod_SSP370
% Output:
%   fitresult : a fit object representing the fit.
%   gof       : structure with goodness-of fit info.
%
% See also FIT, CFIT, SFIT.

% Auto-generated by MATLAB on 15-Nov-2022 23:08:06

%% Fit: 'untitled fit 1'.
[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData( Temperatura,
Prec, Prod_SSP370 );

% Set up fittype and options.
ft = 'biharmonicinterp';

% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft,
'Normalize', 'on' );

% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'untitled fit 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData );
legend( h, 'untitled fit 1', 'Prod_SSP370 vs.
Temperatura, Prec', 'Location', 'NorthEast',
'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Temperatura', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Prec', 'Interpreter', 'none' );
zlabel( 'Prod_SSP370', 'Interpreter', 'none' );
grid on

```

```

function [fitresult, gof] = createFit(Temperatura, Prec,
Prod_SSP585)
%CREATEFIT(TEMPERATURA,PREC,PROD_SSP585)
% Create a fit.
%
% Data for 'untitled fit 1' fit:
%   X Input : Temperatura
%   Y Input : Prec
%   Z Output: Prod_SSP585
% Output:
%   fitresult : a fit object representing the fit.
%   gof : structure with goodness-of fit info.
%
% See also FIT, CFIT, SFIT.

% Auto-generated by MATLAB on 15-Nov-2022 23:14:21

%% Fit: 'untitled fit 1'.
[xData, yData, zData] = prepareSurfaceData( Temperatura,
Prec, Prod_SSP585 );

% Set up fittype and options.
ft = 'biharmonicinterp';

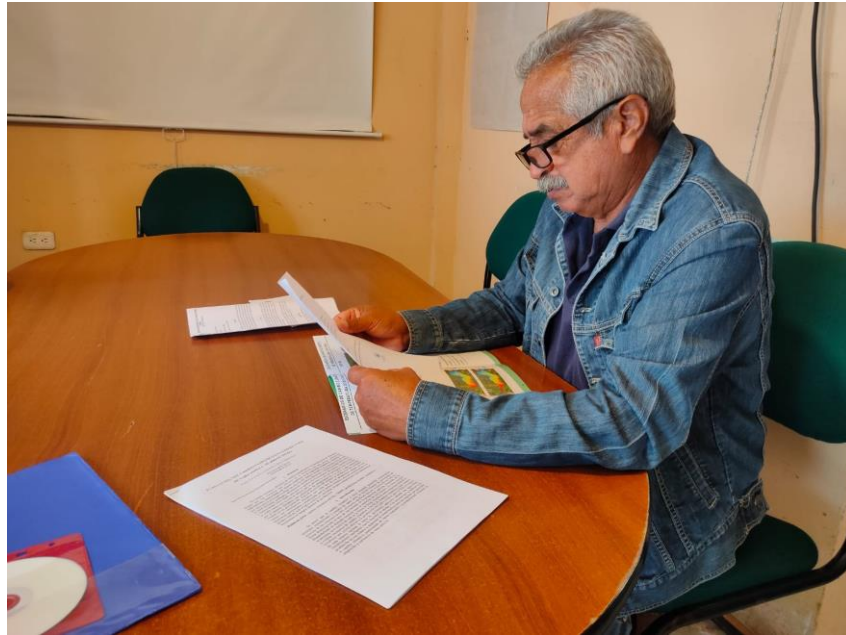
% Fit model to data.
[fitresult, gof] = fit( [xData, yData], zData, ft,
'Normalize', 'on' );

% Plot fit with data.
figure( 'Name', 'untitled fit 1' );
h = plot( fitresult, [xData, yData], zData );
legend( h, 'untitled fit 1', 'Prod_SSP585 vs.
Temperatura, Prec', 'Location', 'NorthEast',
'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Temperatura', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Prec', 'Interpreter', 'none' );
zlabel( 'Prod_SSP585', 'Interpreter', 'none' );
grid on

```



## Anexo 14. Registro fotográfico





## OFICIO DE ENTREGA DE RESULTADOS

Asunto: Entrega de Resultados del Trabajo de Titulación  
Fecha de entrega: 17/07/2022

Ing. Marcelo Vergara  
PRESIDENTE DE AACRI

Por medio del presente, tenemos a bien extenderle un cordial saludo y a la vez nos permitimos entregar los resultados del Trabajo de Titulación denominado "Evaluación del Cambio Climático en la Producción de Café (*Coffea arabica* L.) al 2040 en Cotacachi-Ecuador", el cual se encuentra bajo la dirección del MSc. Juan Guamán docente de la Universidad Técnica del Norte. El material se encuentra detallado en los siguientes recursos tanto físicos como digitales:

- Folleto informativo
- Video
- Resumen del Trabajo de Investigación

Esperando de esta manera que la Asociación Agroartesanal de Caficultores Río Intag (AACRI) y los productores de café acojan estos resultados técnicos para la prevención y resiliencia del cambio climático.

Atentamente

  
Byron Burbano

  
Anderson Flores

FIRMA DE RECIBIDO

  
Ing. Marcelo Vergara  
PRESIDENTE DE AACRI





