



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**GENERACIÓN DE SUPERFICIES DE INTERPOLACIÓN DE LA
VARIABLE PRECIPITACIÓN EN LA PROVINCIA DE
CHIMBORAZO EN EL PERIODO (2010-2020)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORA:

MIRYAN JHOSANY GUARACA BOCON

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**GENERACIÓN DE SUPERFICIES DE INTERPOLACIÓN DE LA
VARIABLE PRECIPITACIÓN EN LA PROVINCIA DE
CHIMBORAZO EN EL PERIODO (2010-2020)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTOR: MIRYAN JHOSANY GUARACA BOCON

DIRECTORA: Ing. PAULA ALEJANDRA ABDO PERALTA MSc

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Miryan Jhosany Guaraca Bocon**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Miryan Jhosany Guaraca Bocon, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 8 de junio de 2023



Miryan Jhosany Guaraca Bocon

0605379791

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **GENERACIÓN DE SUPERFICIES DE INTERPOLACIÓN DE LA VARIABLE PRECIPITACIÓN EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO EN EL PERIODO (2010-2020)**, realizado por la señorita: **MIRYAN JHOSANY GUARACA BOCON**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

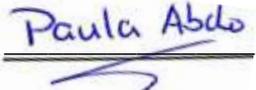
FIRMA

FECHA

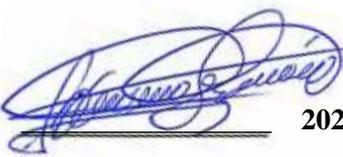
Ing. Rosa Del Pilar Castro Gómez MsC
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL


2023-06-08

Ing. Paula Alejandra Abdo Peralta MsC
**DIRECTORA DE TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**


2023-06-08

Ing. Adriana Catalina Guzmán Guaraca MSc
**ASESORA DE TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**


2023-06-08

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios porque me ha permitido concluir con la carrera, a mis padres, quienes han creído en mí siempre, brindándome su apoyo, sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mi familia por apoyarme y fomentar en mí, el deseo de superación y triunfo en la vida, a mis amigo/as, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

Miryan

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por permitirme tener buena salud y una experiencia increíble dentro de la universidad, gracias por permitir convertirme en una profesional en lo que tanto he deseado desde muy pequeña, gracias a mis padres por su apoyo incondicional, gracias a mi directora del trabajo de integración curricular Ing. Paula Abdo por brindarme su apoyo y acompañamiento para que esto fuera posible, agradezco a mi asesora Ing. Adriana Guzmán por contribuir a mi trabajo de integración curricular, gracias a cada maestro por compartir sus conocimientos con nosotros, formando profesionales de bien. Finalmente agradezco a quienes leen este documento, por permitir que mis experiencias, investigaciones y conocimientos incluidos en el trabajo les ayude a continuar con nuevas experiencias e investigaciones a la institución, y personas que contribuyeron en este trabajo.

Miryan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos	4
<i>1.2.1 Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
1.3 Justificación	4
1.4 Pregunta de investigación.....	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación.....	6
2.2 Variables meteorológicas.....	7
<i>2.2.1 Ciclo hidrológico</i>	<i>7</i>
<i>2.2.2 Precipitación.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2.1 Proceso de precipitación.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2.2 Tipos de precipitación.....</i>	<i>9</i>
<i>2.2.2.3 Variación de precipitación.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.2.4 Efectos de precipitación en la provincia de Chimborazo</i>	<i>10</i>
<i>2.2.2.5 Medición de la precipitación.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.2.6 Base de datos RedEMA</i>	<i>11</i>
2.2.3 Estimación de la precipitación por modelos satelitales.....	12
<i>2.2.3.1 Modelos climáticos globales</i>	<i>12</i>
<i>2.2.3.2 Software Google Earth Engine</i>	<i>12</i>

2.2.4	<i>Métricas estadísticas usadas para la comparación de precipitación y su evaluación.</i>	13
2.2.4.1	<i>Coefficientes de correlación (r)</i>	13
2.2.4.2	<i>Coefficiente de Pearson</i>	14
2.2.4.3	<i>Coefficiente de eficiencia Nash Sutcliffe (NSE)</i>	15
2.2.5	<i>Muestreo estratificado</i>	15
2.2.5.1	<i>Tipos de muestreo estratificado</i>	15
2.2.6	<i>Sistema de Información Geográfica (SIG)</i>	16
2.2.6.1	<i>Software para procesamiento de datos</i>	16
2.3	<i>Variabilidad espacial de la precipitación</i>	16
2.3.1	<i>Interpolación espacial</i>	17
2.3.2	<i>Método de interpolación espacial</i>	18
2.3.2.1	<i>Determinístico</i>	18
2.3.2.2	<i>Geoestadístico</i>	19
2.3.3	<i>Análisis exploratorio de datos</i>	21
2.3.4	<i>Validación cruzada</i>	21
2.4	<i>Análisis de las Superficies de Interpoladas</i>	22
2.4.1	<i>Mapas</i>	22
2.4.2	<i>Las isoyetas</i>	23

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	24
3.1	Localización de estudio	24
3.1.1	<i>Población de estudio</i>	24
3.1.2	<i>Tamaño de muestra</i>	25
3.2	Enfoque de la investigación	25
3.3	Alcance de la investigación	26
3.4	Diseño de la investigación	26
3.5	Conformación de la base de datos	27
3.5.1	<i>Exploración de fuentes de información</i>	27
3.5.2	<i>Fuentes de información</i>	28
3.6	Evaluación estadística de los valores observados vs estimaciones satelitales	42
3.6.1	<i>Evaluación de la correlación</i>	42
3.7	Generación de superficies de interpolación	45
3.7.1	<i>Análisis exploratorio de datos</i>	46
3.7.2	<i>Identificación del método de interpolación eficiente para la variable de estudio</i>	47

3.7.3	<i>Uso de la herramienta</i>	49
3.7.4	<i>Validación de superficies</i>	52
3.8	Análisis espacio temporal de las superficies de interpolación (Isoyetas)	53

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	56
4.1	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	56
4.1.1	<i>Evolución estadística de los valores observados vs estimaciones satelitales</i>	56
4.1.2	<i>Generación de superficies de interpolación</i>	57
4.1.2.1	<i>Análisis exploratorio de datos</i>	57
4.1.2.2	<i>Validación de superficies</i>	59
4.1.3	<i>Análisis espaciotemporal</i>	60
4.2	Discusión	69

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1	Conclusiones	72
5.2	Recomendaciones	72

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Niveles de significancia Pearson	14
Tabla 2-3: Datos de precipitación INAMHI	31
Tabla 3-3: Datos de precipitación GEAA.	34
Tabla 4-3: Datos de precipitación ESPOCH y MAG.....	36
Tabla 5-3: Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas.	37
Tabla 6-3: Valores estimados de precipitación (TerraClimate)	40
Tabla 7-3: Escala de correlación Pearson	43
Tabla 8-3: Escala de correlación Nash.....	44
Tabla 9-3: Reglas de validación cruzada.	53
Tabla 10-4: Criterios de clasificación climática.....	54
Tabla 11-4: Parámetros obtenidos del histograma	58
Tabla 12-4: Parámetros obtenidos de la validación cruzada.....	59
Tabla 13-4: Clasificación de precipitación media anual	68

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Ciclo hidrológico	8
Ilustración 2-2:	Ejemplo de Correlación	14
Ilustración 3-2:	Interpolación espacial	17
Ilustración 4-2:	Muestreo de datos con método TIN	19
Ilustración 5-2:	Interpolación con método IDW	19
Ilustración 6-2:	Interpolación por el método de Kriging	20
Ilustración 7-2:	Modelo de interpolación EBK	21
Ilustración 8-2:	Isoyetas	23
Ilustración 9-3:	Ubicación del área de estudio	25
Ilustración 10-3:	Ubicación geográfica de los puntos INAMHI	29
Ilustración 11-3:	Ejemplo de datos de anuarios meteorológicos INAMHI	30
Ilustración 12-3:	Ubicación geográfica de los puntos GEAA	33
Ilustración 13-3:	Ejemplo de obtención de datos de estaciones RedEMA del GEAA	34
Ilustración 14-3:	Ubicación geográfica de los puntos ESPOCH y MAG	35
Ilustración 15-3:	Datos del anuario climatológico ESPOCH	36
Ilustración 16-3:	Ejemplo de datos de precipitación en boletines del MAG	36
Ilustración 17-3:	Generación capas por TerraClimate	39
Ilustración 18-3:	Capas ráster de TerraClimate	40
Ilustración 19-3:	Ubicación por muestreo estratificado	45
Ilustración 20-3:	Ejemplo interpolación polinomial global	47
Ilustración 21-3:	Ejemplo, local polynomial interpolation	48
Ilustración 22-3:	Ejemplo, interpolación método Kriging	49
Ilustración 23-3:	Aplicación de parámetros para el método geoestadístico Kriging	50
Ilustración 24-3:	Análisis del semivariograma Kriging	50
Ilustración 25-3:	Validación cruzada	51
Ilustración 26-3:	Superficie de interpolación por método Kriging y análisis espacial	52
Ilustración 27-3:	Diagrama de flujo de la metodología implementada	55
Ilustración 28-4:	Correlación de Pearson	56
Ilustración 29-4:	Correlación de Nash	57
Ilustración 30-4:	Histograma del 2010	58
Ilustración 31-4:	Gráfico de probabilidad del 2015	59
Ilustración 32-4:	Mapa de interpolación 2010-2014	61
Ilustración 33-4:	Mapa de interpolación 2015-2017	63

Ilustración 34-4: Mapa de interpolación 2018-2020	65
Ilustración 35-4: Mapa de interpolación del periodo 2010-2020	67
Ilustración 36-4: Categorización de precipitación por subperiodos	68
Ilustración 37-4: Comportamiento de precipitación.....	69

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: BASE DE DATOS CON LOS VALORES OBSERVADOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y ESTIMACIONES SATELITALES

ANEXO B: TABLA DINÁMICA DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN EN CHIMBORAZO EN EL PERIODO 2010-2020.

ANEXO C: HISTOGRAMAS DEL ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

ANEXO D: GRÁFICOS DE NORMALIDAD DEL ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

ANEXO E: MAPAS DE INTERPOLACIÓN KRIGING DE LOS AÑOS 2010 AL 2020

ANEXO F: MAPAS DE ISOYETAS INAMHI

ANEXO G: MAPAS DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE PRECIPITACIÓN PARA EL PERIODO DE ESTUDIO

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo generar superficies de interpolación de la variable precipitación en la provincia de Chimborazo en el período 2010 -2020. Para la interpolación se trabajó con métodos geoestadísticos mediante la recolección de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA), Estación Agrometeorológica ESPOCH y datos de la estación climatológica del Ministerios de Agricultura y Ganadería (MAG), obteniendo información en 49 estaciones meteorológicas para diferentes años. Haciendo uso de información primaria se realizó la descarga de datos de estimaciones satelitales (ESat) de TerraClimate para la evaluación de correlación, mediante la aplicación del método Pearson y Nash, con un coeficiente adecuado de correlación se completó datos faltantes y se obtuvo mas puntos mediante el muestreo estratificado obteniendo 229 datos en total. Realizando un previo análisis exploratorio de datos se usó el método Kriging Ordinario (KO) y así se analizó la variabilidad espacio temporal que definió el comportamiento a lo largo de la provincia en distintos subperiodos. Como resultado, se obtuvo una correlación muy fuerte con vales de R: 0.87 y 0.77 que permitió la toma valores ESat. Los histogramas presentaron distribución normal al igual que las gráficas de probabilidad, al aplicarse la validación cruzada de superficies, las predicciones se evaluaron correctamente, obteniendo 4 mapas que mostraron el comportamiento de precipitación. Se concluye que el periodo con mayor precipitación es 2018-2020 (C) y el cantón con mayor variabilidad fue Penipe. Se recomienda que las instituciones encargadas de las estaciones meteorológicas incorporen nuevas estaciones meteorológicas a nivel de la provincial, para mejorar la obtención de datos de las variables climáticas.

Palabras clave: <CORRELACIÓN>, <KRIGING ORDINARIO>, <PROVINCIA DE CHIMBORAZO>, <SUPERFICIES DE INTERPOLACIÓN>, <PRECIPITACIÓN>.



D.B.A.
Ing. Crispin Castillo



1358-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

The objective of this research work was to generate interpolation surfaces of the precipitation variable in the province of Chimborazo in the period 2010 -2020. For the interpolation, geostatistical methods were used by collecting data from the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI), the Alternative Energies and Environment Group (GEAA), the ESPOCH Agrometeorological Station and data from the weather station of the Ministry of Agriculture and Livestock (MAG), obtaining information in 49 meteorological stations for different years. Using primary information, TerraClimate satellite estimation data (ESat) was downloaded for the correlation evaluation, by applying the Pearson and Nash method, with an adequate correlation coefficient, missing data was completed and more points were obtained through the stratified sampling obtaining 229 data in total. Carrying out a previous exploratory data analysis, the Ordinary Kriging (KO) method was used and thus the spatiotemporal variability that defined the behavior throughout the province in different subperiods was analyzed. As a result, a very strong correlation was obtained with values of R: 0.87 and 0.77 that allowed the taking of ESat values. The histograms presented normal distribution as well as the probability graphs, when applying the cross validation of surfaces, the predictions were correctly evaluated, obtaining 4 maps that showed the behavior of precipitation. It is concluded that the period with the highest rainfall is 2018-2020 (C) and the canton with the greatest variability was Penipe. It is recommended that the institutions in charge of meteorological stations incorporate new meteorological stations at the province, to improve data collection on climatic variables.

Keywords: <CORRELATION>, <ORDINARY KRIGING>, <PROVINCE OF CHIMBORAZO>, <INTERPOLATION SURFACES>, <PRECIPITATION>.



Lic. Lorena Hernández A.

180373788-9

INTRODUCCIÓN

La precipitación es una de las variables meteorológicas que intervienen sobre el clima, tanto de forma espacial como temporal, siendo parte del ciclo hidrológico e incluyendo procesos de circulación atmosférica global o regional (Paliz et al., 2021: p. 12).

De la precipitación depende la cantidad de agua dulce en la Tierra; siendo una variable clave para la gestión de los recursos hídricos. La falta o abundancia de precipitaciones conlleva a sequías o inundaciones, que limitan el desarrollo agrícola, social, económico del país (Paliz et al., 2021: p. 12-15).

La provincia de Chimborazo está ubicada en la zona andina del Ecuador, se extiende sobre la cordillera de los Andes, posee una geografía irregular con elevaciones desde 160 m.s.n.m. hasta los 6310 msnm. Estas características inciden en la complejidad de la variación espacial y temporal de las precipitaciones (Ayala et al., 2014: p. 251-261).

La precipitación al ser la variable fundamental requiere de estimaciones precisas, en el caso de Chimborazo la densidad de pluviómetros es baja, debido a su configuración topográfica y viabilidad limitada. La mayor parte de las estaciones meteorológicas están cerca de ciudades o comunidades de fácil acceso a fin de facilitar las operaciones de mantenimiento.

La baja disponibilidad de mediciones provenientes de estaciones meteorológicas es la principal limitante para el análisis espacial de la variabilidad de precipitaciones mediante extrapolación de mediciones, además, los datos pluviométricos dentro de la provincia fueron recogidos manualmente y al ser recopilados y digitalizados se generaron incertidumbre en la conformación de series temporales. Por tanto, el uso de estimaciones de lluvia provenientes de modelos de estimaciones satelitales (ESat), representa una solución alternativa.

La interpolación espacial es una alternativa para estimar las precipitaciones en lugares que no tiene alcance de lecturas de estaciones meteorológicas instaladas (Olaya, 2014, p. 189-240). Mediante la obtención de superficies de interpolación de precipitación, se contribuye en la toma de decisiones sobre el aprovechamiento del uso del suelo en el sector agrícola, así también, se logrará aportar en la prevención y mitigación de la erosión hídrica superficial, que afecta a los agricultores y al desarrollo.

Las interpolaciones ayudan a la toma de decisiones en la gestión de cuencas hidrográficas, disponibilidad de recursos hídricos, abastecimiento urbano, en los sistemas de riego del sector agrícola, igualmente son herramientas útiles para la evaluación de los servicios ecosistémicos de la provincia y la verificación de la vulnerabilidad ante amenazas naturales del área en estudio (Ballari et al., 2018: p. 2-3).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La provincia de Chimborazo al presentar variaciones en altitud por su ubicación geográfica dificulta conocer con precisión las mediciones de precipitación, debido al cambio de temperatura y factores dinámicos complejos que ocurren en la atmósfera, haciendo complicada la descripción analítica a pesar del desarrollo científico y tecnológico.

Los datos obtenidos varían de acuerdo al año de estudio debido a que no existen estaciones meteorológicas específicas que hayan estado en constante funcionamiento, por falta de personal y recursos para su mantenimiento, llegando a generar datos atípicos de baja confiabilidad para la estimación de las variaciones anuales de precipitación.

A pesar de las investigaciones realizadas por autores como Ballari et al., (2019: p. 1-15); Sanunga, (202, p.1-13); Lara, (2021, p.1-25), que refiere a la continuidad de datos en Ecuador en determinados series y periodos de tiempo, no encontraron capas continuas de los valores de precipitación estudiados en el periodo 2010 al 2020. Es así que, la herramienta de interpolación permite obtener valores puntuales a coberturas continuas de precipitación dentro de la provincia.

Las estaciones meteorológicas implementadas no logran cubrir toda la provincia de Chimborazo. En el caso de las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) presentan datos de precipitación registradas para los primeros años de la investigación con ubicaciones en cantones determinados, y las estaciones implementadas por el Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) se encuentran ubicadas al norte de la provincia siendo un factor restrictivo para la obtención de información.

La baja disponibilidad de mediciones en precipitación toma como alternativa al uso combinado de modelos espaciales como la ESat, por tanto, al obtener la serie conformada de datos de precipitación anual del periodo 2010-2020, se plantea generar Isoyetas para determinar la variabilidad espacio-temporal en la provincia de Chimborazo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Generar superficies de interpolación de la variable precipitación en la provincia de Chimborazo para el período 2010 – 2020.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la correlación entre datos observados por estaciones meteorológicas y estimaciones satelitales.

- Crear superficies de interpolación a partir de las series conformadas de la variable precipitación en la provincia de Chimborazo, en el periodo de estudio.

- Analizar la variabilidad espacial y temporal de precipitación, en función a las superficies interpoladas (isoyetas).

1.3 Justificación

En el presente trabajo, se propone investigar la precipitación, a fin de verificar su comportamiento en la provincia de Chimborazo, ya que se prevé una disminución en los valores de precipitación según Orlando (2017. p. 18-19), esto puede deberse a los cambios en las corrientes atmosféricas y acuáticas producto del cambio climático, que produce comportamientos inestables del tiempo meteorológico. Además, puede provocar sequías en fenómenos acumulativos que luego serán reflejados como agotamiento de los recursos hídricos, cuya recuperación es difícil a corto plazo.

La precipitación influye de forma directa en el desarrollo agrícola y las actividades que de ella depende, por tanto, es necesario que sea monitoreada y consultada periódicamente para detectar y prevenir en futuros los desastres naturales que puede provocar la alta o baja intensidad de precipitación.

Además, la dinámica atmosférica en la provincia de Chimborazo es muy compleja y difícil de entender, siendo necesaria la aplicación de los análisis espaciales para las variables de precipitación, que obtienen información a través de los procesamientos informáticos, además, de examinar e interpretar los resultados, con la finalidad de comprender los fenómenos naturales

existentes, que son generados por medio de las superficies de interpolación que realizan las estimaciones. Al aplicar el método Kriging se logra generar una superficie determinada, partiendo de un conjunto de puntos que proporciona medidas de certeza o precisión de las predicciones (Pucha et al., 2017: p. 18-23).

Este trabajo de investigación se basa en la necesidad de generar superficies de interpolación, que radica en la adquisición de datos e información de la variable climática con mayor resolución espacial y precisión, mediante el cual se podría generar información para aquellas áreas en las que no se dispone de registros climáticos y se puede mejorar el conocimiento de patrones espaciales de comportamiento de los elementos climáticos en la provincia. Esta técnica es muy utilizada por su eficacia, ya que ayuda a considerar diferentes parámetros, que en un futuro contribuirán en nuevas investigaciones (Damián, 2014, pp.70-78).

La metodología aplicada permite identificar si existen correlación entre los valores observados y satelitales, para poder generar las superficies de interpolación y así realizar un análisis espacio – temporal de precipitación en la provincia de Chimborazo. Cabe recalcar que, es importante comprender la precipitación de forma detallada, con datos precisos de los modelos hidrológicos, para respaldar la gestión de los recursos hídricos y estudios acerca del cambio climático en la provincia.

1.4 Pregunta de investigación

¿Cuál es la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en la provincia de Chimborazo, en el periodo 2010-2020?

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Para la investigación sobre la generación de superficies interpoladas de la variable precipitación, se detalla que, a nivel latinoamericano se encuentra poca información sobre esta temática, con uso de variables y métodos diferentes de interpolación. Un caso de estudio realizado por los autores Aragón et al., (2019: p. 1-15), sobre la distribución espacial de precipitación da la iniciativa en la implementación y evaluación de los métodos de interpolación, quienes obtuvieron superficie de interpolación aplicando el método Kriging, para las comparaciones y evaluaciones de la sensibilidad de dichos métodos en función al tamaño de celda con que se clasifica el área.

Al igual que para el caso latinoamericano en Ecuador se ha visto muy poca información, ya que la mayoría de los estudios están enfocados en el cambio climático, en validaciones de precipitaciones por modelos satelitales a causa de la falta de pluviómetros automatizados, es el caso de diversas publicaciones realizadas en artículos por los autores Ballari et al., (2017, 2018, 2019) que se centra en la validación de precipitaciones satelitales mediante los modelos *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), estos investigadores realizaron un análisis de datos funcionales espaciales para medir la intensidad de precipitaciones en regiones con escasez de monitoreos. Estableciendo que existe poca intervención del análisis mediante las superficies de interpolación, por lo que, se destaca el estudio de los autores Andrade & Moreano, (2013: p. 5), que discuten acerca de los sistemas de información para las interpolaciones de temperatura y precipitaciones a nivel de Ecuador, en el que hacen uso de 3 métodos de interpolación de la distancia inversa ponderada (IDW), Modificado de Shepard y por último Kriging Ordinario, para evaluar las características climáticas de áreas con insuficiencia de registros.

Por otra parte, a nivel de Chimborazo se han identificado 3 estudios relacionados con el tema, dos por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) y un estudio por la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Sin embargo, cabe destacar que los estudios utilizan métodos distintos para identificar la variación de precipitación, el primero usa el método de Montecarlo en la generación de superficies y el modelo USLE/RUSLE y el segundo estudio de erosión hídrica. Sin embargo, existe uno que tiene más relación con el caso de estudio, que fue elaborado por la autora Sanunga, (2021, p. 2) quien realizó los ajustes de modelos a gran escala de precipitación, a través del análisis de las series registradas en las estaciones del GEAA. No

obstante, el análisis que realizó es solo para el año 2020 y con datos precisamente obtenidos de las estaciones meteorológicas del GEAA que está en convenio con la ESPOCH.

Los estudios realizados de las variables climáticas a través de las superficies de interpolación ayudan a revelar los patrones y comportamientos de la variable en el tiempo. Facilitan el análisis espacio temporal en la variable en todo el territorio y proporcionan suficiente información para estudios en las distintas disciplinas como hidrología, agronomía, climatología, ecología, entre otros. A partir de este tipo de investigaciones se calculan los rendimientos hídricos, preparación de pronósticos, diseño de proyectos hidroeléctricos, estudios de disponibilidad y abastecimiento en drenajes, riegos, preparar control de inundaciones y en general el ordenamiento y manejo de los recursos hídricos en el área de estudio (Ramírez, 2020, p. 7-12).

La investigación realizada ayudará a suplir las necesidades reales de la provincia con respecto a la precipitación, más si se necesita la planificación, ejecución y operación de algún proyecto dentro de la provincia de Chimborazo.

2.2 Variables meteorológicas

2.2.1 Ciclo hidrológico

Es el movimiento del agua que ocurre de manera ascendente en forma de evaporación y descendente por las precipitaciones, también, a manera de escorrentía subterránea y superficial. Como su nombre lo indica sigue un ciclo continuo desde la superficie terrestre, los océanos, hasta llegar a la atmósfera, logrando regresar hacia la Tierra. De esta forma permite predecir el movimiento, la circulación, los almacenamientos y además los flujos que sigue el agua (Sánchez, 2018, p.3).

El ciclo hidrológico (véase Ilustración 1-2) incluye procesos de evaporación del agua, la evapotranspiración que sucede en la vegetación terrestre, el transporte del vapor de agua, el acopio de las gotas de nubes, etc. Produciendo la precipitación líquida y sólida, gracias a la tendencia del agua y cambios en la humedad del suelo, la dinámica de raíces y escorrentías que existen de forma superficial, fluvial, flujo de agua subterránea que predicen los sucesos sobre los recursos hídricos a nivel mundial (Bengtsson et al., 2014: p.6).

También se denomina como un mecanismo básico del saneamiento del agua en la Tierra, desde hace miles de millones de años ha logrado suministrar agua dulce a la superficie terrestre, formándose como base de la vida de todos los seres vivos (Sánchez, 2021, p.2).

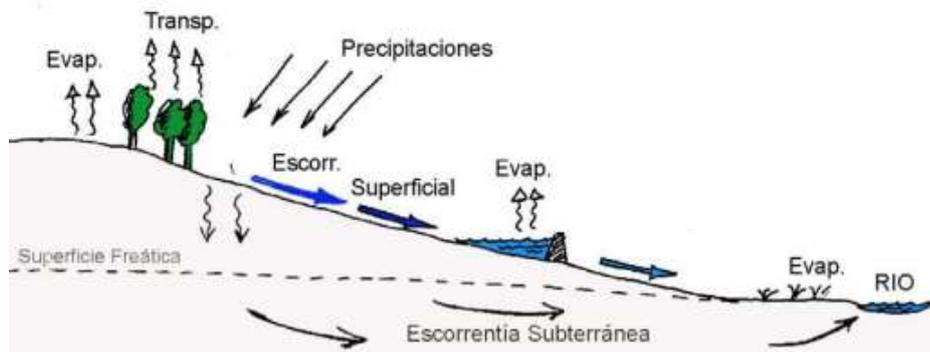


Ilustración 1-2: Ciclo hidrológico

Fuente: Sánchez, 2018.

2.2.2 Precipitación

Es el agua aportada hacia la superficie terrestre, que puede ser de forma líquida, sólida, en forma de nieve o granizo y gaseosa. Para que ocurra la formación de la precipitación, debe pasar por un proceso. En donde, los niveles de vapor de agua que se encuentra en la superficie terrestre logran alcanzar su saturación y de esta forma se condensa formando nubes, que es denominado como líquido suspendido. Los mecanismos de la elevación de masas de aire son los responsables de definir el tipo de precipitación que caerá por la gravedad a la Tierra (Tapia, 2016, p. 9).

Si bien es cierto, la precipitación es inestable, es decir es propensa a variaciones en el tiempo y espacio, ya que, está vinculada con el patrón de la circulación atmosférica y los factores locales que lo intervienen. Es muy importante conocer la distribución y variabilidad espacio-temporal que ocurre con la precipitación para todos los estudios hidrológicos y los planteamientos que generen investigaciones con los recursos hídricos (Bengtsson et al., 2014: p.10).

Las mediciones de precipitación no son confiables en la mayoría de los países, debido a la topografía regional y global, ya que, la superficie terrestre está compuesta por océanos, lagos, lagunas, ríos, etc. El inconveniente viene dado por los sensores que registran precipitaciones con menor precisión. Por ello, las mediciones registradas a escala regional o mundial por satélites de observaciones terrestres vienen a ser útiles para estimar las mediciones. Los estudios sobre la precipitación influyen directamente en aplicaciones civiles como diseño y operaciones de sistemas, manejo de proyectos relacionados con el agua (Tapia, 2016, p. 2-4).

2.2.2.1 Proceso de precipitación

El proceso de precipitación parte de la superficie terrestre como lagos, arroyos, océanos, para luego evaporarse con la ayuda del sol transformándose en vapor de agua, por otra parte, mediante la pérdida de agua de los organismos logra transpiran y así ascender, finalmente para que la precipitación ocurra las nubes se separan formando gotas de agua. En caso de que no acontezca este proceso quedará suspendida en el espacio imposibilitando la ocurrencia de precipitación (Ledesma, 2011, p.119).

Continuando el proceso es importante que en la etapa de condensación cuente con agua suficiente para que se enfríe por debajo del punto de rocío, en resumen, las nubes calientes son intervenidas por las corrientes ascendentes y a causa del enfriamiento consiguen condensar el vapor de agua, el cual forma núcleos más grandes creando gotas que se trasladen e ingresen en coalescencia con otros que inducen el aumento de su tamaño y la disminución de su velocidad. Todo este proceso beneficia a las gotas mayores consiguiendo que se produzca la llovizna o lluvia dependiendo de la cantidad de acumulación (Ledesma, 2011, p.120).

2.2.2.2 Tipos de precipitación

La formación de precipitación existe si hay la elevación de una masa de agua en la atmósfera, provocando que se enfríe y así una parte de su humedad logró condensarse a la superficie terrestre, las precipitaciones se presentan a manera de:

Precipitación ciclónica, donde se producen de dos maneras; frontal y no frontal, en la precipitación frontal la elevación de las masas de aire se origina sobre una masa de aire frío, es el resultado de la concurrencia de masas de aire que rellenan las zonas de baja presión. La precipitación no frontal o también denominada como frente frío o cálido cuentan con elevaciones bruscamente hacia arriba, debido al aire frío, donde se forman nubosidades, generando tormentas y granizo. En este tipo de precipitación el aire cálido aumenta levemente en relación con el frente frío, resultando en una nubosidad estratiforme generando lluvias y lloviznas más prolongadas con menor intensidad (Maderey, 2005, p.15).

Asimismo, como precipitación convectiva, la condensación del vapor se produce cuando llega alcanzar zonas más frías. Son precipitaciones muy fuertes que van acompañadas de descargas eléctricas, generalmente este tipo de precipitaciones se forman en zonas ecuatoriales con zonas que son templados. Conjuntamente, las masas aumentan a causa del calentamiento de las superficies (Caminos, 2020, p. 11).

Precipitación orográfica, acontece cuando aumenta la masa de aire procedente de las cadenas montañosas, induciendo a los vientos procedentes de los océanos cargados de aire húmedo choquen con la cadena montañosa y así estimulando la elevación de capas más frías de aire que ocasionan la condensación del vapor de agua y establecimiento de nubes con posibles precipitaciones o presencia de precipitaciones bajas (Caminos, 2020, p. 11).

2.2.2.3 Variación de precipitación

De acuerdo a los manuales de observaciones meteorológicas en superficies terrestres (MANOBS), la variación de precipitación se clasifica dependiendo de la tasa de precipitación existente, que cuantifica la precipitación (lluvia) que ha caído por unidad de tiempo, se mide en mm/h. Los parámetros de clasificación para la intensidad de lluvia establecen que; de 2.5 mm/h o inferiores son precipitaciones ligeras, de 2.6 a 7.5 mm/h lluvias moderadas, lluvias intensas dentro de un rango de 7.6 a 50mm/h y con lluvias violentas mayores a 50 mm/h (Barani, 2020, p.1).

2.2.2.4 Efectos de precipitación en la provincia de Chimborazo

Las precipitaciones a nivel nacional son diferenciadas por regiones del país. En el caso de la región sierra, reporta un incremento del 8% en las precipitaciones en los últimos años. En la provincia de Chimborazo la precipitación tiene un patrón de comportamiento diferenciado en las zonas norte y centro sur, puesto a que, las variabilidades indican que los patrones de comportamiento a nivel de producción, distribución del agua en los ecosistemas y la disponibilidad en las poblaciones para la agricultura dependen enteramente de los patrones climáticos (Bustamante, 2017, p.19).

Las alteraciones de las variables climáticas como la temperatura o la precipitación inciden en los rendimientos agrícolas, estableciendo el cambio de épocas para las cosechas, a la vez que afecta tanto la seguridad alimentaria y a la economía de las poblaciones que producen (Gerald, et al., 2012: p. 9-11).

2.2.2.5 Medición de la precipitación

-Instrumentos para medir la precipitación

Para medir la precipitación se deben identificar las estaciones meteorológicas (EM) que son instalaciones destinadas a recolectar datos de medición de distintas variables como temperatura, velocidad y trayectoria del viento, humedad del aire, presión atmosférica, la humedad del suelo,

la intensidad y acumulación de la lluvia, radiación solar y entre otras condiciones meteorológicas. Los datos obtenidos mediante EM son usados para la interpretación, pronóstico y construcción de predicciones de fenómenos atmosféricos (Sensorgo, 2020, p.1).

El instrumento que mide la precipitación es el pluviómetro, que se encarga de medir la altura del agua generada por las precipitaciones, con un anillo receptor que están uniformemente distribuidas sobre la superficie horizontal impermeable, que evita la evaporación del H₂O. Estos dispositivos están ubicados a una altura de un metro y medio aproximadamente, para evitar las corrientes de turbulencias y las salpicaduras de la superficie terrestre (INAMHI, 2013, p. 17).

Otro instrumento muy común para estos casos es el pluviógrafo, que registra de forma continua y gráfica las alturas de las precipitaciones en ciertos intervalos de tiempo o un determinado período. (INAMHI, 2013, p. 17)

2.2.2.6 Base de datos RedEMA

Las redes de estaciones meteorológicas automatizadas (RedEMA) proporcionan datos de las variables climáticas transmitidas desde las estaciones, para completar las observaciones diarias y mensuales, en la provincia de Chimborazo están contenidas por medio de los boletines y los anuarios meteorológicos.

El INAMHI proporciona datos de las variables climáticas por medio de anuarios, son herramientas creadas a fin de disponer información para conocer los tiempos atmosféricos y las situaciones climáticas a lo largo de los años, todos los datos que se registraron en estos anuarios son digitados, procesados y pasan una etapa de validación y exposición por parte de los técnicos (INAMHI, 2017, p. 11).

Otro ejemplo para Chimborazo es el GEAA, que se encuentra en convenio con la ESPOCH de la Facultad de Ciencias y el INAMHI y proporcionan datos automatizados por las estaciones meteorológicas ubicados en los puntos estratégicos, que servirán como a investigaciones científicas y propuestas de futuros proyectos (GEAA, 2021, párr. 1).

Conjuntamente, se encuentra la estación agro-meteorológica ESPOCH perteneciente a la Facultad de Recursos Naturales y está en convenio con el INAMHI, proporcionando datos de precipitación mediante los boletines meteorológicos mensuales. Por otra parte, se cuenta con los datos generados mediante los boletines de precipitación y temperatura del MAG, que mide la

precipitación de forma mensual, por medio de la estación meteorológica instalada a nivel regional y provincial (MAG, 2016, p. 1).

2.2.3 Estimación de la precipitación por modelos satelitales

2.2.3.1 Modelos climáticos globales

Son herramientas que permiten la visualización y descarga de datos de las variables climáticas, mediante observaciones terrestres a escala global, poseen aplicaciones con códigos abiertos, que proyecta la dinámica de los sistemas meteorológicos y climáticos, existen una gran cantidad de modelos climáticos globales en nuestro planeta, por un lado, Power Data Access Viewer, contribuye con datos solares y meteorológicos aptos para investigaciones a gran escala.

Las mediciones son proporcionadas por la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) que apoya a las energías renovables, para verificar la eficiencia en las investigaciones que conlleven la evaluación de precipitaciones. Los datos actualizados provienen de la oficina de modelado y asimilación global (GMAO), que es una combinación entre la era *Retrospective-Analysis for Research and Applications* (MERRA-2) y *GMAO Forward Processing –Instrument Teams* (FP-IT) GEOS, de la versión 5.12.4 con mediciones a tiempo real. Los datos son proporcionados por cuadrículas globales y una resolución espacial de 0.5° de latitud por longitud, destacando que es el único portal conocido hasta el momento que proporciona datos más actualizados (POWER, 2019, párr. 5).

Por otra parte, CRUTEM (*Climatic Research Unit TEMperature*) proporciona datos históricos de las variables climáticas, los datos son cuadriculados con presencia de anomalías globales de la temperatura del aire, tiene cercanías a la superficie terrestre con mediciones a escala de tiempo mensuales. Es un producto de la colaboración de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia, el Centro Hadley de la Oficina Meteorológica y el Centro Nacional de Ciencias Atmosféricas, actualmente presenta la quinta versión con datos históricos registrados que ayudan a investigaciones a gran escala (CEDA, 2020, p. 1).

2.2.3.2 Software Google Earth Engine

En el software Engine se encuentra la base de datos TerraClimate ("*IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE*"), que proporciona imágenes de precipitación promedio mensual, esta base de datos sigue en transmisión hasta la actualidad y el modelo es generado por la universidad de California (GEOINNOVA, 2022, párr. 1-9).

TerraClimate es un conjunto de datos climáticos que utiliza interpolación asistida por el clima, que combina normales climatológicas de alta resolución espacial con conjuntos de datos de WorldClim, que posee una resolución espacial más gruesa, como resultado se genera imágenes que conforman un conjunto de datos de alta resolución espacial que cubre un registro temporal más amplio. El modelo trabaja con una resolución espacial de 4638.3 metros (Varela, et al., 2015: p. 88-92).

El modelo no es usado directamente para evaluaciones independientes de tendencias y no capturan la variabilidad temporal a escalas más finas que los conjuntos de datos principales, no tienen en cuenta la heterogeneidad en los tipos de vegetación o su respuesta fisiológica a las condiciones ambientales cambiantes (Varela, et al., 2015: p. 89).

2.2.4 Métricas estadísticas usadas para la comparación de precipitación y evaluación hídrica

2.2.4.1 Coeficientes de correlación (r)

Los coeficientes de correlación son aquellos que analizan dos variables simultáneas para identificar el grado de coherencia que exhiben y en qué medida se relacionan, pueden variar entre +1 y -1. Valores de $r=0$ indica que no existe relación entre las variables y si sus valores varían entre ± 1 indican que la correlación puede ser perfecta positiva o negativa como se muestra en la Ilustración 2-2 (Lalinde, et al., 2018: p. 589-590).

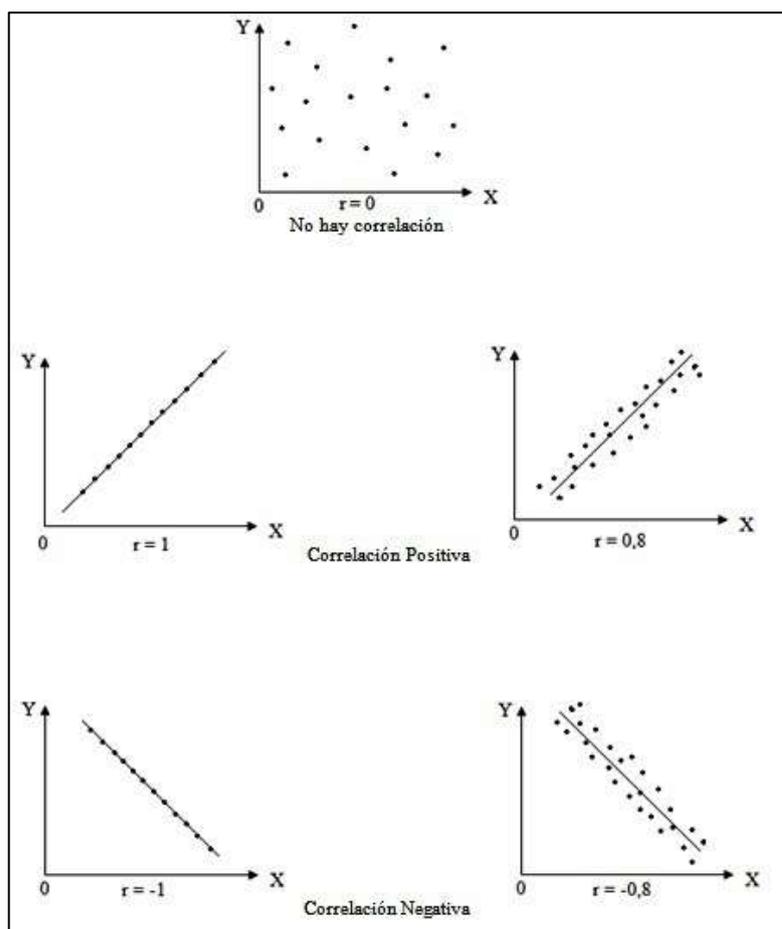


Ilustración 2-2: Ejemplo de Correlación

Fuente: Suárez, 2011, p.1.

2.2.4.2 Coeficiente de Pearson

El coeficiente de correlación presenta diferentes niveles de significancia que se muestra a continuación en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Niveles de significancia Pearson

C	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0.90 a -0.99	Correlación negativa muy alta
-0.70 a -0.89	Correlación negativa alta
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada
-0.2 a -0.39	Correlación negativa baja
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0.01 a 0.19	Correlación positiva muy baja
0.20 a 0.39	Correlación positiva baja

0.40 a 0.69	Correlación positiva moderada
0.70 a 0.89	Correlación positiva alta
0.90 a 0.99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: Suárez, 2011, p.2.

El coeficiente se calcula con los valores que se han observado de las parejas de datos numéricos entre dos variables cuantitativas que son X, Y que se evalúan en un conjunto de individuos. En sí son la covarianza muestral entre las parejas de datos (Pinilla & Rico, 2021: p. 53-63).

2.2.4.3 Coeficiente de eficiencia Nash Sutcliffe (NSE)

El coeficiente NSE logra determinar la magnitud relativa de las varianzas residuales existentes, comparando la varianza de los datos medidos u observados y al igual que el coeficiente de Pearson presenta los niveles de ajustes, tomando en cuenta los valores de observación (OBS_i), el valor de pronóstico (SIM_i) y OBS_{bar} que representa los promedios de los valores observados (Nash & Sutcliffe, 1970: p. 282-290).

2.2.5 Muestreo estratificado

Este tipo de muestreo tiene una técnica estadística probabilística y una forma de muestreo que es aleatoria, llega dividir la población en general en subgrupos o estratos.

Como menciona Godoy, (2020, p. 9-10) las propiedades del muestreo estratificado son:

- La población consta de N elementos.
- La población se divide en K grupos, denominados estratos.
- Cada elemento de la población puede asignarse a un estrato, y solo a uno.
- El número de observaciones dentro de cada estrato N_i es conocido, y $N = N_1 + N_2 + \dots + N_k$
- El investigador obtiene una muestra probabilística de cada estrato.

Para realizar el muestreo estratificado se inicia definiendo la población total, para elegir las variables de estratificación, ósea cuantos estratos llegaran a existir, se identifica cada elemento de la población en general y se llega a asignar un único identificador y luego se determina el tamaño de cada estrato. Finalmente se selecciona al azar los elementos de cada estrato (Sánchez, et al., 202: p. 6-7)

2.2.5.1 Tipos de muestreo estratificado

Este tipo de muestreo se define de acuerdo al tamaño de la muestra de cada uno de los estratos; existen dos tipos de muestreo: el proporcionado, cuando el tamaño de la población es proporcional (de cada estrato se tomarán la misma cantidad de muestras) y el desproporcionado o no proporcional que permite al investigador seleccionar muestras de forma equitativa dependiendo el estrato y sin importar su población (Sánchez, et al., 2021: p. 7-9).

2.2.6 Sistema de Información Geográfica (SIG)

Son herramientas formadas por hardware, software, datos y usuarios, que ayudan en la captura, almacenamiento, administración, y análisis de las informaciones digitales, también, en la elaboración de gráficos y mapas, las cuales representan datos alfanuméricos, con modelos informatizados de la realidad geográfica que admite crear, compartir y aplicar esta información obtenida mediante los datos y mapas. Los SIG se definen como un elemento que permite el análisis, presentación e interpretación de datos relativos a la superficie terrestre, para la realización de operaciones antes mencionadas. Además, son sistemas diseñados para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos (Olaya, 2014, p. 25).

2.2.6.1 Software para procesamiento de datos

El software para el procesamiento de datos usado es ArcGIS (*Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System*), permiten la visualización y administración de la información geográfica, cuenta con una arquitectura sensible que permite la agregación de nuevas funciones, esta herramienta crea, comparte y utiliza mapas dinámicos o inteligentes, administrando bases de datos geográficos forman parte de los componentes de la aplicación Gis de *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) (Pucha et al., 2017: p.6).

Dentro del software ArcGIS se encuentra ArcMap que sirve para explorar, editar, analizar y crear datos netamente geográficos. Al mismo tiempo, cuenta con dos parámetros que son la vista de datos donde es utilizado para trabajar, tratar, analizar la información y la vista de composición del mapa que ayuda a la preparación de información para las presentaciones finales (Collado et al., 2013: p.5).

2.3 Variabilidad espacial de la precipitación

La cordillera de los andes es parte fundamental de la formación, desplazamiento y el aislamiento de las masas de aire tanto locales como regionales, siendo capaz de modificar los regímenes de la precipitación. Además, presentan efectos de bloqueos en los flujos de las masas de aire

provenientes del pacífico y la región amazónica. En la región andina la variabilidad de precipitación se ven influenciadas directamente por la aparición de las anomalías provocadas por los fenómenos de circulación del El Niño-Oscila del sur, que trae consigo fuertes lluvias al litoral ecuatoriano y los eventos de La Niña genera sequías en las llanuras del litoral, es así que desde el año 2000 se han reportado respuestas meteorológicas atípicas, siendo necesario generar una alternativa para la verificación de precipitación histórica en la provincia de Chimborazo mediante las interpolaciones (Luna, et al., 2018: p. 63-70).

2.3.1 Interpolación espacial

Para definir la interpolación espacial es necesario entender sobre el análisis espacial, que es el proceso encargado de manipular la información, con la finalidad de extraer la información de una determinada variable o información nueva, partiendo de los datos originales, este análisis especial se realiza a través del SIG, que proporciona herramientas de análisis del terreno y modelado hidrológico como de los movimientos del agua sobre la Tierra (Chang & Kang, 2006: p; 28).

Por tanto, la interpolación espacial (véase Ilustración 3-2) utiliza puntos con valores conocidos para estimar los valores desconocidos, centrándose en el análisis de simulación de las muestras de datos, como su comportamiento en el espacio e influencia en otros puntos. Estas interpolaciones son usadas para predecir los valores de un atributo en un área determinada, a partir de valores ya obtenidos de puntos vecinos ubicados en la misma área de estudio, también se usan con la finalidad de transformar los números finitos de observaciones en un espacio continuo, de tal forma que su patrón espacial venga a ser comparable con datos presentados por observaciones puntuales (Burrough y McDonnell, 2018, p. 37).

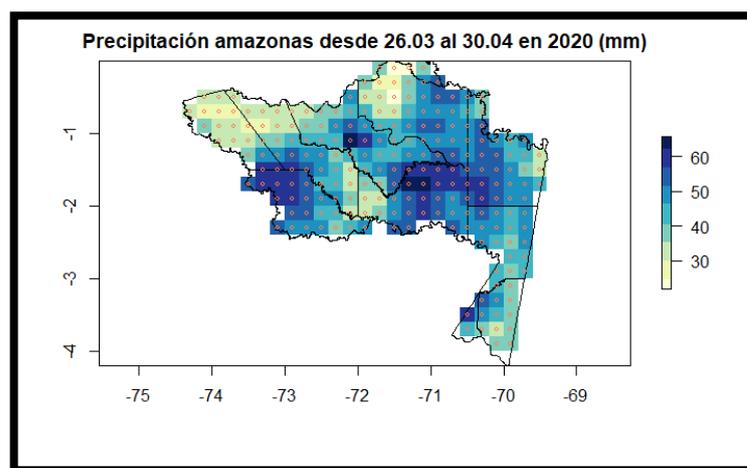


Ilustración 3-2: Interpolación espacial

Fuente: Virgüez, 2020.

2.3.2 Método de interpolación espacial

Los métodos de interpolación espacial son aquellos disponibles en la generación de superficies continuas a partir de las medidas en localizaciones puntuales, que predicen valores de la cantidad limitada de puntos de datos muestreados para las distintas celdas de un determinado ráster. Además, predicen valores desconocidos de los puntos de datos geográficos, por ello, al hablar de la interpolación mediante los sistemas de información geográfica se distingue una serie de métodos que es clasificada de acuerdo a su enfoque; siendo determinístico y geoestadístico (Buzai & Montes, 2021: p. 55-61).

2.3.2.1 Determinístico

La interpolación determinística genera superficies denominadas como continuas a través del grado de similaridad o suavidad, de carácter empírico tradicional y están ampliamente instrumentalizadas en modelos mecánicos como los polígonos de Thiessen (también conocido como vecino más cercano o diagramas de Voronoi), red de triángulos irregulares (TIN por sus siglas en inglés), las IDW, las funciones polinomiales (Spline) y también las de regresión lineal o redes neuronales (Buzai & Montes, 2021: p. 59).

- Tipos de interpolación determinístico

Dentro de esta categoría encontramos los polígonos de Voronoi, que usan métodos simples con el objetivo de asignar a todas las localizaciones sin datos, el valor del registrado más cercano, se logran generar mediante líneas que delimitan el área de estudio al que pertenece los puntos más cercanos. Dentro de esta categoría se encuentra el método TIN (véase Ilustración 4-2), que son usados para moldear el terreno mediante la localización de una serie de vértices, donde sus valores de elevación son conocidos, estos vértices logran conectarse a través de aristas para generar una red de triángulos interconectados, la cual representa la zona homogénea de la variable estudiada (Buzai & Montes, 2021: p.56-57).

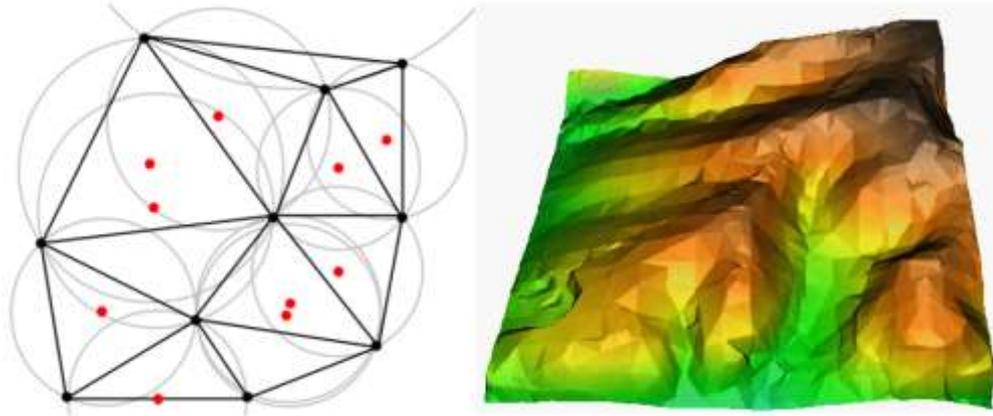


Ilustración 4-2: Muestreo de datos con método TIN

Fuente: Mitas y Mitasova , 1999

Además, se encuentra el método IDW (véase Ilustración 5-2), en donde los puntos de muestreo se ponderan durante la interpolación, de esta manera, la influencia de un punto en relación con otros se reduce o disminuye a medida que la distancia aumenta entre ellos. El tipo de interpolación Spline estima valores usando funciones matemáticas que disminuye la curvatura general de la superficie, dando como resultado una superficie suave que pasan exactamente por los puntos de entrada (Buzai & Montes, 2021: p.59).

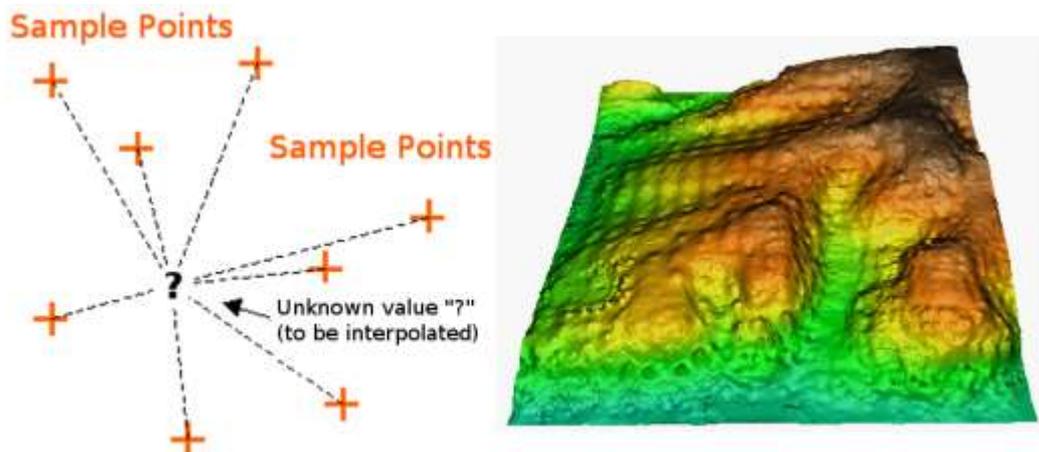


Ilustración 5-2: Interpolación con método IDW

Fuente: Mitas y Mitasova , 1999

2.3.2.2 Geoestadístico

Este método genera superficies a partir de las propiedades estadísticas de los datos de partida. Dentro de esta categoría se encuentra Kriging (véase Ilustración 6-2) , que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados dependiendo de su tipo, para el caso del

Kriging Ordinario el valor medio constante es desconocido, esta viene hacer una pre-suposición razonable a menos que exista una razón científica para no ser usada y para el Kriging Universal no existe una tendencia de invalidación en los datos, es decir, esta función polinómica se resta de los puntos medidos originalmente y la autocorrelación se modela a partir de errores aleatorios (ArcGis, 2019, párr.16).

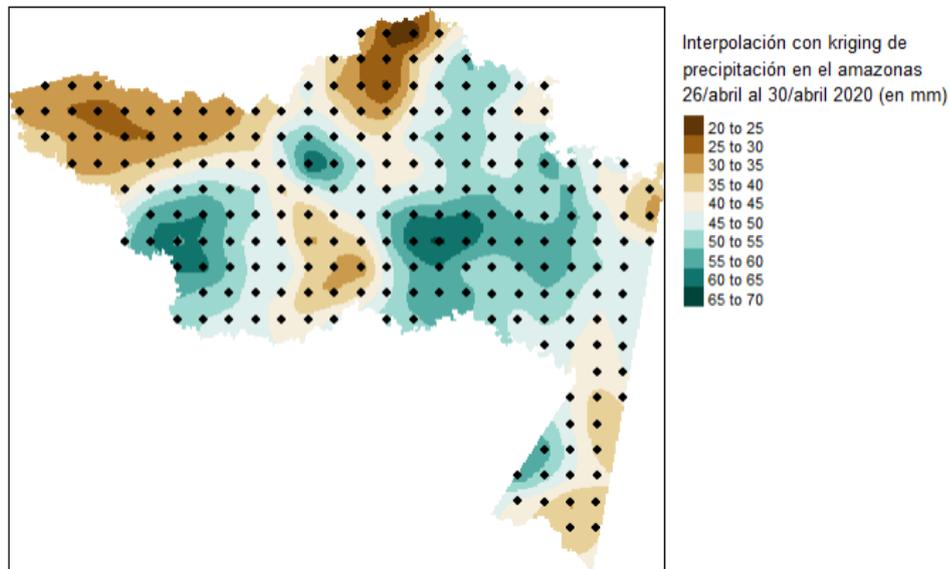


Ilustración 6-2: Interpolación por el método de Kriging

Fuente: Virgüez, 2020.

El Kriging bayesiano empírico (EBK) forma parte del método geoestadístico, que logra automatizar los aspectos más complicados para generar un modelo válido (Ilustración 7-2), este método calcula de forma automática los parámetros mediante procesos de subconjuntos y simulaciones, a diferencia de otros métodos de Kriging que requiere el ajuste de forma manual para recibir resultados un tanto precisos, por tanto, dentro de esta herramienta las variables se proporcionan como ráster y el modelo se construye extrayendo los valores del ráster de las variables explicativas que están debajo de cada punto de entrada, en el caso de que las variables explicativas fueran campos dentro de las variables dependientes de entrada se podría realizar las predicciones en ubicaciones de los puntos de entrada (ESRI, 2020).

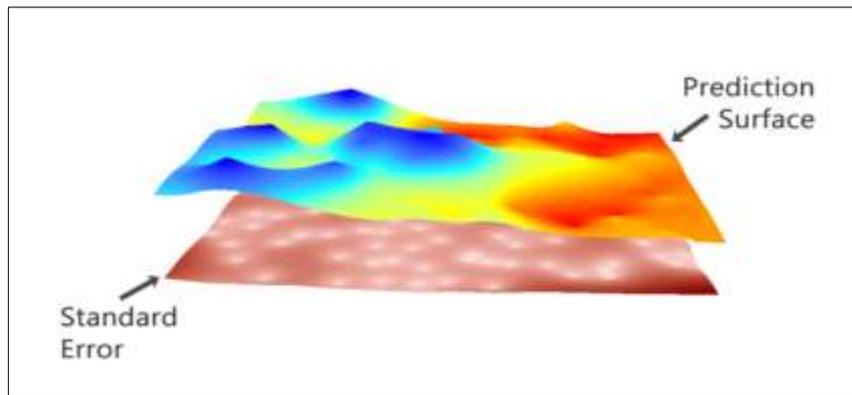


Ilustración 7-2: Modelo de interpolación EBK

Fuente: GISGeography, 2020, párr. 1.

2.3.3 *Análisis exploratorio de datos*

Para crear superficies de interpolación los histogramas son herramientas que representan la frecuencia de los conjuntos de datos, permitiendo examinar la distribución de cada uno de sus atributos, logrando percibir tendencias debido a la propagación y simetría de los datos (Rodríguez, 2014, p. 11).

El Q-Q plot o también denominado como el gráfico probabilístico normal, permite la comprensión de una distribución empírica tomado de un conjunto de datos, esta herramienta gráfica el comportamiento de la variable, en este caso los datos llegan a alinearse de forma rectilínea a 45 grados formándose cuartiles de normalidad estándares para comprender si los datos son aceptables o no (García, 2018, p.23).

El semivariograma es otra de las herramientas útiles que permite identificar las influencias y correlaciones espaciales de los datos. En este caso los elementos que se encuentran más cercanos de unos a otros llegan a parecerse bastante, estos semivariograma experimentales se constituyen gráficamente mediante una nube de puntos que refleja las distancias de las muestras a través de los ajustes de las funciones matemáticas que describe el crecimiento, dentro los semivariograma se llega a usar los modelos esféricos, gaussiano, y exponenciales (Rodríguez, 2014, p. 12).

2.3.4 *Validación cruzada*

La validación cruzada evalúa el modelo mediante el entrenamiento de varios modelos, que permite la entrada de subconjunto de datos para evaluar el subconjunto de datos complementarios. Esta técnica permite detectar el sobreajuste o aquel que no logre generalizar un patrón de secuencia, existen varias técnicas para validar los métodos de regresión, se utilizan nuevos

conjuntos de datos conocidos para comparar con los datos obtenidos. Con la validación se puede realizar una interpretación precisa sobre el modelo ya ajustado mediante el error de predicción. Los errores estandarizados deben tener valores con tendencia a 0, mientras que las medidas cuadráticas de los errores estandarizados deben aproximarse a 1 para que la varianza sea consistente (Pérez, et al.,2019: p.57).

2.4 Análisis de las Superficies de Interpoladas

2.4.1 Mapas

Los mapas reflejan las características estructurales de la distribución espacial, con el objetivo de ilustrar un tema determinado como; la orografía del terreno, comportamiento de las variables climáticas, las vías de comunicación entre otros, que favorecen a los ámbitos sociales, ambientales, físicos, socio ecológicos, etc. Al momento de elaborar los mapas se usa información primaria, con la finalidad de suministrar referencia base y precisa del área de estudio como, representaciones gráficas de las variaciones e interrelaciones de distribuciones geográficas (Sánchez, 2021, p.310-302).

Los mapas poseen elementos compositivos que permiten al lector interpretar de forma correcta la información que se está transmitiendo, cada elemento añadido en el mapa provoca un impacto visual, según la forma, el tamaño, la ubicación en el plano y la interrelación con otros elementos que integran el mapa en conjunto. Es necesario que el cartógrafo diseñe un mapa con visualización armónica, equilibrada, carente de ambigüedades y eficaz, los factores importantes dentro del mapa es la composición de la hoja que puede ser columnar, modular o diseños personalizados, en el que se añada los elementos gráficos de acuerdo a las características y la jerarquía. Los elementos básicos del mapa es el grillado cartográfico que dependerá de la representación del caso de estudio, la escala, título, leyenda, la etiqueta que proporciona información acerca de la fuente de datos y tipo de trabajo que se está realizando, etc. (Aldana y Flores, 2020, p. 97-119).

En tal contexto, los mapas utilizan sistemas de coordenadas geográficas de UTM que son sistemas de proyección cartográfica basadas en cuadrículas donde se puede referenciar puntos sobre la superficie terrestre. Este sistema fue creado en 1947 por el ejército de los Estados Unidos y se fundamenta en un modelo elipsoidal de la Tierra (Ibáñez, et al., 2011: p.2).

2.4.2 Las isoyetas

Las isoyetas son líneas que logran unir puntos de igual cantidad de lluvia (Ilustración 8-2), se debe tener en cuenta la variación de las precipitaciones con la altura, ubicación y toda información de las condiciones de la zona que se tenga sobre la lluvia. A partir de estas se pueden obtener precipitaciones medias ponderadas (López, 2018, p. 215-221).

Las isoyetas son métodos exactos ya que la media ponderada se logra calcular estableciendo áreas de influencia de precipitación más realistas que en el caso de los Polígonos de Thiessen, en donde los polígonos se construyen sin tener en cuenta las características de la cuenca. Existe un método mixto entre los anteriores utilizando los módulos pluviométricos medios anuales de cada estación, las isoyetas y los polígonos de Thiessen y asignando un coeficiente corrector entre la altura media de precipitación calculada por el método de las isoyetas en un determinado polígono y la altura media de precipitación en dicho polígono, se calcula la precipitación media (Pizarro, et al., 2013: p. 31-38).

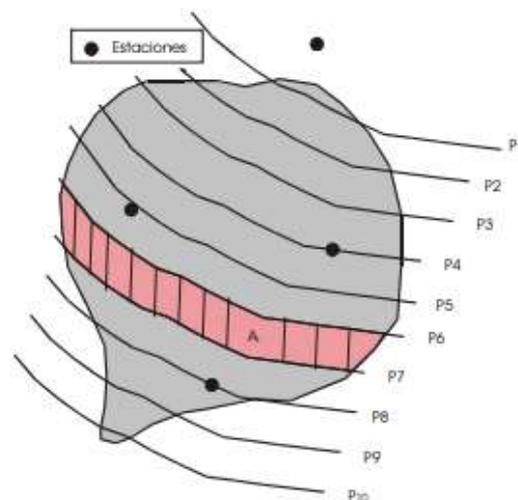


Ilustración 8-2: Isoyetas

Fuente: ISOYETS, 2020, p.28.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Localización de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la provincia de Chimborazo, que está delimitado al sur con la provincia de Cañar, al norte Tungurahua, al este con Morona Santiago y al oeste con la provincia de Bolívar y Guayas. La provincia presenta una extensión aproximada de 6500 km², ubicada en la región interandina y tiene un rango de 135 a 6310 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

3.1.1 Población de estudio

Para investigación se utilizó datos registrados de precipitación en las estaciones meteorológicas del INAMHI, GEAA, estación agrometeorológica del ESPOCH y el MAG que se encuentran ubicados dentro de los cantones (Alausí, Cumandá, Chunchi, Colta, Penipe, Guano, Chambo, Guamote, Riobamba y Pallatanga) de la provincia de Chimborazo. Sin embargo, la otra parte de la población de estudio se encuentra ubicada en las provincias colindantes (Tungurahua, Cañar, Bolívar, Morona Santiago) con el área de estudio, como se muestra en la Ilustración 9-3.

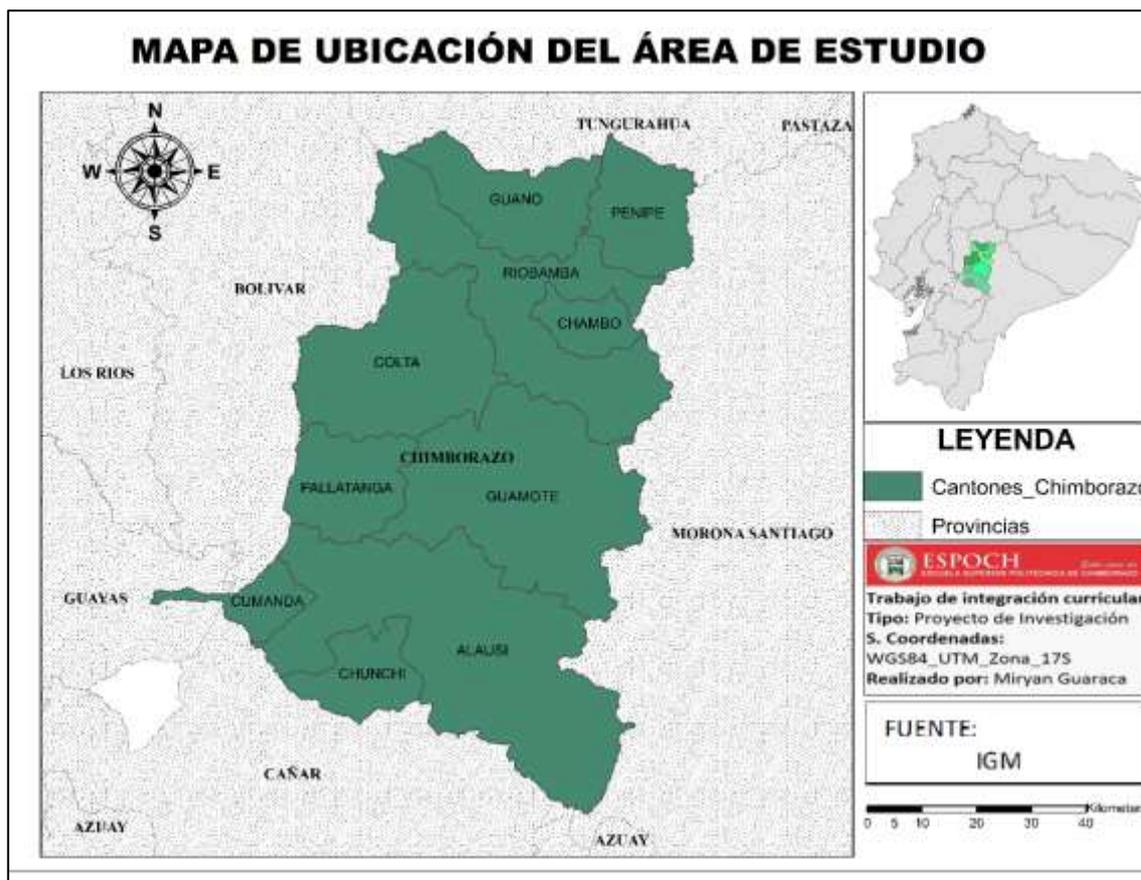


Ilustración 9-3: Ubicación del área de estudio

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

3.1.2 Tamaño de muestra

Los datos registrados de precipitación fueron la base para realizar el muestreo aleatorio estratificado de acuerdo a los subgrupos (10 cantones de Chimborazo), y poder tomar datos medidos de las estimaciones satelitales para el análisis, en el periodo de estudio 2010 al 2020.

3.2 Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que utiliza datos de los anuarios meteorológicos de estaciones del INAMHI y las estimaciones de precipitación de diferentes puntos obtenidos, los cuales, se presentaron mediante mapas geo-estadísticos. A la vez, la investigación se basó en el método cualitativo, debido a que se realizó análisis de las precipitaciones dentro de un determinado periodo de tiempo, ayudando a comprender los procesos que han acontecido con respecto a la precipitación dentro de la provincia de Chimborazo durante los 11 años de estudio (2010-2020). Según el tipo de inferencia es deductivo-inductivo, porque se generó información a través de la recolección de datos.

3.3 Alcance de la investigación

La investigación se realizó con un alcance descriptivo - exploratorio. Debido a que se analizó y atribuyó datos de series registradas referentes a la precipitación de la provincia de Chimborazo, el objetivo de la investigación descriptiva radicó en llegar a conocer con más profundidad la situación, actitudes y prácticas a través de la descripción precisa de las actividades, técnicas y objetos (Fuentes et al., 2020: p.57). Por otra parte, la investigación fue exploratoria ya que, se realizó sobre un tema u objeto desconocido, que poseen escasas mediciones, por consecuencia los resultados solo formaron una visión contigua de dicho objeto, como es el caso de generación de superficies de interpolación para conocer el comportamiento espacio temporal de las precipitaciones.

3.4 Diseño de la investigación

El presente trabajo se ejecutó mediante el diseño de investigación no experimental porque, se realizó la recopilación de información de la variable precipitación, a través de modelo climático satelital TerraClimate y las estaciones meteorológicas del INAMHI, GEAA, MAG Y ESPOCH que proporcionaron datos de la variable precipitación para la provincia de Chimborazo. A continuación, se filtró la información obtenida y se procesaron los datos mediante el uso del software Excel y ArcGIS. Finalmente, se analizó las variaciones anuales de precipitación.

Este diseño no experimental está fundamentado en las categorías, los conceptos, las variables, incluso los sucesos, las comunidades o también en contextos que se pueden generar sin la interposición directa del investigador, en este caso el investigador no llega a alterar el objeto de la investigación, solo se llega a observar los fenómenos o incluso acontecimientos tal como se presenta en su contexto inicial o natural, para luego analizarlo (INTEP, 2018, p.1).

El caso de estudio se basó en un diseño de investigación longitudinal, lo que implica dos o más mediciones a lo largo de un seguimiento, siendo repetidas del sujeto de estudio a lo largo del tiempo, en el caso de esta investigación se analizó la variable precipitación a lo extenso del período 2010 al 2020, observando los cambios que existe.

3.5 Conformación de la base de datos

3.5.1 Exploración de fuentes de información

Se realizó una revisión exploratoria general de las fuentes de información RedEMA con base de datos históricos y modelos globales climáticos que proporcionan datos de precipitación acumulados de años anteriores para la provincia de Chimborazo.

La base de datos encontrada fue del INAMHI registrados como anuarios meteorológicos, las estaciones eran insuficientes para cubrir la provincia de Chimborazo. Por tanto, se procedió a tomar en cuenta las estaciones meteorológicas que se encuentran cercanas a la provincia. Además, se tomó en cuenta la estación agro meteorológica ESPOCH y la estación climatológica del MAG de Ecuador. Al seguir explorando se encontró, con la base de datos del GEAA, en este caso no registraban valores representativos para la precipitación y existió mucha acumulación de valores con ceros, por tanto, se tomó en cuenta sólo los datos representativos.

Al observar que todos los datos recopilados de las estaciones meteorológicas no cubrían la provincia de Chimborazo, se procedió a obtener datos de precipitación procedente de modelos climáticos globales, por consiguiente;

- Se exploró la base de datos de Power Data Access Viewer, que proporciona resoluciones espaciales por cuadrículas globales de 0.5 grados de latitud por 0.5 grados de longitud (55km) de la versión POWER Realse -8, esta base de datos es muy eficientes para estudios climáticos a gran escala (POWER, 2019, párr.1). Debido a que las resoluciones espaciales por cuadrículas no capturaban la variabilidad temporal a escalas mucho más finas, se imposibilitó la toma de valores estimados de precipitación para esta área de estudio.

- Otra base de datos explorada fue CRUTEM, que está vinculado con Google Earth, incluye información hasta diciembre del año 2019, con la versión más actualizada (versión 4), esta base de datos ha sido mantenida por la investigación climática, proporcionados por el departamento de energía de los Estados Unidos. Además, trabaja a través de cuadrículas mensuales de alta resolución, por observaciones terrestres utilizando la ponderación de distancia angular (ADW), que mejora la trazabilidad entre cada valor cuadrículado y las observaciones de entrada (Harris, 2020, p.2). Al igual que el anterior la resolución espacial por cuadrículas impidió la toma de datos de precipitación.

- La base de datos principal es TerraClimate, proporcionó datos climáticos y balances hídricos para superficies terrestres globales, la información consta a partir del año 1958 hasta la actualidad, son insumos de base fundamental para estudios ecológicos e hidrológicos que requieran alta resolución espacial y datos variables con el tiempo. Los datos están registrados de manera temporal mensual, con resolución espacial de 4 km (0.04 °) (Climatología, 2020, párr.1). Estos datos fueron tomados en cuenta para la investigación debido a que las cuadrículas capturan la variabilidad temporal a escalas mucho más finas en el caso de precipitación.

3.5.2 Fuentes de información

Una vez realizada la exploración y el análisis de la información, se tomó en cuenta los datos de las estaciones meteorológicas instaladas dentro y cercanas a la provincia de Chimborazo.

La base de datos principal para la obtención de valores fue INAMHI, que presentó datos de las variables climáticas mediante los anuarios meteorológicos, para el caso de Chimborazo durante los años de análisis se encontró un total de 20 muestras registradas en las diferentes estaciones instaladas a lo largo de la provincia. Además, se tomaron en cuenta 20 estaciones cercanas al área de estudio a fin de obtener resultados más adecuados. La información obtenida varió de acuerdo a los años en el que se trabajó, encontrando valores de los años 2010, 2011, 2012, 2013.

Los datos conseguidos para los cuatro primeros años fueron de estaciones automáticas, que se transmitió en tiempos reales de GPRS (*General Packet Radio Service*) y los GOES (*Global Online Enrollment System*), de forma diaria a través de fax o vía telefónicas (Ayala et al., 2014: p.1).

En la Ilustración 10-3, se observa la ubicación geográfica de los distintos puntos de muestreo de las estaciones meteorológicas obtenidos para la provincia de Chimborazo y alrededor de la provincia. Cabe recalcar, que solo se encontró datos de los cuatro primeros años de estudio.

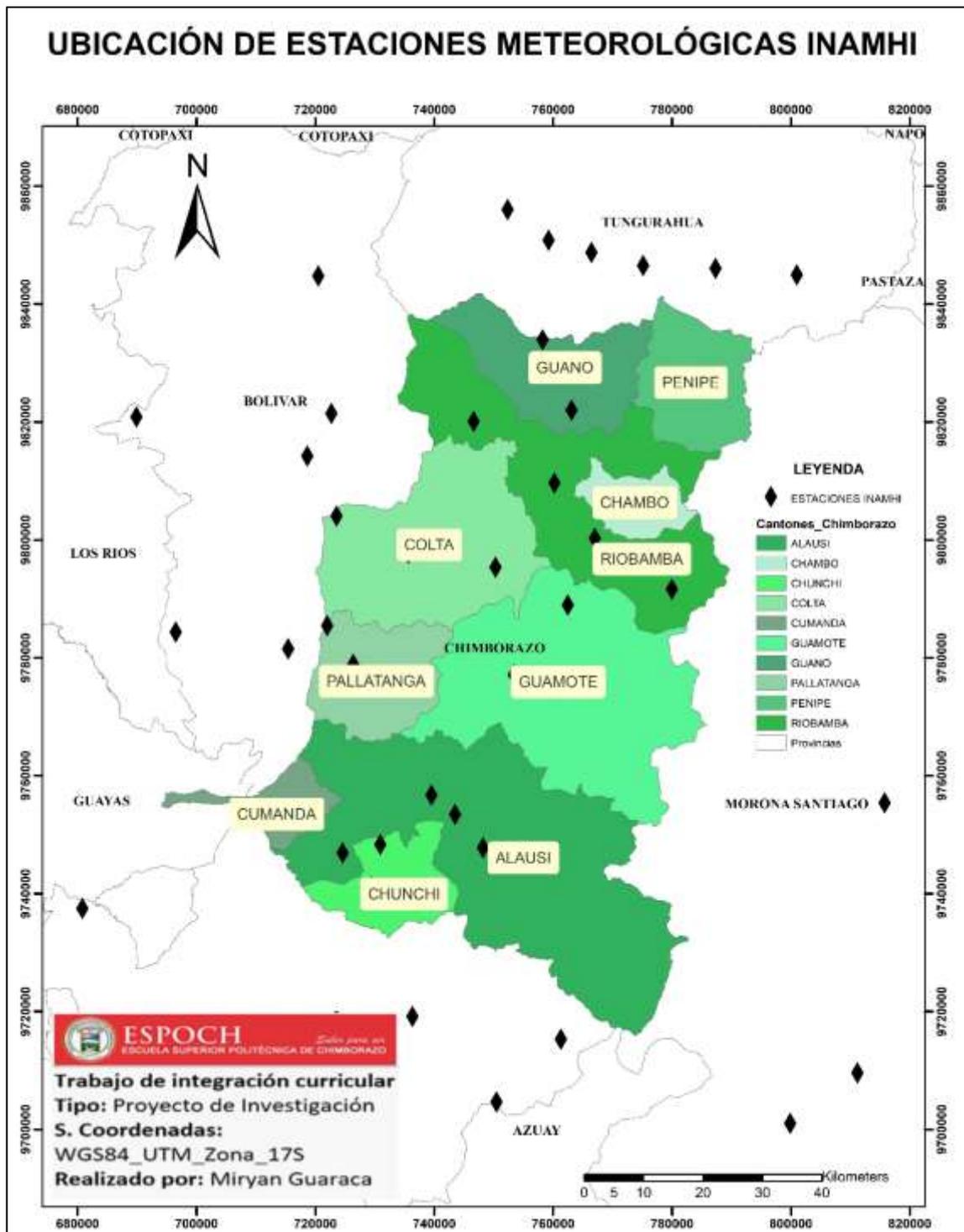


Ilustración 10-3: Ubicación geográfica de los puntos INAMHI

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

Los anuarios meteorológicos del Inamhi, identifica mediante códigos a cada una de las EM, como primer paso se procedió a identificar el código de la provincia de Chimborazo (06) y los códigos de las provincias aledañas al área de estudio, para luego identificar las estaciones para todos los años, como se muestra en la Ilustración 11-3, los códigos M0390 corresponden a la EM Urbina,

que pertenece al cantón Guano y M0392 corresponde a Huigra del cantón Alausí, los cuales, proporcionaron datos pluviométricos mensuales, como una suma total anual y se registraron datos sobre el número de horas registradas y el total de días muestreados a lo largo de los años.

VALORES PLUVIOMETRICOS MENSUALES 2011 (mm)														TOTAL ANUAL	Máxima en 24 Hrs Fecha	Número de días
CODIGO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.				
M0228	49.9	67.8	17.5	119.7	2.5	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	263.9			
M0245	55.8	56.2	0.0	142.3	0.0	6.4	27.7	20.1	5.0	14.4	0.6	14.4	342.9	47.9	16-abr	100
M0247	51.3	41.0	17.8	43.2	4.0	1.6	29.5	0.0	0.4	0.0	0.0	9.0	197.8	19.0	13-jul	70
M0258	38.0	72.1	39.7	108.8	75.9	56.1	58.1	79.5	41.7	15.8	56.9	99.3	741.9	38.6	1-dic	204
M0269	85.4	64.4	21.6	22.1	9.6	7.4	19.1	0.2	30.9	3.8	3.8	13.2	281.5			
M0292	69.1	156.7	17.4	76.8	4.2	5.9	6.4	23.5	6.1	8.3	11.5	9.9	395.8			
M0301	96.9	93.2	94.9	106.5	34.7	19.2	38.3	20.0	35.9	84.8	55.0	92.5	771.9	32.3	24-sep	158
M0306	134.0	255.3	187.6	194.3	265.7	38.1	135.9	100.7	81.5	126.5	210.8	428.0	2158.4	70.6	21-nov	296
M0308	74.8	172.9	157.1	215.1	93.9	99.2	136.2	57.3	34.6	157.8	137.3	180.7	1516.9	36.7	29-jul	253
M0310	76.8	191.5	124.9	303.1	181.5	77.7	81.0	74.5	72.8	104.3	86.0	249.5	1623.6	39.7	20-abr	213
M0312	92.7	142.3	134.2	139.4	47.4	54.1	51.9	24.8	16.6	78.7	68.9	157.1	1008.1	36.7	13-dic	199
M0314	31.7	56.5	41.0	108.1	62.6	28.1	32.6	32.9	20.5	68.2	40.6	100.5	623.3	25.6	2-dic	96
M0315	39.7	22.5	69.3	129.3	78.0	38.2	66.9	30.7	49.2	66.2	68.7	73.7	732.4	30.6	24-sep	105
M0317	71.9	219.4	127.1	372.6	66.1	57.3	30.9	32.6	43.5	54.7	70.1	109.8	1256.0	100.3	25-abr	167
M0318	308.1	250.3	155.2	290.7	59.6	43.9	50.3	15.4	80.2	111.3	84.0	127.3	1576.3	57.4	28-feb	157
M0321	265.2	323.0	127.6	150.4	79.4	54.2	43.9	20.5		143.5	110.8	383.1				
M0324	92.7	88.2	163.0	206.3	210.9	122.0	278.9	127.5	85.7	86.9	187.8	184.9	1834.8	121.0	15-jul	132
M0325	290.2	192.5	230.0	53.7	80.7	96.0	22.9	60.4	83.9							
M0326	342.2	347.3	245.4	426.1	108.9	81.5	99.7	28.5	68.1							
M0327	408.2	380.9	226.4	475.4	61.5	27.4	86.9	5.5	9.6	163.6	43.2	142.8	2031.4	118.5	1-abr	194
M0328	88.1	242.0	154.3	292.9	67.0	102.1	48.4	29.9	43.7	96.9	127.5	207.9	1501.7	53.0	1-jun	207
M0335	138.8	337.8	143.2	411.2	38.8		94.3	90.0	29.8	221.0	88.3	136.0				
M0337	188.4	287.9	153.3	274.0	106.2	312.0	131.8	58.0	82.8	119.8	41.5	135.3	1891.0	47.2	24-sep	195
M0339	429.2	363.7	339.9	470.0	131.8	112.8	147.8	31.8	105.6	102.5	14.1	192.3	2441.5	60.2	20-feb	241
M0343	51.3	37.6	46.8	100.4	37.5	6.7	28.6	12.9	8.5	23.7	12.9					
M0345	69.6	94.6	78.5	135.7	37.5	14.1	65.2	21.4	13.6	59.6	25.2	44.0	659.0	26.9	14-jul	134
M0346	66.1	78.2	108.5	225.0	43.1	24.8	61.9	34.7	31.5	73.9	47.5	73.4	868.6	36.2	5-mar	171
M0348	542.5	299.7	457.0	508.6	169.5	92.2	155.2	6.7	60.1	65.1	18.1	87.5	2462.2	105.5	16-mar	215
M0353	194.8	410.8	518.8	658.0	292.7	92.4	59.4	109.5	78.9							
M0354	135.2	224.5	122.7	331.3	92.7	49.2	73.4	56.0	73.2	81.7	39.6	102.2	1381.7	33.0	13-feb	251
M0357	104.9	301.0	148.0		57.4	30.0	96.5	68.8	143.9	77.3	80.8	162.0				
M0358	51.4	134.9	107.6	122.5	27.2	25.0	39.3	21.7	33.2	49.8	38.4	48.1	699.1	25.5	24-sep	140
M0359	75.7	101.7	198.4	182.2	89.3	60.0	84.9	40.0	73.5	100.3	123.9	119.5	1259.4	100.1	15-mar	162
M0361	109.9	200.3	135.6	326.0	49.4	24.4	72.6	22.0	101.0	41.1	15.3	64.1	1161.7	36.6	3-abr	148
M0362	326.6	284.1	223.1	495.1	133.9	68.4	111.8	12.0	77.0	87.1	23.4	127.0	1969.5			
M0363	130.3	177.8	94.1	246.9	19.7	35.8	56.4	27.9	14.4	53.7	17.3	131.4	1005.7	30.3	20-mar	141
M0364	221.5	248.0	165.3	290.7	63.6		70.7	63.3	55.4	163.6	175.7	214.7				
M0367	337.6	329.2	388.5	227.8	9.4		26.9	1.3	12.3	3.2	11.0	101.8				
M0368	615.3	872.7	372.4	840.9	48.7	108.1	99.6	4.2	23.1	36.7	18.8	255.3	3295.8	225.3	19-abr	244
M0369	63.2	190.6	58.0	141.1	28.2	20.5	29.5	10.5	42.2	35.9	106.6	109.4	835.7	37.5	2-dic	110
M0370	470.5	696.9	409.9	721.5	20.8	69.8	104.1	1.5	27.5	27.9	50.2	209.4	2810.0			
M0371	53.8	45.8	48.6	171.8	30.6	34.6	29.7	25.9	28.0	41.1	96.5	98.9	705.1	25.0	5-abr	179
M0374	428.7	510.2	427.7	795.3	91.9	91.7	63.7	3.2	18.5	35.2	10.3	111.8	2588.2	150.0	5-feb	182
M0375	85.2	76.5	41.2	13.2	3.6	21.9	22.8	2.2	14.0	4.8	64.5	13.9	363.8	25.0	26-mar	80
M0376	37.8	71.6	43.0	142.6	98.6	66.9	63.4	56.9		29.7	80.8	116.0				
M0377	44.2	105.5	62.6	141.3	68.7	70.1	58.0	47.7	44.7	12.0	48.6	53.0	756.4			
M0378	185.1	86.6	136.9	224.3	280.0	323.2	380.1	247.3	256.1	89.3	113.5	227.9	2550.3	69.4	24-sep	317
M0380	49.3	61.9	48.4	45.1	88.6	85.9	109.6	101.0	70.1	19.6	52.4	58.1	790.0	26.2	24-sep	153
M0383	311.4	46.6	23.2	33.8	2.5	5.3	4.9	2.0	16.5	7.1	11.3	92.9	557.5			
M0385	191.1	221.0	113.4	339.0	3.0	16.0	30.5	0.0	91.0	107.0	31.0	107.0	1250.0	27.0	5-abr	132
M0388	286.1	332.9	232.9	468.3	23.4	81.3	130.9	24.5	31.1	37.3	48.8	197.9	1895.4	77.9	13-jul	227
M0390						39.5	61.5	43.5	52.2	49.4	97.9	120.8				
M0391	159.9	248.5	70.4	254.5	21.8	38.0	28.5	5.0	3.2	7.2	25.1	94.5	956.7	38.2	23-feb	156
M0392	41.4	141.7	30.5	153.3	2.5	6.0	20.8	0.0	2.8	0.9	9.0	47.7	456.6	34.7	2-abr	97
M0393	33.8	47.6	45.9	230.2	25.6	29.9	14.0	10.7	52.7	30.5	84.8	98.1	703.8	30.2	24-sep	141

Ilustración 11-3: Ejemplo de datos de anuarios meteorológicos INAMHI

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

A partir del cual, se realizó una sumatoria anual. Además, se evidenció que el número de horas y el número de días, en el que los pluviómetros recogieron datos no fueron constantes, por la misma razón no se tomó en cuenta la sumatoria total de todos los datos.

Se creó una base de datos en Excel en el que se procesó los datos mensuales de cada una de las estaciones con los diferentes años, para luego realizar cálculos y ajustes de los datos faltantes de precipitación mediante el método de promedio aritmético, en el que se usó los valores mensuales de todos los años reportados dentro de una misma estación para así sacar un valor promedio para el mes faltante y luego realizar la suma anual de precipitación.

La fórmula aplicada para la completación de datos faltantes fue la siguiente:

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

Donde:

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = Valores medidos de las precipitaciones

n = Cantidad de años

La aplicación de este método se debió a que los datos de precipitaciones obtenidas para las estaciones presentaban valores faltantes de 1 o 2 meses. En caso de que existan datos faltantes de varios meses y durante varios años consecutivos se aplica el método de regresión lineal que son ideales para el caso de precipitación.

Obteniendo datos de un total de 40 estaciones del INAMHI dentro y alrededores de la provincia de Chimborazo, como se muestra en la Tabla 2-3. Existen ausencia de datos para algunas estaciones para el año 2010.

Tabla 2-3: Datos de precipitación INAMHI

ID	P_2010 (mm)	P_2011 (mm)	P_2012 (mm)	P_2013 (mm)
ACHUPALLAS	966.1	659.7	565.1	409.7
ALAUSI EM	481.5	491.2	460.2	335.8
GUASUNTOS	523.1	450.1	501.9	316.325
HUIGRA	-	456.6	490.5	327.5
CHUNCHI EM	550.2	575.3	501.25	216.9
COMPUD	1355.4	1052	1395.5	944.6
CANI.LIMBE	1469.3	2015.5	1698.9	1796.0
SHIRY XII	-	960.8	630.5	621.5
PANGOR.J DE VELASCO	1808.9	948.0	822.2	671.1
CEBADAS	604.4	1020.4	575.7	579
TOTORILLAS	-	624.1	687.5	389.3
GUANO EM	528.0	591.3	350.35	270.6
URBINA	-	675.0	826.3	738.0
PALLATANGA	1130.9	956.7	1280.2	829.9
CHIMBO DJ PANGOR	1019.9	931.2	1649.7	1294.1
SAN JUAN.CHIMBORAZO	752.5	703.8	729.7	402.9
ALAO	1715.2	2332.3	1501.8	1101.7

LICTO	766.8	925.4	656.2	536.2
RIOBAMBA POLITECNICA	559.85	694.1	491.4	365.1
GUASLAN	-	621.7	531.6	409.7
BAÑOS	1304.6	1240.6	1226.7	1380.1
HUAMBALO	657.6	790.0	750.0	809.0
PILAHUIN	804.4	838.6	764.9	621.4
QUEROCHACA	698.7	741.9	549.5	571.2
RIO VERDE	2615.1	2550.3	3025.9	3009.3
TISALEO	756.7	756.4	631.6	613.4
CAÑAR	509.2	643.1	560.4	450.3
CHANIN	1018.6	956.8	642.2	717.7
INGAPIRCA	543.6	903.7	614.3	500.1
INGENIO AZTRA (LA TRONCAL)	2389.4	1745.7	2783	1275.4
RIOMAZAR-RIVERA	1143.4	1488.8	1598.3	1386.6
CALUMA	2108.9	1675.3	-	1679.0
CHILLANES	958.0	705.7	1061.1	776.0
INTITUTO TECNICO 3 DE MARZO	779.7	705.5	948.5	532.0
LAGUACOTO	754.5	843.2	902.5	483.3
RIO SAN ANTONIO-MONJAS	2182.9	1895.4	2342.4	2008.2
SALINAS -BOLIBAR	1876.5	1250.0	1095.2	1114.0
LOGROÑO	1942.7	1928.7	1986.0	1960.6
MACAS SAN ISIDRO	2577.1	3439.0	2836.2	2844.0
MENDEZ	1745.3	2414.6	2226.2	1945.0

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

- Fuente de información GEAA

Se encontró datos históricos de precipitación del GEAA registrados en la página RedEMA pertenecientes a la institución, la misma que contó con 7 estaciones meteorológicas automáticas, que estuvieron ubicadas en puntos estratégicos de la provincia, y fueron instalados desde el año 2013.

De esta fuente de información solo se encontró datos del año 2020 dentro de 7 estaciones meteorológicas, como se muestra en la Ilustración 12-3, que contiene la ubicación geográfica de cada uno de ellos distribuidos en la provincia de Chimborazo.

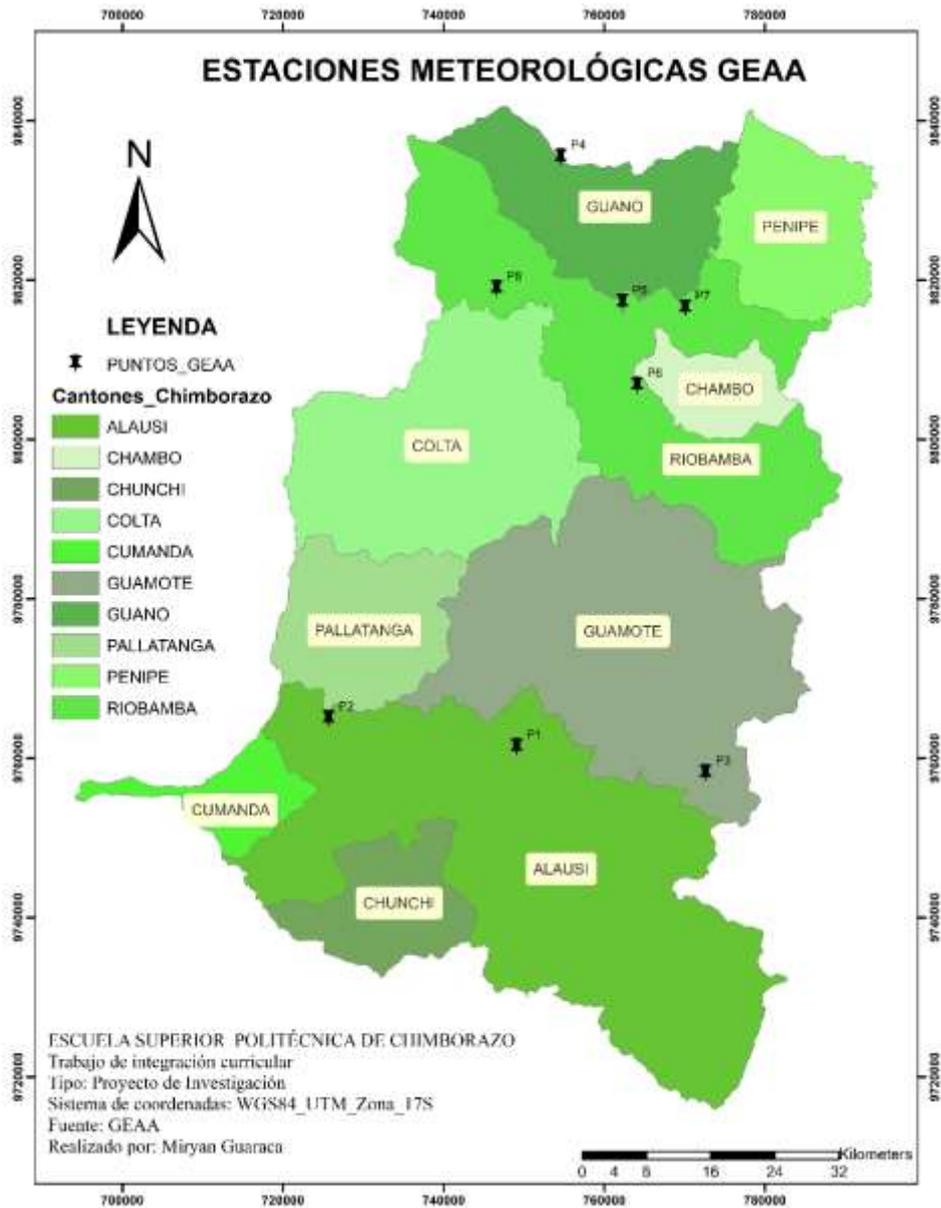


Ilustración 12-3: Ubicación geográfica de los puntos GEAA

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

Los datos históricos almacenados fueron recogidos mediante sensores de pluviómetros, los cuales han sido colocados a una altura de 1,5 metros sobre el suelo, además contó con un rango operacional de entre 0 a 400 mm de dimensiones para la observación de la cantidad total de agua. Los datos fueron transmitidos mediante el GPRS, que presentó datos crudos para cada una de las variables. El anuario digital registró la precipitación por horas (cada 2 a 3 horas).

En la Ilustración 13-3, se presenta un ejemplo de cómo se obtuvieron los datos de precipitación. Se colocó en la página web de la institución, la provincia, la estación, la variable y la fecha inicial

y final, una vez registrada nos arrojó información de la fecha, hora, valor de precipitación y la unidad de medida (en mm).



Ilustración 13-3: Ejemplo de obtención de datos de estaciones RedEMA del GEAA

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

Se proyectó datos por horas, por tanto; con la ayuda de Excel se procedió a realizar una suma diaria y mensual, para finalmente realizar la suma anual para el año 2020 de cada una de las estaciones, como se muestra en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Datos de precipitación GEAA.

No	ID	P_2020 (mm)
1	TIXAN	458.2
2	MULTITUD	1084.3
3	ATILLO	1103.0
4	URBINA	599.2
5	TUNSHI	612.7
6	QUIMIAG	515.8
7	SAN JUAN	401.8

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

- Fuentes de información ESPOCH y el MAG

Las fuentes registradas en este fragmento, proporcionó dos puntos en específico dentro del cantón Riobamba, como se muestra en la Ilustración 14-3, en el caso de la estación agro meteorológica ESPOCH, se obtuvo una base de datos con los anuarios climatológicos de los años 2011 al 2020, la estación forma parte de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH. Por otra parte, el MAG tiene datos históricos de precipitación registradas mediante los boletines de precipitación y temperatura, en el que constan datos de las tres regiones y sus provincias del Ecuador, para Chimborazo tuvo a su disposición una estación meteorológica ubicada en el cantón Riobamba.

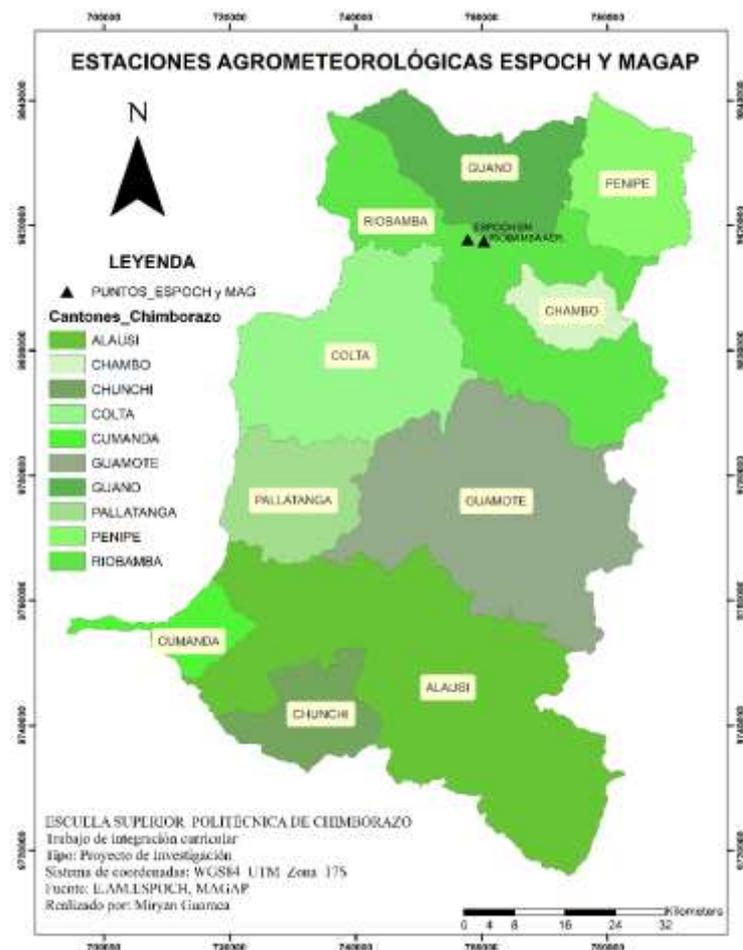


Ilustración 14-3: Ubicación geográfica de los puntos ESPOCH y MAG

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

Los anuarios climatológicos para la estación agro meteorológica ESPOCH, registraron mensualmente datos para cada uno de los años, así como también, de las diferentes variables climáticas incluida la precipitación. Además, estuvo registrado información de la suma mensual, el número de días y horas en el que se han registrado los valores, la media, la fecha, como se evidencia en la Ilustración 15-3.



AÑO: 2018

MES: DICIEMBRE

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCEO	PRECIPITACIÓN		HISIOFANIA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mb	°C	mm	Hora	%	Dirección	Velocidad m/s	mm Hg	
1	14.1	21.5	8.0	70.7	96.0	34.0	10.3	7.3	0.0	4.5	38	SE	1.0	544.2	
2	14.8	21.8	9.1	71.4	96.0	35.0	10.6	7.8	0.0	7.4	57	SE	1.3	543.4	
3	13.4	19.9	10.0	82.7	96.0	49.0	12.1	9.8	4.8	3.0	25	SE	1.8	543.4	
4	13.7	21.0	7.3	81.7	96.0	46.0	12.4	10.2	22.2	3.8	40	SE	1.0	542.8	
5	13.9	20.7	8.6	70.4	96.0	46.0	10.8	8.1	0.0	3.7	40	SE	1.8	543.1	
6	13.2	20.2	6.8	79.1	96.0	32.0	11.4	8.8	0.0	5.3	44	SE	1.8	544.3	
7	13.3	20.3	9.2	79.8	96.0	45.0	12.2	9.9	11.8	8.0	47	SE	2.0	543.1	
8	12.8	17.6	10.0	83.7	96.0	43.0	12.1	9.8	2.0	3.7	31	SE	2.0	543.4	
9	12.8	18.3	9.0	80.8	96.0	53.0	11.9	9.2	0.0	2.0	17	SE	2.0	543.0	
10	14.0	18.9	10.8	78.7	96.0	49.0	12.0	9.6	0.0	4.4	37	SE	2.2	544.7	
11	12.5	17.6	10.0	90.2	96.0	44.0	12.0	10.7	3.3	2.2	18	SE	2.2	543.1	
12	12.7	18.2	9.8	85.9	96.0	40.0	13.0	11.3	0.1	3.3	9	SE	2.2	543.1	
13	13.3	20.7	8.7	80.6	96.0	50.0	12.6	10.4	0.0	6.4	5.0	SE	2.0	543.2	
14	13.3	19.2	8.9	82.2	96.0	58.0	12.1	9.7	0.0	3.0	25	SE	1.8	543.3	
15	13.8	20.8	9.3	76.9	96.0	45.0	12.1	9.7	1.7	8.3	60	SE	3.5	543.2	
16	14.1	20.4	9.4	88.4	96.0	39.0	10.4	7.5	0.0	5.9	83	NE	2.8	544.8	
17	13.4	19.8	10.2	82.3	96.0	50.0	11.8	9.3	0.0	3.3	28	SE	1.8	544.0	
18	13.6	18.8	10.1	81.8	96.0	58.0	12.8	10.6	0.4	2.8	23	SE	2.0	544.1	
19	12.6	17.3	10.0	84.9	96.0	45.0	12.7	10.3	0.9	0.9	8	SE	1.8	544.2	
20	13.3	19.8	9.2	76.2	96.0	49.0	11.8	9.4	0.4	4.3	36	SE	2.0	544.7	
21	13.2	19.8	9.9	75.9	96.0	49.0	11.3	8.8	0.2	3.0	28	SE	2.3	544.9	
22	13.1	19.2	10.1	81.8	81.0	39.0	9.8	6.7	0.0	3.8	31	SE	2.3	544.4	
23	13.3	18.6	7.9	85.8	96.0	48.0	9.6	6.1	0.0	7.0	40	SE	2.8	544.4	
24	13.2	19.3	8.0	79.3	96.0	54.0	11.4	8.9	0.0	4.4	37	SE	2.7	543.8	
25	12.3	17.3	9.9	84.8	96.0	33.0	11.2	8.8	0.3	1.8	15	SE	2.7	543.3	
26	13.7	20.3	8.9	75.0	96.0	46.0	11.8	9.4	0.3	7.8	40	SE	2.8	543.3	
27	13.4	19.9	10.1	81.1	96.0	53.0	12.6	10.2	0.4	3.3	28	SE	2.8	544.4	
28	14.1	20.0	9.8	76.8	96.0	46.0	11.8	9.4	0.3	3.4	45	SE	3.5	544.4	
29	14.4	21.4	9.0	72.8	96.0	39.0	11.6	9.3	0.0	7.7	64	NE	2.3	544.1	
30	14.0	21.8	8.5	73.0	96.0	43.0	11.4	8.8	0.0	7.3	59	SW-SE-NE	2.8	544.0	
31	13.8	20.3	10.2	66.3	71.0	40.0	11.4	8.9	0.0	10.0	81	SE	3.0	543.4	
TOTAL	416.6	611.4	288.2	2402.0	2958.0	1518.0	361.5	284.8	80.4	254.4	1286.7	SE	94.9	18874.1	
DÍAS DE DATOS	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31		31	31	
MEDIA	13.4	19.7	9.3	77.8	93.4	49.0	11.7	9.2	2.6	41.3			2.7	544.3	
MÁX. 24 Hs.	14.8	21.8	10.8	90.2	96.0	63.0	13.6	11.8	22.2	10.0	83		3.5	545.4	
FECHA	3	3	10	11	VAPOR	19	12	12	4	81	81		11	8	

Ilustración 15-3: Datos del anuario climatológico ESPOCH

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

Los boletines de precipitación y temperatura que proporciona el MAG, presentan datos dependiendo la provincia. En Chimborazo se encontró una estación denominada Riobamba aeropuerto, es así que; los boletines contuvieron datos acumulados de forma mensual, como se observa en el ejemplo de la Ilustración 16-3:

PRECIPITACIÓN (mm)							
Provincias/Estación	2017. Abr. (t-12)	2018. Mar. (t-1)	2018. Abr. (t)	Pre. Pro. Acu. (2018)	Pre. Pro. Acu. (2017)	$\Delta_{t/t-12}$	$\Delta_{t/t-1}$
Chimborazo	50.0	40.9	99.6	212	332	99%	144%
Riobamba Aer.	50.0	40.9	99.6	212	332	99%	144%
Cotopaxi	312.1	41.0	49.8	157	312	-84%	22%

Ilustración 16-3: Ejemplo de datos de precipitación en boletines del MAG

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

En la Tabla 4-3, se muestran los datos obtenidos en el caso de la estación ESPOCH EM, se presentan valores a partir del año 2011 al 2020 y en la estación Riobamba aeropuerto se recolectaron datos desde el año 2015 al 2020.

Tabla 4-3: Datos de precipitación ESPOCH y MAG

ID	P_2011 (mm)	P_2012 (mm)	P_2013 (mm)	P_2014 (mm)	P_2015 (mm)
----	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

ESPOCH EM	714.7	537.4	513.6	564.5	461.8
	P_2016 (mm)	P_2017 (mm)	P_2018 (mm)	P_2019 (mm)	P_2020 (mm)
	544.7	774.2	758.5	940.4	461.1
ID	P_2011 (mm)	P_2012 (mm)	P_2013 (mm)	P_2014 (mm)	P_2015 (mm)
RIOBAMBA AER.	-	-	-	-	492.3
	P_2016 (mm)	P_2017 (mm)	P_2018 (mm)	P_2019 (mm)	P_2020 (mm)
	485.5	515.3	486.7	491.9	496.2

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

- Fuente de información TerraClimate

Una vez recopilada la información de las bases de datos de las estaciones meteorológicas se identificaron las ubicaciones geográficas de un total de 49 estaciones, un total de 29 estaciones se ubicó dentro de la provincia de Chimborazo y las otras 20 estaciones se ubicó alrededor del área de estudio que incluye las provincias de Tungurahua, Cañar, Bolívar y Morona Santiago. A continuación, en la Tabla 5-3 se muestra la ubicación de todas las estaciones tomadas en cuenta para la obtención de las estimaciones de precipitación mediante la base de datos de TerraClimate para posteriormente ser utilizado en la obtención de las estimaciones de precipitación.

Tabla 5-3: Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas.

N°	CANTON	ID	X	Y
1	ALAUSI	ACHUPALLAS	748196.3	9747767.1
2	ALAUSI	ALAUSI EM	739524.3	9756721.3
3	ALAUSI	GUASUNTOS	743506.7	9753427.8
4	ALUSI	HUIGRA	724582.3	9746911.0
5	CHUNCHI	CHUNCHI EM	730919.9	9748345.9
6	CHUNCHI	COMPUD	729426.0	9741158.8
7	COLTA	CANI.LIMBE	723571.6	9804055.7
8	COLTA	SHIRY XII	750303.7	9795360.0
9	COLTA	PANGOR.J DE VELASCO	735652.2	9797774.5
10	GUAMOTE	CEBADAS	762446.1	9788952.5
11	GUAMOTE	TOTORILLAS	753371.0	9777103.9
12	GUANO	GUANO EM	763106.4	9821985.7
13	GUANO	URBINA	758227.0	9833937.0
14	PALLATANGA	PALLATANGA	726355.4	9778890.8
15	PALLATANGA	CHIMBO DJ PANGOR	721974.0	9785440.0
16	RIOBAMBA	SAN JUAN.CHIMBORAZO	746622.6	9820099.2
17	RIOBAMBA	ALAO	779982.2	9791632.1
18	RIOBAMBA	LICTO	767006.7	9800254.9
19	RIOBAMBA	RIOBAMBA POLITECNICA	761462.2	9817470.5

20	RIOBAMBA	GUASLAN	760215.8	9809636.1
21	ALAUSI	TIXAN	749103.0	9761332.0
22	ALAUSI	MULTITUD	725688.0	9764881.0
23	GUAMOTE	ATILLO	772610.0	9758048.0
24	GUANO	URBINA	754571.0	9835358.0
25	RIOBAMBA	TUNSHI	764087.0	9806678.0
26	RIOBAMBA	QUIMIAG	770083.0	9816392.0
27	RIOBAMBA	SAN JUAN	746596.0	9818849.0
28	RIOBAMBA	RIOBAMBA AER.	760348.9	9817471.8
29	RIOBAMBA	ESPOCH EM	757782.7	9817751.3
N°	PROVINCIA	ID	X	Y
30	TUNGURAHUA	BAÑOS	787319.4	9846052.1
31	TUNGURAHUA	HUAMBALO	775133.1	9846526.2
32	TUNGURAHUA	PILAHUIN	752348.5	9856013.0
33	TUNGURAHUA	QUEROCHACA	766444.0	9848747.7
34	TUNGURAHUA	RIO VERDE	800990.9	9844961.0
35	TUNGURAHUA	TISALEO	759240.3	9850844.3
36	CANAR	CAÑAR	728463.0	9717749.1
37	CANAR	CHANIN	750472.1	9704622.4
38	CANAR	INGAPIRCA	736313.9	9719149.7
39	CANAR	INGENIO AZTRA (LA TRONCAL)	680784.6	9737475.5
40	CANAR	RIOMAZAR-RIVERA	761307.6	9715296.0
41	BOLIVAR	CALUMA	689893.0	9820860.9
42	BOLIVAR	CHILLANES	715416.5	9781515.3
43	BOLIVAR	INTITUTO TECNICO 3 DE MARZO	718636.0	9814229.7
44	BOLIVAR	LAGUACOTO	722693.1	9821445.3
45	BOLIVAR	RIO SAN ANTONIO-MONJAS	696504.0	9784362.5
46	BOLIVAR	SALINAS -BOLIBAR	720488.4	9844765.1
47	MORONA	LOGROÑO	811184.1	9709569.8
48	MORONA	MACAS SAN ISIDRO	815762.6	9755394.8
49	MORONA	MENDEZ	799882.0	9701018.8

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

Una vez identificada los puntos de ubicación de estudio se realizó el uso de Google Earth Engine, dentro del cual se encuentran imágenes satelitales y productos satelitales de temperatura, precipitación, evapotranspiración, variables espectrales, variables que describen el comportamiento de la vegetación, etc. Se realizó una exploración breve de los catálogos de precipitación, llegando a optar por la data-set de TerraClimate, en el que los datos se siguen generando a partir del año 1980 hasta la actualidad, presentan resoluciones de 4638.3 metros y los datos se presentan en milímetros, con bandas de mínimo 0 a un máximo de 7245, con escala cero por el que no se realiza ninguna corrección.

Una vez elegida la data set se cargó el área de estudio a fin de delimitarlo. Posteriormente, se identifica el nombre de la colección para utilizarlo en el script (ee.ImageCollection("IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE")). Para iniciar con la ejecución de programa se inició realizando un filtrado, en el que se llama a la colección en general, dando un nombre (PA 2010) debido a que son datos anuales. Posteriormente, se programó la selección de una sola banda, la de precipitación (pr). Seguido se filtró por fechas de acuerdo a la necesidad del periodo de estudio (2010-01-01 al 2020-12-31) y finalmente se generó un solo producto, es decir sumando las precipitaciones para el año de estudio establecido, como se observa en la Ilustración 17-3.

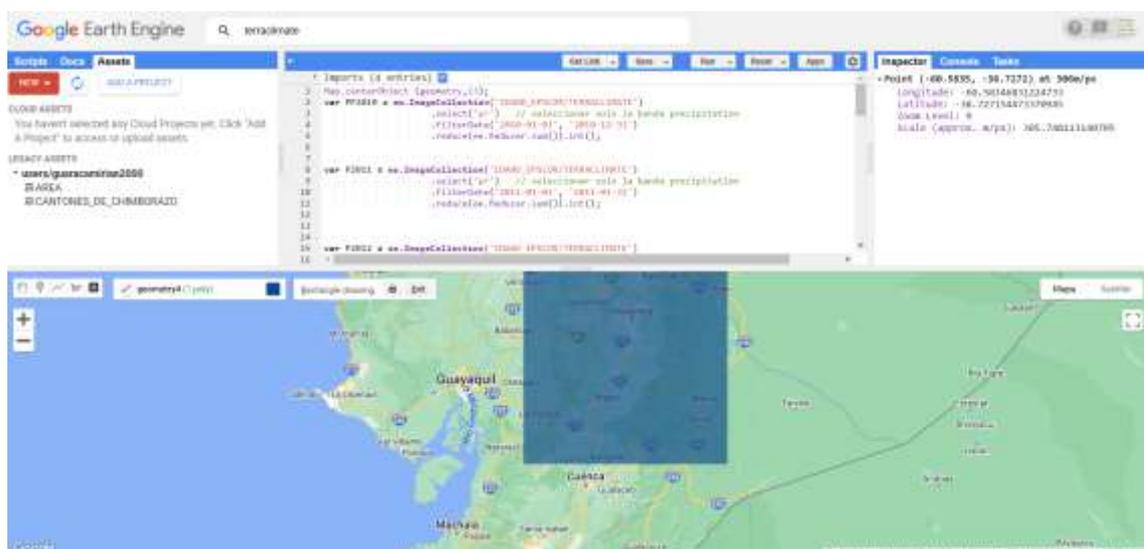


Ilustración 17-3: Generación capas por TerraClimate

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Por último, se generaron capas rastres para cada uno de los años y se procedió a la descarga de las capas a partir de la opción Tasks, guardándose conforme a lo establecido en el script. Consecutivamente se descargó las capas ráster .tif guardados en el Drive, para proceder a importarlos en el Software ArcGIS como se observa en la Ilustración 18-3.

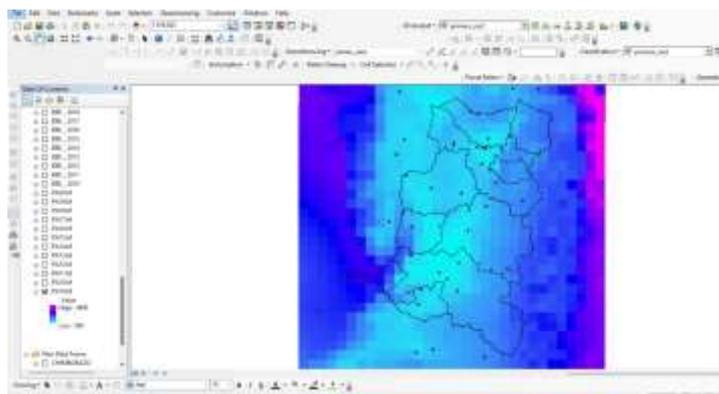


Ilustración 18-3: Capas ráster de TerraClimate

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Para obtener la tabla de precipitaciones satelitales o estimadas por TerraClimate, se usó la herramienta *Spatial Analyst Tools* opción *Extract Multi Values to Points* que extrae los valores a partir de las celdas, en las que se encuentran ubicadas las estaciones meteorológicas para cada uno de los años de estudio. Los valores estimados se muestran a continuación en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3: Valores estimados de precipitación (TerraClimate)

ID	STL 2010	STL 2011	STL 2012	STL 2013
ACHUPALLAS	773	788	746	614
ALASI EM	662	668	701	544
GUASUNTOS	661	673	682	536
HUIGRA	-	988	1060	805
CHUNCHI EM	965	979	1024	791
COMPUD	775	821	835	645
CANI.LIMBE	794	720	834	636
SHIRY XII	-	773	766	612
PANGOR.J DE VELASCO	789	729	794	603
CEBADAS	935	851	792	666
TOTORILLAS	-	658	627	516
GUANO EM	674	597	601	481
URBINA	-	965	933	744
PALLATANGA	1042	984	1113	837
CHIMBO DJ PANGOR	1130	1055	1218	909
SAN JUAN.CHIMBORAZO	854	749	774	606
ALAO	1380	1266	1130	960
LICTO	1146	1003	915	773
GUASLAN	-	690	675	540
BAÑOS	1303	1090	943	791
HUAMBALO	989	814	728	599
PILAHUIN	981	790	792	621

QUEROCHACA	830	678	651	522
RIO VERDE	2109	1764	1507	1272
TISALEO	1047	849	818	650
CAÑAR	908	1028	880	749
CHANIN	1274	1487	1144	1097
INGAPIRCA	1008	1117	942	829
INGENIO AZTRA (LA TRONCAL)	1985	1954	2314	1694
RIOMAZAR-RIVERA	1322	1427	1058	1047
CALUMA	2649	2200	-	2225
CHILLANES	944	886	1049	779
INTITUTO TECNICO 3 DE MARZO	892	789	934	711
LAGUACOTO	806	707	857	643
RIO SAN ANTONIO-MONJAS	2291	2065	2692	1914
SALINAS -BOLIBAR	894	748	910	663
LOGROÑO	2897	3158	2535	2385
MACAS SAN ISIDRO	3035	3023	2450	2213
MENDEZ	2470	2739	2111	2045
ID	STL 2015	STL 2016	STL 2017	STL 2018
RIOBAMBA AER.	760	469	571	1016
	STL 2019	STL 2020		
	632	562		
ID	STL 2011	STL 2012	STL 2013	STL 2014
ESPOCH EM	633	643	512	577
	STL 2015	STL 2016	STL 2017	STL 2018
	811	501	614	1092
	STL 2019	STL 2020		
	681	607		
ID	STL 2020			
TIXAN	549			
MULTITUD	769			
ATILLO	1157			
URBINA	936			
TUNSHI	653			
QUIMIAG	776			
SAN JUAN	709			

Realizado por: Guaraca Miryan, 2023.

3.6 Evaluación estadística de los valores observados vs estimaciones satelitales.

3.6.1 Evaluación de la correlación

Una vez recolectada la información de las distintas fuentes de información antes mencionadas, se procedió a elaborar una tabla en Excel con los valores proporcionados de las estaciones meteorológicas y las estimaciones satelitales obtenidas de la base de datos de TerraClimate, como se presenta en el ANEXO A. con la finalidad de aplicar la correlación.

En primera instancia, se realizó el cálculo de la correlación mediante el método de Pearson para ello se aplica el coeficiente de correlación;

$$r_{xy} = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X) \cdot Var(Y)}}$$
$$-1 \leq r_{xy} \leq 1$$

Donde:

r_{xy} = coeficiente con respecto a la muestra

$Cov(X, Y)$ = covarianza entre dos variables

$Var(X)$ = varianza de la primera variable

Se inició generando una gráfica de dispersión a fin de analizar la relación entre las dos variables, esto deduce a primera vista si los datos tienen una tendencia positiva. Primero se encuentra la media aritmética para cada variable por separado, que son equivalentes a la suma total de los datos entre el número total de las observaciones. Para luego continuar con la obtención de la varianza (sumatoria de la variable real menos la media aritmética al cuadrado). Y finalmente se obtiene la covarianza (sumatoria de la multiplicación entre la varianza X y Y).

Sin embargo, es mucho más eficiente la utilización de los programas como Excel para hacer los cálculos de las columnas de manera más eficaz y rápida.

En cuanto el método de Pearson establece algunas reglas según Saravia, (2015., párr. 18), establece valores de confiabilidad a partir de los valores de correlación que se obtiene de los análisis estadísticos, estableciendo la escala de los valores de coeficiente de correlación como se presenta en la Tabla 7-3. Lo ideal para esta metodología es obtener valores por encima de los 0.5 para que sea una correlación aceptable.

Tabla 7-3: Escala de correlación Pearson

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	INTERPRETACIÓN
r= 1	Correlación perfecta
0.8 < r < 1	Correlación muy alta
0.6 < r < 0.8	Correlación alta
0.4 < r < 0.6	Correlación moderada
0.2 < r < 0.4	Correlación baja
0 < r < 0.2	Correlación muy baja
r =0	Correlación nula

Fuente: Saravia, 2015., párr. 18

Además, se aplicó la correlación mediante el Modelo de Nash Sutcliffe Coeficiente de eficiencia (NSE), que determina la magnitud relativa de la varianza residual en comparación con la varianza de los datos medidos de las estaciones. Esta metodología aplicada indica que tan bien ajustada están los datos observados entre los datos simulados a la pendiente de 45°. Para ello aplica la siguiente fórmula (AgriMetSoft, 2019., párr. 1):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (OBS_i - SIM_i)^2}{\sum_{i=1}^n (OBS_i - \overline{OBS})^2}$$

Donde:

OBS_i= Valor de observación

SIM_i= Valor de pronóstico

OBS_{bar}= Promedio de los valores de observación.

Para poder realizar la evolución mediante este modelo se lo realiza a través del siguiente link: <https://agrimetsoft.com/calculators/Nash%20Sutcliffe%20model%20Efficiency%20coefficient.aspx> en el cual, se coloca los datos de las dos columnas (Obs vs Sim), que fueron ingresadas mediante los formatos de texto y es necesario separarlo con un espacio para que se pueda generar la gráfica de dispersión (AgriMetSoft, 2020., párr. 2)

El modelo Nash presenta algunas reglas para poder evaluar la correlación obtenida se presenta a continuación en la

Tabla 8-3;

Tabla 8-3: Escala de correlación Nash.

Eficiencia Nash Sutcliffe	Ajuste
< 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorios
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Fuente: Monlar, 2011, p.43-76

Lo ideal de esta metodología es obtener valores de correlación mayores a 0.4 para que la correlación sea compatible y aceptable.

Una vez comprobada que la correlación fue la adecuada para poder reemplazar los valores faltantes para los distintos años de estudio, se procedió a la toma de las estimaciones satelitales, mediante el cual se realizó un análisis exploratorio mediante la herramienta geoestadística del ArcGIS, solo con datos observados y combinados con las 49 estaciones seleccionadas, comprobando que presentaron parámetros adecuados y los errores generados fueron confiables para la precipitación.

Tomado en cuenta todos los criterios establecidos se procedió a realizar un muestreo estratificado aleatorio de los datos en el área de estudio para poder combinar con los valores satelitales estimados. Se inició realizando la división por segmentos y estratos, es decir, el área de estudio se dividió por cantones, tomando en cuenta los subgrupos de los 10 cantones de la provincia de Chimborazo y luego se realizó una selección aleatoria de los puntos de muestreo de forma proporcional dependiendo los subgrupos del área en estudio. Del cual se obtuvieron las coordenadas geográficas, que posteriormente fueron utilizadas para la obtención de datos estimados por la base de datos de TerraClimate.

A continuación, en la Ilustración 19-3, se muestra el mapa de ubicación de los puntos obtenidos mediante el muestreo estratificado, con un total de 229 puntos a lo largo de la provincia de Chimborazo y los datos de las estaciones aledañas al área de estudio.

3.7.1 *Análisis exploratorio de datos*

Se realizó un profundo análisis exploratorio de datos de precipitación con las herramientas que proporciona la herramienta SIG, verificando la presencia de los valores atípicos y la autocorrelación entre los distintos datos, siendo necesaria la utilización de los histogramas, debido a que Kriging parte de una suposición, de que la variable que se va a interpolar tiene una distribución normal (gaussiana). Pero existen, casos en el que no siempre ocurre eso, más si se trata de valores de la precipitación, puede haber días que no ha llovido y se registren con frecuencias de ceros, provocando que los datos en el histograma se alineen hacia la izquierda. En caso de que esta suposición no se cumpla, es necesario seguir explorando con transformaciones (como logarítmica, Box-Cox), quienes hacen que los datos tengan una distribución normal.

Dentro de los histogramas se toma en cuenta ciertos criterios para poder determinar la calidad, la cantidad y la ubicación de los datos son los correctos, en este caso;

- La media y mediana deben ser similares, por tanto, debe tener una unidad de diferencia entre ambos valores.
- La desviación estándar debe ser próxima a 0.
- La curtosis debe estar cerca de 3.
- El sesgó debe estar dentro de los valores de 1

Además, se realizó una exploración con el gráfico QQ plot de normalidad, a fin de comparar el comportamiento de la variable a lo largo de la línea, la mayor parte de los puntos deben encontrarse sobre la línea que está inclinada a los 45 grados con tendencias hacia las líneas rectas, en caso de que no presentar tendencia sobre la línea recta, esta no llegara a tener una distribución normal de los datos establecidos.

Es muy importante explorar los mapas de Voronoi, ya que, para todas las muestras asigna un polígono de influencias, conformadas por mediatrices de los segmentos que unen el área. A través de la cual, permite analizar dos aspectos importantes, las tendencias que se muestran por medio de los colores, verificando el comportamiento de ascenso o descenso en una dirección determinada, la homogeneidad o heterogeneidad de la muestra, es homogéneo si los polígonos tienen tamaños similares y viceversa.

3.7.2 Identificación del método de interpolación más eficiente para la variable de estudio.

En esta fase se descartaron varios métodos de interpolación propuestos por el programa ArcGIS, el primer método de interpolación descartado fue él; determinística interpolación polinomial global (Ilustración 20-3), ya que las superficies que se generan cambian de forma gradual capturando patrones desproporcionadas de puntos, a escala gruesa en los datos, generando un comportamiento con líneas rectas, moldeándolo como inservibles para la interpretación de resultados.

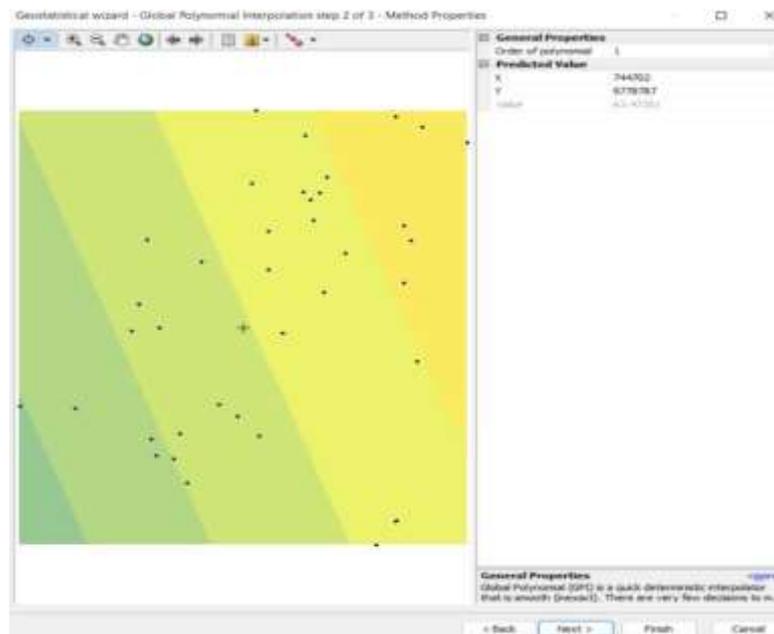


Ilustración 20-3: Ejemplo interpolación polinomial global

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Otro método que se descarto es el local polynomial interpolation (véase Ilustración 21-3), este método solo usa puntos dentro del vecindario seleccionado y generalmente crea áreas vacías en las superficies de predicción, generando comportamientos de manera ilógica e irregular en las superficies.

Para el caso del método determinístico IDW se generan líneas menos suavizadas entre los puntos de muestreos obtenidos, generando valores atípicos y líneas con caracteres incoherentes.

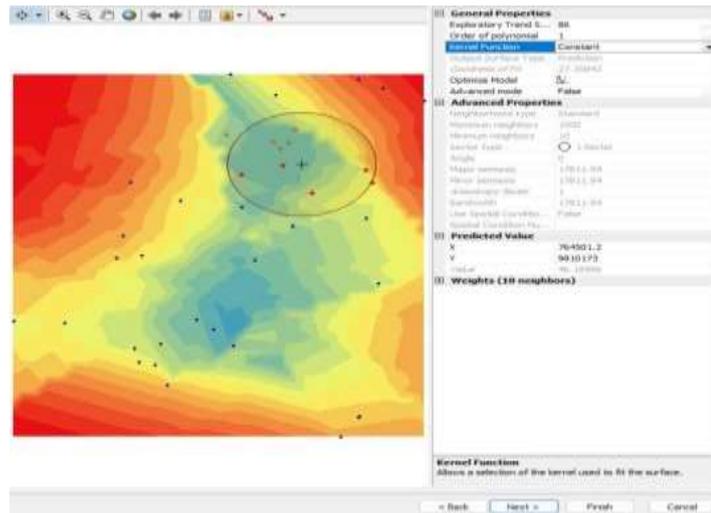


Ilustración 21-3: Ejemplo, *local polynomial interpolation*

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

En cuanto al geoestadístico, el método que fue descartado es *Empirical bayesian kriging*, genera estimaciones de los semivariograma originales, con errores notorios y son más recomendados para realizar estudios de mediciones ambientales como la contaminación de suelos, por tanto., este método no es recomendable para las variables climáticas. En el caso de la interpolación *Kernal Smoothing with barriers*, se enfoca al estudio de la densidad de puntos, por consiguiente, al intentar generar una superficie suavizada si los valores son uniformes puede generar resultados no intuitivos.

Siendo así, el método de interpolación que mejor se logra adecuar al comportamiento meteorológico de la variable precipitación, en las áreas de celdas de estudio fue el Kriging ordinario, presentando mejores alternativas ya que correlaciona los datos espaciales entre los puntos existentes, generando comportamientos con líneas mucho más suavizadas entre cada punto de observación como se observa en la

Ilustración 22-3.

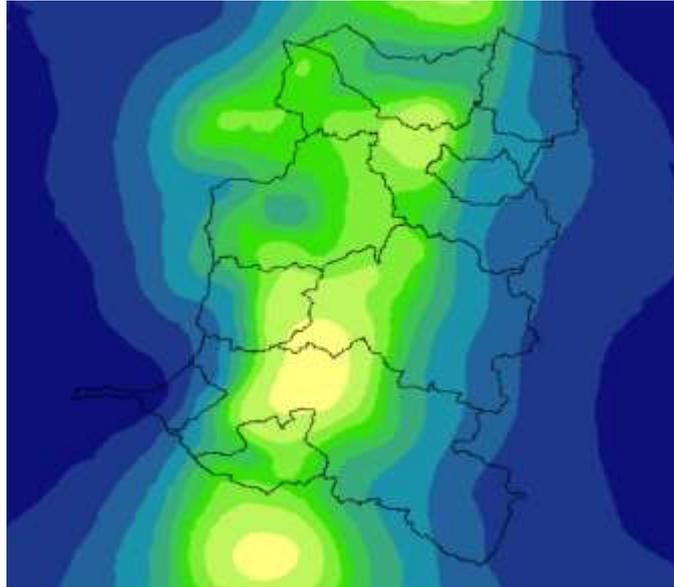


Ilustración 22-3: Ejemplo, interpolación método Kriging

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Por tanto, se tomó en cuenta la alternativa del Kriging ordinario para todos los años de estudio, verificando el comportamiento para cada año, comprobando la cantidad de datos y las superficies que mejor suavidad entre puntos de observación generó.

3.7.3 *Uso de la herramienta*

Se hizo uso del método interpolación geoestadístico Kriging, sabiendo que es una técnica que sirve para la interpolación de cualquier variable espacial. Además, la varianza de Kriging vendrá a ser mínima. Es una de las técnicas más utilizadas por su eficacia, la cual ayuda a cuantificar diferentes parámetros, que en un futuro servirán para nuevos estudios (Damián, 2014, p.39). Para esta investigación se trabajó con el sistema de coordenadas UTM, denominada sistema de coordenadas proyectadas (WGS_1984_UTM_Zone_17s) que pertenece al hemisferio sur y el Sistema de coordenadas geográficas (GCS_WGS_1984).

Para obtener resultados mediante este método, se procedió a activar la caja de herramientas de análisis geo-estadísticos, donde se puede explorar datos y verificar la validez de la información con el método.

Una vez realizado el análisis, se genera la superficie de interpolación, en este caso se elige el método geoestadístico. Cuenta con 5 pasos, desde la parte superior derecha, opción análisis geoestadístico – *geoestadistical wizard* - se elige el método Kriging/ CoKriging, en datos de entrada; se selecciona el conjunto de datos de origen, se elige puntos de precipitación para cada

año de estudio, y en campo de datos se elige los datos de precipitación y siguiente (véase Ilustración 23-3).

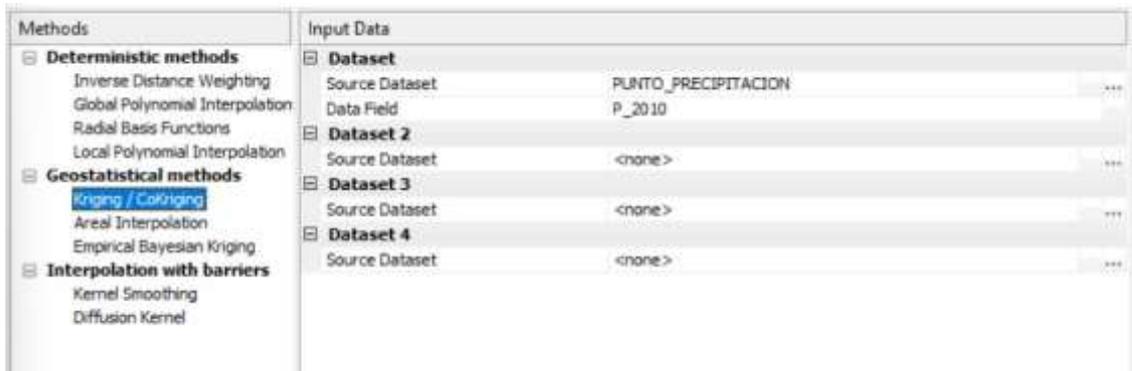


Ilustración 23-3: Aplicación de parámetros para el método geoestadístico Kriging

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Como siguiente paso se eligió el tipo de Kriging; para este caso ordinario, el tipo de superficie de salida; predicción, clic en siguiente, posteriormente se analizó el método en general para elegir la variable; semivariograma, el modelo de nugget, el tipo de modelo, estos aspectos dependen del análisis para obtener datos más precisos (véase Ilustración 24-3).

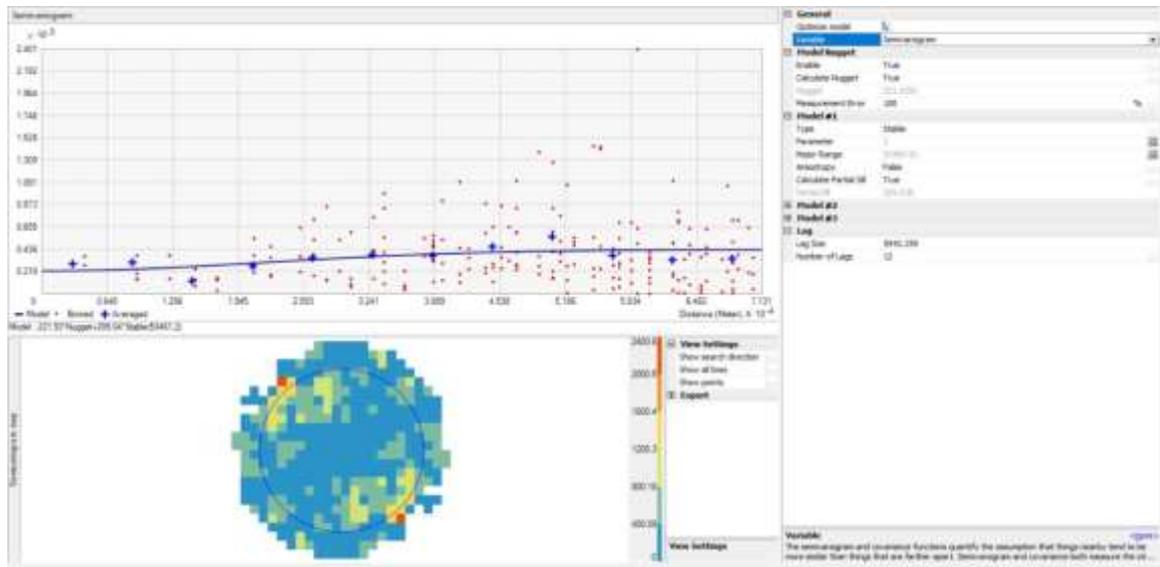


Ilustración 24-3: Análisis del semivariograma Kriging

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Se eligió, el vecindario que tiene el mayor punto de distribución, el tipo de sector; puede ser (1 sector, 4 sectores, 8 sectores), para el caso de estudio fue recomendable trabajar con 4 sectores de desplazamiento de 45° y finalmente como último paso se muestra la predicción de errores y al finalizar salió el reporte del método, como se evidencia en la Ilustración 25-3. En esta gráfica se

puede observar la validación cruzada, que analizó automáticamente a partir de los datos ya proporcionados. El error debe ser lo más mínimo posible para que se establezca como una interpolación adecuada al método aplicado.

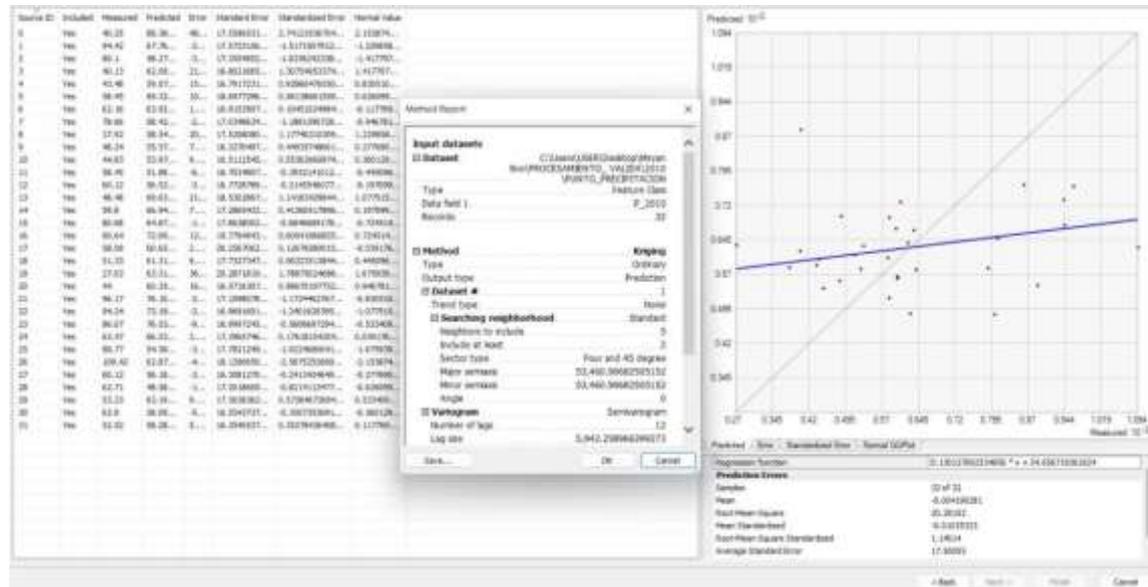


Ilustración 25-3: Validación cruzada

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Finalmente se cargó la capa de interpolación, en el que se realiza el recorte por capa de máscara, para delimitar el área de estudio, se realizó a través de las herramientas de análisis espacial, opción; extracción - extraer por máscara, se abre una capa auxiliar, en input ráster; se coloca la superficie interpolada de Kriging en formato shapefile, y se delimita con la provincia de Chimborazo. En output ráster se guarda el archivo recortado, clic en ok, (véase Ilustración 26-3).

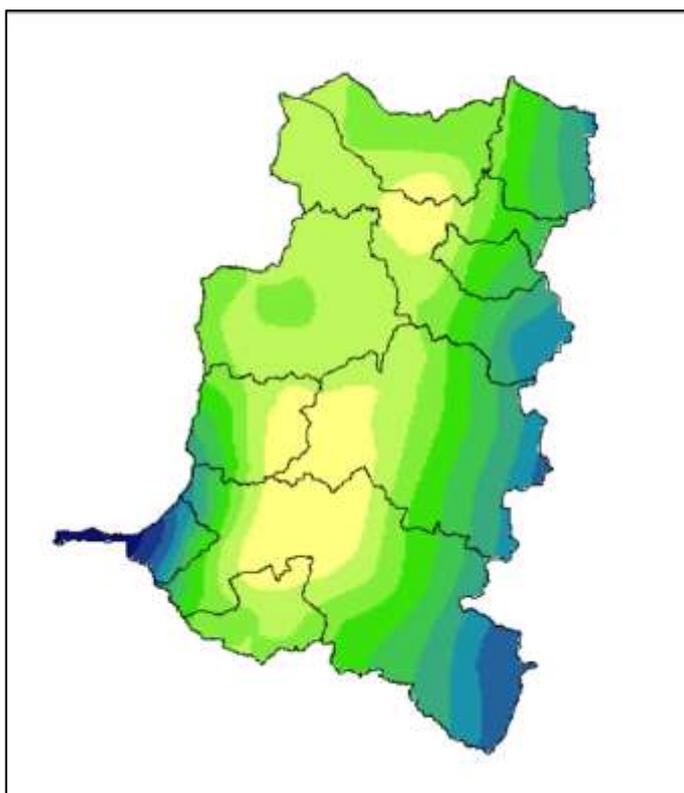


Ilustración 26-3: Superficie de interpolación por método Kriging y análisis espacial

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

A partir de las superficies de interpolación para cada uno de los años, se realizó un promedio de precipitaciones a partir de la herramienta *Spatial Analyst Tools*, opción *Map algebra; Raster calculator*, en el que se aplica la fórmula de promedio (sumatoria anual de precipitación / el número de años en estudio), para generar un solo mapa durante diferentes rangos de años. En este caso se generó cuatro mapas de interpolación para su respectivo análisis, el primer mapa fue tomado en cuenta los años (2010-2014), para el segundo mapa se incluyó los mapas de los años (2015-2017), el tercer mapa con los años (2018-2020) y finalmente se realizó un mapa general con el periodo de estudio ósea a partir del año 2010 al año 2020 y se procedió a colocar los elementos necesarios del mapa como leyenda, título, escala, grillado cartográfico, el punto cardinal, etc.

3.7.4 Validación de superficies

Para determinar si las superficies de interpolación mediante el método de interpolación geostadístico Kriging ordinario aplicado son válidas. Se aplicó la validación cruzada, que contiene una serie de valores pronosticados con los valores observados para determinar la viabilidad de las predicciones, utilizando las siguientes de estadísticas para un buen análisis.

- ME: Error medio
- RMSE: Error medio cuadrático
- MSE: Error medio estandarizado
- RMSSE: Raíz cuadrática media estandarizada
- ASE: Error estándar promedio

Es necesario verificar ciertas reglas en los errores generados por la validación cruzada, con la finalidad de evaluar la variabilidad de las predicciones por tanto se establece la Tabla 9-3:

Tabla 9-3: Reglas de validación cruzada.

Reglas	Variabilidad de predicciones
MSE \approx 1	Evaluado correctamente
ASE > RMSE Y RMSSE < 1	Sobreestimado
ASE < RMSE Y RMSSE > 0	Subestimado

Fuente: Saravia, 2015., párr. 18

Para proporcionar resultados de interpolación precisos, el ME y el MSE deben estar cerca de cero, mientras que RMSE debe ser lo más pequeño posible y cercano al ASE. Los valores óptimos de ME y RMSE deben estar cerca de 1 (Boudibi et al., 2021; Vessia et al., 2020). Con estos criterios fueron evaluados la variabilidad de las predicciones y posteriormente validado las superficies.

3.8 Análisis espacio temporal de las superficies de interpolación (Isoyetas).

Se generaron mapas con superficies de interpolación del método Kriging ordinario para cada uno de los años de estudio 2010-2020 (véase ANEXO E), pero se realizó una combinación tomando en cuenta los subperiodos, para su interpretación se utilizó la clasificación de Fournier (1960, p. 44-46), donde realiza una categorización climática de las cuencas fluviales en su libro titulado clima y erosión. En este apartado toma en cuenta la clasificación de los tipos y subtipos de clima, por tanto, establece que varias cuencas fluviales pueden encontrarse bajo el mismo subtipo climático caracterizado por el régimen de lluvia, donde han utilizado la descripción de los climas mediante los siguientes términos para caracterizar la precipitación media anual:

- 0 – 200 mm : Extremadamente bajo
- 200 – 400 mm : Muy débil
- 400 – 600 mm : Débil

- 600 – 1000 mm : Moderado
- 1000 – 1400 mm : Medio alto
- 1400 – 1800 mm : Alto
- 1800 – 2500 mm : Muy alto
- Más de 2500 mm : extremo

La clasificación de precipitación media anual lo realizó a nivel mundial, siendo así, Ecuador se encuentra en un rango de intensidad aproximado de 400 a los 2000 mm anuales, como menciona Fournier (1960, p. 186) en mapa de clasificación, pero podría variar de acuerdo al clima y ubicación quedando de la siguiente manera;

- Débil = 500
- Moderado = 800
- Medio = 1200
- Medio alto = 1600
- Alto = 2150

También se tomó en cuenta el criterio de clasificación climática para el caso de la precipitación tomando en cuenta los diferentes climas obtenidos en el Ecuador y la provincia:

Tabla 10-4: Criterios de clasificación climática

Desértico	Cantidad anual de precipitación inferior a 250 mm.
Árido	Cantidad anual de precipitación entre 250 y 500 mm.
Moderadamente lluvioso	Cantidad anual de precipitación entre 500 y 2000 mm.
Excesivamente lluvioso	Cantidad anual de precipitación superior a 2000 mm.

Fuente: MET.IGP, 2018.

Se realizó el análisis de las superficies de interpolación espacio-temporal basados en el resultado obtenido del objetivo dos, efectuando la interpretación de precipitación como se muestra en el diagrama de flujo de la Ilustración 27-3.

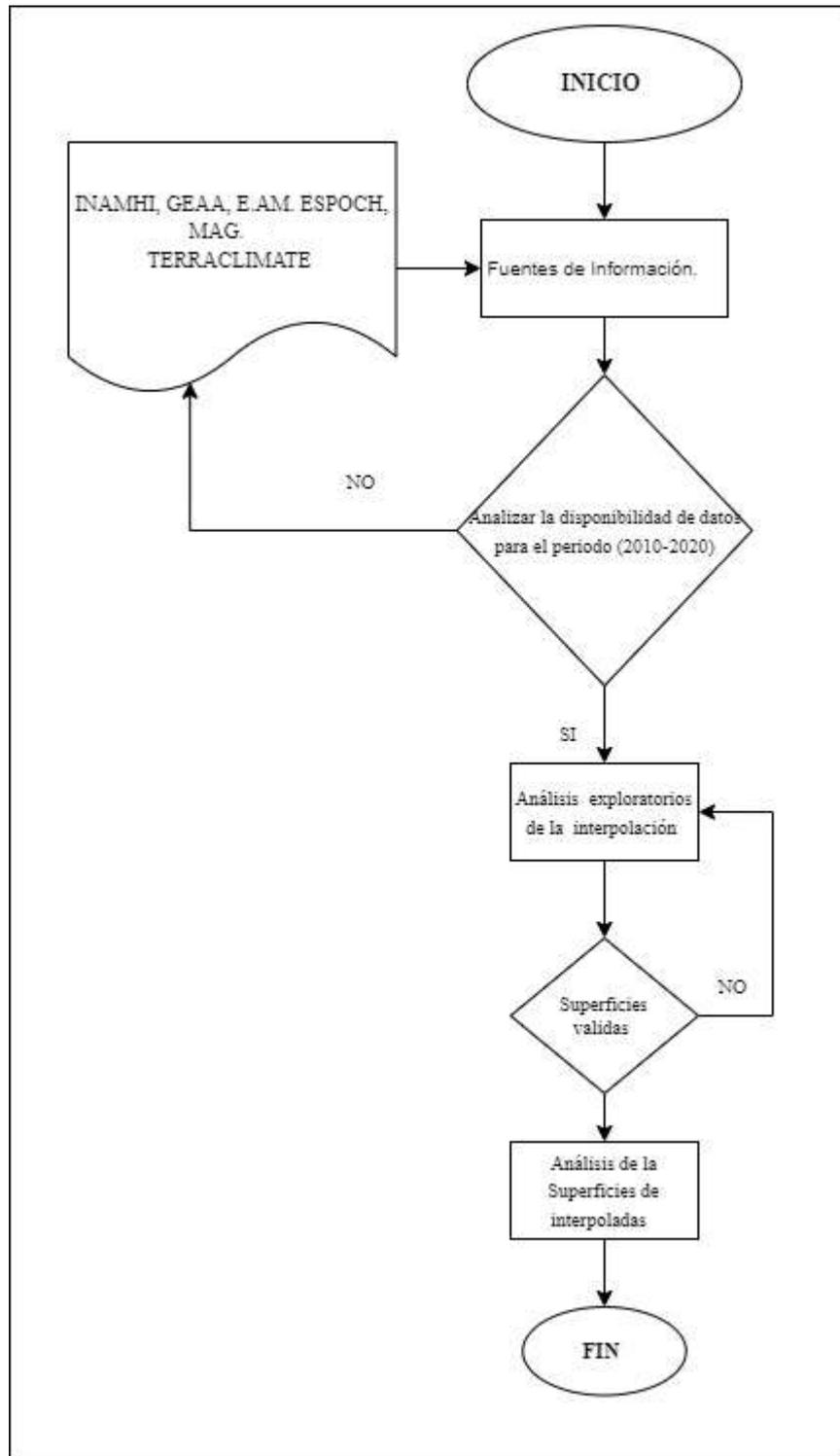


Ilustración 27-3: Diagrama de flujo de la metodología implementada

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de resultados.

4.1.1 Evolución estadística de los valores observados vs estimaciones satelitales

A partir de los datos obtenidos se realizó la evaluación de la correlación con los datos observados y satelitales (véase ANEXO A). Se obtuvo una correlación lineal muy alta como se detalla en la Ilustración 28-4, con un valor $r = 0.87$, explicando en un 75% a los valores obtenidos de forma satelital, que se mide mediante la escala de Pearson establecida (Tabla 7-3). La mayor parte de los puntos de la nube está próxima a la recta. Además, se observa, que la recta es creciente por tanto la correlación es positiva y directa, haciendo que la correlación sea mucho más fuerte.

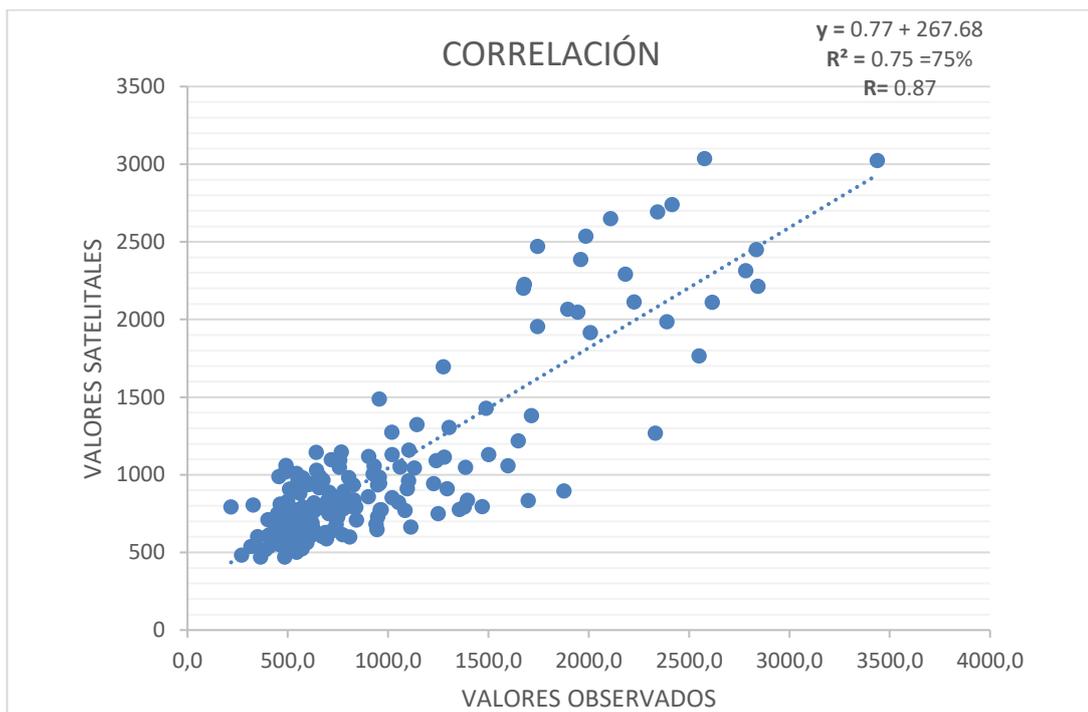


Ilustración 28-4: Correlación de Pearson

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

En cuanto al coeficiente de determinación o denominado R^2 varía entre 0.66 y 0.85, que ofrece una buena predicción de la variable en relación a la otra.

Además, se aplicó la correlación del modelo Nash, obteniendo como resultado 0.77, como se estableció en los indicadores del modelo (Tabla 8-3), las predicciones son muy buenas como la media de los datos observados, por tanto, la gráfica está bien ajustada entre los datos observados y simulados a la pendiente (1:1) en la Ilustración 29-4.

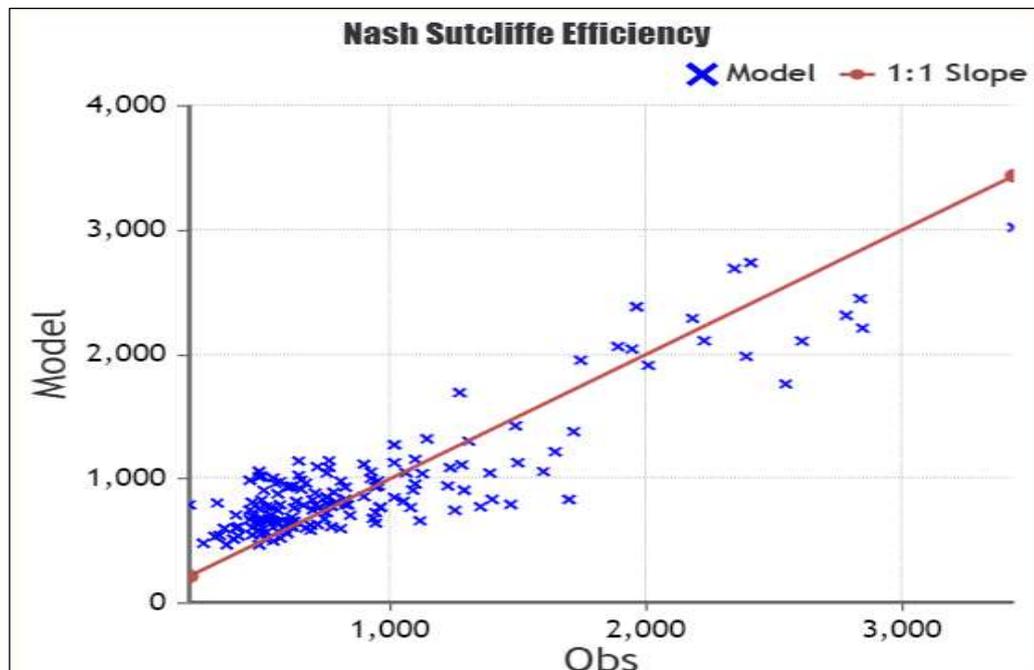


Ilustración 29-4: Correlación de Nash

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Al observar que la correlación fue muy fuerte de acuerdo a los estadísticos calculados, las estimaciones satelitales obtenidos de TerraClimate, son muy viables como los datos observados del INAMHI, se procedió a la toma de puntos de muestreos mediante la distribución aleatoria estratificada (no proporcional) dentro de la provincia de Chimborazo (véase ANEXO B).

4.1.2 Generación de superficies de interpolación

4.1.2.1 Análisis exploratorio de datos

Se obtuvieron los histogramas de frecuencia de precipitación para todos los años de estudio (2010 al 2020), con una distribución normal mediante la transformación logarítmica (véase ANEXO C).

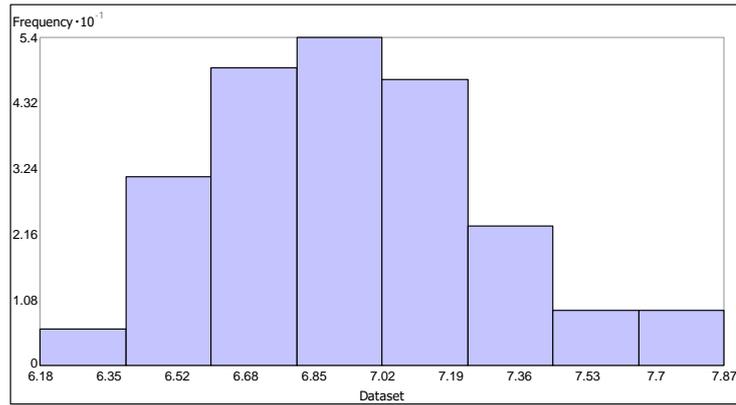


Ilustración 30-4: Histograma del 2010

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Mediante los parámetros obtenidos de los histogramas en la Tabla 11-4, se comprueba que la media y la mediana fueron similares generando mayor confiabilidad en los resultados, la desviación estándar se encuentra en un rango de 0.31 a 0.38 acercándose a cero, el sesgo se encuentra dentro de los rangos de 1, la curtosis varía entre 2.01 a 2.91 aproximándose a 3 como se establece en los parámetros del histograma.

Tabla 11-4: Parámetros obtenidos del histograma

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Media	6.94	6.87	6.85	6.63	6.74	7.01	6.60	6.81	7.21	6.96	6.78
Mediana	6.89	6.81	6.81	6.57	6.67	6.97	6.54	6.75	7.21	6.90	6.74
Desv. Std.	0.34	0.33	0.35	0.38	0.32	0.33	0.34	0.31	0.33	0.34	0.33
Curtosis	2.9	2.48	2.49	2.55	1.63	2.17	2.01	2.22	2.91	2.45	2.63
Sesgo	0.41	0.66	0.87	0.54	0.83	0.40	0.96	0.9	0.03	0.95	0.65

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Los histogramas obtenidos tienen una distribución normal adecuada, ya que los bloques presentaron tendencia gaussiana y presentando datos aproximadamente simétricos.

Además, se obtuvieron los gráficos de probabilidad (QQ plot) (véase ANEXO D) de precipitación dentro del periodo de estudio 2010 al 2020 en la provincia de Chimborazo, en el cual los datos se distribuyen normalmente, debido a que los puntos de muestreo se ubicaron cerca de la línea de referencia de los 45 grados y presentando transformaciones logarítmicas al igual que los histogramas.

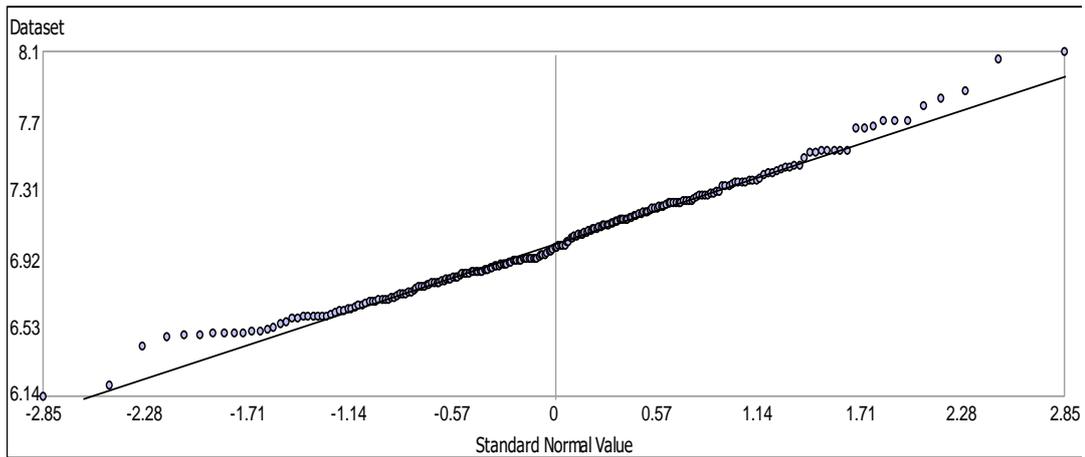


Ilustración 31-4: Gráfico de probabilidad del 2015

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

4.1.2.2 Validación de superficies

Se realizó mediante la validación cruzada para la variable de precipitación en el periodo 2010 – 2020 de la provincia de Chimborazo (véase Tabla 12-4), obteniendo resultados de los valores de ME y MSE que fueron cercanos a cero en el periodo establecido, la RMSSE presenta valores cercanos a 1 y el RMSE están cercanos al ASE, estando evaluado correctamente, como se establece en los criterios establecidos de la validación cruzada (véase Tabla 9-3).

Tabla 12-4: Parámetros obtenidos de la validación cruzada

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ME	0.74	0.78	0.69	0.74	0.84	0.82	0.86	0.82	0.89	0.79	0.83
MSE	-0.01	-0.006	-0.004	-0.009	-0.005	-0.007	-0.007	-0.006	-0.005	-0.004	-0.006
RMSSE	0.90	0.85	0.86	0.97	0.74	0.72	0.74	0.75	0.73	0.79	0.75
RMSE	208.60	197.80	219.80	205.70	122.50	167.60	124.60	146.10	173.60	180.60	143.20
ASE	211.80	203.30	235.10	185.60	153.70	213.50	149.00	180.80	220.80	205.40	174.60

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Igualmente, se verificó los errores generados, evaluando la variabilidad de las predicciones donde el ASE es aproximadamente igual a RMSE y los valores del generados por el RMSSE son aproximadamente iguales a 1 como se muestra en el ejemplo a continuación del año 2010:

- $211.8 \approx 208.6$ y $0.9 \approx 1$; la variabilidad de la predicción para el año 2010 está evaluada correctamente.

4.1.3 Análisis espaciotemporal

En la Ilustración 32-4, se presenta el mapa de interpolación de precipitación del periodo 2010-2014, el cual presenta una amplia variabilidad altitudinal generando patrones de comportamiento en la provincia de Chimborazo que van desde mayor concentración de precipitación en los cantones Cumandá, Alausí, Guamote, debido al clima ecuatorial de alta montaña y el mesotérmico semi húmedo; hasta precipitaciones con menores concentraciones como las que se encuentran en la zona centro de los cantones Alausí, Riobamba, Chunchi, Pallatanga, Guano, Guamote, Colta que se ven disminuidos debido a las temperaturas frías y bajos puntos de saturación. La precipitación tiene mayor concentración en la parte sur de la provincia con una tendencia del Oeste al Este, para el caso de cantón Cumandá presenta mayores concentraciones de precipitación en comparación al cantón Penipe que presenta una precipitación media en la mayor parte del cantón y el cantón Pallatanga varía entre media y baja.

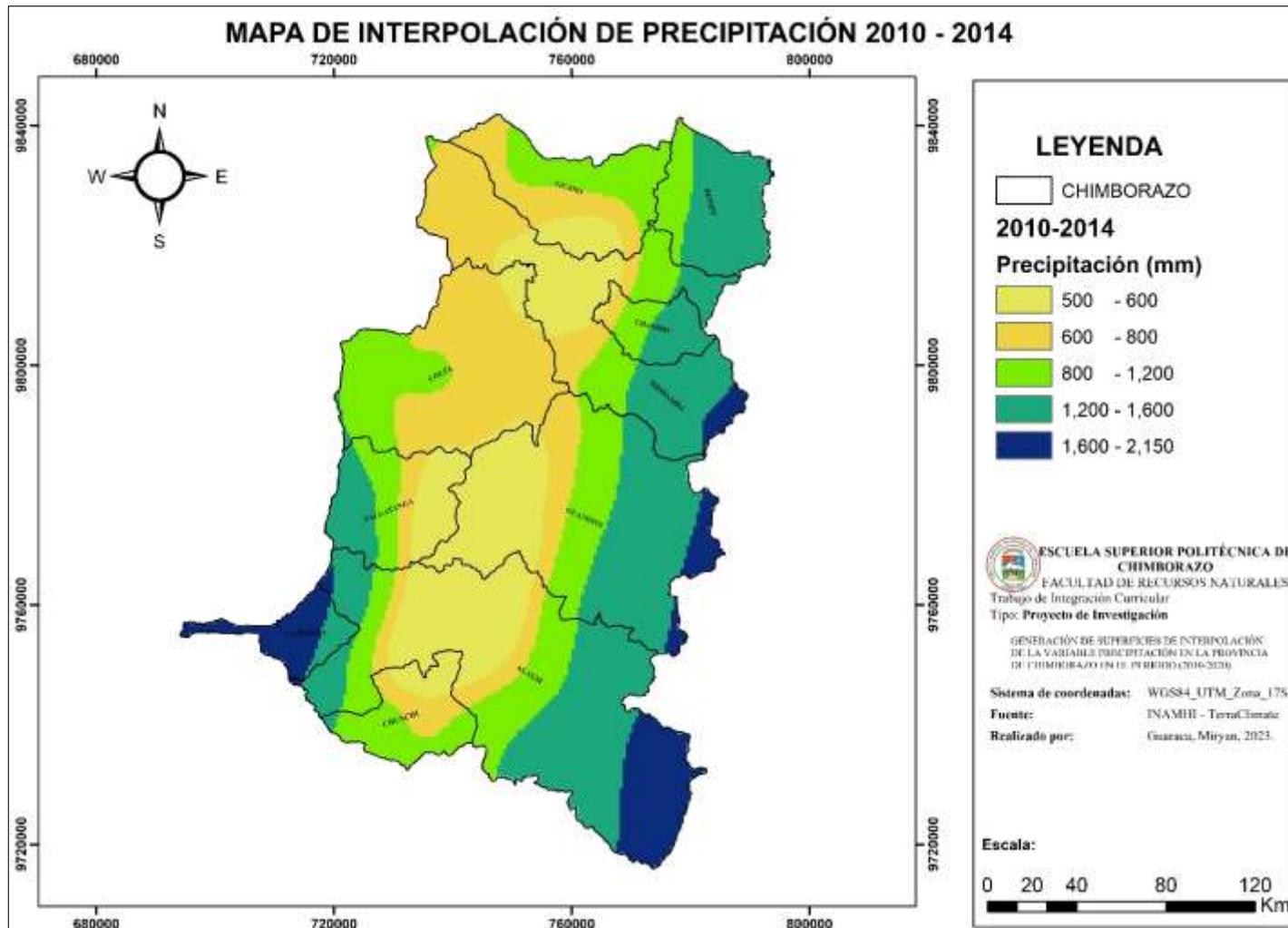


Ilustración 32-4: Mapa de interpolación 2010-2014

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Las precipitaciones en el subperiodo 2015-2017 en la provincia de Chimborazo (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**-4), presenta mayores concentraciones en la parte sur de los cantones Cumandá y Alausí, que se ven influenciados por las masas húmedas derivadas de la cuenca amazónica y la humedad procedentes del océano pacífico. En la zona centro de la provincia de Chimborazo se concentran las precipitaciones de baja variabilidad (cantones; Alausí, Guamote, Colta, Pallatanga, Chunchi, Riobamba, Guano,). Dentro de la provincia las precipitaciones están concentradas de norte a sur de la provincia y en la zona centro se concentran la mayor parte de las precipitaciones de baja variabilidad. El cantón Penipe presenta un aumento de precipitación alta en comparación con el periodo anterior, pero para el cantón Guano la precipitación disminuyó en función de la superficie.

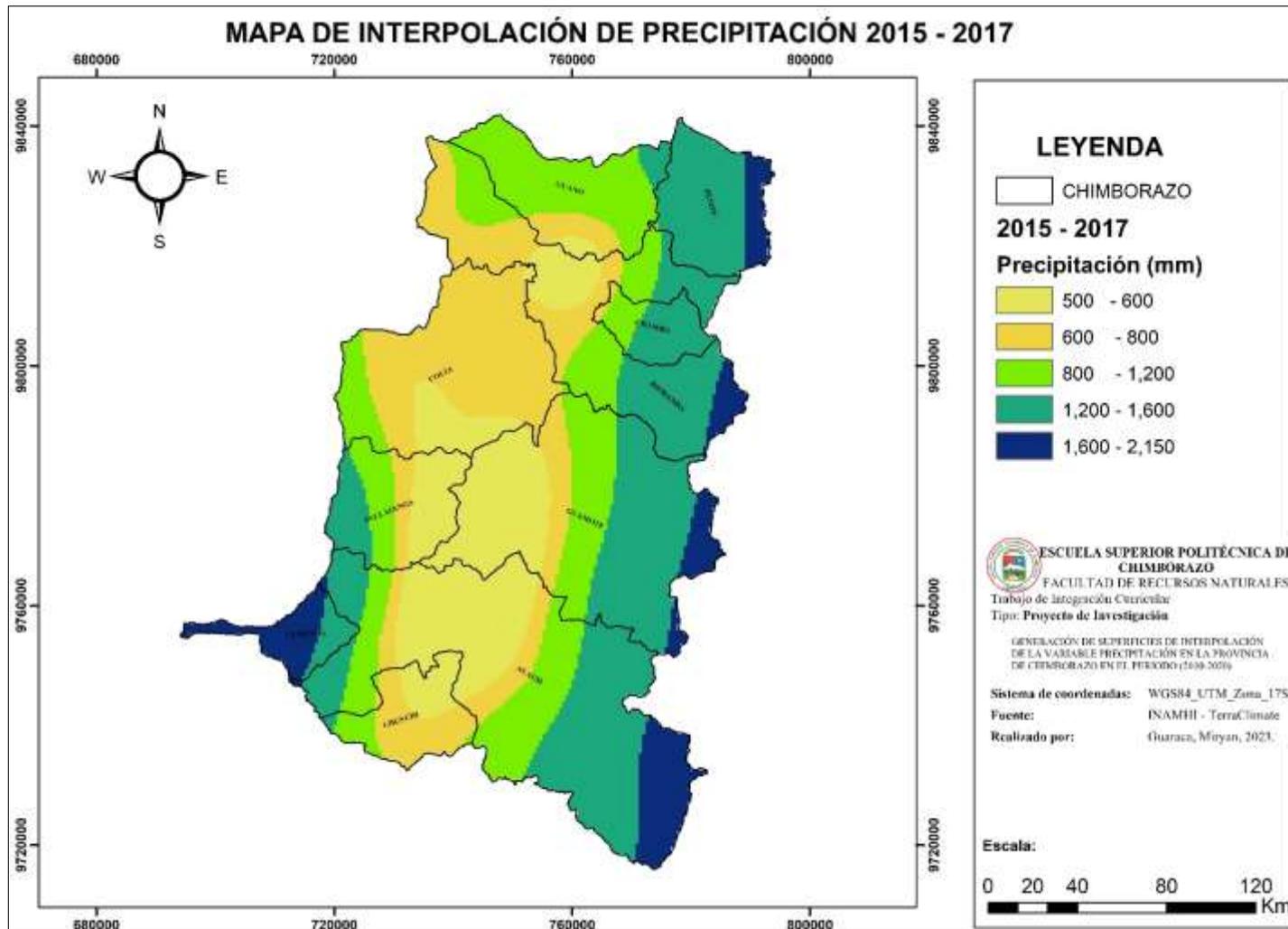


Ilustración 33-4: Mapa de interpolación 2015-2017

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

En la Ilustración 34-4 se presenta el mapa de interpolación Kriging del periodo 2018 -2020, en el cual los cantones ubicados al Este de la provincia e incluido el cantón Cumandá presentan precipitaciones medias anuales de alta variabilidad. En la zona centro de la provincia con tendencia hacia el suroeste se encuentran precipitaciones con bajas concentraciones específicamente ubicadas en los cantones Alausí, Chunchi, Guamote, Pallatanga, Riobamba y Colta. La precipitación en el cantón Penipe aumentó en función de la superficie, pero para el caso del cantón Cumandá disminuyeron ligeramente, en este periodo de estudio la tendencia de precipitación está del sur al norte.

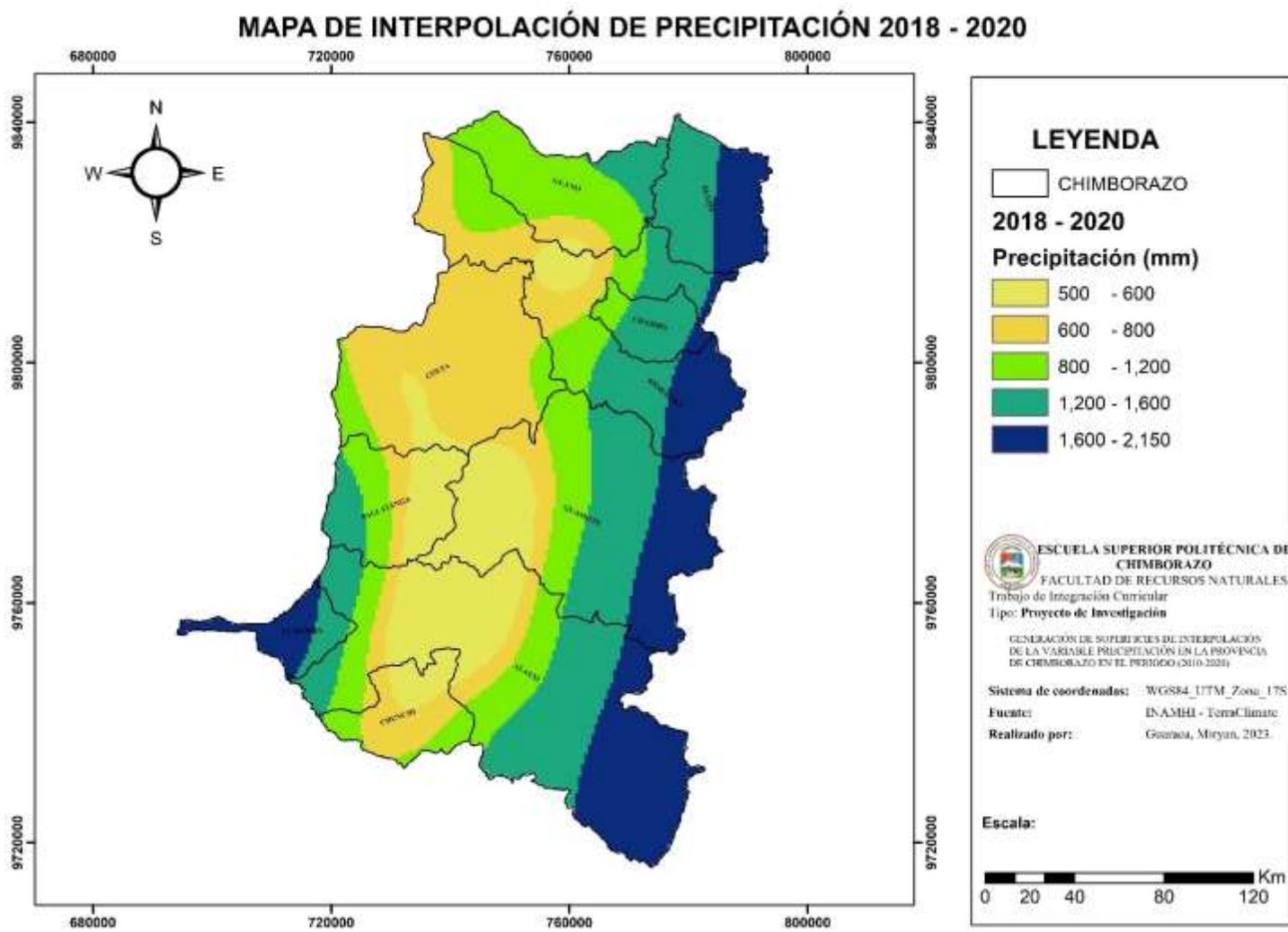


Ilustración 34-4: Mapa de interpolación 2018-2020

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

La provincia de Chimborazo presenta una amplia variación altitudinal, que define ciertos patrones de comportamiento de precipitación al interior de la provincia de Chimborazo, además el clima de la provincia está influenciado por las masas húmedas provenientes de cuenca amazónica y la humedad proveniente desde el océano pacífico, bajo estas circunstancias la provincia presenta una serie de microclimas (Tropical Mega térmico, Ecuatorial Mesotérmico semi húmedo, Ecuatorial Mesotérmico seco, Ecuatorial de alta montaña) y condiciones, que van desde precipitaciones de alta variabilidad concentradas en la mayor parte la superficie de Cumandá y Alausí y en zonas determinadas de los cantones Guamote, Riobamba, y Penipe (véase Ilustración 35-4), pero el periodo de estudio 2010 al 2020 presentan precipitaciones de baja concentración estratégicamente en la zona centro y con tendencia hacia el Suroeste de la provincia ubicado en los cantones Alausí, Guamote, Pallatanga, Chunchi, Colta y Guano. La precipitación se encuentra concentrada al Este y una parte del Suroeste de la provincia, la tendencia de precipitaciones para el periodo en estudio (2010 -2020) tienen una tendencia hacia el Sur Norte.

De acuerdo al criterio de clasificación climática, la mayor parte del área se encuentra dentro de las precipitaciones con moderadamente lluviosos y mínimas partes de excesivamente lluviosos como se presenta en el ANEXO G.

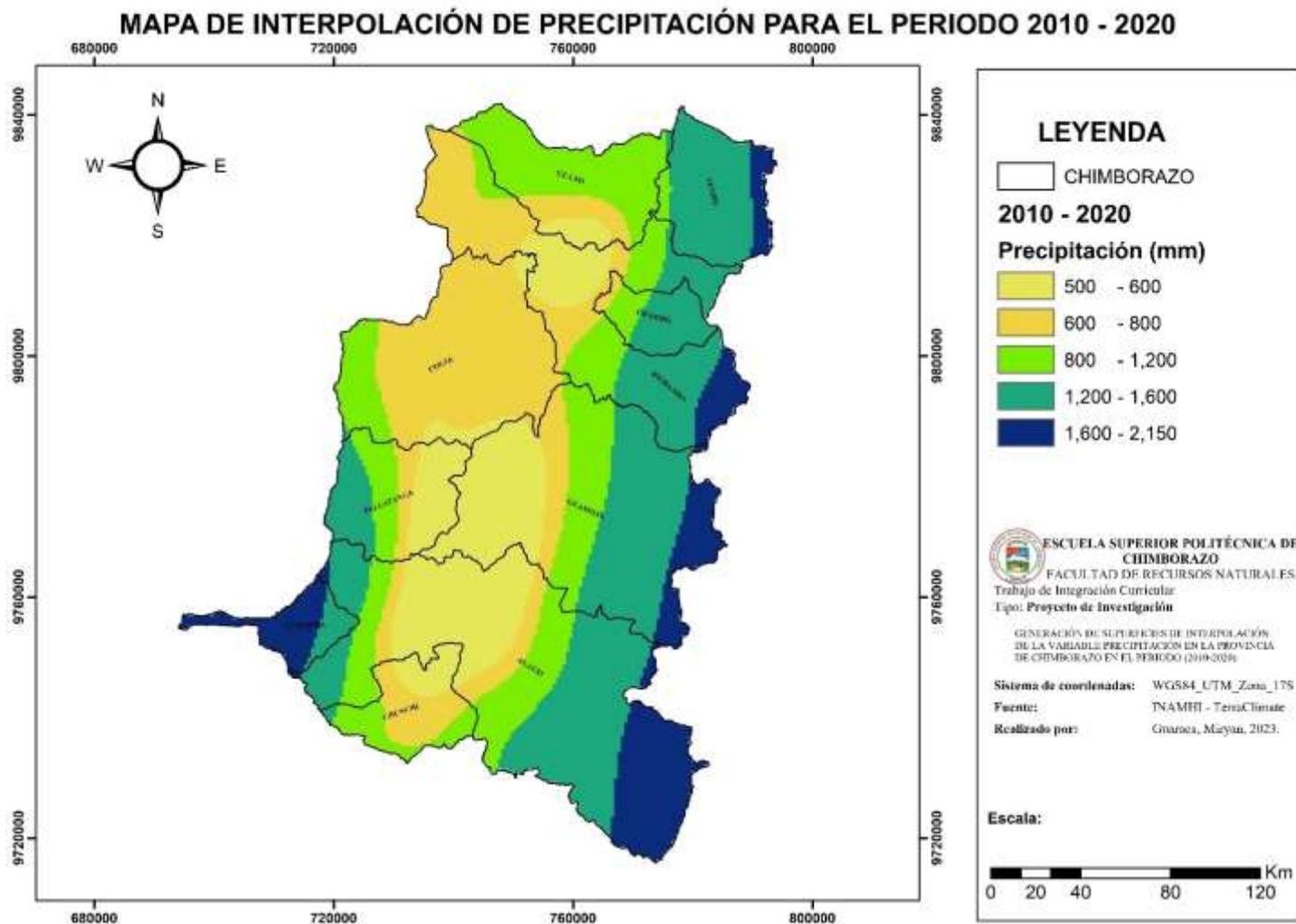


Ilustración 35-4: Mapa de interpolación del periodo 2010-2020

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Se tomó en cuenta principalmente a tres cantones en las que no se registraron datos de precipitación, Cumandá, Penipe y Chambo. El comportamiento a lo largo de los años de Cumandá y Chambo se encuentran estables, para el caso de Cumandá al tener un clima tropical de sabana se mantiene con precipitaciones altas en la mayor parte del cantón. Para el caso de Penipe en el primer sub-periodo (A) presentan precipitaciones medias, sin embargo, en el periodo B y C tiende a cambiar con concentraciones más altas en la gran parte del cantón y se muestran tendencias de aumento para los años posteriores véase ilustración .

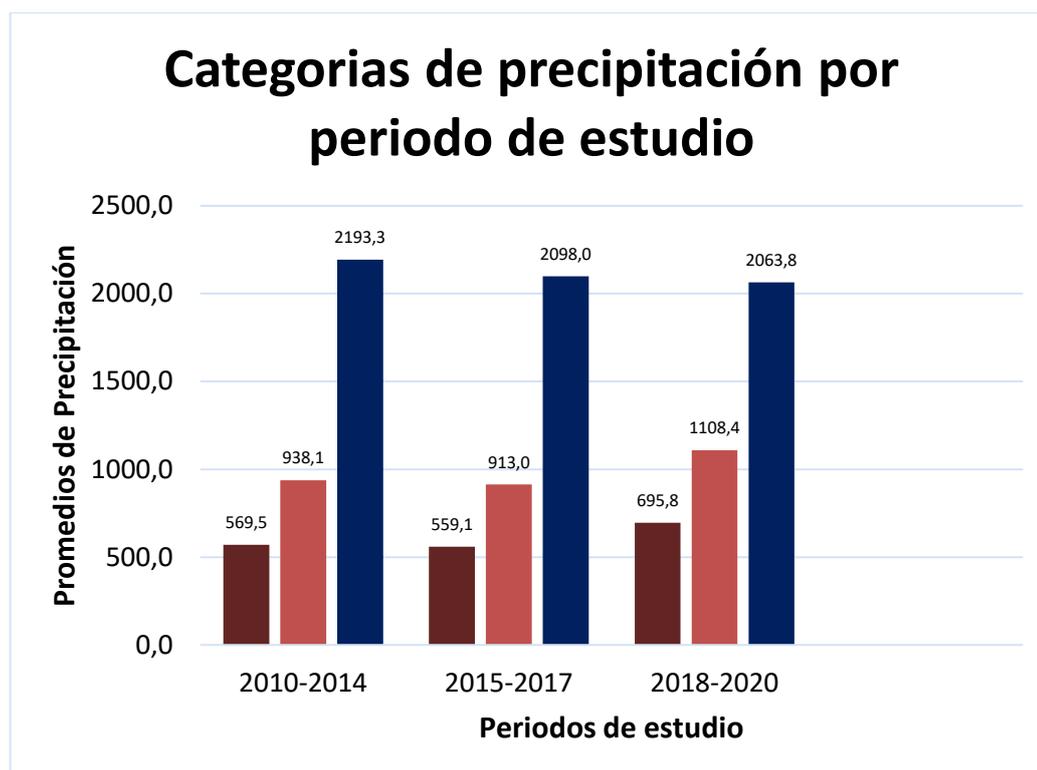


Ilustración 36-4: Categorización de precipitación por subperiodos

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

Tabla 13-4: Clasificación de precipitación media anual

	A	B	C	2010-2020
MÍNIMO	569.54	559.13	695.81	604.11
MEDIO	938.10	913.03	1108.38	970.41
MÁXIMO	2193.27	2097.96	2063.75	2127.68

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

De acuerdo a las precipitaciones medias anuales el periodo 2010 al 2020 tiene una mayor concentración de precipitaciones mínimas en comparación a los demás subperiodos, pero en el caso del subperiodo C las precipitaciones bajas son cercanas por tanto la variación es ligera, en comparación a las precipitaciones medias de periodo en estudio (2010-2020) el subperiodo C

presentan mayor concentración de precipitaciones medias y entre los subperiodos B y C son evidentes las variaciones, por último en cuanto a las precipitaciones máximas el periodo de estudio tiene menor variación en comparación al subperiodo C. El periodo A tuvo una disminución ligera con el B, pero el C tiene un incremento positivo (véase Ilustración 37-4).

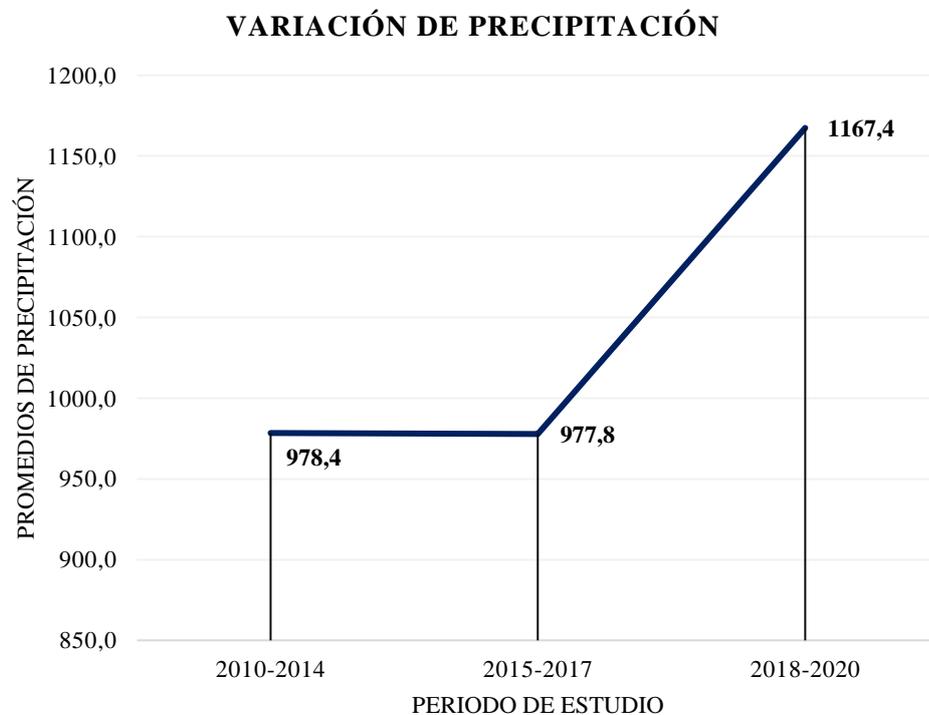


Ilustración 37-4: Comportamiento de precipitación

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

4.2 Discusión

La correlación obtenida mediante método Pearson, para este caso de estudio se realizó con los datos de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro y alrededor de la provincia de Chimborazo a fin de generar una correlación fuerte y poder optar por más valores de precipitación, en el caso de los autores Hernández, et al., (2018: p. 593-595); Morales, (2011: p. 1-2) obtuvieron correlaciones cercanas a 1, estableciendo como viable para la comparación de los datos satelitales y observados, siendo así al obtener una correlación alta en este caso de estudio se habla de la validez de los valores. Sin embargo, dependerá en gran parte del tamaño de la muestra a la que se esté sometiendo, como menciona Domenech, (2018, p.14) una correlación de 0.01 fue significativa debido a que la muestra fue lo suficientemente grande y que una correlación de 0.9 no fue significativo ya que obtuvo muestras pequeñas, en el caso de estudio las muestras son grandes y además presenta un valor alto por tanto es confiable. Para verificar que la correlación obtenida

por la regresión lineal de Pearson es confiable se realizó una comprobación mediante la aplicación del coeficiente Nash.

Para crear las superficies de interpolación fueron necesarios la exploración de datos, realizando interpretaciones de los histogramas y las tendencias de normalidad, para luego llegar a optar por el mejor método de interpolación a aplicarse. De acuerdo a los autores Ballari, et al., (2017, p. 1-21), cita investigaciones acerca de las predicciones espaciales de precipitación con alta resolución en las tres regiones del Ecuador, afirma que, haciendo uso de los datos in situ y datos de observaciones terrestres, el método que mejor resultados proporciona en los andes ecuatorianos es Kriging, debido a que, la información que proporcionan los satélites de observación son de resoluciones bajas y presentan escasez de monitoreos en las estaciones meteorológicas. Por lo cual, se justifica el comportamiento de los datos en la provincia de Chimborazo en los años de estudio y la adaptación del método.

Además, en la investigación realizado por Rodríguez, (2014, p. 1-11) sobre el desarrollo de técnicas de análisis espacial de precipitación, quien empleó los métodos Kriging y el IDW en 236 muestras obtenidas de las estaciones pluviométricas, obtuvo resultados con presencia de mayor variabilidad espacial en las estaciones que presentaban valores extremos. Sin embargo, para el caso del método Kriging logro encontrar superficies más suavizadas con el método simple, lognormal y ordinario, definiendo que el método que mejor estudia la variabilidad de precipitación en un área de estudio es el método Kriging, ya que, el método IDW es considerada para representaciones de variabilidades puntuales óptimos. Por tanto, se justifica la aplicación del método en los años de estudio en la provincia de Chimborazo.

Por otra parte, los mapas de Isoyetas generados por el INAMHI son una de las fuentes primordiales para verificar las tendencias de las precipitaciones y realizar comparaciones, a pesar de que no se tiene los datos de precipitación completos de Ecuador, si se obtuvieron los datos de precipitación para el año 2010, 2011, 2012 y 2013 en la provincia de Chimborazo. En el ANEXO F, se presentan las isoyetas generadas por el INAMHI, donde se muestran precipitaciones con intensidades bajas en los cantones guano Penipe, Alausí y Guamote y precipitaciones media altas en el cantón Cumandá y en los cantones que se colocan a la derecha del mapa que cruza una isolínea pronunciada (INAMHI, 2010, p. 13-135).

Por tanto, los mapas generados en esta investigación para el año 2010 presente en el ANEXO E, muestran precipitaciones con intensidades bajas en los cantones guano Penipe, Alausí y Guamote al igual que las generadas en las isoyetas del INAMHI y precipitaciones medias altas en el cantón

Cumandá y en los cantones que se colocan a la derecha del mapa que cruza una isolínea pronunciada.

De acuerdo a las investigaciones citadas por los autores antes mencionado y la comparación de las isoyetas en la provincia de Chimborazo se deduce que la interpolación geoestadística de Kriging ordinario fue elegido correctamente ya que los errores estimados también fueron bajos y los parámetros para la validación de superficies llegaron a cumplirse.

De forma general, para el período de estudio, el cantón con mayor presencia de precipitación fue Cumandá, registrando valores de 1342.9 hasta los 2240.6 el cantón con menor presencia de precipitación fueron casi todos a excepción de los cantones Penipe y Cumandá que presentan precipitaciones desde ligeras hasta altas. Estos datos se justifican mediante el (PDOT Chimborazo, 2020, p. 155-156), que realizaron análisis de escenarios climáticos mediante datos obtenidos del INAMHI 2014 y el MAE 2011, en dónde, las zonas con mayor presencia de precipitación están entre Alausí y Cumandá, mientras que los registros con menor precipitación están en Guano, además, para Chimborazo las precipitaciones tienen una distribución espacial variable, a causa de los factores ambientales que lo intervienen.

Se puede observar que los cantones Guano, Chunchi, Chambo y Pallatanga presentaron comportamientos de variaciones estables durante el período de estudio, con precipitaciones ligeras y medias para todos los años y la diferencia de variaciones. Evidenció mediante el (PDOT Chimborazo, 2020, p. 157-158), que no se presentaron amenazas climáticas para los cantones antes mencionados y las tendencias seguirán siendo estables.

El cantón que presentó variaciones irregulares de precipitaciones para los distintos años de estudios fue Penipe, para los primeros años de estudio inició con precipitaciones ligeras y medias, pero en el periodo B de estudio las precipitaciones tienen comportamientos ligeros, y en el periodo C de estudio las precipitaciones son medias y terminan con precipitaciones medias y altas y presentan tendencias a aumentar la intensidad de precipitación. Según el (PDOT Chimborazo, 2020, p. 158), existió reducción en las tendencias y amenazas climáticas como problemas de sequía, además detallan que para el año 2050 podría reducirse hasta un 6.5% y afectará de forma directa a los cantones y a la provincia.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se concluye que la evaluación estadística realizada mediante los métodos Pearson y Nash permite que los datos satelitales puedan ayudar a complementar la información captada por las estaciones meteorológicas para los estudios hídricos y la determinación de variabilidad espacial y temporal.

Además, mediante los histogramas y gráficos de normalidad generados se demostró que los datos presentaron una distribución normal, el cual facilitó la elección del método que mejor se adapte con la información recopilada de la variable precipitación siendo Kriging ordinario, que podrán ser utilizados para futuras investigaciones, en evaluaciones de servicios ecosistémicos, generaciones hidroeléctricas, factibilidad en implementaciones de sistemas fotovoltaicos, para la toma de decisiones sobre el aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos, la vulnerabilidad ante las amenazas climáticas, entre otros escenarios pertinentes a la precipitación en la provincia de Chimborazo.

Mediante las isoyetas se dedujo que el periodo C (2018-2020) presentó en la gran mayoría del área de estudio, cambios de mayor variabilidad de precipitación con respecto a otros periodos, las concentraciones aumentaron con el pasar del tiempo. El cantón Penipe presentó una notoria variabilidad de precipitación y teniendo una tendencia de aumento y los cantones Cumandá y Chambo tuvieron un comportamiento estable.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que las instituciones encargadas de las estaciones meteorológicas cuenten con procesos más automatizados, mantenimientos continuos, incorporación de nuevas estaciones meteorológicas a nivel de la provincial, para mejorar la obtención de datos de las variables climáticas.

Se recomienda continuar con investigaciones de la correlación entre valores observados y satelitales de la variable precipitación para validar los valores y verificar su viabilidad.

Continuar con investigaciones sobre otros modelos globales de interpolación, en cuanto a la precipitación en la provincia de Chimborazo, para así verificar el modelo más apropiado y el que mejor predicción presente.

Se recomienda seguir con investigaciones sobre estudios de precipitación en los diez cantones de la provincia de Chimborazo, para estimar el comportamiento de la variable en el futuro dentro de cada cantón y prevenir las consecuencias que puede provocar la precipitación.

GLOSARIO

Geoestadistical wizard: también denominado como un asistente de estadísticas gráficas para el diseño y elaboración de formularios o cuestionarios electrónicos, Un generador de código intermedio de etiquetas XML en el que se especifican las partes de un cuestionario, flujos entre preguntas y validaciones que se deben aplicar (Navarro, 2018, p.3).

Mapa de Voronoi: Se define como el conjunto de los puntos que tienen dos o más generadores a una misma mínima distancia, o lo que es equivalente, que tienen dos o más puntos base (Ciuffardi, 2022, p.19).

Mapa temático: son considerados recursos didácticos idóneos para el proceso educativo de la geografía física. La enseñanza por medio de mapas permite al estudiante comprender, efectuar análisis e interpretar el medio que los rodea (Yanangómez, 2021, p.2)

Modelos climáticos globales: son herramientas que proporcionan información sobre el clima y que los científicos del clima utilizan para entender el sistema climático y para predecir su comportamiento futuro (García, 2020, p.1).

Pluviómetro: son instrumentos que sirven para medir la cantidad de lluvia que ha caído en un sitio específico en un período de tiempo determinado. A partir de las lecturas tomadas mediante este instrumento se puede obtener información relacionada con los periodos de días continuos con y sin lluvia (Olivares, 2016, p.46)

Semivariograma: es aquel que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida y la influencia que cada uno de los registros tiene sobre sus vecinos (GEOINOVA, 2022. Par.2).

BIBLIOGRAFÍA

AGRIMETSOFT. (2020). Nash Sutcliffe model Efficiency coefficient. Disponible en: <https://agrimetsoft.com/calculators/Nash%20Sutcliffe%20model%20Efficiency%20coefficient.aspx>

ALDANA, Angnes. y FLORES, Ernesto. “Diagramación de mapas temáticos”. *GEOENSEÑANZA* [en línea], 2020, (Venezuela) 05 (01), pp. 94-122. [Consulta: 30 diciembre 2022]. ISSN 1316-6077. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/360/36050105.pdf>

ANDRADE CHÁVEZ, L. S., y MOREANO, R. “Sistema de Información para la Interpolación de Datos de Temperatura y Precipitación del Ecuador”. *Revista Politécnica* [en línea], 2022, (Ecuador) 50 (01), pp. 70-75. [Consulta: 14 noviembre 2022]. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/52/pdf

ARAGÓN, José, et al. “Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación”. *Ingeniería Investigación y Tecnología* [en línea], 2019, (Venezuela) 20 (02), pp. 01-15. [Consulta: 27 noviembre 2022]. ISSN 2594-0732. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v20n2/1405-7743-iit-20-02-00011.pdf>

ArcGIS. (2019). POWER Data Access Viewer. Disponible en: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=db2adab099f246f6b4d4c113f2a5ea09#overview>

AYALA, Johanna E.; RECALDE, Celso G.; SANAGUANO, Daniel A. “Hydrometeorological network interconnectivity in Chimborazo Province, Ecuador”. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia* [en línea], 2014, (Venezuela) 37 (03), pp. 251-261. [Consulta: 24 enero 2023]. ISSN 0254-0770. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702014000300008

BALLARI, Daniela, et al. “Altitudinal and temporal evapotranspiration dynamics via remote sensing and vegetation index-based modelling over a scarce-monitored, high-altitudinal Andean páramo ecosystem of Southern Ecuador”. *Environmental Earth Sciences* [en línea], 2019, (Ecuador) 78 (11), pp. 01-15. [Consulta: 05 junio 2022]. ISSN 10-3580. Disponible en: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=1VcAm9AAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=1VcAm9AAAAAJ:jL-93Qbq4QoC

BALLARI, Daniela, et al. `` Spatial functional data analysis for regionalizing precipitation seasonality and intensity in a sparsely monitored region: Unveiling the spatio-temporal dependencies of precipitation in Ecuador``. *International Journal of Climatology* [en línea], 2018, Ecuador (38 02), pp. 3337-3354. [Consulta: 10 octubre 2022]. ISSN 1002-5504. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Ramon-Giraldo/publication/324417347_Spatial_functional_data_analysis_for_regionalizing_precipitation_seasonality_and_intensity_in_a_sparsely_monitored_region_Unveiling_the_spatio-temporal_dependencies_of_precipitation_in_Ecuador/links/5dedbfd6a6fdcc283711d6eb/Spatial-functional-data-analysis-for-regionalizing-precipitation-seasonality-and-intensity-in-a-sparsely-monitored-region-Unveiling-the-spatio-temporal-dependencies-of-precipitation-in-Ecuador.pdf

BALLARI, Daniela, et al. `` Two-Step Downscaling of TRMM 3B43 V7 Precipitation in Contrasting Climatic Regions with Sparse Monitoring: The Case of Ecuador in Tropical South America``. *Remote sensing* [en línea], 2017, Ecuador (9 07), pp. 02-23. [Consulta: 30 agosto 2022]. ISSN 10-3390. Disponible en: [file:///C:/Users/USER/Downloads/remotesensing-09-00758-v2%203\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/remotesensing-09-00758-v2%203).pdf)

BALLARI, Daniela, et al. `` Validation of satellite precipitation TRMM 3B43) in Ecuadorian coastal plains, Andean highlands and Amazonian rainforest``. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* [en línea], 2016, Ecuador (41 B8), pp. 305-311. [Consulta: 15 marzo 2022]. ISSN 10-5194. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Daniella-Ballari/publication/304343139_Validation_of_satellite_precipitation_TRMM_3B43_in_Ecuadorian_coastal_plains_Andean_highlands_and_Amazonian_rainforest/links/57c9953e08ae59825180f0f3/Validation-of-satellite-precipitation-TRMM-3B43-in-Ecuadorian-coastal-plains-Andean-highlands-and-Amazonian-rainforest.pdf

BARANI, J. BARANIDESING. [blog]. [Consulta: 03 julio de 2022]. Disponible en: <https://www.baranidesign.com/faq-articles/2020/1/19/rain-rate-intensity-classification>.

BENGTSSON, L, et al. *The Earth's Hydrological Cycle* [en línea]. London - New York: Springer Sciences & Business, 2014. [Consulta: 18 mayo 2022]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=ro3EBAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summar%20y_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

BURROUGH, P. y MCDONNELL R. Principles of geographical information systems. New York, Oxford University Press. 333 p. 2018.

BUSTAMANTE, Diana. “ Escenario de cambio climático a nivel de subcuencas hidrográficas para el año 2050 de la provincia de Chimborazo- Ecuador”. Revista de Ciencias de la Vida [en línea], 2017, Ecuador) 26 (02), pp. 15-27. [Consulta: 17 abril 2023]. ISSN 3726-5056. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4760/476052525002/html/>

BUZAI, GUSTAVO D.; MONTES GALBÁN, ELOY. *Estadística Espacial : Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica.* [En línea]. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires Editorial, 2021. [Consulta: 4 enero 2023]. Disponible en: file:///C:/Users/USER/Downloads/2021_Buzai_Montes-Galban_Espacialidades_9_v1_1.pdf

CAMINOS, A. *La precipitación, capítulo 2.* [blog]. [Consulta: 25 mayo 2022] disponible en: http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%202.pdf

CEDA. CRUTEM.5.0.0.0: *Unidad de Investigación Climática CRU) cuadrícula de anomalías de la temperatura del aire cerca de la superficie sobre la tierra.* [blog]. [Consulta: 02 junio 2022] disponible en: <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/901f576daca4e049630ab879d6fb476>

CHANG & KANG, Tsung. Introduction to Geographic Information Systems. *3rd Edition. McGraw Hill* [En línea]. 2006. [Consulta: 2 diciembre 2022]. ISBN: 0070658986. Disponible en: http://www.ruralgis.com/uploads/02/6/2/9/2629845/qgis-1.0.0_a-geentle-gis-introduction_en.pdf

CIFUENTES CARVAJAL, Adriana. Evaluación de diferentes métodos de interpolación para la variable precipitación en el departamento de Caldas–Colombia. 2016. Disponible en: https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2652/17_Cifuentes_Adrina_2016r.pdf?sequence=2&isAllowed=y

COLLADO LATORRE, J; et al. ArcGIS10 Prácticas paso a paso. *Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia* [En línea]. 2013. [Consulta: 10 noviembre 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/57369>.

DAMIÁN CARRIÓN, D. Comparación de variables edáfico-climáticas, en zonas de bosque y páramo utilizando modelo de interpolación Kriging en la parroquia Achupallas, cantón Alausí,

provincia de Chimborazo Trabajo de Investigación (grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba - Ecuador. 2014. pp.70 -78. [Consulta: 2022-06-23]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3596>

ESRI. (2020). Pioneering ArcGIS, powerful mapping and analytics software. Recuperado de: <https://www.esri.com/en-us/home>

FOURNIER, Frédéric. Climat et erosion. Paris: Presses universitaires de France, 1960. Disponible en: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2021-11/010080384.pdf

FUENTES, Deivi David, et al. Metodología de la investigación: conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables. 2020.

GARCÍA, María del Carmen Eva; RAPELLI PICABEA, Cecilia Mónica. Una comparación de métodos de diagnósticos para los Modelos Lineales Mixtos. 2018. Disponible en: <http://rephip.unr.edu.ar/handle/2133/9730>

GEAA. *Monitoreo de Precipitación Hídrica de la Provincia de Chimborazo.* [blog]. [Consulta: 20 mayo 2022] disponible en: <https://ceaa.esPOCH.edu.ec/redEstaciones/index.php>

GEOINNOVA. (2022). Google Earth Engine, una herramienta más de descarga de imágenes satélites. Recuperado de: <https://geoinnova.org/blog-territorio/google-earth-engine-una-herramienta-mas-de-descarga-de-imagenes-satelites/>

GERALD, C, et al. “ El impacto en la agricultura y los costos de adaptación”. *International food policy research institute* [en línea], 2009, Ecuador), pp. 1-30. [Consulta: 17 abril 2022].. Disponible en: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf

GODOY, C. Tesis de cero a 100. Obtenido de Muestreo estratificado. 2020. Disponible en: <https://tesisdeceroa100.com/muestreo-estratificado-ejemplo-explicado-paso-a-paso/>

HARRIS, Ian. ‘‘Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset’’. *SCIENTIFIC DATA*. [en línea]. 2020, Colombia (7 109), pp. 01-18. [Consulta: 02 abril 2022]. ISSN 2052-4463. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41597-020-0453-3.pdf>

HERNÁNDEZ, Juan Diego, et al. Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 2018, vol. 37, no 5, p. 587-595. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/559/55963207025/55963207025.pdf>

IBÁÑEZ ASENSIO, S; et al. *Sistemas de coordenadas UTM*. [blog]. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10772/Coordenadas%20UTM.pdf>.

INAMHI. *Anuario meteorológico* [en línea]. Quito – Ecuador: INAMHI, 2017. [Consulta: 05 septiembre 2022]. Disponible en: https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf

INAMHI. *Caracterización de la variabilidad climática de la cuenca hidrográfica del río Mira en el período 1981-2010, con base en la información hidrometeorológica disponible*. [blog]. [Consulta: 22 febrero 2022] disponible en: <file:///C:/Users/USER/Downloads/T3469-MCCNA-Chiiles-Characterizacion.pdf>

INTEP. *Tipos de investigación no experimental*. [blog]. [Consulta: 14 junio 2022]. 2018. Disponible en: https://www.intep.edu.co/Es/Usuarios/Institucional/CIPS/2018_1/Documentos/INVESTIGACION_NO_EXPERIMENTAL.pdf

LALINDE, Juan Diego Hernández, et al. Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 2018, vol. 37, no 5, p. 587-595. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/559/55963207025/55963207025.pdf>

Lara, M. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Jurado-Ybarra, et al. (2019). Estructura y diversidad de especies arbóreas en bosques templados de San Luis Potosí, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(18), 399-409. Disponible en: <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2112>

LEDESMA JIMENO, M. *Principios de Meteorología y Climatología* [en línea]. Madrid - España: Paraninfo,SA, 2011. [Consulta: 30 marzo 2009]. Disponible en: https://climate.nasa.gov/internal_resources/2275/

Lopez, G. (2018). La precipitación. Recuperado de: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10761/10214128._1989_Parte15.pdf?sequence=8&isAllowed=y

LUNA-ROMERO, Angel Eduardo, et al. Distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Jubones, Ecuador: 1975-2013. *Scientia Agropecuaria*, 2018, vol. 9, no 1, p. 63-70. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000100007

MADEREY, M. *Precipitación*. [blog]. [Consulta: 13 junio 2022] disponible en: <http://www.uaaan.mx/~jaflores/humedad/precipitacionApuntes.pdf>

MAG. *Boletín de precipitación y temperatura* [blog]. Ecuador, 2016. [Consulta: 24 mayo 2022]. Disponible en: http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/territoriales/precipitacion/2016/precipitacion_noviembre_2016_zona3.pdf

MOLNAR, P. Calibration. Watershed Modelling, SS 2011. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland, 2011. Obtenido de: https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&cluster=889866203754547174

NASA EARTH SCIENCES. Goddard Earth Science Research. [Blog]. [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://earth.gsfc.nasa.gov/climate/research/water-cycle-and-precipitation>.

NASA. Global Precipitation Measurement. [blog]. [Consulta: 19 febrero 2022] disponible en: <https://gpm.nasa.gov/science/research-topics#theglobalwatercycle>

NASH, J. Eamonn; SUTCLIFFE, Jonh V. Pronóstico de caudales fluviales a través de modelos conceptuales, parte I—Una discusión de principios. *Revista de hidrología*, 1970, vol. 10, n° 3, pág. 282-290. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169470902556>

OCHOA, Roselva, et al. "Comprensión epistemológica del tesista sobre investigaciones cuantitativas, cualitativas y mixtas". *Revista Científica Electrónica de Ciencias Humanas / Scientific e-journal of Human Sciences*. [en línea]. 2020, Venezuela (45 15), pp. 13-22. [Consulta: 02 abril 2022]. ISSN 1856-1594. Disponible en: <file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-ComprensionEpistemologicaDelTesistaSobreInvestigac-7407375.pdf>

OLAYA, Víctor. *Sistemas de Información Geográfica*. Girona – Barcelona – España: s.n., 2014 pp. 189-240. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/25452>

ORLANDO, Hernández. "Completamiento de series de precipitación en la región sur de Ecuador y caracterización de su pluviometría y ari". *Revista climatología* [en línea]. 2017, Ecuador). 17 27), pp. 16-27. [Consulta: 11 julio 2022]. ISSN 1578-8768. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60643656/reclim17b20190919-27672-uzxvo3-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1660263518&Signature=Kaa0i1ZddJIjBJ1umWglvbRoZbxaVUZWhSZuHzIPaEABaoBjzci5ncuQ-OxNhUU7TMvuIo8056CSywoLKyXv1ko5tdLzefVTSoGEvX1ChGOZiB10LyEBJgfaEBiq8rm1V6wn8OWLqVhA41G29NXIc5NseX6cT-kLAIE75KiDqNPF70oZOIR3G415JDt5LCz9uSXo9fsFf1PDtcnE293CjNrHFCRRylh4TYUD56tbyEvYbaS3vHEyDutwoM5txMnvcciJZqEZSoBK12P6-h~Cmxd0u2s-qkiHyFslgw~iFO09563pCBbllYVQY7Mk-XZB0IKmPPRWB5gqF6pMktg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

PALIZ, Cristian, et al. "Análisis estadístico de datos de las precipitaciones usando métodos Robustos y Bootstrap". *FIGEMPA* [en línea], 2021, Ecuador (12 02), pp. 52-61. [Consulta: 21 enero 2022]. ISSN 1390-7042. Disponible en: <file:///C:/Users/USER/Downloads/4303.pdf>

PDOT Chimborazo. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Chimborazo. 2020.

PÉREZ-Planells, Ll., DELEGIDO, J.2, RIVERA-Caicedo, J.P.2, Verrelst., Análisis de métodos de validación cruzada para la obtención robusta de parámetros biofísicos. 2019. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71051261.pdf>

PINILLA, Jorge Ortiz; RICO, Andrés Felipe Ortiz. ¿Pearson y Spearman, coeficientes intercambiables? *Comunicaciones en Estadística*, 2021, vol. 14, no 1, p. 53-63. Disponible en: <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/estadistica/article/view/6769/6315>

Pizarro, R. Ramírez, B. Flores, J. (2013). Bosque (Valdivia). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. *Volumen* (.24, n.3). recuperado de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002003000300003

POWER, NASA. *Prediction Of Worldwide Energy Resources*. [blog]. [Consulta: 22 Abril 2022]. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/docs/>.

PUCHA-COFREP, F; et al. *Fundamentos de SIG*. [En línea]. Ediloja, 2017. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=XOIsDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=ArcGIS+que+es&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwj8wJSWzpbAhU1tTEKHdOPD1gQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=ArcGIS%20que%20es&f=false>. ISBN.

RAMÍREZ, Sebastián. Diseño de mapas de información geográfica de presión atmosférica en el departamento de caldas, a través de métodos de interpolación y herramientas SIG Trabajo de titulación (grado). [en línea] Universidad católica de Manizales. Manizales. 2020. pp. 1-50. [Consulta: 16 junio 2022]. Disponible en: [file:///C:/Users/USER/Downloads/Norma%20ISO%20690%201\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Norma%20ISO%20690%201).pdf)

RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, Heyner M. Fernando. Aplicación de métodos de interpolación y modelamiento geoestadístico en la evaluación de la calidad del aire en Bogotá DC. 2014. Disponible en: [file:///C:/Users/USER/Downloads/RodriguezRodriguezHeynerFernando2015%201\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/RodriguezRodriguezHeynerFernando2015%201).pdf)

RODRÍGUEZ SANTOS, Jenny. Aplicación de métodos de interpolación para el cálculo de precipitación por modelamiento geoestadístico y análisis espacial para el departamento de Cundinamarca. 2014. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/143448058.pdf>

SÁNCHEZ SAN ROMÁN, Francisco Javier, et al. *Hidrología*, Hidrología, 2018-19. 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10366/83384>

SÁNCHEZ, Pedro Poyato. Topografía de los sentimientos, intertextualidad y programas iconográficos en Julieta (2016). *Fotocinema: revista científica de cine y fotografía*, 2021, no 23, p. 299-323. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8060518>

SÁNCHEZ, Rolando, et al. Estratificación de Datos. 2021. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/67439231/Estratificacion_de_Datos-libre.pdf?1622073799=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEstratificacion_de_Datos.pdf&Expires=1673605650&Signature=VwYCKGgV8keNm-8mdm0v5bbS0Mh61RnC8QZ-cR-3vGB3zsZd5OmQZkxUPTc7Sf1xnBwTT8iGBJEgSb3pcKhFY--tDxtMN5AMziX-UKWhRLyP4nissJrsq7YW2RTmDiJoDwxzDkibdUoqyJ1txyd~KT8cL0~MCfoRLtpBfSGNVbTyd414jvIpZQN4Dp2HHpWR7XuMg5RhwHq83XmI6iVZyjAxBGITjVEITe7fRVVrJ3OxzJFqR29kUE6nu2I9JfCF4j3Mz0SYQs3f9j~pFFrD~2Tx9VbJ4vlb8PUFqR4Toy~Vg-szVNXwL1PfDwlteZ6j8U8Dr3JI~JsnUqQZMx9r5g__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

SÁNCHEZ, S. “Curso introductorio de hidrología superficial e hidrología subterránea. Asignatura del segundo curso de la Licenciatura en Ciencias Ambientales”. *SALAMANCA* [en línea], 2018, España, pp. 1-9. [Consulta: 14 junio 2022]. Disponible en: <https://gredos.usal.es/handle/10366/83384>

SANUNGA, Lisbeth. Ajuste de modelos a gran escala de la precipitación hídrica en la provincia de Chimborazo utilizando datos ráster y vectoriales Trabajo de titulación (proyecto integrador). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de física. Riobamba - Ecuador. 2021. pp. 5-80. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15046>

SENSORGO. *Estaciones Meteorológicas. ¿Qué Son Y Cómo Funcionan?* [blog]. 2020. Disponible en: <https://sensorgo.mx/estacionesmeteorologicas/#:~:text=Las%20estaciones%20meteorol%C3%B3gicas%20son%20una,del%20pa%C3%ADs%20y%20el%20mundo.>

SUÁREZ IBUJÉS, Mario Orlando. Coeficiente de correlación de Karl Pearson. 2011. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/766>

TAPIA, Juan. Estructura de la precipitación y su variabilidad espacio-temporal a lo largo de una gradiente altitudinal. [En línea] Trabajo de titulación (grado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2016. pp. 1-71. [Consulta: 13 enero 2023]. Disponible en: file:///C:/Users/USER/Downloads/Norma%20ISO%20690%201).pdf

Varela, S., Terribile, L.C., de Oliveira, G., et al. 2015. ecoClimate vs. Worldclim: variables climáticas SIG para trabajar en biogeografía. Ecosistemas 24(3): 88-92. Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-3.11. disponible en: file:///C:/Users/USER/Downloads/1112-Texto%20del%20art%C3%ADculo-3656-1-10-20151221%20(1).pdf



ANEXOS

ANEXO A: VALORES OBSERVADOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y ESTIMACIONES SATELITALES DE TERRACLIMATE

ID	AÑO	OBSEVA DO	SATELI TAL	ID	AÑO	OBSEVA DO	SATELI TAL
ACHUPALLAS	2010	966.0	773	ESPOCH EM	2011	714.7	633
ACHUPALLAS	2011	659.7	788	ESPOCH EM	2012	537.4	643
ACHUPALLAS	2012	565.1	746	ESPOCH EM	2013	513.6	512
ACHUPALLAS	2013	409.7	614	ESPOCH EM	2014	564.5	577
ALAUSI EM	2010	482.0	662	ESPOCH EM	2015	461.8	811
ALAUSI EM	2011	491.2	668	ESPOCH EM	2016	544.7	501
ALAUSI EM	2012	460.2	701	ESPOCH EM	2017	774.2	614
ALAUSI EM	2013	335.8	544	ESPOCH EM	2018	758.5	1092
GUASUNTOS	2010	523.0	661	ESPOCH EM	2019	940.4	681
GUASUNTOS	2011	450.1	673	ESPOCH EM	2020	461.1	607
GUASUNTOS	2012	502.0	682	BAÑOS	2010	1304.6	1303
GUASUNTOS	2013	316.3	536	BAÑOS	2011	1240.6	1090
HUIGRA	2011	456.6	988	BAÑOS	2012	1226.7	943
HUIGRA	2012	490.6	1060	BAÑOS	2013	1380.1	791
HUIGRA	2013	327.5	805	HUAMBALO	2010	657.6	989
CHUNCHI EM	2010	550.0	965	HUAMBALO	2011	790.0	814
CHUNCHI EM	2011	575.3	979	HUAMBALO	2012	750.0	728
CHUNCHI EM	2012	501.3	1024	HUAMBALO	2013	809.0	599
CHUNCHI EM	2013	216.9	791	PILAHUIN	2010	804.4	981
COMPUD	2010	1355.0	775	PILAHUIN	2011	838.6	790
COMPUD	2011	1052.0	821	PILAHUIN	2012	764.9	792
COMPUD	2012	1395.6	835	PILAHUIN	2013	621.4	621
COMPUD	2013	944.6	645	QUEROCHACA	2010	698.7	830
CANI.LIMBE	2010	1469.0	794	QUEROCHACA	2011	741.9	678
CANI.LIMBE	2012	1698.9	834	QUEROCHACA	2012	549.5	651
SHIRY XII	2011	960.8	773	QUEROCHACA	2013	571.2	522
SHIRY XII	2012	630.6	766	RIO VERDE	2010	2615.1	2109
SHIRY XII	2013	621.6	612	RIO VERDE	2011	2550.3	1764
PANGOR.J DE VELASCO	2011	948.0	729	TISALEO	2010	756.7	1047
PANGOR.J DE VELASCO	2012	822.2	794	TISALEO	2011	756.4	849
PANGOR.J DE VELASCO	2013	671.1	603	TISALEO	2012	631.6	818
CEBADAS	2010	604.0	935	TISALEO	2013	613.4	650

CEBADAS	2011	1020.4	851	CAÑAR	2010	509.2	908
CEBADAS	2012	575.7	792	CAÑAR	2011	643.1	1028
CEBADAS	2013	579.0	666	CAÑAR	2012	560.4	880
TOTORILLAS	2011	624.2	658	CAÑAR	2013	450.3	749
TOTORILLAS	2012	687.5	627	CHANIN	2010	1018.6	1274
TOTORILLAS	2013	389.3	516	CHANIN	2011	956.8	1487
GUANO EM	2010	528.0	674	CHANIN	2012	642.2	1144
GUANO EM	2011	591.3	597	CHANIN	2013	717.7	1097
GUANO EM	2012	350.4	601	INGAPIRCA	2010	543.6	1008
GUANO EM	2013	270.7	481	INGAPIRCA	2011	903.7	1117
URBINA	2011	675.0	965	INGAPIRCA	2012	614.3	942
URBINA	2012	826.3	933	INGAPIRCA	2013	500.1	829
URBINA	2013	738.0	744	INGENIO AZTRA LA TRONCAL)	2010	2389.4	1985
PALLATANGA	2010	1131.0	1042	INGENIO AZTRA LA TRONCAL)	2011	1745.7	1954
PALLATANGA	2011	956.7	984	INGENIO AZTRA LA TRONCAL)	2012	2783.0	2314
PALLATANGA	2012	1280.2	1113	INGENIO AZTRA LA TRONCAL)	2013	1275.4	1694
PALLATANGA	2013	829.9	837	RIOMAZAR-RIVERA	2010	1143.4	1322
CHIMBO DJ PANGOR	2010	1020.0	1130	RIOMAZAR-RIVERA	2011	1488.8	1427
CHIMBO DJ PANGOR	2011	931.2	1055	RIOMAZAR-RIVERA	2012	1598.3	1058
CHIMBO DJ PANGOR	2012	1649.7	1218	RIOMAZAR-RIVERA	2013	1386.6	1047
CHIMBO DJ PANGOR	2013	1294.1	909	CALUMA	2010	2108.9	2649
SAN JUAN.CHIMBOR AZO	2010	753.0	854	CALUMA	2011	1675.3	2200
SAN JUAN.CHIMBOR AZO	2011	703.8	749	CALUMA	2013	1679.0	2225
SAN JUAN.CHIMBOR AZO	2012	729.7	774	CHILLANES	2010	958.0	944
SAN JUAN.CHIMBOR AZO	2013	402.9	606	CHILLANES	2011	705.7	886
ALAO	2010	1715.0	1380	CHILLANES	2012	1061.1	1049
ALAO	2011	2332.3	1266	CHILLANES	2013	776.0	779

ALAO	2012	1501.8	1130	INTITUTO TECNICO 3 DE MARZO	2010	779.7	892
ALAO	2013	1101.7	960	INTITUTO TECNICO 3 DE MARZO	2011	705.5	789
LICTO	2010	767.0	1146	INTITUTO TECNICO 3 DE MARZO	2012	948.5	934
LICTO	2011	925.4	1003	INTITUTO TECNICO 3 DE MARZO	2013	532.0	711
LICTO	2012	656.2	915	LAGUACOTO	2010	754.5	806
LICTO	2013	536.2	773	LAGUACOTO	2011	843.2	707
RIOBAMBA POLITECNICA	2010	560.0	651	LAGUACOTO	2012	902.5	857
RIOBAMBA POLITECNICA	2011	694.1	586	LAGUACOTO	2013	483.3	643
RIOBAMBA POLITECNICA	2012	491.4	586	RIO SAN ANTONIO- MONJAS	2010	2182.9	2291
RIOBAMBA POLITECNICA	2013	365.1	469	RIO SAN ANTONIO- MONJAS	2011	1895.4	2065
GUASLAN	2011	621.7	690	RIO SAN ANTONIO- MONJAS	2012	2342.4	2692
GUASLAN	2012	531.6	675	RIO SAN ANTONIO- MONJAS	2013	2008.2	1914
GUASLAN	2013	409.7	540	SALINAS -BOLIBAR	2010	1876.5	894
TIXAN	2020	458.2	549	SALINAS -BOLIBAR	2011	1250.0	748
MULTITUD	2020	1084.3	769	SALINAS -BOLIBAR	2012	1095.2	910
ATILLO	2020	1103.0	1157	SALINAS -BOLIBAR	2013	1114.0	663
URBINA	2020	599.2	936	LOGROÑO	2012	1986.0	2535
RIOBAMBA	2020	596.1	562	LOGROÑO	2013	1960.6	2385
TUNSHI	2020	612.7	653	MACAS SAN ISIDRO	2010	2577.1	3035
QUIMIAG	2020	515.8	776	MACAS SAN ISIDRO	2011	3439.0	3023
SAN JUAN	2020	401.8	709	MACAS SAN ISIDRO	2012	2836.2	2450
RIOBAMBA AER.	2015	492.3	760	MACAS SAN ISIDRO	2013	2844.0	2213
RIOBAMBA AER.	2016	485.5	469	MENDEZ	2010	1745.3	2470
RIOBAMBA AER.	2017	515.3	571	MENDEZ	2011	2414.6	2739
RIOBAMBA AER.	2018	486.7	1016	MENDEZ	2012	2226.2	2111
RIOBAMBA AER.	2019	491.9	632	MENDEZ	2013	1945.0	2045
RIOBAMBA AER.	2020	496.2	562				

Realizado por: Guaraca, Miryan, 2023.

ANEXO B: TABLA DINÁMICA DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN EN CHIMBORAZO EN EL PERIODO 2010-2020.

N	CANTON	ID	X	Y	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	ALAUSI	TIXAN	749103	9761332	638	638	622	503	539	665	436	570	895	663	458.21
2	ALAUSI	ACHUPALLAS	748196.3	9747767.1	966.125	659.7	565.1	409.7	663	801	521	688	1096	811	682
3	ALAUSI	ALAUSI EM	739524.3	9756721.3	481.5	491.2	460.2	335.825	553	664	477	617	755	742	581
4	ALAUSI	MULTITUD	725688	9764881	858	844	919	699	691	838	632	802	832	998	1084.34
5	ALAUSI	Rio la Playa	750646.0	9732139.0	1176	1269	1131	965	1065	1226	784	1038	1738	1184	1056
6	ALAUSI	ALAUSI 1	763963.4	9755004.2	1124	1124	1072	880	969	1193	777	981	1571	1151	993
7	ALAUSI	ALAUSI 2	764207.3	9741348.6	1273	1328	1202	1017	1138	1350	889	1111	1800	1301	1122
8	ALAUSI	ALAUSI 3	735189.1	9763051.2	649	646	656	518	537	659	455	595	791	728	568
9	ALAUSI	ALAUSI 4	721264.3	9760794.4	1643	1592	1788	1336	1300	1601	1215	1527	1509	1885	1458
10	ALAUSI	ALAUSI 5	732322.4	9756773.2	656	667	680	532	554	666	470	613	796	749	583
11	ALAUSI	ALAUSI 6	721934.5	9749736.3	921	932	1017	766	751	893	694	882	847	1044	828
12	ALAUSI	ALAUSI 7	741034.8	9765485.6	596	590	586	470	500	617	413	537	803	635	510
13	ALAUSI	ALAUSI 8	753433.2	9740018.6	1091	1150	1079	888	973	1150	737	973	1604	1128	978
14	ALAUSI	ALAUSI 9	764491.2	9749066.1	1218	1238	1150	955	1064	1294	854	1063	1705	1254	1080
15	ALAUSI	ALAUSI 10	770187.8	9721253.5	1447	1525	1111	1112	1325	1482	959	1159	2081	1407	1161
16	ALAUSI	Cascada Zula	757662.4	9747199.1	955	970	930	765	832	1003	657	846	1345	993	848
17	ALAUSI	PMIN	773763	9716484	1628	1724	1246	1263	1506	1663	1103	1307	2301	1626	1276
18	ALAUSI	ALAUSI 11	765278	9742960	1241	1286	1184	983	1101	1320	872	1091	1769	1285	1103
19	ALAUSI	ALAUSI 12	762837	9748177	1096	1124	1085	879	969	1164	772	979	1548	1154	983
20	ALAUSI	ALAUSI 13	769737	9749019	1297	1313	1201	1011	1134	1384	919	1121	1802	1338	1145
21	ALAUSI	ALAUSI 14	747691	9740099	1058	1128	1072	865	947	1111	721	960	1561	1113	953
22	ALAUSI	ALAUSI 15	753076	9746831	819	837	807	657	709	856	559	733	1177	861	727
23	ALAUSI	ALAUSI 16	756358	9751291	1014	1027	1015	812	883	1072	704	906	1440	1067	901
24	ALAUSI	ALAUSI 17	756610	9759201	1016	1022	1014	809	881	1081	708	906	1456	1063	900

25	ALAUSI	ALAUSI 18	743231	9745653	867	907	884	707	757	904	596	792	1202	929	771
26	ALAUSI	ALAUSI 19	728337	9754573	742	751	811	616	611	728	548	702	754	858	668
27	ALAUSI	ALAUSI 20	739865	9762819	648	649	661	520	543	662	462	596	811	720	568
28	ALAUSI	ALAUSI 21	735237	9752301	697	708	756	578	582	685	511	655	740	801	623
29	ALAUSI	ALAUSI 22	750468	9765512	684	672	647	529	574	718	466	599	978	686	582
30	ALAUSI	ALAUSI 23	725308	9754236	719	730	795	599	597	700	539	689	723	852	662
31	ALAUSI	ALAUSI 24	756550	9736367	1183	1235	1059	937	1047	1229	782	1008	1721	1159	1035
32	ALAUSI	ALAUSI 25	749570	9755653	698	709	684	554	596	720	484	627	972	740	615
33	ALAUSI	ALAUSI 26	780201	9731510	1758	1847	1514	1383	1592	1868	1244	1474	2432	1800	1477
34	ALAUSI	ALAUSI 27	772498.2	9726961.5	1501	1571	1195	1159	1359	1557	1002	1216	2168	1459	1223
35	ALAUSI	ALAUSI 28	766836.8	9733651.9	1337	1409	1234	1069	1204	1413	927	1156	1907	1348	1167
36	ALAUSI	ALAUSI 29	764857	9725963	1344	1414	1075	1036	1220	1390	888	1099	1978	1294	1116
37	ALAUSI	ALAUSI 30	774029	9732778	1752	1794	1419	1334	1553	1850	1199	1430	2482	1734	1440
38	ALAUSI	ALAUSI 31	769401	9737238	1484	1551	1318	1168	1328	1567	1030	1259	2090	1486	1271
39	ALAUSI	ALAUSI 32	721264.3	9760794.4	1643	1592	1788	1336	1300	1601	1215	1527	1509	1885	1458
40	ALAUSI	ALAUSI 32	718918.7	9744709.9	1257	1281	1375	1046	1043	1229	939	1201	1188	1367	1112
41	ALAUSI	GUASUNTOS	743506.7	9753427.8	523.1	450.1	501.97 5	316.325	559	673	466	608	833	726	581
42	ALUSI	HUIGRA	724582.3	9746911	971	456.6	490.55	327.5	805	953	724	928	950	1103	872
43	BOLIVAR	CALUMA	689893	9820860.9	2108.9	1675.3	3165	1679	1745	2408	2076	2378	1760	2697	1919
44	BOLIVAR	CHILLANES	715416.5	9781515.3	958.0	705.7	1061.1	776	723	884	712	877	782	1119	833
45	BOLIVAR	INTITUTO TECNICO 3 DE MARZO	718636	9814229.7	779.7	705.5	948.5	532	699	903	658	822	857	986	728
46	BOLIVAR	LAGUACOTO	722693.1	9821445.3	754.5	843.2	902.5	483.3	622	830	592	731	824	865	661
47	BOLIVAR	RIO SAN ANTONIO- MONJAS	696504	9784362.5	2182.9	1895.4	2342.4	2008.2	1655	2135	1794	2132	1665	2562	1791
48	BOLIVAR	SALINAS -BOLIBAR	720488.4	9844765.1	1876.5	1250.0	1095.2	1114	675	973	647	806	968	896	720
49	CANAR	CAÑAR	728463	9717749.1	509.2	643.1	560.4	450.3	842	919	627	847	1241	842	791

50	CANAR	CHANIN	750472.1	9704622.4	1018.6	956.8	642.2	717.7	1245	1280	867	1141	2011	1275	1092
51	CANAR	INGAPIRCA	736313.9	9719149.7	543.6	903.7	614.3	500.1	928	1029	673	902	1449	950	888
52	CANAR	INGENIO AZTRA LA TRONCAL)	680784.6	9737475.5	2389.4	1745.7	2783	1275.4	1550	1880	1617	1974	1452	2009	1542
53	CANAR	RIOMAZAR-RIVERA	761307.6	9715296	1143.4	1488.8	1598.3	1386.6	1230	1332	870	1092	1941	1268	1096
54	CHAMBO	CHAMBO 1	781546	9803863	1222	1112	1049	857	1004	1392	898	1032	1777	1210	1060
55	CHAMBO	Guayllabamba	772869.9	9801819.2	1313	1135	1009	862	1021	1456	888	1040	1962	1187	1091
56	CHAMBO	CHAMBO 2	779880	9808128	1219	1099	1037	845	995	1392	893	1024	1772	1195	1048
57	CHAMBO	CHAMBO 3	776336	9803923	1229	1112	1033	848	997	1394	880	1023	1813	1185	1052
58	CHAMBO	CHAMBO 4	767500	9811345	781	703	661	540	641	908	559	668	1216	744	672
59	CHAMBO	CHAMBO 5	773597	9809401	1193	1073	1025	829	967	1357	861	1003	1751	1156	1023
60	CHAMBO	CHAMBO 6	768649	9804895	1022	902	839	697	817	1138	704	844	1557	942	869
61	CHAMBO	CHAMBO 7	772095	9806839	1310	1126	999	849	1014	1466	887	1037	1961	1180	1086
62	CHUNCHI	CHUNCHI EM	730919.9	9748345.9	550.2	575.3	501.25	216.9	804	957	705	907	991	1073	852
63	CHUNCHI	COMPUD	729426	9741158.8	1355.4	1052	1395.5 75	944.6	667	777	568	743	884	838	694
64	CHUNCHI	CHUNCHI 1	730646.9	9743369.6	834	863	891	689	702	826	613	789	868	910	739
65	CHUNCHI	CHUNCHI 2	732356	9734174	986	1070	1034	824	887	1035	689	924	1346	1029	873
66	CHUNCHI	CHUNCHI 3	740033	9737575	835	882	835	681	729	865	574	765	1132	875	738
67	CHUNCHI	CHUNCHI 4	741885	9740352	967	1034	1010	803	866	1016	669	894	1375	1037	869
68	CHUNCHI	CHUNCHI 5	739276	9750281	717	737	727	577	608	731	504	661	903	787	635
69	CHUNCHI	CHUNCHI 6	735237	9745148	749	781	792	617	639	751	542	705	865	823	666
70	CHUNCHI	CHUNCHI 7	738266	9745905	767	794	769	622	662	791	529	702	1018	824	675
71	CHUNCHI	CHUNCHI 8	734900	9738837	774	818	774	626	671	793	536	713	1005	813	679
72	CHUNCHI	CHUNCHI 9	729683	9737491	775	821	835	645	667	777	568	743	884	838	694
73	CHUNCHI	CHUNCHI 10	723961	9738332	813	861	907	687	699	803	614	793	846	891	735
74	CHUNCHI	CHUNCHI 11	719586	9740268	823	860	918	694	692	805	625	800	780	886	732
75	CHUNCHI	CERRO PUNAY	725614.7	9742200.5	985	1013	1064	815	824	969	728	939	981	1077	877

76	COLTA	CANILIMBE	723571.6	9804055.7	1469.3	720	1698.9	834	634	811	582	730	823	898	668
77	COLTA	SHIRY XII	750303.7	9795360	840	960.82 5	630.57 5	621.55	674	901	567	718	1221	778	699
78	COLTA	Aledaño al rio Columbe	747458.0	9791435.0	868	807	809	643	703	928	587	745	1254	816	721
79	COLTA	COLTA 1	739694.4	9810388.0	915	824	864	666	726	1010	630	796	1280	886	745
80	COLTA	COLTA 2	742040.0	9805361.6	924	844	873	674	738	1011	634	801	1330	874	764
81	COLTA	COLTA 3	741705.0	9799329.9	932	858	878	681	741	1012	638	804	1322	887	769
82	COLTA	COLTA 4	755443.7	9795643.9	871	796	764	623	700	943	592	731	1292	801	733
83	COLTA	COLTA 5	723274.9	9791287.7	981	907	1039	783	749	953	715	886	906	1120	846
84	COLTA	COLTA 6	741369.9	9787601.7	957	899	919	720	782	1033	649	832	1358	951	796
85	COLTA	Laguna de Colta	749569.9	9807692.9	852	764	775	609	671	925	579	724	1247	774	705
86	COLTA	COLTA 7	750317.3	9806421.7	862	791	807	629	696	939	592	746	1272	794	719
87	COLTA	COLTA 8	733926	9788108	720	678	738	565	582	747	513	651	870	785	610
88	COLTA	COLTA 9	742761	9788020	917	852	857	676	736	982	621	789	1281	890	756
89	COLTA	COLTA 10	753805	9793674	812	745	725	589	655	876	548	687	1213	745	680
90	COLTA	COLTA 11	751685	9800301	814	747	736	593	657	886	558	693	1222	746	684
91	COLTA	COLTA 12	746649	9800389	865	798	809	636	699	938	592	745	1272	804	723
92	COLTA	COLTA 13	741436	9812847	926	832	869	668	734	1022	640	799	1324	877	763
93	COLTA	COLTA 14	726239	9796148	828	760	876	668	648	818	608	758	803	950	711
94	COLTA	COLTA 15	729155	9799152	763	705	788	592	608	799	545	692	917	838	643
95	COLTA	COLTA 16	735604	9794204	723	674	732	561	578	751	511	648	885	774	606
96	COLTA	COLTA 17	740019	9792573	866	815	858	661	706	933	601	770	1177	894	723
97	COLTA	COLTA 18	735433	9803286.5	840	768	835	630	672	913	588	749	1113	863	690
98	COLTA	PANGOR.J DE VELASCO	735652.2	9797774.5	1808.9	948	822.2	671.1	632	838	559	707	1009	828	656
99	CUMANDA	CUMANDA 1	717388.1	9754028.8	1611	1582	1765	1326	1293	1558	1205	1523	1436	1798	1395
100	CUMANDA	CUMANDA 2	695654	9756245	2264	2164	2655	1905	1729	2142	1792	2175	1703	2434	1793
101	CUMANDA	Bucay	702658.2	9756190.3	2344	2246	2727	1968	1802	2218	1833	2235	1812	2547	1904

102	CUMANDA	CUMANDA 3	707867	9755653	2358	2278	2698	1971	1842	2217	1814	2232	1886	2551	1959
103	CUMANDA	CUMANDA 4	713527	9749440	1303	1301	1438	1081	1058	1262	981	1245	1165	1443	1132
104	CUMANDA	CUMANDA 5	718576	9754488	799	804	895	671	653	770	605	768	743	940	730
105	CUMANDA	CUMANDA 6	714032	9757349	1958	1896	2171	1616	1548	1878	1466	1834	1712	2199	1702
106	CUMANDA	CUMANDA 7	710245	9752469	2258	2188	2559	1883	1781	2127	1716	2126	1875	2479	1925
107	CUMANDA	CUMANDA 8	721264.3	9756103.1	1301	1280	1403	1057	1041	1270	963	1219	1209	1482	1148
108	CUMANDA	CUMANDA 9	712887.0	9756438.2	2355	2256	2676	1960	1838	2214	1789	2208	1939	2606	2010
109	CUMANDA	CUMANDA 10	718155	9760295	1301	1280	1403	1057	1041	1270	963	1219	1209	1482	1148
110	GUAMOTE	CEBADAS	762446.1	9788952.5	604.475	1020.4	575.7	579	760	1017	635	778	1399	875	789
111	GUAMOTE	ATILLO	772610	9758048	1345	1311	1157	1002	1141	1435	932	1125	1874	1335	1103.00
112	GUAMOTE	Palmira	749856.6	9771636	626	613	600	487	523	658	431	556	886	634	530
113	GUAMOTE	GUAMOTE 1	770242	9763576	1319	1275	1136	973	1108	1412	914	1096	1837	1302	1129
114	GUAMOTE	GUAMOTE 2	761575	9761388	1096	1084	1045	847	939	1173	762	956	1567	1117	961
115	GUAMOTE	GUAMOTE 3	772935	9779732	1231	1168	1097	896	1024	1350	870	1044	1761	1219	1062
116	GUAMOTE	GUAMOTE 4	762837	9779312	931	871	802	674	764	1004	634	780	1359	883	785
117	GUAMOTE	GUAMOTE 5	764604	9767279	1192	1136	998	864	981	1271	806	982	1688	1142	1006
118	GUAMOTE	GUAMOTE 6	753329	9782593	687	652	635	517	571	736	468	596	1011	665	572
119	GUAMOTE	GUAMOTE 7	748112	9779985	722	690	694	552	593	757	493	629	1012	709	601
120	GUAMOTE	GUAMOTE 8	743568	9772075	644	630	645	508	535	667	448	579	857	682	550
121	GUAMOTE	GUAMOTE 9	737930	9768709	633	623	646	507	524	648	444	575	801	697	548
122	GUAMOTE	GUAMOTE 10	766653	9783940	1083	1008	946	783	888	1176	751	907	1553	1036	922
123	GUAMOTE	GUAMOTE 23	782825	9769115	1709	1634	1383	1223	1439	1858	1219	1392	2342	1723	1473
124	GUAMOTE	GUAMOTE 24	769059	9771589	1238	1187	1088	913	1040	1340	868	1043	1740	1226	1065
125	GUAMOTE	Aledaño a collay	777093	9753586	1419	1416	1265	1073	1225	1524	1008	1207	1964	1458	1238
126	GUAMOTE	GUAMOTE 25	766823	9788501	1109	1004	898	766	892	1211	752	902	1636	1027	932
127	GUAMOTE	GUAMOTE 18	777862.8	9771586	1331	1282	1173	983	1125	1449	950	1124	1859	1343	1157
128	GUAMOTE	GUAMOTE 19	781580.9	9777213.9	1439	1361	1220	1038	1203	1573	1031	1197	1987	1439	1240
129	GUAMOTE	GUAMOTE 20	780910.7	9767161.1	1566	1494	1277	1128	1314	1699	1103	1282	2166	1559	1332

130	GUAMOTE	GUAMOTE 21	771193	9767161.1	1316	1250	1084	947	1088	1412	901	1077	1850	1269	1108
131	GUAMOTE	GUAMOTE 22	757454.3	9769841.8	894	866	866	691	749	948	617	781	1258	893	765
132	GUAMOTE	TOTORILLAS	753371	9777103.9	935	624.15	687.5	389.3	568	730	464	595	1003	664	571
133	GUAMOTE	GUAMOTE 11	761037.2	9777438.4	947	896	823	690	778	1016	645	796	1363	905	797
134	GUAMOTE	GUAMOTE 12	763719.6	9766465.1	1081	1055	1022	827	914	1157	751	935	1535	1084	937
135	GUAMOTE	GUAMOTE 13	756113.9	9788607.0	816	751	721	593	666	884	556	690	1226	767	686
136	GUAMOTE	GUAMOTE 14	759799.9	9786596.4	918	850	782	659	750	997	626	766	1359	863	774
137	GUAMOTE	GUAMOTE 16	760470.1	9760124.2	1115	1103	1049	862	954	1186	771	965	1570	1130	977
138	GUAMOTE	GUAMOTE 17	742710.2	9779559.5	820	789	830	640	682	872	570	735	1132	851	694
139	GUANO	GUANO EM	763106.4	9821985.7	528	591.3	350.35	270.65	553	785	483	586	1038	657	577
140	GUANO	URBINA	754571	9835358	1119	953	939	737	861	1304	762	930	1737	1046	599.20
141	GUANO	GUANO 1	763963.4	9830353.8	1125	968	949	753	880	1307	786	936	1706	1070	941
142	GUANO	GUANO 2	747999.6	9835491.5	920	784	823	636	719	1061	629	778	1387	888	754
143	GUANO	GUANO 3	751422.0	9839266.2	1068	899	913	711	820	1244	730	891	1635	992	864
144	GUANO	GUANO 4	758003.7	9828383.4	983	837	817	657	757	1117	670	810	1476	910	822
145	GUANO	Los Elenes	766005.5	9820972.7	690	616	600	482	567	812	501	599	1065	675	593
146	GUANO	GUANO 5	747419	9841089	898	759	801	619	702	1048	619	761	1356	854	720
147	GUANO	GUANO 6	758488	9821683	792	684	694	550	624	891	547	667	1183	749	664
148	GUANO	GUANO 7	768649	9824952	941	808	783	632	740	1085	660	783	1408	890	786
149	GUANO	GUANO 8	751155	9829988	1034	881	863	683	789	1185	697	852	1573	963	867
150	GUANO	GUANO 9	771668	9832833	1122	952	868	715	867	1313	785	912	1680	1040	923
151	GUANO	GUANO 10	767938	9833455	1203	1029	970	782	929	1402	839	986	1814	1126	999
152	GUANO	GUANO 11	760355	9825623	992	858	840	672	780	1139	694	831	1494	937	834
153	MORONA	LOGROÑO	811184.1	9709569.8	1942.7	1928.7	1986	1960.6	2755	3134	2324	2482	3756	3653	2671
154	MORONA	MACAS SAN ISIDRO	815762.6	9755394.8	2577.1	3439.0	2836.2	2844	2623	3281	2376	2460	4033	3739	2896
155	MORONA	MENDEZ	799882	9701018.8	1745.3	2414.6	2226.2	1945	2364	2624	1899	2120	3243	2907	2143
156	PALLATANG A	PALLATANGA	726355.4	9778890.8	1130.9	956.7	1280.2	829.925	809	1017	762	951	977	1212	921

157	PALLATANG A	CHIMBO DJ PANGOR	721974	9785440	1019.9	931.2	1649.7	1294.1	866	1094	832	1035	1023	1317	989
158	PALLATANG A	EM PALLATANGA	725458.8	9778738.3	1316	1249	1401	1049	1024	1295	960	1200	1256	1523	1161
159	PALLATANG A	PALLATANGA 1	731297.0	9783220.0	896	849	947	719	705	880	650	819	881	1018	777
160	PALLATANG A	PALLATANGA 2	738354.0	9774198.0	700	680	724	557	579	732	492	636	910	769	599
161	PALLATANG A	PALLATANGA 3	723945.1	9785256.1	1009	941	1074	808	775	981	737	917	941	1163	881
162	PALLATANG A	PALLATANGA 4	720219	9777880	1272	1205	1392	1031	981	1227	944	1172	1143	1501	1138
163	PALLATANG A	PALLATANGA 5	739499	9782527	702	675	720	555	577	731	494	635	905	762	601
164	PALLATANG A	PALLATANGA 6	732092	9770758	639	628	666	520	532	655	458	593	768	728	563
165	PALLATANG A	PALLATANGA 7	727453	9774220	942	900	990	752	736	928	684	856	924	1066	816
166	PALLATANG A	PALLATANGA 8	719977	9772697	1533	1463	1683	1247	1195	1486	1137	1421	1393	1794	1368
167	PALLATANG A	PALLATANGA 9	722054	9780381	1245	1172	1355	1006	956	1207	924	1145	1121	1466	1105
168	PALLATANG A	PALLATANGA 10	731815	9777266	696	672	720	560	570	703	499	638	791	781	603
169	PALLATANG A	PALLATANGA 11	736678.6	9780899.9	702	675	720	555	577	731	494	635	905	762	601
170	PALLATANG A	PALLATANGA 12	726346	9768681	1419	1372	1512	1139	1124	1395	1037	1309	1371	1627	1255

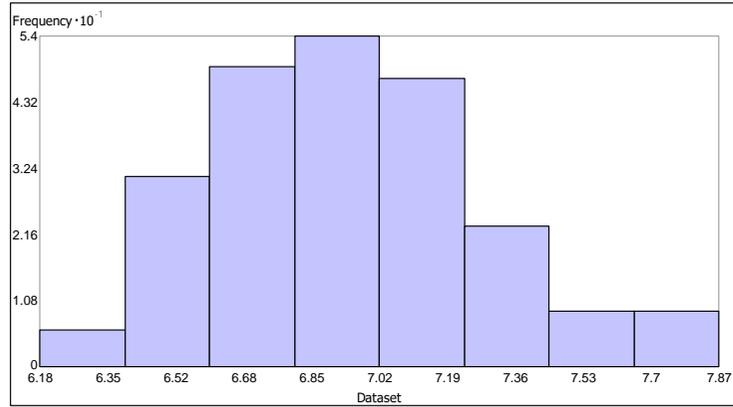
171	PENIPE	Rio Ventanas	792350.0	9818135.0	1619	1400	1201	1027	1270	1865	1181	1280	2228	1572	1343
172	PENIPE	PENIPE 1	791633.6	9822116.2	1545	1313	1104	955	1193	1796	1103	1208	2186	1458	1253
173	PENIPE	PENIPE 2	778134	9839293	1038	857	755	629	790	1245	729	830	1541	942	829
174	PENIPE	Volcan el Altar	784686.6	9827055	1407	1203	1047	885	1095	1647	1010	1126	2024	1331	1144
175	PENIPE	PENIPE 3	783961	9836315	1305	1113	1014	833	1016	1536	953	1059	1849	1250	1061
176	PENIPE	PENIPE 4	790384	9820092	1372	1208	1094	909	1097	1585	1014	1119	1929	1350	1156
177	PENIPE	PENIPE 5	784376	9817707	1194	1067	1017	821	970	1381	891	1002	1698	1187	1020
178	PENIPE	PENIPE 6	779958	9822655	1324	1145	1024	855	1038	1540	945	1071	1934	1248	1087
179	PENIPE	PENIPE 7	785966	9821241	1403	1222	1081	905	1106	1639	1016	1136	2021	1345	1157
180	PENIPE	PENIPE 8	789236	9829811	1475	1224	1017	881	1117	1727	1043	1138	2075	1372	1174
181	PENIPE	PENIPE 9	788700	9825001	1479	1234	1023	892	1123	1722	1044	1140	2088	1375	1182
182	PENIPE	PENIPE 10	779749	9819407	1269	1119	1021	843	1012	1469	919	1045	1851	1220	1060
183	PENIPE	PENIPE 11	785095	9831963	1351	1127	961	820	1028	1587	955	1060	1944	1250	1078
184	PENIPE	PENIPE 12	779500	9832958	1067	901	773	653	821	1268	755	854	1590	987	856
185	PENIPE	PENIPE 14	776144	9827612	917	787	696	584	722	1088	652	751	1394	862	754
186	PENIPE	PENIPE 13	793140	9831803	1603	1345	1122	970	1222	1878	1155	1246	2204	1528	1288
187	RIOBAMBA	TUNSHI	764087	9806678	754	690	675	540	625	860	540	656	1167	719	612.70
188	RIOBAMBA	QUIMIAG	770083	9816392	926	804	729	607	734	1076	650	764	1417	866	515.80
189	RIOBAMBA	SAN JUAN	746596	9818849	854	749	774	606	670	935	585	726	1237	798	401.81
190	RIOBAMBA	RIOBAMBA	762273	9817120	651	586	586	469	539	760	469	571	1016	632	596.10
191	RIOBAMBA	RIOBAMBA 1	736408.4	9823526.0	859	764	858	643	676	936	614	768	1085	867	699
192	RIOBAMBA	RIOBAMBA 2	783926.5	9813738.9	1150	1039	1003	809	950	1323	866	976	1641	1155	996
193	RIOBAMBA	RIOBAMBA 3	753768.3	9810052.9	869	781	778	618	690	955	595	738	1311	785	734
194	RIOBAMBA	RIOBAMBA 4	758124.5	9800335.2	882	808	787	634	716	966	608	750	1319	813	750
195	RIOBAMBA	RIOBAMBA 5	769182.5	9796314.1	1232	1107	991	839	986	1360	847	998	1810	1149	1035
196	RIOBAMBA	RIOBAMBA 6	774745	9794381	1258	1149	1049	875	1025	1404	894	1042	1830	1218	1073
197	RIOBAMBA	RIOBAMBA 7	767412	9794558	1096	979	889	754	880	1203	748	894	1643	1014	925
198	RIOBAMBA	RIOBAMBA 8	775541	9798092	1204	1103	1034	846	984	1355	866	1011	1752	1176	1036

199	RIOBAMBA	RIOBAMBA 9	761404	9798269	994	882	834	692	795	1086	676	821	1492	911	839
200	RIOBAMBA	RIOBAMBA 10	764143	9803570	910	808	786	641	735	1006	628	765	1385	844	777
201	RIOBAMBA	RIOBAMBA 11	758665	9803570	906	812	794	641	726	994	622	764	1369	825	767
202	RIOBAMBA	RIOBAMBA 12	755042	9809578	913	803	787	636	720	1006	622	760	1385	829	773
203	RIOBAMBA	RIOBAMBA 13	782256	9813201	1266	1123	1038	856	1017	1457	918	1047	1845	1223	1070
204	RIOBAMBA	RIOBAMBA 14	773862	9820622	1092	927	813	686	843	1270	757	870	1641	1003	888
205	RIOBAMBA	RIOBAMBA 15	766352	9816558	703	629	605	491	579	823	509	610	1089	682	607
206	RIOBAMBA	RIOBAMBA 16	761934	9812405	680	625	618	493	572	790	494	601	1065	659	594
207	RIOBAMBA	RIOBAMBA 17	753187	9819209	829	718	738	585	650	910	564	695	1226	773	691
208	RIOBAMBA	RIOBAMBA 18	749211	9823361	912	792	811	635	711	1015	625	771	1343	853	761
209	RIOBAMBA	RIOBAMBA 19	740464	9820004	946	833	877	674	742	1058	648	819	1316	904	766
210	RIOBAMBA	RIOBAMBA 20	738874	9833699	748	658	750	563	603	849	537	672	1029	764	617
211	RIOBAMBA	RIOBAMBA 21	741436	9831578	861	752	823	625	687	981	608	755	1232	854	710
212	RIOBAMBA	RIOBAMBA 22	738343	9825394	873	766	842	637	693	984	615	771	1200	861	713
213	RIOBAMBA	RIOBAMBA 23	744882	9826542	1026	895	927	712	800	1164	708	881	1479	969	845
214	RIOBAMBA	RIOBAMBA 24	783591.1	9801005.4	1452	1308	1165	985	1175	1637	1049	1184	2056	1411	1239
215	RIOBAMBA	RIOBAMBA 25	787612.5	9793968.5	1513	1384	1237	1043	1240	1701	1114	1241	2095	1499	1310
216	RIOBAMBA	RIOBAMBA 26	783758	9794735	1506	1363	1187	1019	1220	1691	1082	1220	2133	1461	1280
217	RIOBAMBA	RIOBAMBA 27	776954	9786871	1314	1218	1090	924	1078	1446	926	1082	1873	1277	1117
218	RIOBAMBA	SAN JUAN.CHIMBORAZO	746622.6	9820099.2	752.5	703.8	729.7	402.9	670	935	585	726	1237	798	709
219	RIOBAMBA	ALAO	779982.2	9791632.1	1715.25	2332.3	1501.8	1101.7	1130	1537	983	1135	1972	1349	1176
220	RIOBAMBA	LICTO	767006.7	9800254.9	766.8	925.4	656.2	536.2	903	1255	773	924	1717	1042	961
221	RIOBAMBA	GUASLAN	760215.8	9809636.1	754	621.7	531.6	409.7	625	860	540	656	1167	719	653
222	RIOBAMBA	RIOBAMBA AER.	760348.9	9817471.8	651	586	586	469	539	492.3	485.5	515.3	486.7	491.9	496.2
223	RIOBAMBA	ESPOCH EM	757782.7	9817751.3	718	714.7	537.4	513.6	564.5	461.8	544.7	774.2	758.5	940.4	461.1
224	TUNGURAH UA	BAÑOS	787319.4	9846052.1	1304.6	1240.6	1226.7	1380.1	1015	1558	956	1063	1835	1230	1055

225	TUNGURAH UA	HUAMBALO	775133.1	9846526.2	657.6	790.0	750	809	755	1193	699	799	1467	905	790
226	TUNGURAH UA	PILAHUIN	752348.5	9856013	804.4	838.6	764.9	621.4	724	1151	663	799	1450	837	723
227	TUNGURAH UA	QUEROCHACA	766444	9848747.7	698.7	741.9	549.5	571.2	630	992	580	681	1228	752	656
228	TUNGURAH UA	RIO VERDE	800990.9	9844961	2615.1	1507.0	1272	3009.3	1633	2504	1581	1686	2786	2067	1717
229	TUNGURAH UA	TISALEO	759240.3	9850844.3	756.7	756.4	631.6	613.4	775	1235	705	842	1566	911	800

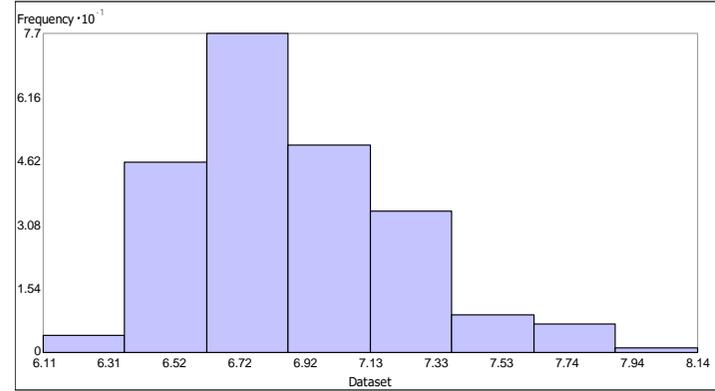
ANEXO C: HISTOGRAMAS DEL ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Histogram
Transformation: Log



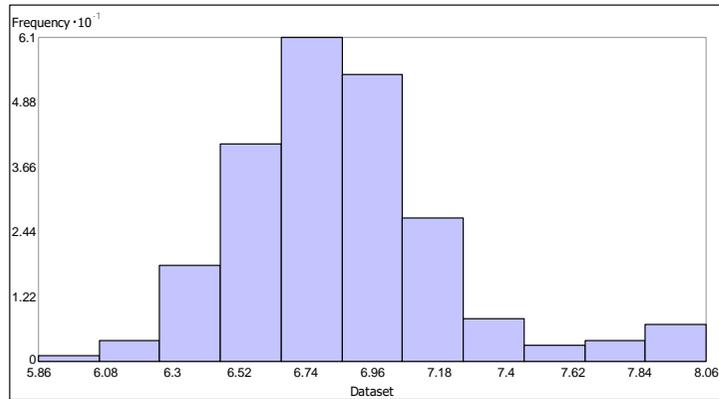
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2010

Histogram
Transformation: Log



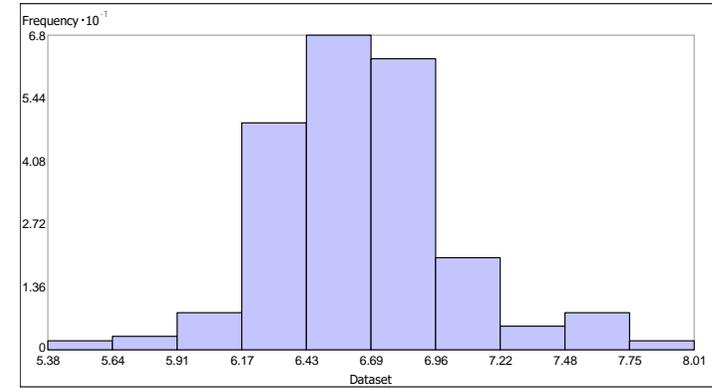
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2011

Histogram
Transformation: Log



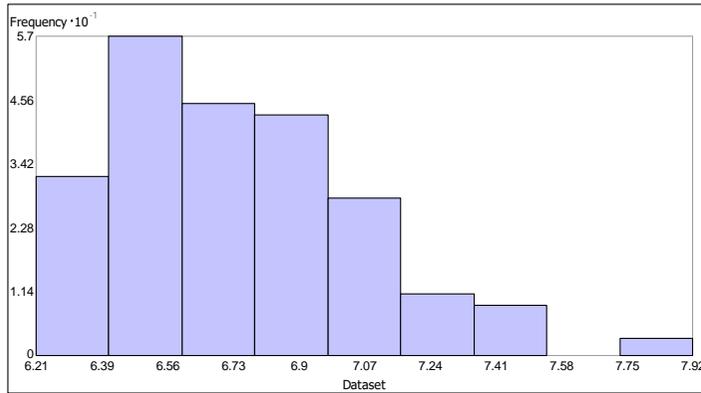
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2012

Histogram
Transformation: Log



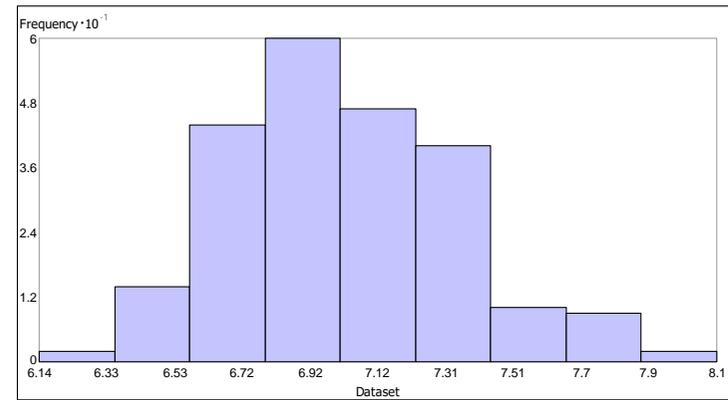
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2013

Histogram
Transformation: Log



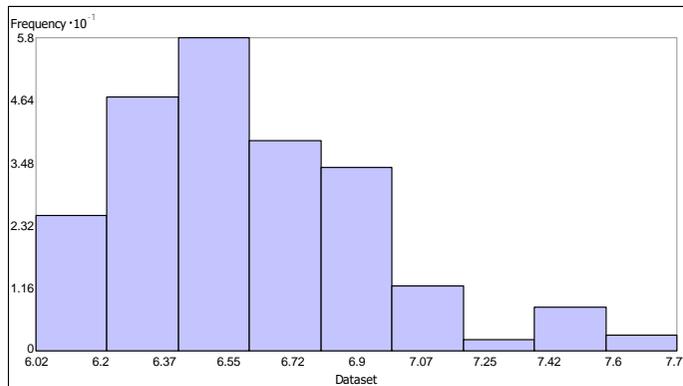
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2014

Histogram
Transformation: Log



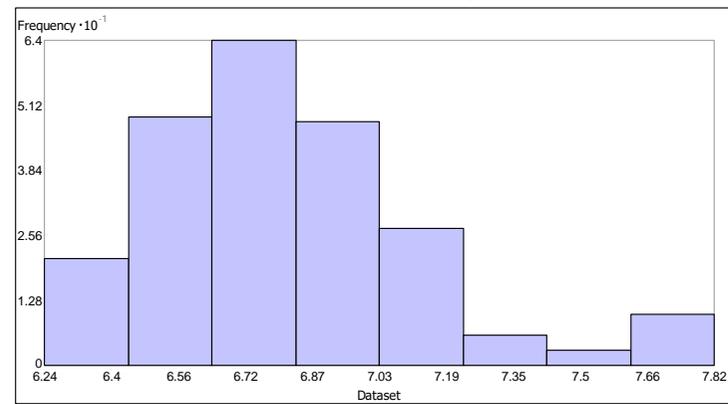
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2015

Histogram
Transformation: Log



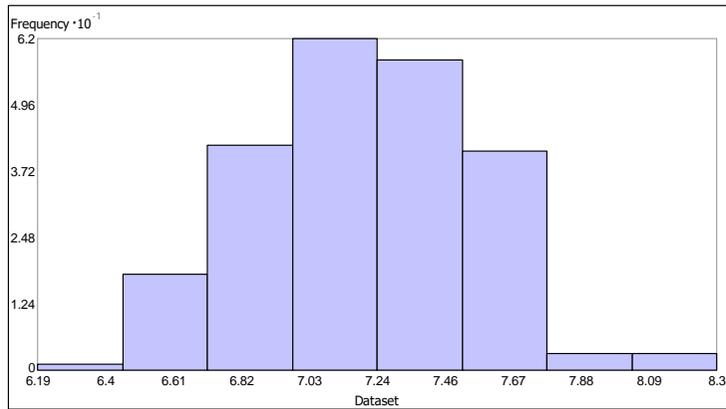
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2016

Histogram
Transformation: Log



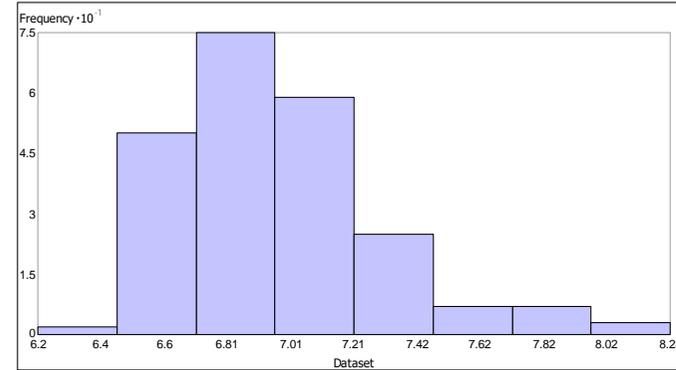
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2017

Histogram
Transformation: Log



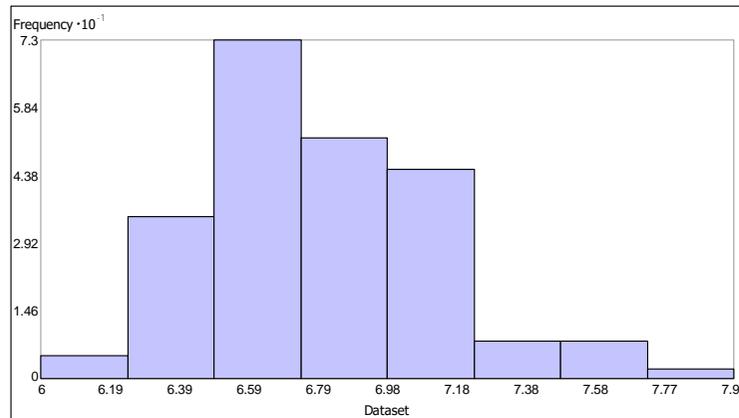
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2018

Histogram
Transformation: Log



Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2019

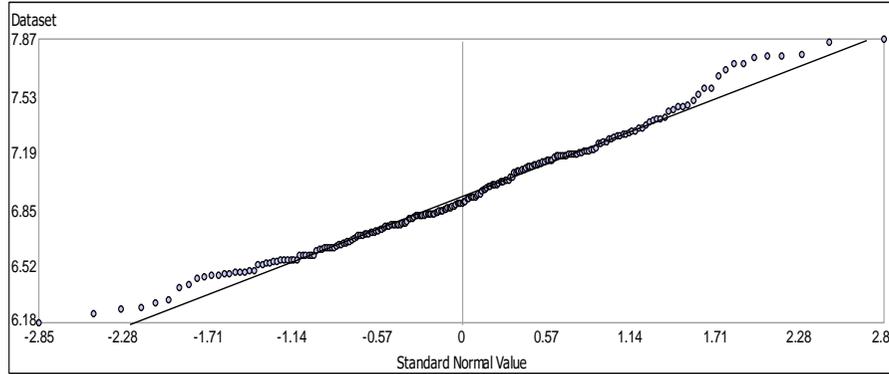
Histogram
Transformation: Log



Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2020

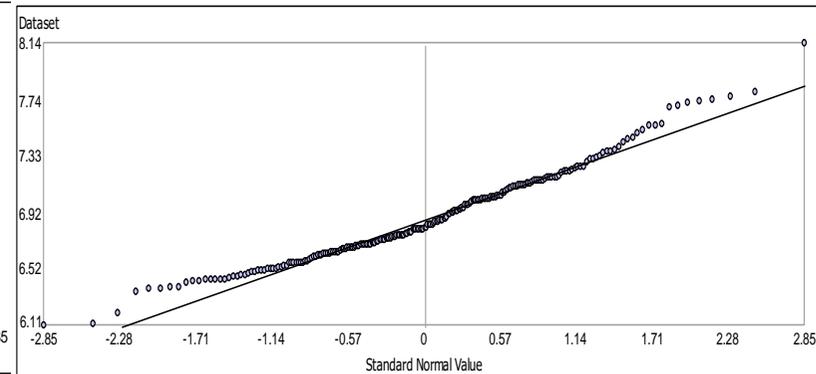
ANEXO D: GRÁFICOS DE NORMALIDAD DEL ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Normal QQPlot
Transformation: Log



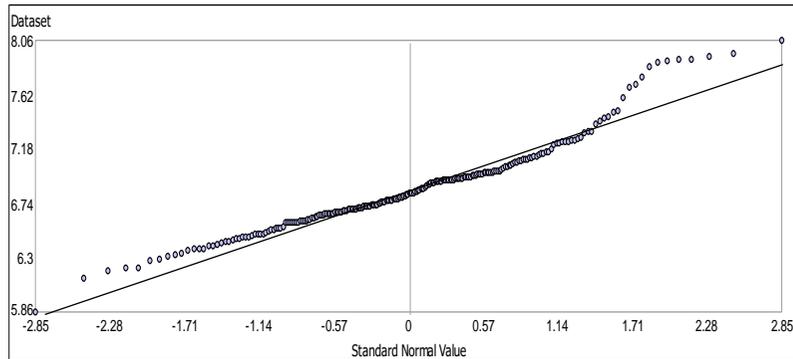
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2010

Normal QQPlot
Transformation: Log



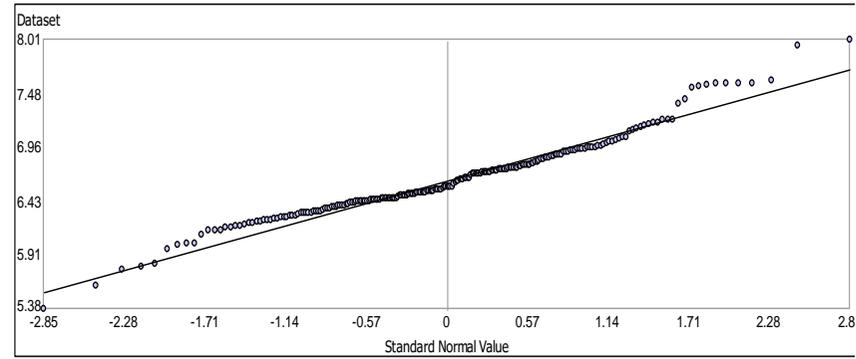
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2011

Normal QQPlot
Transformation: Log



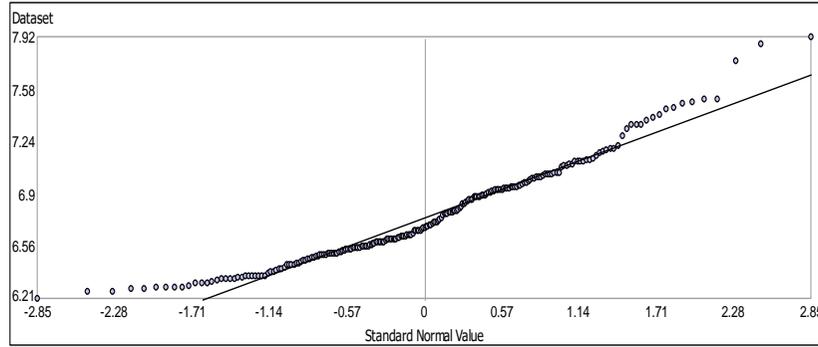
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2012

Normal QQPlot
Transformation: Log



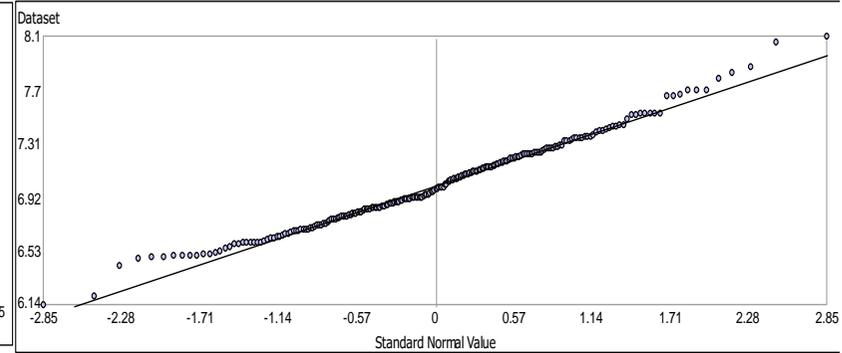
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2013

Normal QQPlot
Transformation: Log



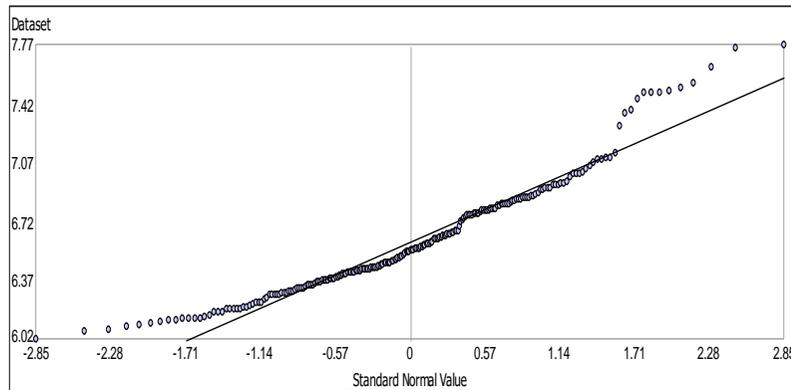
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2014

Normal QQPlot
Transformation: Log



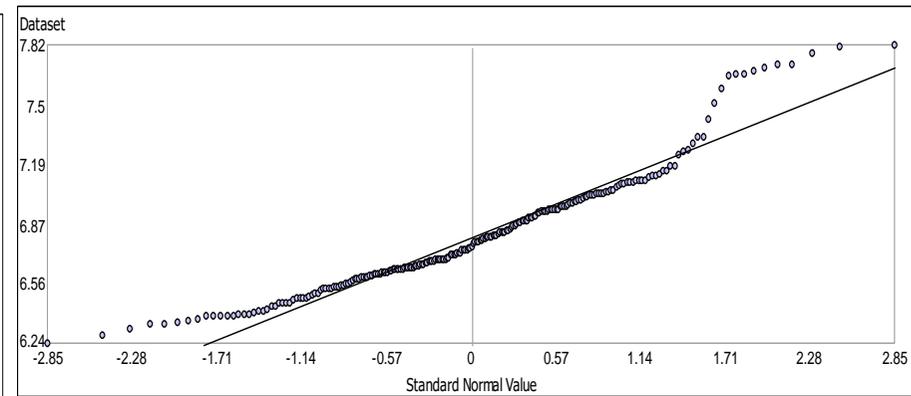
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2015

Normal QQPlot
Transformation: Log



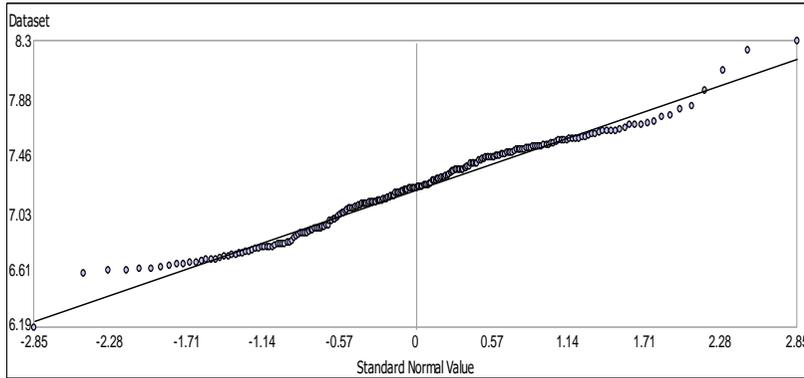
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2016

Normal QQPlot
Transformation: Log



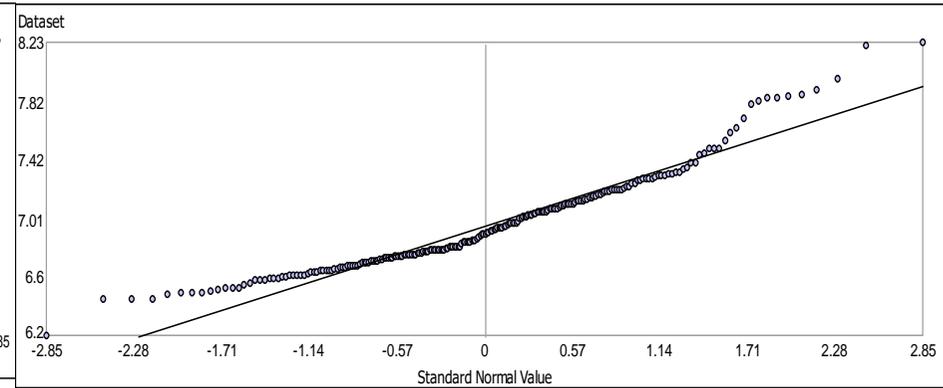
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2017

Normal QQPlot
Transformation: Log



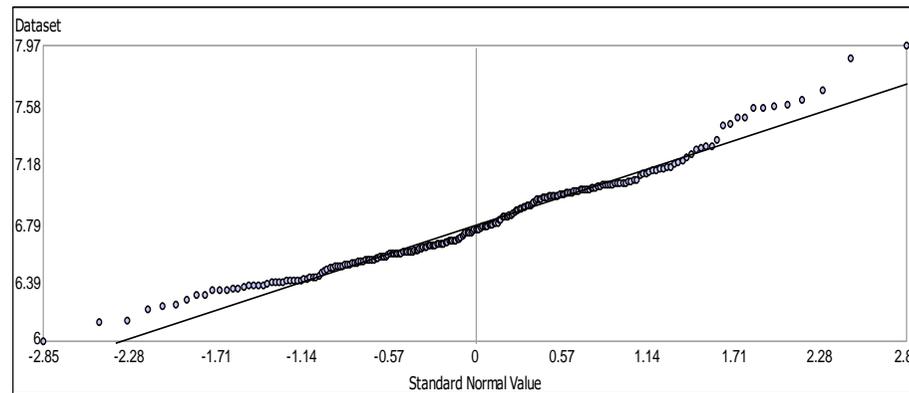
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2018

Normal QQPlot
Transformation: Log



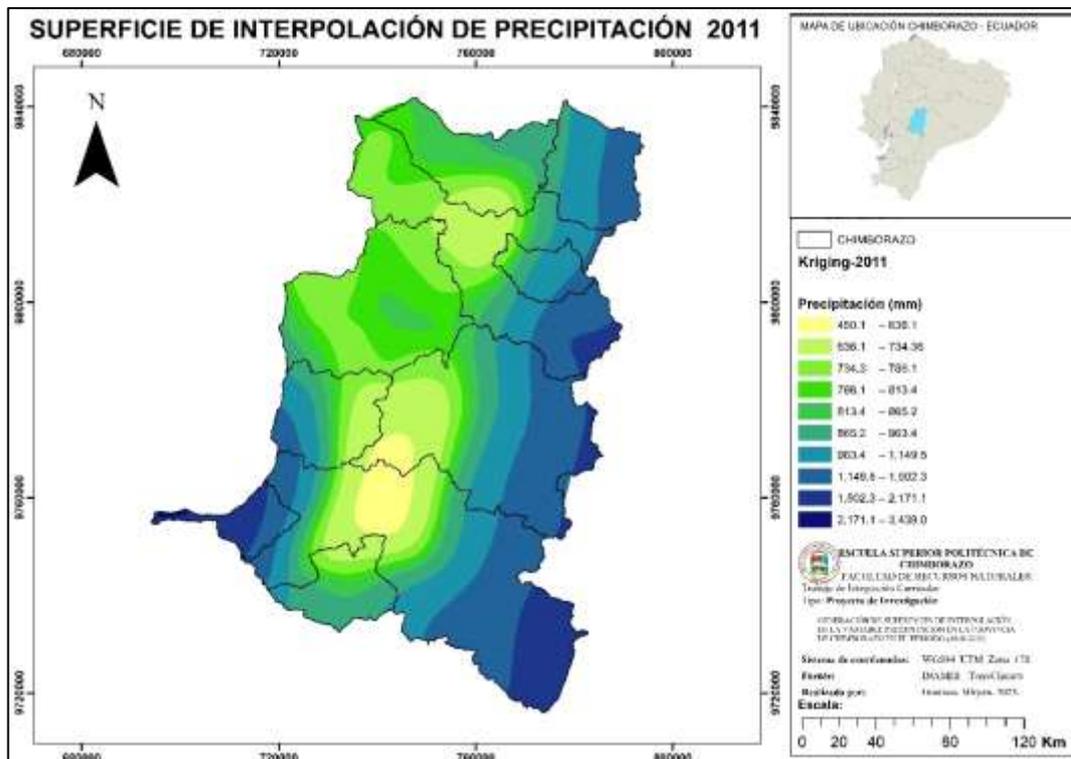
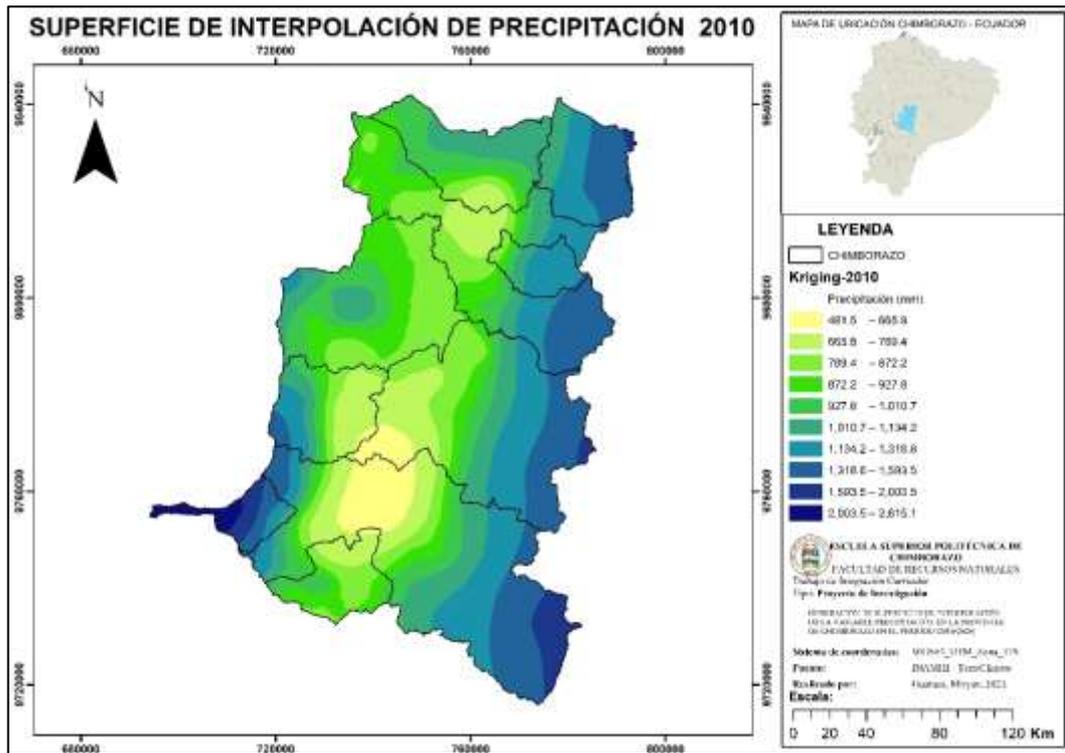
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2019

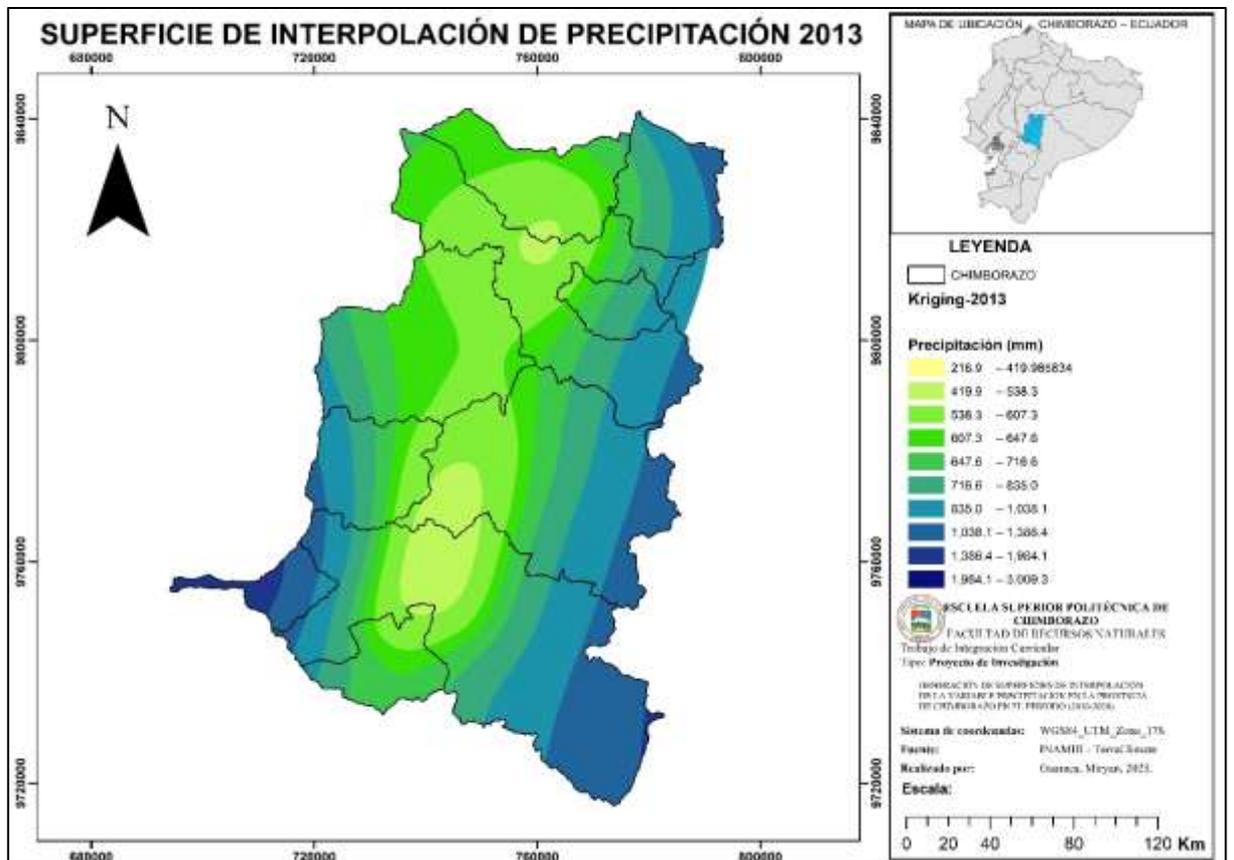
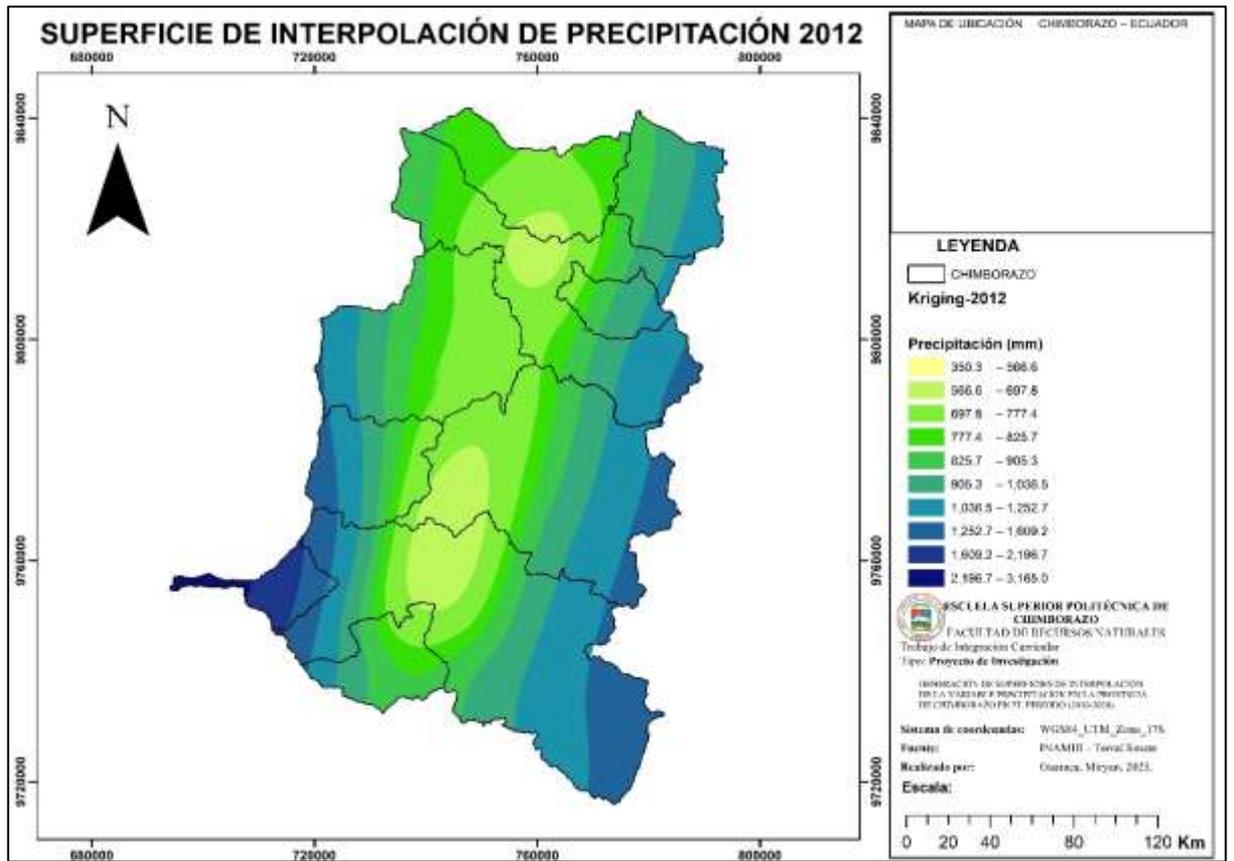
Normal QQPlot
Transformation: Log

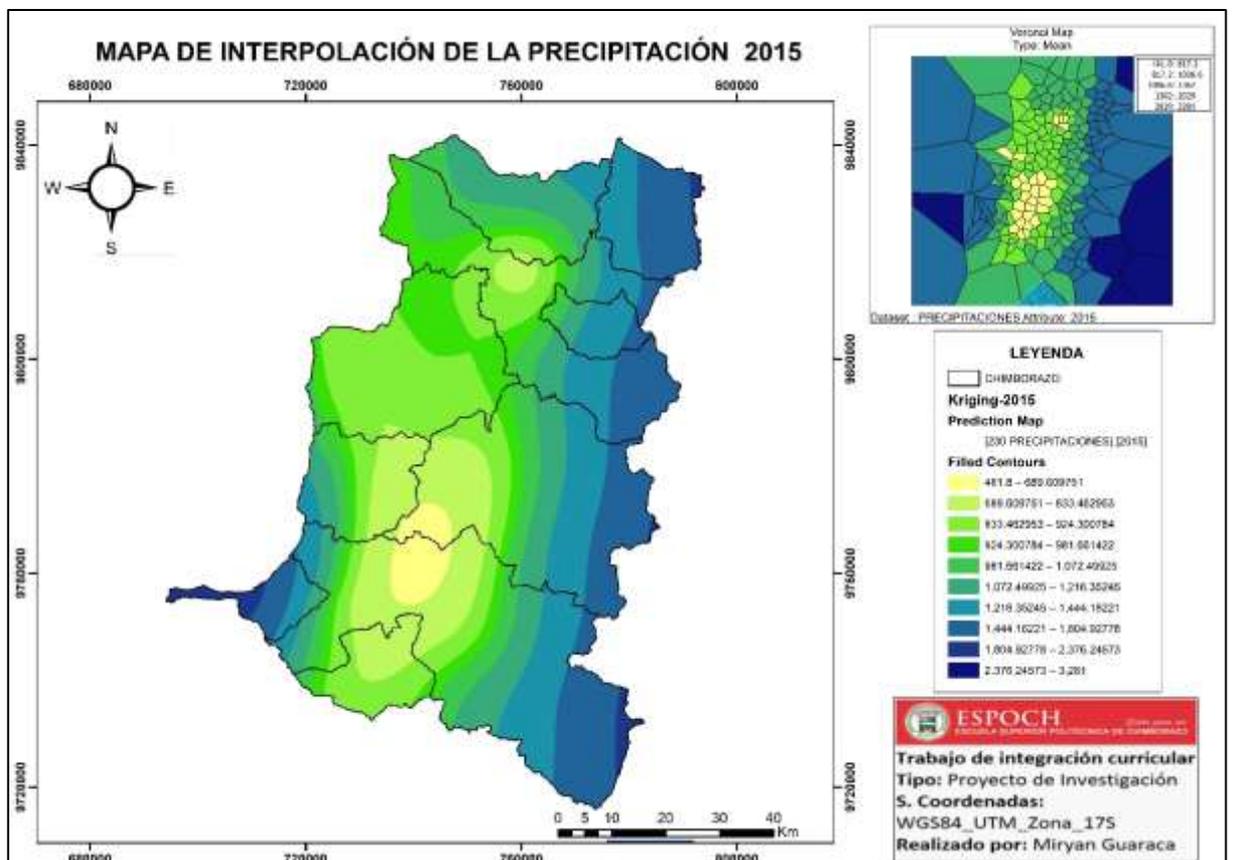
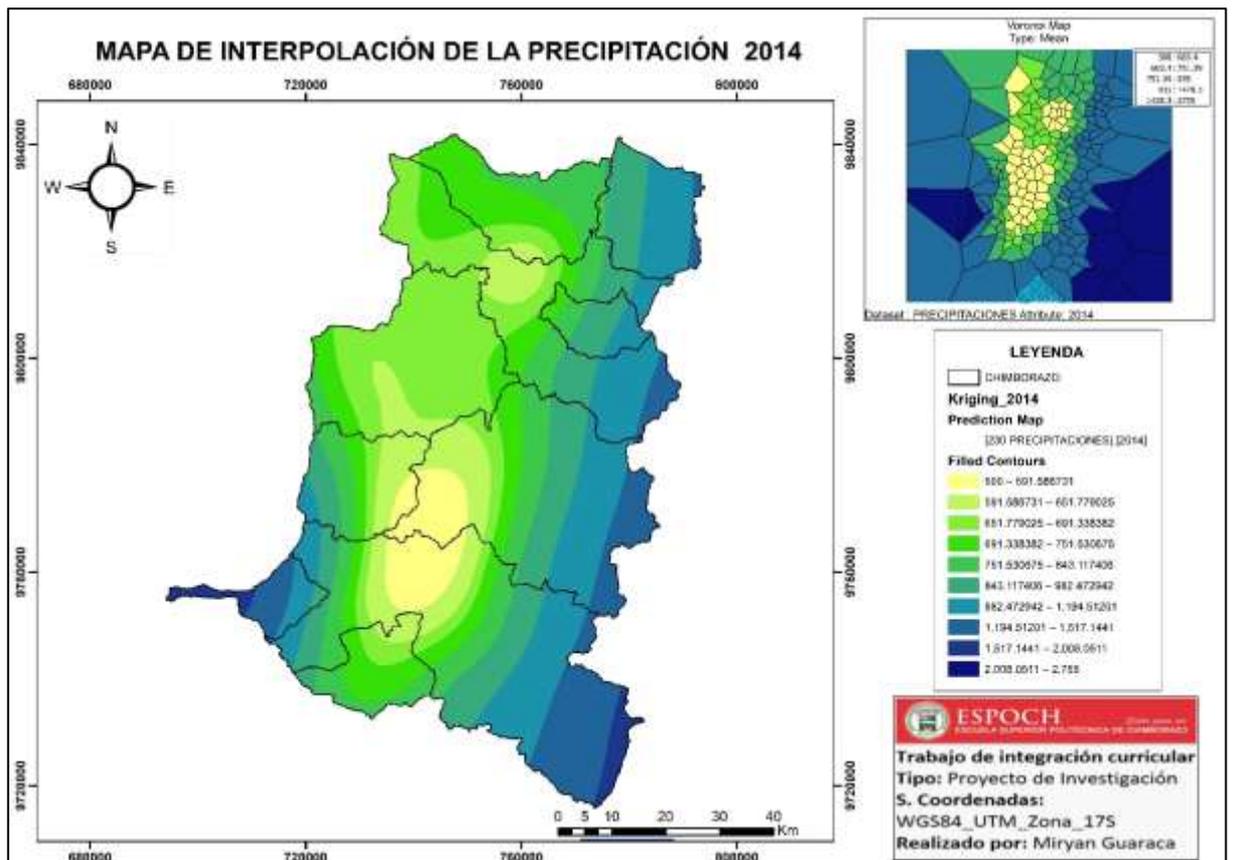


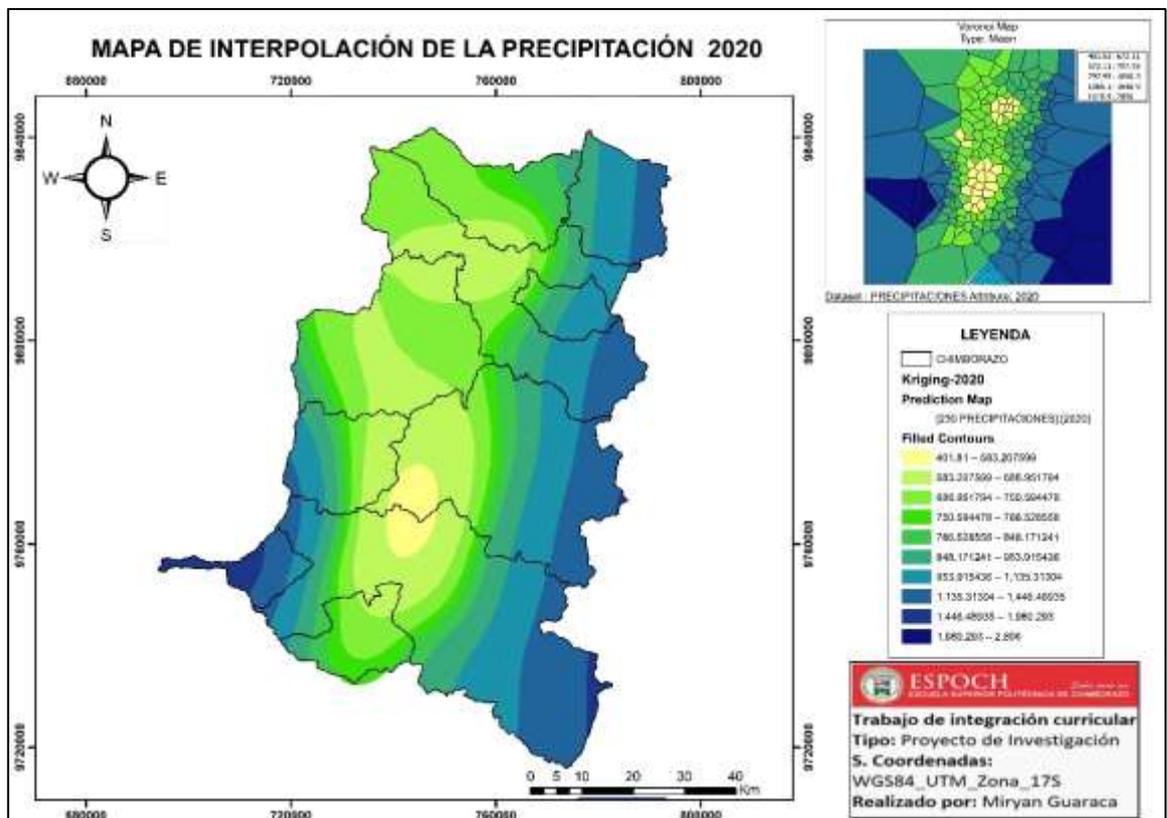
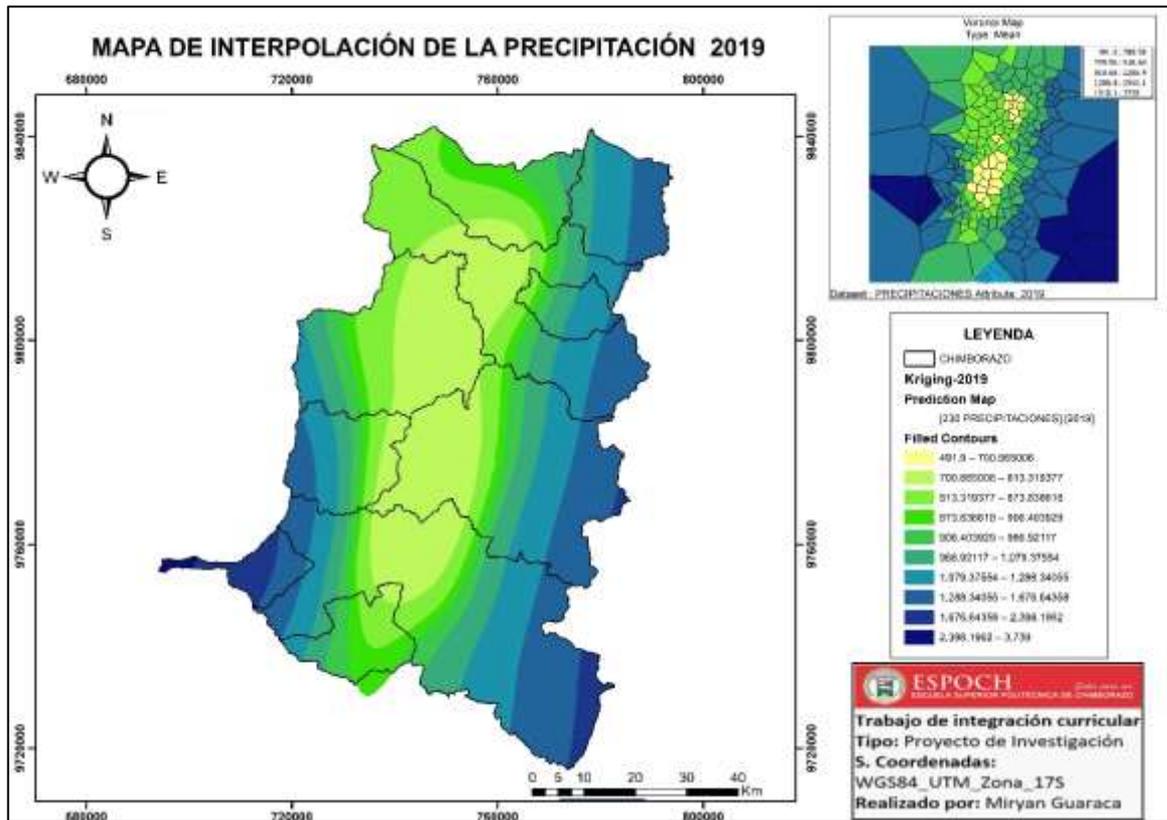
Dataset : PRECIPITACIONES Attribute: 2020

ANEXO E: MAPAS DE INTERPOLACIÓN KRIGING DE LOS AÑOS 2010 AL 2020

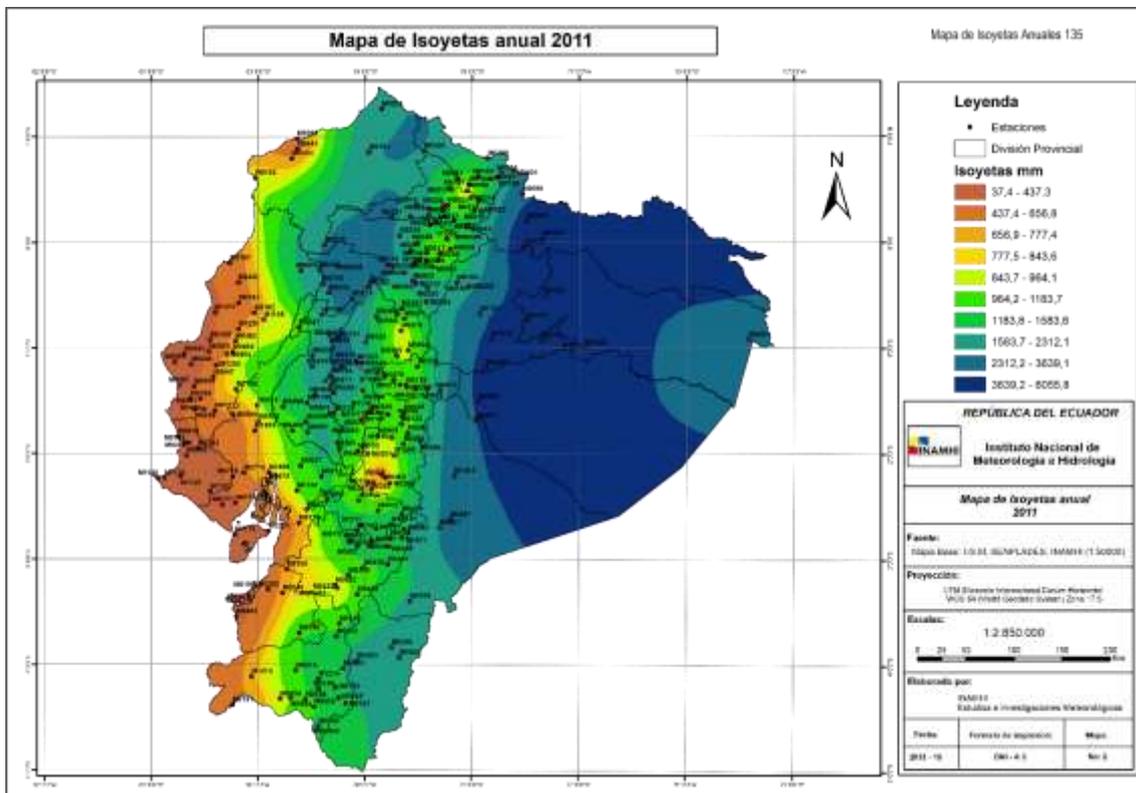
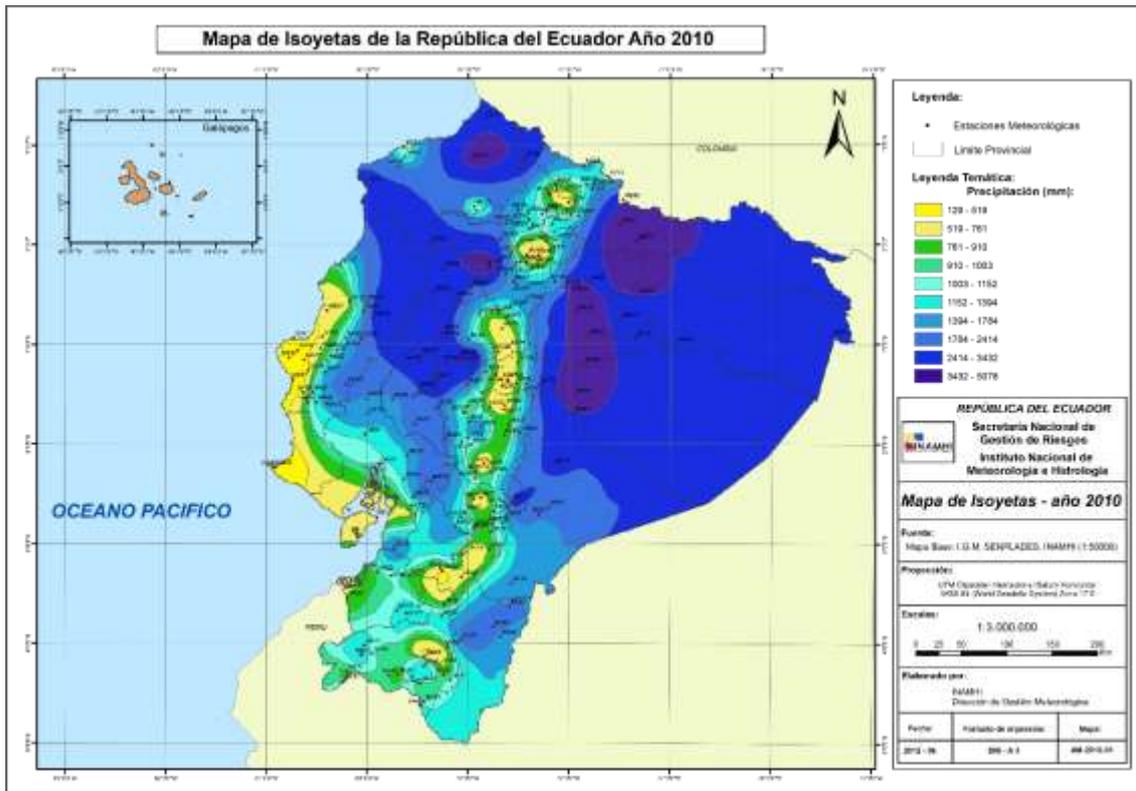




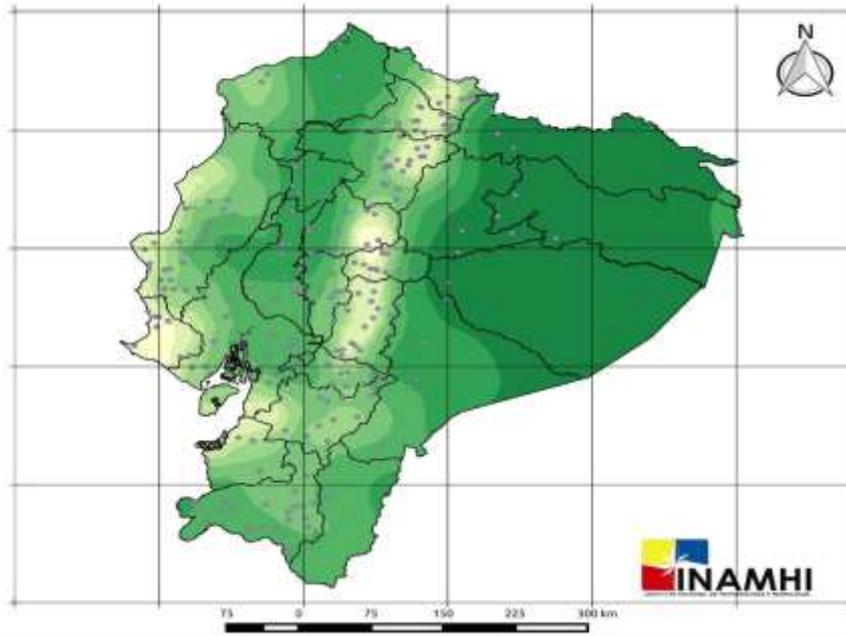




ANEXO F: MAPAS DE ISOYETAS INAMHI



MAPA DE ISOYETAS AÑO 2012



Legenda

- División Provincial
- Estaciones

Precipitación año 2012 (mm)

- 172.1 - 584.8
- 584.8 - 997.5
- 997.5 - 1410.1
- 1410.1 - 1822.8
- 1822.8 - 2235.5
- 2235.5 - 2648.2
- 2648.2 - 3060.9
- 3060.9 - 3473.1

REPUBLICA DEL ECUADOR
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

Mapa de isoyetas año 2012

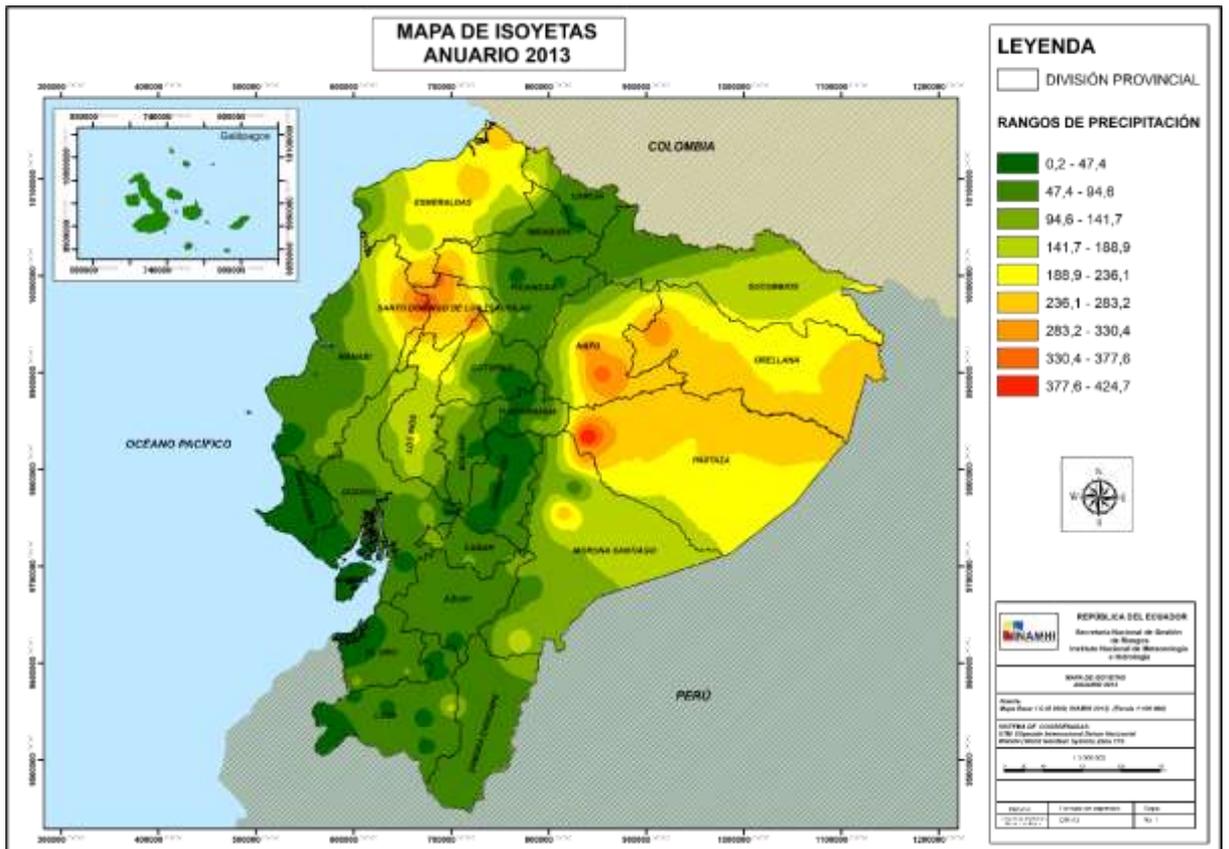
Fuente:
 Base Base: I.G.M, SEMPLADES, INAMHI

Proyección:
 UTM (Sistema Internacional Datum Horizontal WGS84 (World Geodetic System) Zona 17 S.

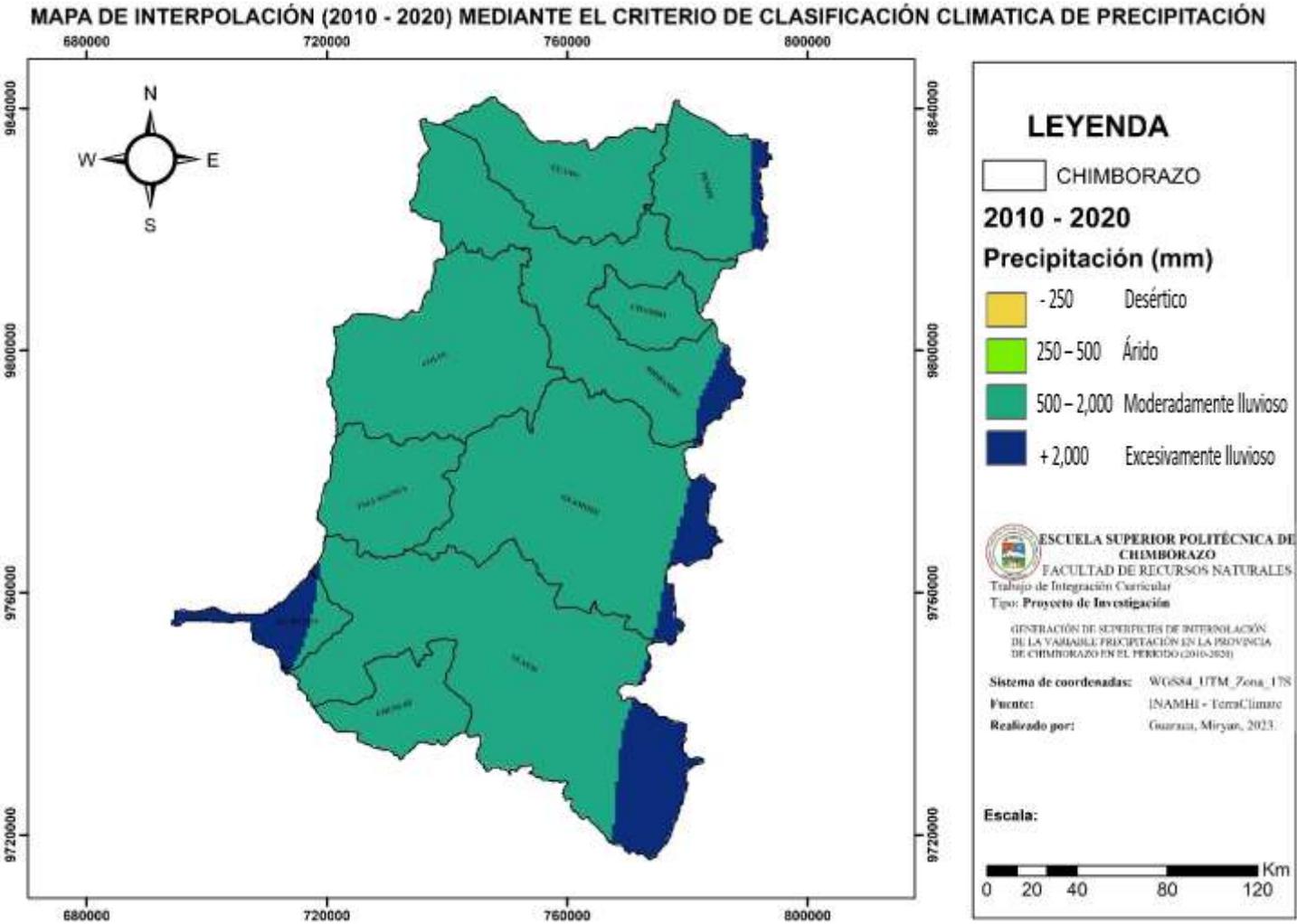
Escala:
 1:200000

Elaborado Por:
 INAMHI Estudios e Investigaciones Meteorológicas

Fecha	Formato de Impresión	Mapa
21-01-2013	DIN A3	MP 2



ANEXO G: MAPA CON CRITERIO DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE PRECIPITACIÓN PARA EL PERIODO DE ESTUDIO





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 07 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: Miryan Jhosany Guaraca Bocon

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad:

Carrera: Recursos Naturales Renovables

Título a optar: Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz



1358-DBRA-UTP-2023



epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**