



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE FÍSICA

**“AJUSTE DE MODELOS A GRAN ESCALA DE LA
PRECIPITACIÓN HÍDRICA EN LA PROVINCIA DE
CHIMBORAZO UTILIZANDO DATOS RÁSTER Y
VECTORIALES”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Integrador

Presentado para optar el grado académico de:

FÍSICA

AUTORA: LIZBETH CAROLINA SANUNGA GUANANGA

DIRECTOR: Dr. ARQUÍMIDES XAVIER HARO VELASTEGUÍ PhD.

Riobamba – Ecuador

2021

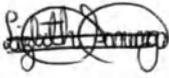
© 2021, **Lizbeth Carolina Sanunga Guananga**

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

Yo, Lizbeth Carolina Sanunga Guananga, declaro que el presente trabajo de titulación 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 titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 25 de marzo de 2021



Lizbeth Carolina Sanunga Guananga

060498909-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Integrador, **“AJUSTE DE MODELOS A GRAN ESCALA DE LA PRECIPITACIÓN HÍDRICA EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO UTILIZANDO DATOS RÁSTER Y VECTORIALES”**, realizado por la señorita: **LIZBETH CAROLINA SANUNGA GUANANGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Biof. Vilma Nohemi Yanchapanta Bastidas MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-08-25
Dr. Arquímides Xavier Haro Velasteguí PhD. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-08-25
Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-08-25

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico principalmente a Dios y a mi hijo Thiago que es el pilar fundamental, a mis padres que siempre me motivaron y me apoyaron para seguir esforzando en el ámbito académico. A los docentes de la carrera de Física que compartieron su conocimiento para culminar esta etapa importante de la vida.

Lizabeth

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitir cumplir esta meta y darme fuerzas para seguir superando. A mi familia, especialmente a mi madre por el apoyo incondicional y la confianza que ha depositado en mi persona. A la institución por darme la oportunidad de obtener una profesión. Al Dr. Arquímedes Haro, Ing. Romel Palaguachi, Ing. Diego Damián por el desarrollo en la tesis con su valioso conocimiento y finalmente a mis amigos me acompañaron esta etapa de la vida.

Lizbeth

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.2.1. <i>Enunciado del problema</i>	4
1.2.2. <i>Formulación del problema (hipótesis)</i>	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.4.2. <i>Objetivo Específicos</i>	5
1.5. Marco Teórico.....	5
1.5.1. <i>Ciclo hidrológico</i>	5
1.5.2. <i>Dinámica atmosférica</i>	6
1.5.3. <i>Meteorología y Climatología</i>	7
1.5.4. <i>Estación Meteorológica</i>	7
1.5.5. <i>Precipitación</i>	7
1.5.5.1. <i>Proceso de Precipitación</i>	8
1.5.5.2. <i>Tipos de Precipitación</i>	9
1.5.5.3. <i>Intensidad de la precipitación</i>	10
1.5.6. <i>Modelos Físico – Matemáticos</i>	10
1.5.7. <i>ArcGIS</i>	11
1.5.7.1. <i>ArcMap</i>	11
1.5.8. <i>Modelos ráster</i>	13
1.5.9. <i>Modelos Vectoriales</i>	13
1.5.10. <i>Sistemas de Coordenadas UTM</i>	13

1.5.11. <i>Pixel</i>	14
CAPÍTULO II	15
2. MARCO METODOLÓGICO	15
2.1. Tipo de Investigación	15
2.2. Recolección de datos	15
2.3. Preprocesamiento de datos	15
2.4. Localización de estudio	16
2.5. Población de estudio	17
2.6. Tamaño de muestra	19
2.7. Análisis de datos	19
2.7.1. <i>Power Data Accses Viewer</i>	20
2.7.2. <i>WorldClim</i>	20
2.7.3. <i>Terra Climate</i>	20
2.8. Método Interpolación Kriging	20
2.9. Validación de datos	21
CAPÍTULO III	22
3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	22
3.1. Recolección de datos de la precipitación hídrica	22
3.2. Modelos Climáticos Globales	23
3.3. Modelo Interpolación Kriging de la Precipitación	26
3.3.1. <i>Serviogramas y error para la precipitación (GEAA)</i>	27
3.3.2. <i>Serviogramas y error (Datos Satelitales)</i>	37
3.3.3. <i>Serviogramas y error (GEAA – Datos satelitales)</i>	47
3.4. Validación de los datos	57
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Ubicación de las estaciones del GEAA.....	17
Tabla 1-3:	Precipitación hídrica de la provincia de Chimborazo del 2020 (Datos GEAA)....	22
Tabla 2-3 :	Ubicación de los datos satelitales.....	23
Tabla 3-3:	Precipitación hídrica de la provincia de Chimborazo del 2020 (Datos - Satelitales).....	25
Tabla 4-3:	Puntos seleccionados para la validación.	57
Tabla 5-3:	Datos de la precipitación para la validación cruzada.....	59
Tabla 6-3:	Análisis Estadístico de la precipitación hídrica.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Proceso de precipitación.	9
Figura 1-2.	Distribución de las estaciones del GEAA instaladas en la provincia de Chimborazo.	18
Figura 1-3.	Distribución de datos satelitales al contorno de provincia de Chimborazo.	24
Figura 2-3.	Semivariograma y error referente al 1er trimestre (datos GEAA).	27
Figura 3-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 1er trimestre (GEAA).	28
Figura 4-3.	Semivariograma y error referente al 2do trimestre (datos GEAA).	29
Figura 5-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 2do trimestre (GEAA).	30
Figura 6-3.	Semivariograma y error referente al 3er trimestre (datos GEAA).	31
Figura 7-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 3er trimestre (GEAA).	32
Figura 8-3.	Semivariograma y error referente 4to trimestre (datos GEAA).	33
Figura 9-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 4to trimestre (GEAA).	34
Figura 10-3.	Semivariograma y error anual (datos GEAA).	35
Figura 11-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación anual (GEAA).	36
Figura 12-3.	Semivariograma y error referente al 1er trimestre (datos satelitales).	37
Figura 13-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 1er trimestre (datos satelitales).	38
Figura 14-3.	Semivariograma y error referente al 2do trimestre (datos satelitales).	39
Figura 15-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 2do trimestre (datos satelitales).	40
Figura 16-3.	Semivariograma y error referente al 3er trimestre (datos satelitales).	41
Figura 17-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 3er trimestre (datos satelitales).	42
Figura 18-3.	Semivariograma y error referente al 4to trimestre (datos satelitales).	43
Figura 19-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 4to trimestre (datos satelitales).	44
Figura 20-3.	Semivariograma y error anual (datos satelitales).	45
Figura 21-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación anual (datos satelitales).	46
Figura 22-3.	Semivariograma y error referente al 1er trimestre (GEAA-datos satelitales).	47

Figura 23-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 1er trimestre (GEAA-datos satelitales).	48
Figura 24-3.	Semivariograma y error referente al 2do trimestre (GEAA-datos satelitales). ...	49
Figura 25-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 2do trimestre (GEAA-datos satelitales).	50
Figura 26-3.	Semivariograma y error referente al 3er trimestre (GEAA-datos satelitales).	51
Figura 27-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 3er trimestre (GEAA-datos satelitales).	52
Figura 28-3.	Semivariograma y error referente al 4to trimestre (GEAA-datos satelitales).	53
Figura 29-3.	Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 4to trimestre (GEAA-datos satelitales)	54
Figura 30-3.	Semivariograma y error referente anual (GEAA-datos satelitales).	55
Figura 31-3.	Mapa de interpolación Kriging anual (GEAA-datos satelitales).	56
Figura 32-3.	Mapa de los puntos seleccionado para la validación.	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3.	Variación de la precipitación hídrica.....	60
---------------------	--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE ATILLO
- ANEXO B:** ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE TUNSHI
- ANEXO C:** ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SAN JUAN
- ANEXO D:** PLUVIÓMETRO INSTALADO EN LAS ESTACIONES
- ANEXO E:** PÁGINA WEB QUE PROPORCIONA DATOS DE PRECIPITACIÓN
- ANEXO F:** APLICACIÓN DE MAPEO WEB POWER DATA ACCESS VIEWER
- ANEXO G:** SOFTWARE ARCMAP DE ARCGIS

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo ajustar modelos globales a gran escala de la precipitación hídrica en la provincia de Chimborazo, mediante el análisis de las series registradas en las estaciones del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) del año 2020. Además, se determinó el modelo global que se ajustó al comportamiento de la provincia de Chimborazo. Se generó y ajustó contornos en ArcGIS con la base de datos de las estaciones del GEAA y datos del modelo global. El ajuste de los modelos globales se dio mediante la realización de una base de datos de la precipitación hídrica con ocho estaciones del GEAA ubicadas en la provincia. Se estudiaron tres modelos globales el cual se eligió mediante su resolución espacial, que se ajustó a las series registradas. Una vez determinado el modelo se procedió a ajustar los contornos en ArcGIS mediante el método de interpolación de Kriging – ordinario donde se generaron mapas con una capacidad predictiva. Para el análisis estadístico se usó la técnica de la validación cruzada para la precipitación hídrica, dando un error del 4% donde está en rango aceptable y se da una validez del modelo usado. Se concluyó que el modelo *Power Data Accses Viewer* escogido se adapta a las condiciones de la provincia de Chimborazo. Se recomienda seguir con la investigación y el estudio de modelos globales que se ajuste a las condiciones de la provincia.

Palabras clave: <PRECIPITACIÓN HÍDRICA>, <CHIMBORAZO (PROVINCIA)>, <GRUPO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y AMBIENTE (GEAA) >, <MODELOS GLOBALES>, <POWER DATA ACCESS VIEWER>, <ARCGIS>, <INTERPOLACIÓN KRIGING>.



1814-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The aim of this degree work was to adjust large-scale global models of water precipitation in the province of Chimborazo, by analysing the series recorded at the stations of the Alternative Energies and Environment Group (GEAA) for the year 2020. In addition, the global model was determined and adjusted to the behaviour of the province of Chimborazo. Contours were generated and adjusted in ArcGIS with the database of the GEAA stations and data from the global model. The adjustment of the global models was done through the creation of a database of water precipitation with eight GEAA stations located in the province. Three global models were studied and chosen based on their spatial resolution, which was adjusted to the recorded series. Once the model was determined, the contours were adjusted in ArcGIS using the Kriging-ordinary interpolation method, which generated maps with predictive capacity. For the statistical analysis, the cross-validation technique was used for water precipitation, giving an error of 4%, which is within the acceptable range and gives validity to the model used. It was concluded that the Power Data Access Viewer model chosen is adapted to the conditions of the province of Chimborazo. It is recommended to continue with the research and study of global models that fits the conditions of the province.

Keywords: <WATER PRECIPITATION>, <CHIMBORAZO (PROVINCE)>, <ALTERNATIVE ENERGY AND ENVIRONMENT GROUP (GEAA) >, <GLOBAL MODELS>, <POWER DATA ACCESS VIEWER>, <ARCGIS, <INTERPOLATION KRIGING>.

INTRODUCCIÓN

La Climatología y la meteorología son ciencias que su principal objetivo es el estudio de la atmósfera, dónde la climatología se encarga del estudio de los estados medios y el régimen de la atmósfera sobre un lugar determinado, a cambio la meteorología es la ciencia física de la atmósfera que estudia los fenómenos atmosféricos para poder prever su modificación o variabilidad (Quereda, 2005, p.19).

En este trabajo se aplica la Climatología Dinámica, que estudia la dinámica atmosférica y los fenómenos meteorológicos que tiene lugar en un espacio geográfico determinado. Su objetivo se dirige a comprender el fenómeno de la precipitación hídrica como el resultado y manifestación de una serie de fenómenos concatenados, que pueden ser interpretados por los mapas del tiempo y generalizados o ajustados en situaciones atmosféricas que aparecen con cierta regularidad y que se definen como tipos de tiempo. En estudios anteriores realizados, sobre las variables meteorológicas han permitido visualizar factores que influyen en diferentes zonas del país.

El ciclo hidrológico es base fundamental del clima que abarca un proceso, es decir tiene una interacción con las circulaciones atmosféricas globales como regionales. Donde este va a interactuar con las nubes y sistemas climáticos, la cual este volverá a la superficie como precipitación (UNIVERSIDAD DE ILLINOIS URBANA-CHAMPAIGN, 2020, párr.2).

La precipitación es una parte principal del ciclo del hidrológico, que es responsable del agua dulce de la Tierra, este proceso inicia cuando los niveles de vapor de agua en la atmosfera obtienen la saturación, de modo que el vapor del agua se condensa. Cuando esta cae a la superficie tiene varios destinos dependiendo del lugar, es decir si esta posee vegetación quedará retenida en cualquier parte de la planta, así también puede caer en forma de lluvia donde se infiltrará en el suelo, además puede caer en forma de nieve donde permanecerá por un lapso de tiempo (NASA Earth Sciences, 2020, párr.1).

La precipitación hídrica en la provincia de Chimborazo es muy compleja en sí, como producto de su irregularidad en su clima. Esta irregularidad es consecuencia de la influencia de factores planetarios como el desplazamiento de la Zona de convergencia Intertropical (ZCIT), El niño-Oscilación del Sur (ENOS) y el efecto de la cordillera de los Andes (Borja, 2020, p.1).

El estudio del clima en la provincia de Chimborazo se realiza principalmente con la información registrada en las estaciones meteorológicas, instaladas por el grupo GEAA (Grupo de Energías Alternativas y Ambiente) y otras instituciones. Donde los modelos de precipitación a gran escala son de gran importancia para poder predecir la precipitación hídrica, sin embargo, en la provincia no funciona adecuadamente, esto se debe a su relieve donde concurren varias corrientes aéreas, así como marinas y diversidad costa sierra.

El presente trabajo de titulación constituye de 3 capítulos:

En el capítulo I se aborda los antecedentes, planteamiento de problema, justificación, objetos y material teórico que será fundamental para el desarrollo y comprensión del trabajo.

El capítulo II se describe el tipo y metodología de investigación que fue utilizada para el desarrollo del trabajo.

El capítulo III está enmarcado en los resultados contenidos con su respectiva discusión.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La utilidad de los modelos físicos – matemáticos en diversas áreas, son de gran aporte, los cuales se encargan del estudio de fenómenos y eventos naturales, proporcionando soluciones con mayor exactitud. Los sistemas ambientales se estudian principalmente usando modelación matemática, con el propósito de comprender la dinámica, el comportamiento espacial y temporal de las variables meteorológicas. La precipitación es medida por estaciones terrestres o radares , donde el observatorio de Medición de la Precipitación Global (GPM) es una red internacional de satélites que proporciona información sobre las observaciones globales de lluvia y nieve además se centra en el despliegue del satélite “Core” el cual este lleva un sistema avanzado de radar para la medición de la precipitación, es decir sirve como una referencia para unificar las mediciones de la precipitación a fin de mejorar la predicción de eventos peligrosos. GPM busca un método único e innovador para medir la precipitación en el espacio mediante la recopilación de observaciones de sensores activos y pasivos, que se convierten en estimaciones cuantitativas de precipitación (MEASUREMENT, 2014,párr.1).

Los radares activos como el de Precipitación de Frecuencia Dual (DPR) de GPM transmiten y reciben señales que se reflejan. La señal devuelta al receptor de radar (llamada reflectividad de radar) proporciona una medida del tamaño y la cantidad de gotas de lluvia o nieve en múltiples capas verticales de la nube. Por otro lado, los radiómetros del Generador de Imágenes de Microondas (GMI), miden la radiación térmica natural (llamada temperaturas de brillo) de la escena de observación completa, incluida la nieve, la lluvia, las nubes y la superficie de la Tierra. La recuperación de precipitaciones mediante algoritmos es el proceso matemático de transformar las reflectividades del radar (Z) y las temperaturas de brillo (TB) en información de precipitación. Estos algoritmos científicos (que se convierten a código informático) son diseñados por el equipo científico de las Misiones de Medición de Precipitación (PMM) y procesado (compilado y ejecutado) por el Sistema de Procesamiento de Precipitación (PPS). El rendimiento del algoritmo se verifica con los datos de Validación Terrestre. En la etapa de desarrollo del algoritmo, los datos pueden usarse para mejorar las estimaciones de lluvia, lo que ayuda a comprender mejor y prepararnos para los eventos climáticos extremos (MEASUREMENT, 2014, párr.2).

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Enunciado del problema

La provincia de Chimborazo está situada en la región interandina donde existe una variación en su altura. Por factores meteorológicos es complicado conocer con exactitud esta estimación de la precipitación hídrica. Esto se debe principalmente a un cambio de temperatura y factores dinámicos complejos que suceden en la atmosfera donde no se pueden describir analíticamente a pesar del desarrollo de la ciencia y tecnología.

Las estaciones implementadas por el grupo GEAA se encuentra la mayoría al norte de la provincia de Chimborazo donde no todas generan datos automáticos de la precipitación por lo que es necesario el uso de datos satelitales.

Los procesos atmosféricos (evaporación, traspiración, condensación, transporte, precipitación, absorción, filtración y escurrimiento) que interviene en el ciclo del agua y la energía son complejos, al momento que exista una alteración en la composición gaseosa atmosférica puede alterar el equilibrio del calor radiactivo y provocar reacciones en cadena. Se realizan observaciones satelitales y terrestres para analizar los cambios que influyan en el cambio del clima esto se emplea mediante datos satelitales que hace referencia a una matriz de pixeles que contiene información y datos vectoriales que almacena datos geográficos. Donde los métodos existentes para la predicción de la precipitación hídrica no aplican para todos los lugares, la cual se busca nuevas formas de acercarse a un resultado más exacto (NASA Earth Sciences, 2020,párr.3).

1.2.2. Formulación del problema (hipótesis)

¿Cómo mejorar modelos a gran escala de la precipitación hídrica a las condiciones de la provincia de Chimborazo aplicando datos ráster y vectoriales?

1.3. Justificación

En la actualidad la dinámica atmosférica es uno de los sistemas físicos más complejos que existe en la naturaleza, no se ha identificado un método analítico que pueda describir este sistema, dado que se necesita usar otras alternativas como modelos físicos-matemáticos para obtener una mejor descripción por medio de avances informáticos.

Los modelos sinópticos a largo del tiempo han tenido un avance significativo, con la ayuda de las imágenes satelitales como componente principal en el campo de la ciencia y la ingeniería, que representa un método para el desarrollo de estudios referente a la dinámica atmosférica.

El estudio de la precipitación en la provincia de Chimborazo es muy complejo debido a su ubicación, donde la dinámica atmosférica es difícil de entender y se debe aplicar diferentes métodos donde intervengan estas consideraciones y de cómo resultado una aproximación más real del sistema.

La precipitación hídrica es una de las variables atmosféricas de importancia que se debería conocer para el desarrollo de las actividades humanas. Como la provincia de Chimborazo tiene una gran variedad de vegetación, la precipitación es algo primordial para el desarrollo del cultivo y de actividades que de esta dependan. Por lo que en esta investigación los beneficiarios directos son las personas dedicadas a las tareas agrícolas y para realizar alertas tempranas.

Los datos obtenidos en la investigación servirán de base para futuros estudios, además que se podrán utilizar por los entes pertinentes para el desarrollo y manejo adecuado en agricultura sustentable y sostenible.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Ajustar modelos a gran escala de la precipitación hídrica en la provincia de Chimborazo utilizando datos ráster y vectoriales.

1.4.2. Objetivo Específicos

- Monitorear parámetros de precipitación hídrica en las estaciones del GEAA.
- Procesar, analizar e imputar datos de las series registradas.
- Determinar un modelo global que se ajuste al comportamiento de los datos registrados.
- Generar y ajustar contornos en ArcGIS usando los datos del modelo global y las series medidas en superficie.

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Ciclo hidrológico

Es el conjunto de varios procesos donde el agua circula desde la superficie terrestre y oceánica hasta la atmósfera y regresa en forma de precipitación. Este permite saber la descripción del movimiento, la circulación, el almacenamiento y los flujos de agua. Las escalas a las que los procesos interactúan tanto espacial como temporalmente varían en la atmósfera, la hidrosfera, la cromósfera y la biosfera de una manera compleja (Bengtsson et al., 2013, p.6).

El ciclo hidrológico consta de diferentes partes, que incluyen la evaporación del agua y el suelo desnudo, la evapotranspiración de la vegetación terrestre, el transporte de vapor de agua en la atmósfera, la formación de gotas de nubes y la dinámica. Los mecanismos que causan la precipitación líquida y sólida, el movimiento del agua y los cambios de humedad del suelo en suelos no saturados, incluida la dinámica de las raíces, la escorrentía superficial, fluvial y el flujo de agua subterráneo, describen los últimos conocimientos sobre los recursos hídricos mundiales (Bengtsson et al., 2013,p.6).

El ciclo hidrológico también se denomina un mecanismo básico de purificación del agua en la Tierra, donde los componentes del agua se quedan atrás durante el cambio de fase de agua líquida a vapor de agua. Durante miles de millones de años, este proceso suministró agua dulce a la superficie terrestre, que fue y es la base de la vida (Bengtsson et al., 2013,p.6).

1.5.2. Dinámica atmosférica

La dinámica atmosférica es la base para comprender el movimiento de las corrientes de aire. Como tal, es un componente central de todos los planes de estudios de ciencias atmosféricas. La dinámica atmosférica es una disciplina que involucra los siguientes aspectos: la formación de diversos tipos de perturbaciones geofísicas, cómo y por qué se forman, cuáles son los factores que determinan su estructura y movimiento, cómo les afecta la superficie irregular de la tierra y cómo desarrollarse. Su etapa de desarrollo., cómo interactúan con el flujo de fondo, cómo eventualmente decaen y lo más importante, cómo limitan colectivamente la circulación atmosférica general. Su objetivo es desarrollar una comprensión cuantitativa de la naturaleza de estos procesos (Mak, 2011, p.1).

El análisis de la dinámica atmosférica también puede estar orientado a fenómenos, con el fin de proponer ideas sobre por qué se observa un fenómeno en particular. Simplifican enormemente el estudio cuantitativo de la interferencia atmosférica utilizando métodos analíticos y numéricos. Los gráficos por computadora ayudan a visualizar estructuras y procesos. Por tanto, todos han recibido la debida atención en el debate. Las características estadísticas temporales y espaciales de varias perturbaciones se examinan como información de fondo para llevar a cabo discusiones teóricas relevantes sobre sus efectos dinámicos (Mak, 2011, p.2).

La dinámica atmosférica es considerada como la dinámica newtoniana aplicada a la atmósfera que se encarga de estudiar la relación que existe entre los vientos y las fuerzas que lo causan. La fuerza fundamental que mueve al aire es la existencia de un gradiente en la presión, cuándo este aire está en movimiento será afectada por otras fuerzas como el rozamiento, así como la fuerza de Coriolis. La producción del viento se da cuando el aire se mueve y tiene como finalidad equilibrar las diferencias de presión horizontales causadas principalmente por el calentamiento diferencial de la superficie terrestre (Sendiña Nadal, et al., 2006, p.73).

La variación de presión con la altitud no genera movimientos verticales de aire esto se debe a que la variación es el resultado del equilibrio de la fuerza de la gravedad y empuje. Esta variación es representada mediante líneas isobáricas que unen, en un instante dado los puntos de la Tierra donde posee la misma presión a nivel del mar (Sendiña Nadal et al., 2006, p.73).

La aceleración a la que está sometida una masa de aire se debe al resultado de todas las fuerzas que actúan sobre la masa de aire respecto de un sistema de referencia inercial. Aunque el viento es medido desde la Tierra que es un sistema de referencia acelerado esto se debe a la rotación en torno a su eje. Además, se debe tomar en cuenta el efecto del giro terrestre que es conocido como efecto Coriolis. Para las predicciones de viento el sistema de referencia cartesiano local es el más usado donde interviene la fuerza de gravedad, la fuerza del gradiente de presión, la fuerza de Coriolis y la fuerza de rozamiento (Sendiña Nadal et al., 2006, p.74).

- **Gradiente de presión:** es la fuerza producida como resultado de la diferencia de presión en plano horizontal.
- **Fuerza Coriolis:** Es un fenómeno a gran escala donde la desviación se puede observar solo en movimientos de larga duración como los sistemas atmosféricos de gran escala.
- **Fuerza de rozamiento:** Esta fuerza se debe a la colisión que existe entre moléculas del aire que se da mediante las variaciones espaciales y temporales de la velocidad del viento (Sendiña Nadal et al., 2006, p.74).

1.5.3. Meteorología y Climatología

La meteorología y la climatología se encargan del estudio de los fenómenos que tienen lugar en la atmósfera, sus causas y efectos. La meteorología es una ciencia que se encarga de estudiar los fenómenos atmosféricos que se producen dentro de la Tropósfera que duran horas o días. En cambio, que la climatología trata de promedios de variables meteorológicas sobre largos periodos de tiempo que se extienden desde varios años (Fernández Sánchez, 2016, p.1).

1.5.4. Estación Meteorológica

Se denomina al lugar donde se realiza el monitoreo de diferentes parámetros meteorológicos como temperatura, humedad y precipitación entre otros. Los datos que se obtienen serán interpretados para pronosticar y realizar predicciones (Talavera Espinosa, 2014, p.27).

1.5.5. Precipitación

Es el agua liberada que cae en forma de lluvia o nieve a la superficie. Esto sucede cuando los niveles de vapor de agua en la atmosfera alcanzan la saturación sobre la cual el vapor de agua se

condensa para formar nubes que consisten en líquido suspendido, según sean sus condiciones formar partículas de líquidos o de hielo y caen a la superficie como precipitación debido a la gravedad. Los sistemas de nubes y precipitación suelen ser de naturaleza aleatoria, generalmente de pequeña escala, y se desarrollan muy rápidamente, especialmente en condiciones de convección de verano. Estos factores dificultan la cuantificación de las nubes y las precipitaciones (Bengtsson et al., 2013, p.10).

Es muy complicado obtener resultados de medición confiables de la precipitación en tierra a escala regional y global, porque más del 70% de la superficie terrestre está cubierta por océanos y lagos. Además, muchos países no están equipados con sensores de medición de lluvia precisos. En tales regiones, las mediciones de precipitación a escala regional y mundial de los sistemas de satélite de observación de la Tierra son extremadamente útiles. Durante su vida útil de más de 15 años, el satélite de la Misión de Medición de la Lluvia Tropical (TRMM) ha proporcionado una gran cantidad de información sobre ciclones tropicales y cambios climáticos de corta duración como El Niño y ha demostrado ser una herramienta esencial para la medición de la precipitación. Las plataformas operativas y de investigación actuales forman una constelación que se puede utilizar para la generación rutinaria de precipitación con una resolución temporal nominal de 3h y una resolución espacial de 0,25 grados. Las estimaciones obtenidas a máxima resolución (4 km) están disponibles hasta instantáneamente, aunque de forma más esporádica. Sin embargo, TRMM no detecta precipitaciones de baja tasa, por ejemplo, llovizna, que se espera que contribuya significativamente a la precipitación total en regiones con poca cantidad de lluvia (Bengtsson et al., 2013, p.10).

1.5.5.1. Proceso de Precipitación

Cuando la precipitación está formada se separa de las nubes, esto pasa cuando las gotas de agua o cristales de hielo son demasiado grandes y poseen el peso suficiente para sobrepasar las corrientes ascendentes en la nube. Si esto no ocurre quedarán suspendidas en el espacio la cual no habrá precipitación. Para la producción de la condensación o sublimación del vapor es importante suficiente agua, enfriamiento por debajo del punto de rocío y suficientes núcleos de condensación (Ledesma, 2011, p.119).

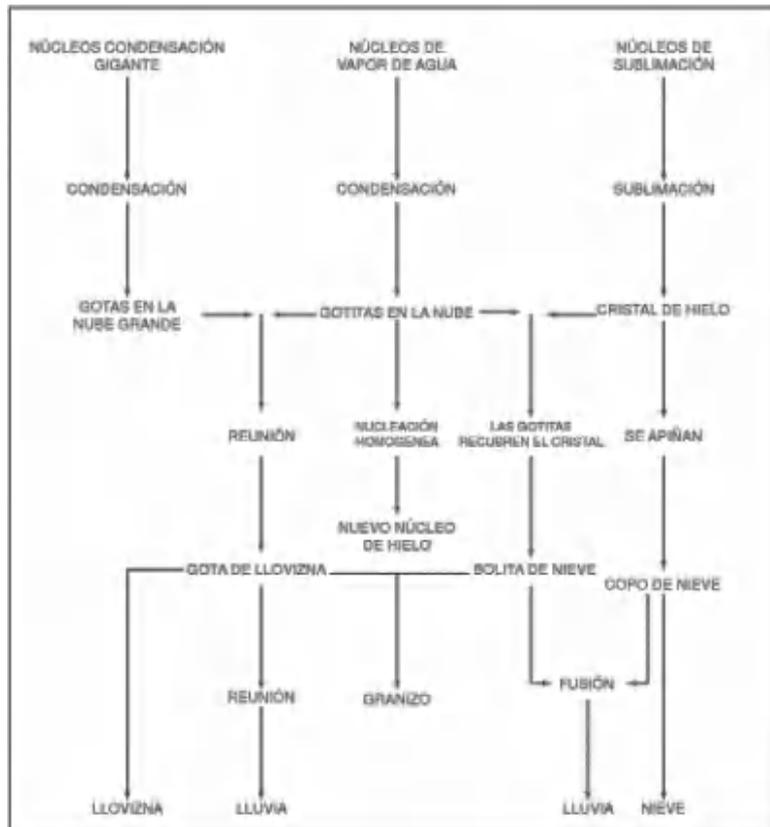


Figura 1-1. Proceso de precipitación

Fuente: (Ledesma, 2011).

En la figura 1-1 en la parte izquierda se refiere a nubes calientes donde las corrientes ascendentes por enfriamiento condensan el vapor de agua sobre núcleos de condensación gigantes y produce gotas que desplazan inmediatamente y al ingresar en coalescencia con otras, aumentan de tamaño, pero disminuye su velocidad, donde beneficia a la formación de gotas mayores que produzca llovizna o lluvia dependiendo la acumulación (Ledesma, 2011, p.120).

En la parte central se refiere al proceso de la nucleación homogénea, donde se forman gotas en la nube, a menudo estas no generan precipitación, pero son de gran ayuda para la creación de un nuevo núcleo de hielo. En la parte derecha de la figura se refiere a las nubes frías en cual la temperatura en alguna zona de la nube es menor a 0 °C, mediante la sublimación da lugar a cristales de hielo mediante coalescencia forman copos de nieve (Ledesma, 2011, p.120).

1.5.5.2. Tipos de Precipitación

La formación de las nubes se da mediante el enfriamiento del aire por debajo de su punto de saturación. Este enfriamiento viene dado por diversos parámetros que llevan a un aumento adiabático, por el cual existe un descenso de presión y temperatura. La intensidad y cantidad de precipitación depende del contenido de humedad del aire y de la velocidad vertical del mismo

(Maderey, 2005, p.15).

Precipitación ciclónica: Está relacionada con el paso de una perturbación ciclónica. Dónde presenta dos casos: frontal y no frontal.

Precipitación frontal sucede en cualquier depresión barométrica, resultando un aumento debido a la concurrencia de masas de aire que tienden a rellenar la zona de baja presión. Este se asocia a un frente frío o cálido. En el frente frío el aire cálido es alejado bruscamente hacia arriba por el aire frío, formando nubosidad además de tormentas y granizo. La precipitación del frente frío es básicamente tipo tormentoso donde en los frentes cálidos el aire caliente aumenta levemente sobre la cuña fría, dando como resultado una nubosidad más estratiforme que el frente frío la cual las lluvias y lloviznas son más prolongadas, pero con menor intensidad (Maderey, 2005, p.15).

Precipitación convectiva: Se origina en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que las adyacentes. La masa de aire caliente al aumentar se enfría donde se condensa y forma la nubosidad de tipo cumuliforme, donde se originan precipitaciones en forma de tormentas. El aumento de la masa se da al calentamiento en la superficie (Maderey, 2005, p.15).

Precipitación orográfica: Se da mediante el aumento de la masa de aire forzado por una barrera montañosa. La masa de aire se mueve hacia arriba y produce condensación y lluvia al momento de pasar por el punto más alto de la montaña, el aire desciende por las laderas de sotavento de la montaña la cual se reduce y se calienta. Dado que el aire es más cálido y seco que al principio, existirá bajas precipitaciones (Maderey, 2005, p.17).

1.5.5.3. Intensidad de la precipitación

La intensidad de la precipitación según MANOBS (Manual de observaciones meteorológicas en superficie) viene clasificado dependiendo la tasa de precipitación, donde esta cuantifica la precipitación (lluvia) que ha caído por unidad de tiempo y es expresado en unidades de mm/hr o in/hr (Barani, 2020, párr.1).

- Precipitación ligera: lluvia inferior a 2.5 mm/h
- Precipitación moderada: lluvia en el rango de 2.6 a 7.5 mm/h
- Precipitación intensa: lluvia superior a 7,6 a 50mm/h
- Precipitación violenta: lluvia superior a > 50 mm/h

1.5.6. Modelos Físico – Matemáticos

Los modelos físicos y matemáticos se consideran en referencia a algunas diferencias fundamentales; como el Modelado matemático que se denomina al proceso mediante el cual un problema tal como aparece en la actualidad se interpreta en términos de símbolos abstractos. La descripción abstracta que incluye una formulación matemática se denomina modelo matemático

del problema original, permitiendo entonces tratar el problema en términos exclusivamente matemáticos. De esta forma, una vez obtenido el modelo, posee sentido y una existencia objetiva en el universo (Rojo, 2001, p.98).

En la realidad física lo estable, así como lo fundamental no lo constituyen los objetos concretos (partículas, campos y configuraciones) sino las propias Leyes de la Naturaleza y la posibilidad de expresar se utiliza características matemáticas; que se puede considerarse como una base cognitiva del mundo material estando así en una relación directa con lo que algunos autores consideran como “inconcebible eficacia de las matemáticas en las Ciencias Naturales”. Por lo tanto, es considerado así que la realidad matemática existe junto a la realidad física en el Universo, teniendo ambas objetividades (Rojo, 2001, p.99).

Por otra parte, el uso de cualquier modelo matemático en la física debe ir acompañado de un “texto”, que indique el rango de los valores para los que se puede usar, sin rebasar todo significado físico para las ecuaciones involucradas en el modelo. Se enfatizan las principales ventajas y desventajas de cada método. Un modelo es una representación cualitativa o cuantitativa de un sistema, en el cual se muestran las relaciones predominantes entre sus elementos. Por esta razón, un modelo no puede incluir todos los aspectos de un sistema real, sino solamente los más importantes (Rojo, 2001, p.99).

1.5.7. ArcGIS

Es el principal componente de la aplicación Gis de *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Es un conjunto de herramientas que permiten visualizar y administrar información geográfica, y cuenta con una arquitectura extensible a través de la cual se pueden agregar nuevas funciones. Estas son conocidas extensiones, entre las cuales se pueden destacar *Spatial Analyst*, *3d Analyst* o *Gepstatistical Analyst*. ArcGIS nos ayuda a crear, compartir y utilizar mapas inteligentes además se puede administrar bases de datos geográficos (Pucha et al., 2017, p.6).

1.5.7.1. ArcMap

Es una aplicación del software ArcGIS que sirve para explorar, editar, crear y analizar datos geográficos. Los archivos o documentos tienen la extensión. mxd. Además, esta aplicación consta de dos parámetros para el trabajo con datos:

- La vista de datos: se utiliza para trabajar, tratar y analizar información.
- La vista de composición de mapa: se utiliza para la preparación de información de cara a impresión o presentaciones.

La estructura en los datos en ArcMap consta de:

- Marco de datos: Recolectan información gráfica donde los marcos de datos están formados de varias capas de información, donde los mapas se pueden analizar y consultar los datos geográficos.
- Presentación de mapa: Se utiliza la herramienta de composición de mapa, los resultados que se obtengan se pueden representar por medio de visualización o impresión que pueden constar de varios elementos (Collado et al., 2013, p.5).

1.5.7.1.1. Análisis Espacial

Es el proceso de modelar y obtener resultados a través del procesamiento informático para así examinar e interpretar los resultados. Este análisis es de gran ayuda para la evaluación, así como para calcular, predecir y comprender los fenómenos (Pucha et al., 2017, p.40).

Interpolación: está definida como un proceso que hace uso de mediciones realizadas sobre algún fenómeno como: precipitación, temperatura, elevación en un lugar establecido con el fin de predecir algún fenómeno. En SIG la interpolación es bidimensional esto se debe a que una capa ráster es una identidad de este tipo. Para la interpolación es fundamental poseer un *shapefile* o una capa vectorial de puntos, o formatos de tablas en Excel 97-2003 (Pucha et al., 2017, p.40).

Interpolación Kriging: es un método geoestadístico avanzado que permite generar una superficie partiendo de un conjunto de puntos. Donde se basa de modelos estadísticos que adjunta la autocorrelación, es decir la relación estadística entre los puntos medidos. Además de producir una superficie de predicción también proporciona medida de certeza o precisión de las predicciones. Kriging sigue un proceso donde tiene varios pasos que incluye el análisis estadístico exploratorio de datos, el modelado de variogramas, la creación de la superficie (ArcGis, 2016, párr.2).

Formula de Kriging

La fórmula general se basa como la suma ponderada de los datos.

$$\hat{Z}(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

Donde:

$Z(S_i)$ = valor medio en la ubicación i

λ_i = ponderación escondida para el valor medio en la ubicación i

S_o = ubicación de la predicción

N =cantidad de valores medidos

En Kriging la ponderación se basa en la distancia entre los puntos medidos y la ubicación de la predicción además de la disposición espacial general de los puntos medidos, para hacer el uso de este la correlación debe estar cuantificada. En kriging la ponderación depende exclusivamente de un modelo ajustado a los puntos medidos, la distancia a la ubicación de la predicción y las

relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de la predicción (ArcGis, 2016, párr.4)

Métodos

- **Kriging Ordinario:** es el más usado donde presupone que el valor medio constante es desconocido, esta viene hacer una presuposición razonable a menos que exista una razón científica para no ser usada (ArcGis, 2016, párr.16).
- **Kriging Universal:** este método presupone que 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, 2016, párr.16).

1.5.8. Modelos ráster

Este modelo se basa en una matriz de celdas que son representadas por filas y columnas, cada celda puede almacenar información de una variable meteorológica como (precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, longitudes de onda del espectro electromagnético, etc.) (Pucha et al., 2017, p.10).

El modelo ráster no le toma de forma explícita las coordenadas de cada una de las celdas, sino los valores de que están en ellas. Además, no es necesario juntar a dichos valores de un emplazamiento espacial concreto, ya que hacen referencia a un elemento particular de la malla, es decir representa una estructura fija y regular. Pero es necesario ubicar dicha malla en el espacio para después poder calcular las coordenadas de cada celda (Pucha et al., 2017,p.10).

1.5.9. Modelos Vectoriales

Este modelo se fundamenta en el supuesto de que la superficie de la Tierra se compone de objetos discretos tales como árboles, ríos, lagunas, etc. En este modelo no hay unidades fundamentales ya que dividen zonas, sino que se recoge la variabilidad y características de esta mediante entidades geométricas. Para cada entidad geométrica las características son constantes. Donde la forma de estas entidades se codifica de modo explícito, porque modeliza el espacio geográfico a través de una serie de primitivas geométricas que contienen los elementos más destacados de dicho espacio. Estas primitivas son de tres tipos: puntos, líneas y polígonos (Pucha et al., 2017, p.10).

1.5.10. Sistemas de Coordenadas UTM

UTM (*Universal Traverse Mecator*) se denomina al sistema de proyección cartográfico que se basa 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 Asensio et al., 2011, p.2).

1.5.11. Pixel

Se denomina a los elementos discretos (pixel=elemento de imagen) de la que conforman imágenes digitales. En GIS ráster el pixel se denomina a la unidad más pequeña de información disponible en una imagen o mapa ráster. A cada pixel se le puede destinar un color y está georreferenciado a una latitud y longitud. Además, cada pixel conoce de qué color es y su ubicación en la Tierra (Survey, 2017, párr.1).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de Investigación

Esta investigación se realizará por enfoque cuantitativo, dado que se utilizará datos del modelo global y las estaciones meteorológicas, que los resultados se representaran en mapas geoestadísticos, según el nivel de profundización en el objeto de estudio es descriptivo, ya que se analizará e imputará datos de las series registradas, según el tipo de inferencia inductivo - deductivo puesto que se generará información a través de la recolección de datos.

2.2. Recolección de datos

Para alcanzar el primer y segundo objetivo se implementa los siguientes pasos:

Mediante el monitoreo de la precipitación en las estaciones del GEAA se pudo descargar los datos que genera la página RedEMA (Red de estaciones Meteorológicas Automáticas). Donde las estaciones del GEAA instaladas en la provincia de Chimborazo, proporciona la variable de precipitación, mediante el cual se tomó en cuenta del año 2020. Además, se descargó la base de datos en la página del RedEMA para proceder a su análisis.

2.3. Preprocesamiento de datos

Una vez descargado los datos crudos generados por la página de RedEMA de las estaciones del GEAA en la provincia de Chimborazo, se procedió a realizar la suma mensual y anual referente al año 2020 por medio de tablas dinámicas en Excel para así ser utilizadas en el software ArcGIS. Este preprocesamiento de datos se dio mediante algunos parámetros.

- Los valores obtenidos de la precipitación vienen dados con valores de cero o mayor a cero, donde 0 significa que no hubo lluvia y mayor a 0 son considerados como lluvia.
- Mediante la tabla dinámica se obtuvo un promedio de la precipitación ya sea por hora, día, mes y año. Donde se utilizó el promedio de mes y año.

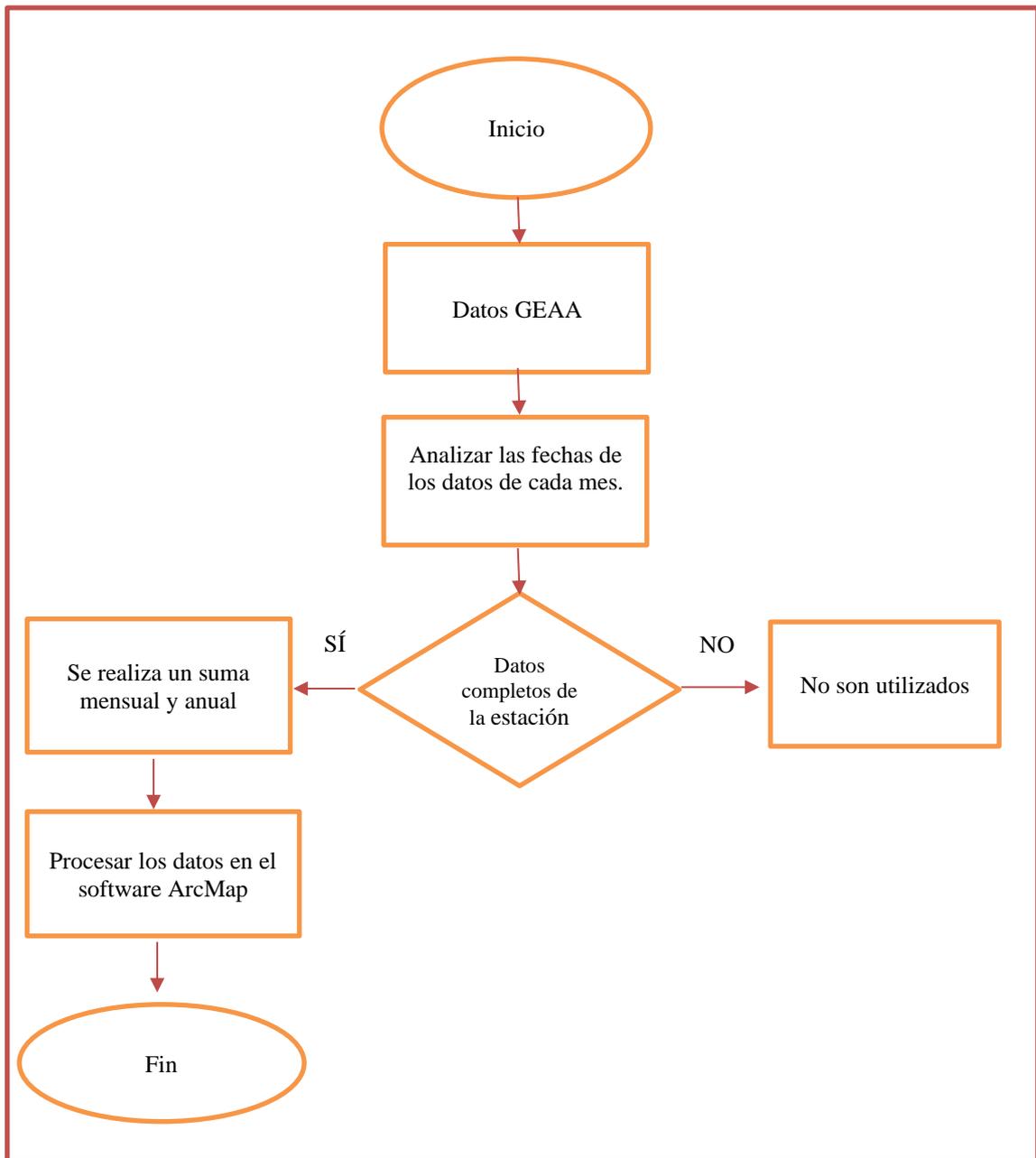


Figura 1-2. Metodología de procesamiento de datos

Realizado por: Sanunga Lizbeth,2021.

2.4. Localización de estudio

El presente trabajo de titulación se realizó en la provincia de Chimborazo, que se encuentra ubicada en la región interandina o sierra, con una extensión de aproximadamente 6500,66 km². Limita al norte con la Provincia de Tungurahua, al sur con la provincia de Cañar, al este con la provincia de Morona Santiago y Cañar, y al oeste con la provincia de Bolívar y Guayas. Además, posee un rango de 135 a 6310 ms.n.m.(metros sobre el nivel del mar).

2.5. Población de estudio

En esta investigación se utilizó datos registrados (precipitación) del año 2020 de las estaciones del grupo GEAA que se encuentra en la provincia, donde los resultados serán representados en mapas geoestadísticos.

En la siguiente tabla 1-2 se observa la localización de las estaciones de la provincia de Chimborazo con su respectiva altura y coordenadas UTM.

Tabla 1-2: Ubicación de las estaciones del GEAA

ID	CANTÓN	ALTURA (ms.n.m)	Coordenadas UTM	
			X (Longitud)	Y (Latitud)
RIOBAMBA	Riobamba	2754	762273	9817120
URBINA	Guano	3642	754571	9835358
TUNSHI	Riobamba	2840	764087	9806678
QUIMIAG	Riobamba	2709	770083	9816392
TIXÁN	Alausí	2974	749103	9761332
SAN JUAN	Riobamba	3232	746596	9818849
MULTITUD	Alausí	1483	725688	9764881
ATILLO	Guamote	3467	772610	9758048

Realizado por: Sanunga Lizbeth, 2021.

En la figura 1-2 se observa la ubicación respectiva de las estaciones instaladas por el GEAA en los cantones de la provincia de Chimborazo. Las estaciones de San Juan, Riobamba, Quimiag y Tunshi se encuentra en el cantón Riobamba. La estación de Atillo, en el cantón de Guamote, las estaciones de Multitud y Tixán se encuentran en el cantón Alausí las. Y finalmente Urbina se encuentra en el cantón Guano.

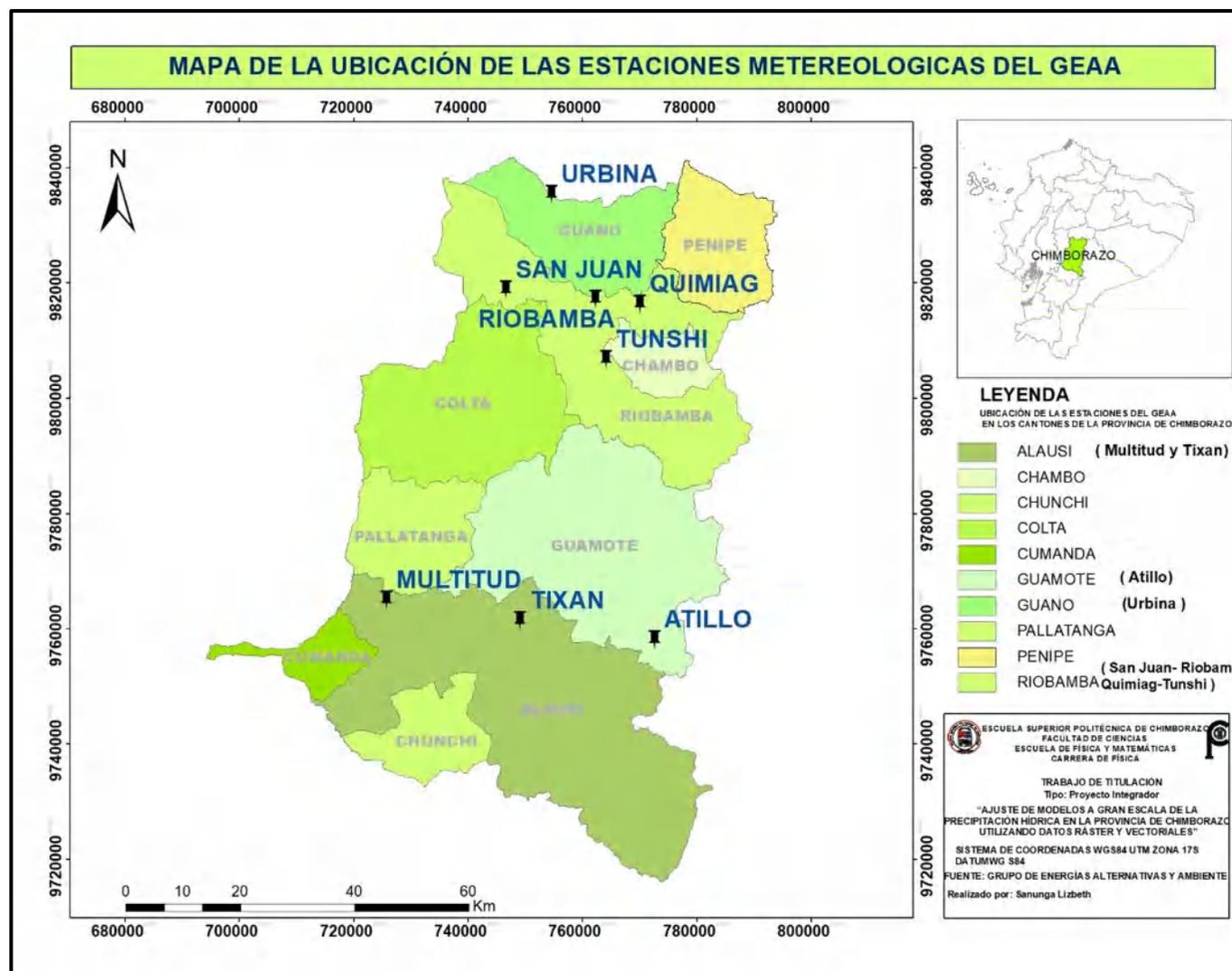


Figura 2-2. Distribución de las estaciones del GEAA instaladas en la provincia de Chimborazo

Realizado por: Sanunga Lizbeth, 2021.

2.6. Tamaño de muestra

Los datos registrados de la precipitación proporcionados por el grupo GEAA fueron tomados desde el 1 de enero a las 00h00 hasta el 31 de diciembre del 2020 a las 23h59, de las estaciones de Riobamba, Quimiag, Urbina, San Juan, Tunshi, Tixán, Multitud, Atillo.

2.7. Análisis de datos

Para el cumplimiento del objetivo tres se estudió 3 modelos a gran escala donde se tomó en cuenta a *POWER Data Accses Viewer*, *WorldClim* y *Terra Climate*.

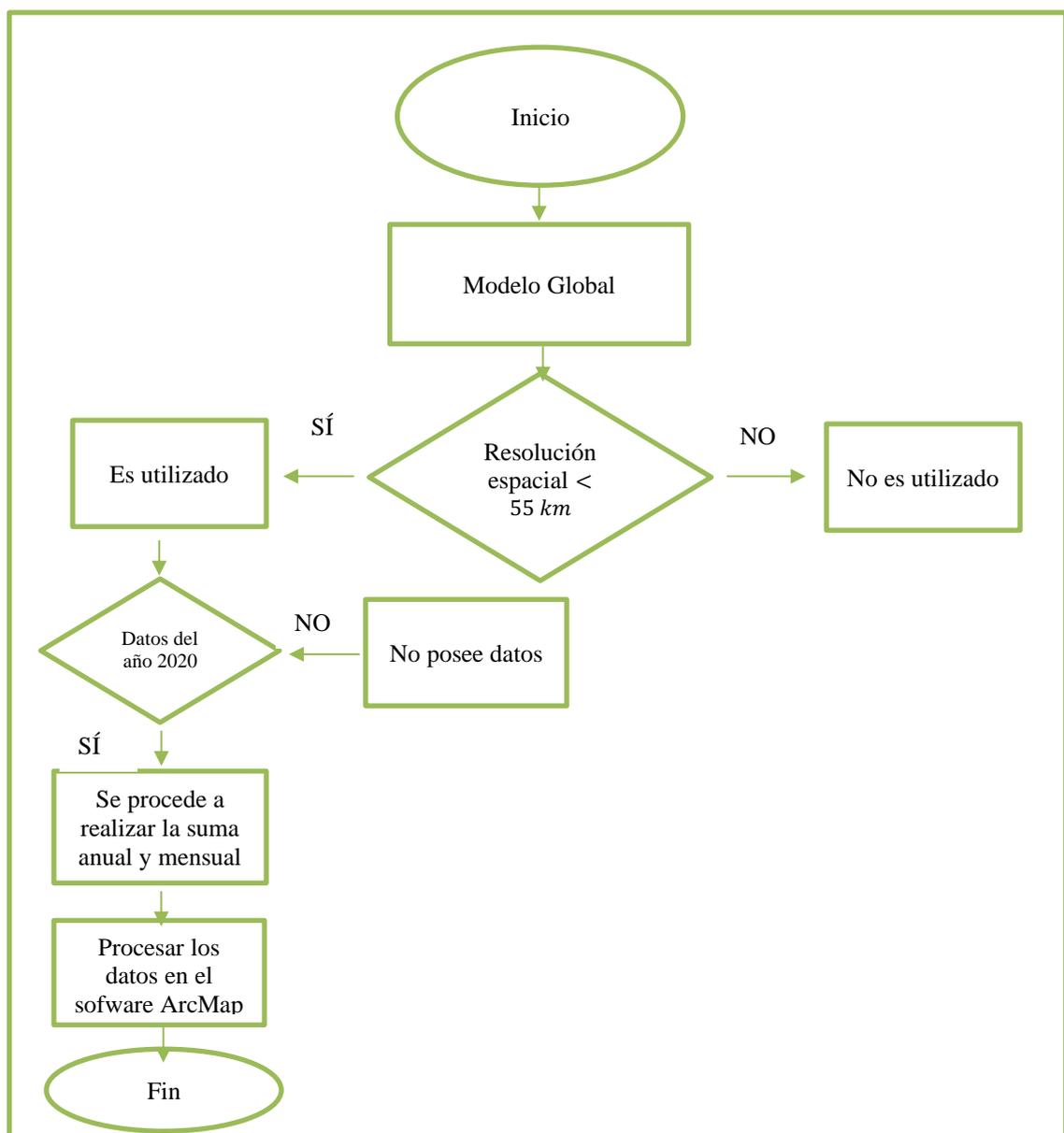


Figura 3-2. Metodología de procesamiento de datos

Realizado por: Sanunga Lizbeth, 2021.

2.7.1 Power Data Accses Viewer

Los datos que proporciona POWER Release-8 se basan en un solo modelo de asimilación de la oficina de Modelado y Asimilación Global (GMAO). Los datos meteorológicos actualizados provienen de los productos del modelo de asimilación de GMAO *Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications* (MERRA-2) y GMAO *Forward Processing – Instrument Teams* (FP-IT) GEOS 5.12.4 en tiempo real (POWER, 2019, párr.1).

Los datos de POWER Release-8 brinda una cuadrícula global con una resolución espacial de 0.5° de latitud por 0.5° de longitud. Este es el único portal que proporciona datos solares y meteorológicos actualizados que es compatible con SIG (POWER, 2019,párr.5).

2.7.2 WorldClim

Es una base de datos ya sea meteorológicos como climáticos globales con una alta resolución espacial de 1km² aproximadamente, donde proporciona datos históricos y futuras. Estos datos históricos son datos climáticos de la versión 2.1 de *WorldClim* para 1970-2000 que fue lanzada en enero del 2020. Mientras tanto los datos climáticos futuros son promediados entre rangos de 20 años (WordClim, 2020, párr.1).

Los datos tienen la facilidad de ser utilizados para crear mapas y modelar con SIG. Además, para la variable precipitación y temperatura genera datos en promedio, máximo y mínimo. Estos datos se encuentran en el Sistema de Coordenadas WGS 1984 EPSG:4326 (Hijmans, et al., 2005, párr.3).

2.7.3 Terra Climate

Es una base de datos de clima mensual y balance hídrico climático para superficies terrestres globales que proporciona información desde 1958-2019. Estos datos generan importantes insumos para estudios ecológicos e hidrológicos a escalas globales que requieren alta resolución espacial y datos variables en el tiempo. Estos datos tienen una resolución temporal mensual y una resolución espacial de 4 km (0,04 °). Donde el objetivo es de actualizar información cada año (Climatología, 2020, párr.1).

2.8. Método Interpolación Kriging

Para el último objetivo, una vez realizado la base de datos de las estaciones del GEAA, y del modelo global en Excel guardado con las extensiones xls. Se procede a agregar la base de datos en el software ArcMap para el respectivo uso de la herramienta de interpolación Kriging.

Este interpolador es una técnica que sirve para la interpolación de cualquier variable espacial. Además, su varianza de Kriging será mínima. Esta técnica es muy utilizada por su eficacia la cual este método ayuda a cuantificar diferentes parámetros que en un futuro servirán para nuevos estudios (Damián, 2014,p.39).

Donde este sistema trabaja con coordenadas UTM, en el presente trabajo se utilizó el sistema de coordenadas proyectadas (WGS_1984_UTM_Zone_17s) que pertenece al hemisferio sur y el Sistema de coordenadas geográficas (GCS_WGS_1984).

2.9. Validación de datos

En el presente trabajo se empleó la técnica de Validación Cruzada por su facilidad al momento de aplicar e interpretar los resultados, este método se basa en excluir el i-décimo valor medido y estimarlo a partir de los datos restantes (Damián, 2014, p.74).

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Recolección de datos de la precipitación hídrica

Para la recolección de datos de la precipitación se tomó en cuenta 8 estaciones de grupo GEAA, los datos obtenidos del año 2020 de esta variable meteorológica fueron de (RedEMA) donde nos proporciona mediciones de suma hora.

Una vez obtenida la información se realizó una base datos de la precipitación en Excel mediante tablas dinámicas para la obtención de suma mensual como anual. Para respectivo análisis se dividió por trimestres.

Tabla 1-3: Precipitación hídrica de la provincia de Chimborazo del 2020 (Datos GEAA)

ID	CANTÓN	PRECIPITACIÓN HÍDRICA			
		1er Trimestre	2do Trimestre	3er Trimestre	4to Trimestre
RIOBAMBA	Riobamba	60,3	59,2	42,8	36,4
URBINA	Guano	79	NNa	NNA	Nna
TUNSHI	Riobamba	83,5	Nna	Nna	Nna
QUIMIAG	Riobamba	51,2	Nna	Nna	Nna
TIXÁN	Alausí	59,8	28,3	Nna	Nna
SAN JUAN	Riobamba	57,1	12,2	Nna	Nna
MULTITUD	Alausí	227,6	115,37	83,46	115,74
ATILLO	Guamote	79,1	233,7	214,1	24,6
TOTAL		697,6	448,77	340,46	176,74

Realizado por: Sanunga Lizbeth,2021.

En la tabla 1-3 nos detalla la precipitación hídrica de los meses más representativos del trimestre de las estaciones del GEAA durante el año 2020, donde en el primer trimestre tenemos una precipitación de 679,6 mm, en el segundo trimestre de 448,77mm, en el tercer trimestre de 340,46 mm, y el cuatro trimestre de 176,74, el cual la mayor precipitación hídrica se obtuvo en el 1er trimestre. Las estaciones con mayor precipitación hídrica son Tixán y Multitud eso se debe a su situación geográfica.

3.2. Modelos Climáticos Globales

Los modelos climáticos es una herramienta esencial para la proyección de sucesos, estos modelos que se basan en ecuaciones que sirven para describir sobre varios comportamientos y parámetros que afectan al clima como: la dinámica atmosférica, océanos, superficie de la Tierra y Energía Solar (Gironés, 2019, p.7).

En el presente trabajo se analizó tres modelos *POWER Data Accses Viewer*, *WorldClim* y *Terra Clim*. Donde cada uno proporciona diversas variables meteorológicas a distintas resoluciones espaciales, además de ofrecer datos históricos como futuros.

El modelo que se ajusta a la provincia de Chimborazo es *Power Data Accses Viewer* ya sea por su resolución espacial de 0.5° de latitud por 0.5° de longitud esto equivalente 55,5 km. Comparado con *Terra Clim* que tiene una resolución de 0,04° pero su base de datos solo genera hasta el 2019. Mientras tanto *WorldClim* solo nos proporciona datos históricos o futuros donde no se puede hacer el uso de este, ya que se está analizando referente al año 2020. Una vez seleccionado el modelo se procedió a realizar una base de datos con puntos seleccionados en la provincia y a en su contorno.

En la siguiente tabla 2-2 se observa la localización de los puntos satelitales a lo largo y al contorno de la provincia de Chimborazo con su respectiva ubicación y coordenadas UTM.

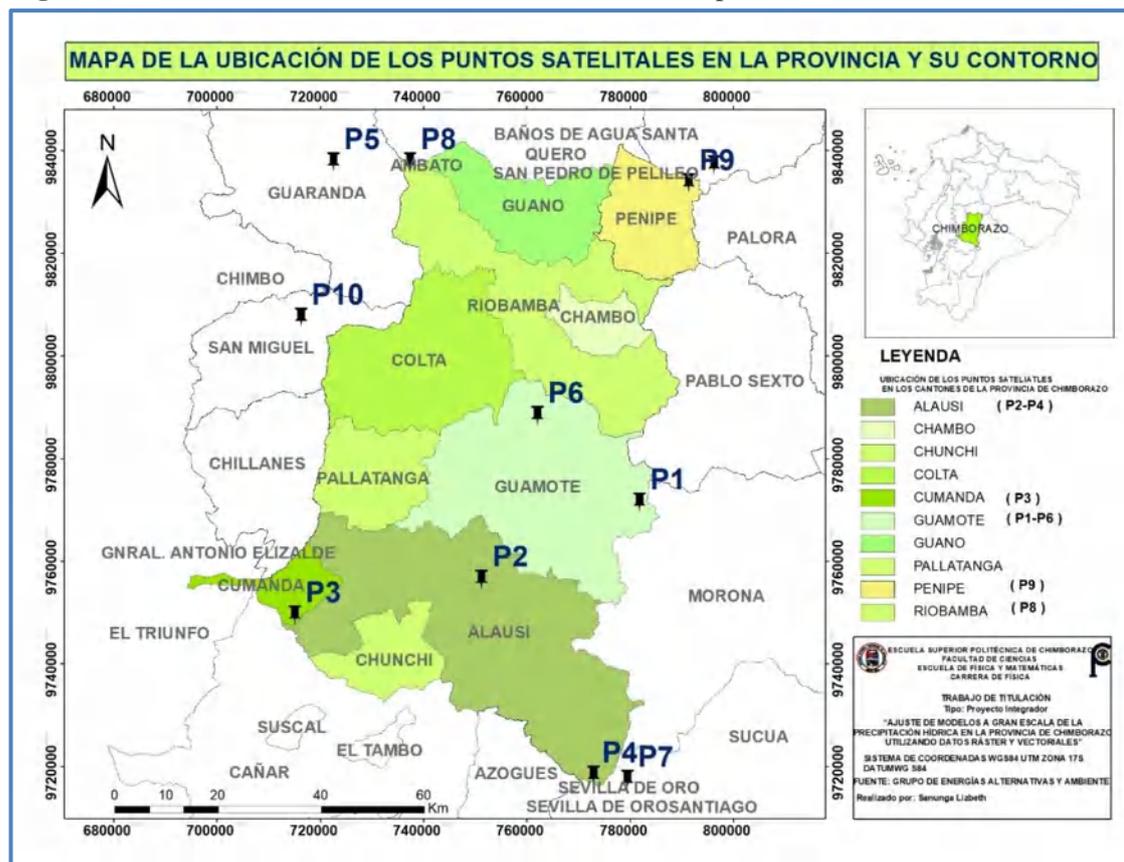
Tabla 2-3: Ubicación de los datos satelitales

ID	CANTÓN	ALTURA ms.n.m	Coordenadas UTM	
			X (Longitud)	Y (Latitud)
P1	Guamote	3096	781815	9771342
P2	Alausi	1.225	751261	9771342
P3	Cumandá	460	715013	9749328
P4	Alausí	1.225	772961	9718027
P5	Guaranda	2668	722524	722524
P6	Guamote	3096	762069	762069
P7	Santiago de Méndez	547	779504	9717276
P8	Riobamba	2754	737361	9837773
P9	Penipe	2500	791342	9833658
P10	San Miguel	2469	716306	9807422
P11	Baños de Agua Santa	1820	796336	9837145

Realizado por: Sanunga Lizbeth, 2021.

En la figura 1-3 se observa la ubicación de los puntos satelitales que se encuentran al contorno de la provincia de Chimborazo. Donde el P1-P6 se encuentra en el cantón en de Guamote, el P2 -P4 se encuentra en el cantón Alausí, el punto P3 se encuentra en el cantón Cumandá, el punto P5 se encuentra en el cantón de Guaranda perteneciente a la provincia de Bolívar, el P7 se encuentra en el cantón Santiago de Méndez perteneciente a la Provincia de Morona Santiago, el P8 se encuentra en el cantón de Riobamba, el punto P9 se encuentra en cantón de Penipe, el P10 se encuentra en el San Miguel perteneciente a la provincia de Bolívar, el P11 se encuentra en el cantón Baños de Agua Santa perteneciente a la provincia de Tungurahua.

Figura 1-3. Distribución de datos satelitales al contorno de provincia de Chimborazo



Realizado por: Sanunga Lizbeth, 2021.

Tabla 3-3: Precipitación hídrica de la provincia de Chimborazo del 2020 (Datos Satelitales)

ID	CANTÓN	PRECIPITACIÓN HÍDRICA			
		1er Trimestre	2do Trimestre	3er Trimestre	4to Trimestre
P1	Guamote	137,71	195,27	123,61	148,31
P2	Alausi	107,5	115,37	83,46	115,74
P3	Cumandá	95,41	53,34	48,37	87,62
P4	Alausí	93,15	79,5	76,86	98
P5	Guaranda	158,68	69,94	47,79	123,53
P6	Guamote	114,08	139,35	88,71	130,77
P7	Santiago de Méndez	116,1	139,31	107,4	114,33
P8	Riobamba	118,05	127,72	83,77	138,36
P9	Penipe	147,74	228,12	135,99	181,68
P10	San Miguel	116,62	65,64	47,25	103,49
P11	Baños de Agua Santa	409,1	207,14	131,12	193,28
TOTAL		1614,14	1420,7	974,33	1511,34

Realizado por: Sanunga Lizbeth, 2021.

En la tabla 3-3 nos detalla la precipitación hídrica de los meses más representativos del trimestre de los puntos satelitales durante el año 2020, donde en el primer trimestre tenemos una precipitación de 1614,14 mm, en el segundo trimestre de 1420,7mm, en el tercer trimestre de 974,33 mm, y el cuatro trimestre de 1511,34 mm, el cual la mayor precipitación hídrica se obtuvo en el 1er trimestre.

3.3. Modelo Interpolación Kriging de la Precipitación

Se realizó una base de datos mensual y anual del año 2020 de la precipitación en la provincia de Chimborazo con datos proporcionados de las estaciones instaladas por el grupo GEAA y datos satelitales referente al año 2020.

Con los datos obtenidos se procedió a realizar la interpolación con el modelo de kriging en ArcMap los datos trimestrales de las estaciones instaladas por el grupo GEAA y de los datos satelitales. Además, datos anuales de cada una y finalmente los datos de las estaciones y datos satelitales conjuntamente. Estos datos deben estar en un documento de Excel 97-2003, incluyendo una columna de X(latitud) y Y(longitud) respectivamente.

Se tomaron en cuenta 8 estaciones del grupo GEAA y 11 puntos perteneciente a datos satelitales donde al realizar la interpolación para obtener si es o no válido el modelo.

3.3.1. Serviogramas y error para la precipitación (GEAA)

Serviograma y error

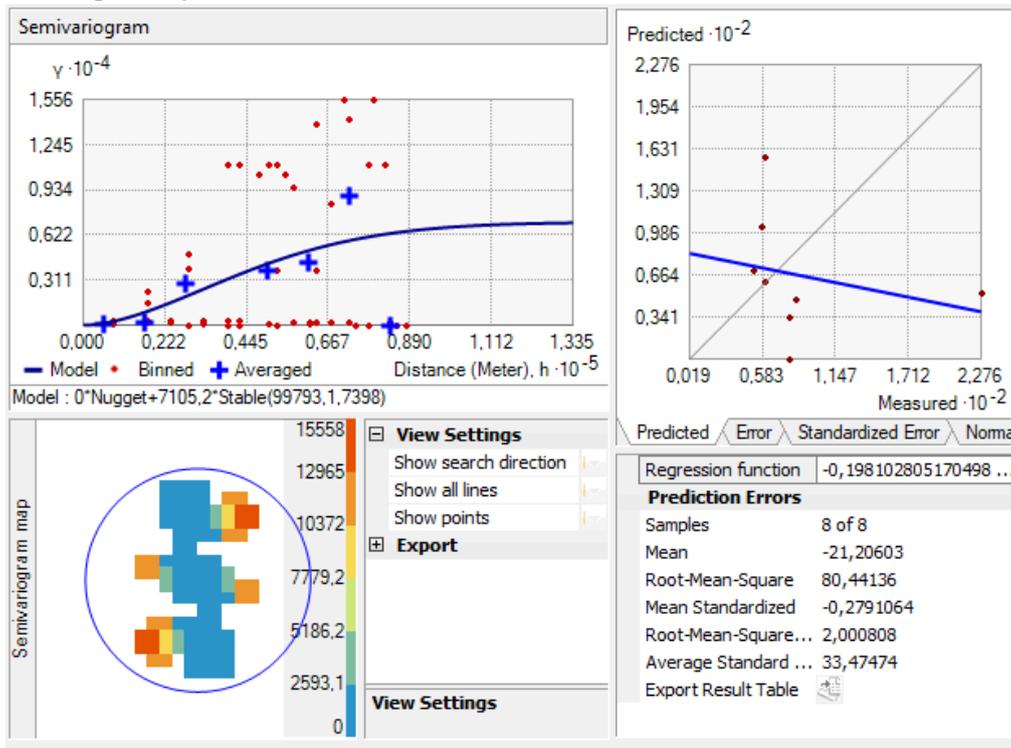


Figura 2-3. Semivariograma y error referente al 1er trimestre (datos GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la fig. 2-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 1er trimestre (GEAA) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de - 0,19 donde más cerca sea a 0 el modelo es compatible, pero en ese caso se podría llegar a la conclusión que datos obtenidos en las estaciones no son suficientes para aplicar este método, además de la calidad de los datos puede ser un factor determinante para que no satisfaga este método.

En la figura 3-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a las estaciones del GEAA del 1er trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (99,1 – 266) mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (43,1 - 99) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 43) mm nos indica una ligera precipitación.

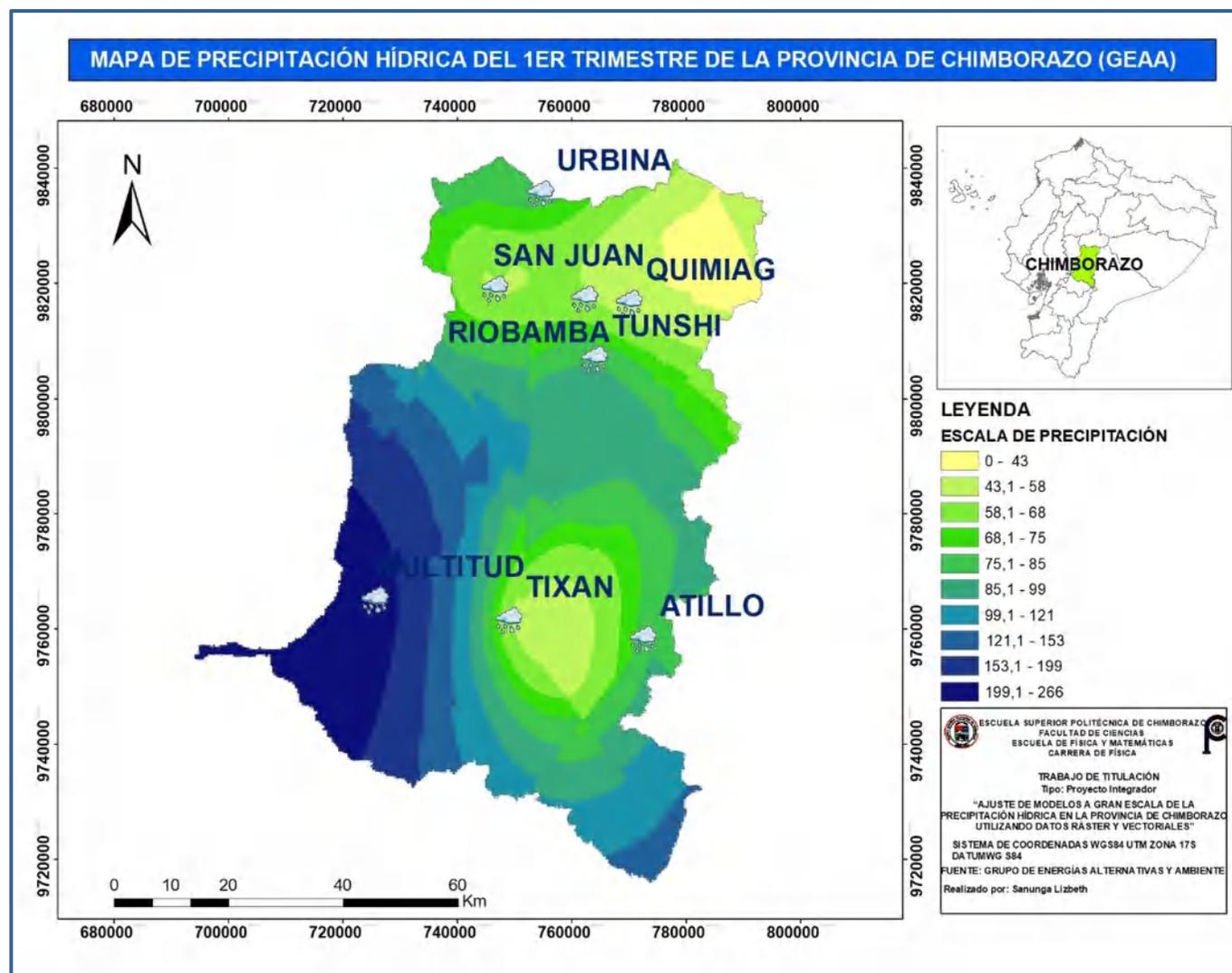


Figura 3-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 1er trimestre (GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

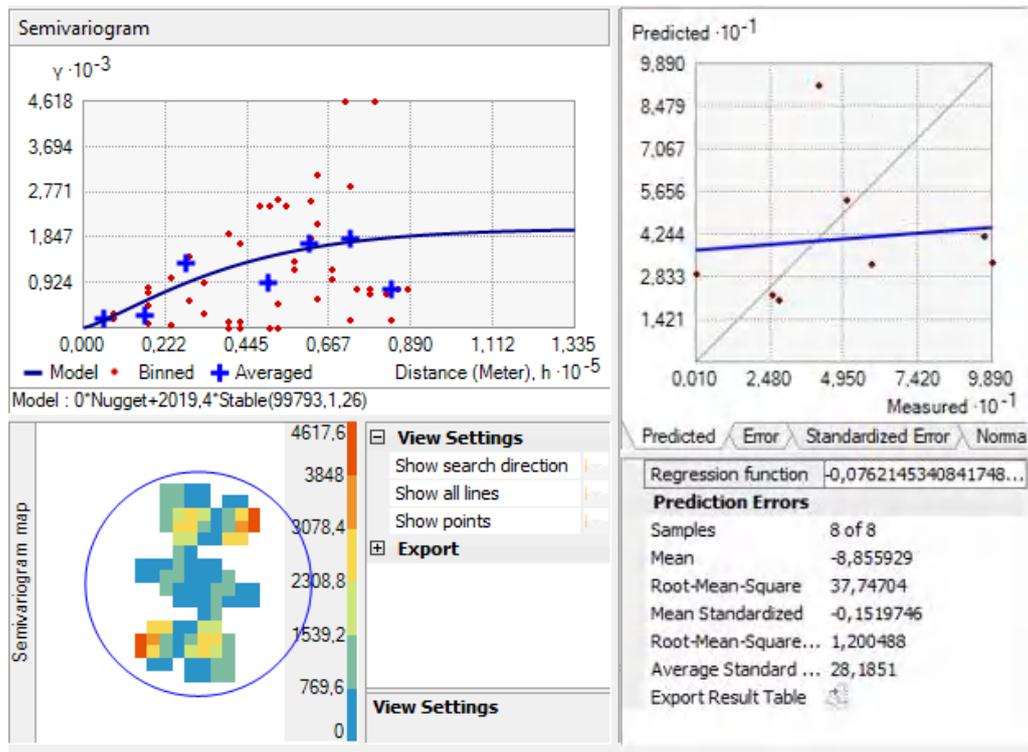


Figura 4-3. Semivariograma y error referente al 2do trimestre (datos GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 4-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 2do trimestre (GEAA) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de $-0,076$ donde más cerca sea a 0 el modelo es compatible, pero en ese caso se podría llegar a la conclusión que datos obtenidos en las estaciones no son suficientes para aplicar este método, además de la calidad de los datos puede ser un factor determinante para que no satisfaga este método.

En la figura 5-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a las estaciones del GEAA del 2do trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de $(60,1 - 99)$ mm nos indica una mayor precipitación hídrica, los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de $(17,1 - 60)$ mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor $(0 - 17)$ mm nos indica una ligera precipitación.

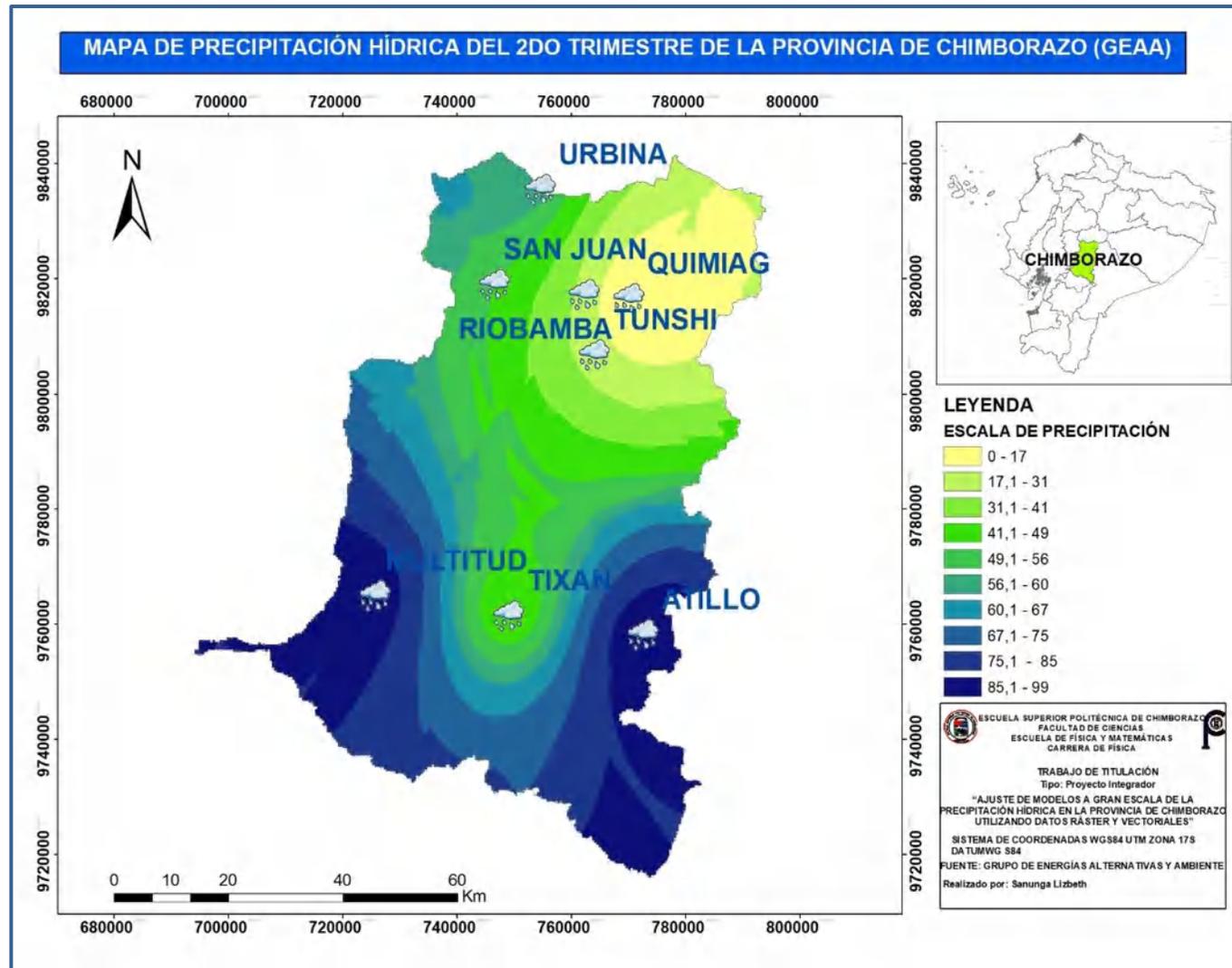


Figura 5-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 2do trimestre (GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

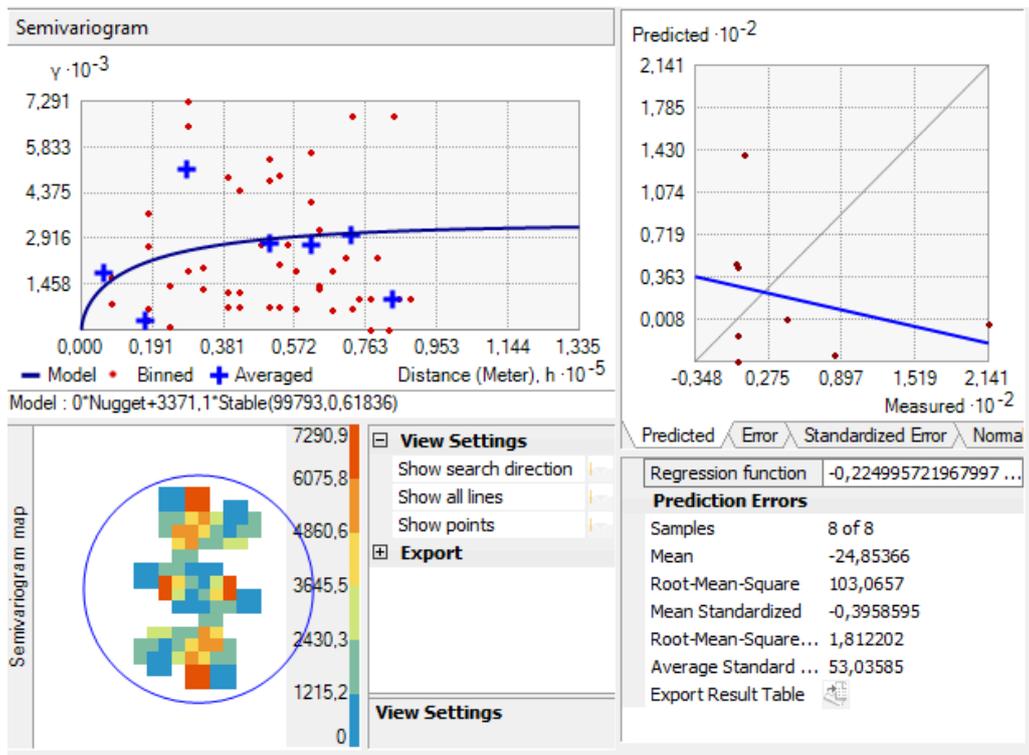


Figura 6-3. Semivariograma y error referente al 3er trimestre (datos GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 6-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 3er trimestre (GEAA) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de -0,36 donde más cerca sea a 0 el modelo es compatible, pero en ese caso se podría llegar a la conclusión que datos obtenidos en las estaciones no son suficientes para aplicar este método, además de la calidad de los datos puede ser un factor determinante para que no satisfaga este método.

En la figura 7-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a las estaciones del GEAA del 3er trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (70,1 - 232)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (0,6 - 70) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 – 0,5) mm nos indica una ligera precipitación.

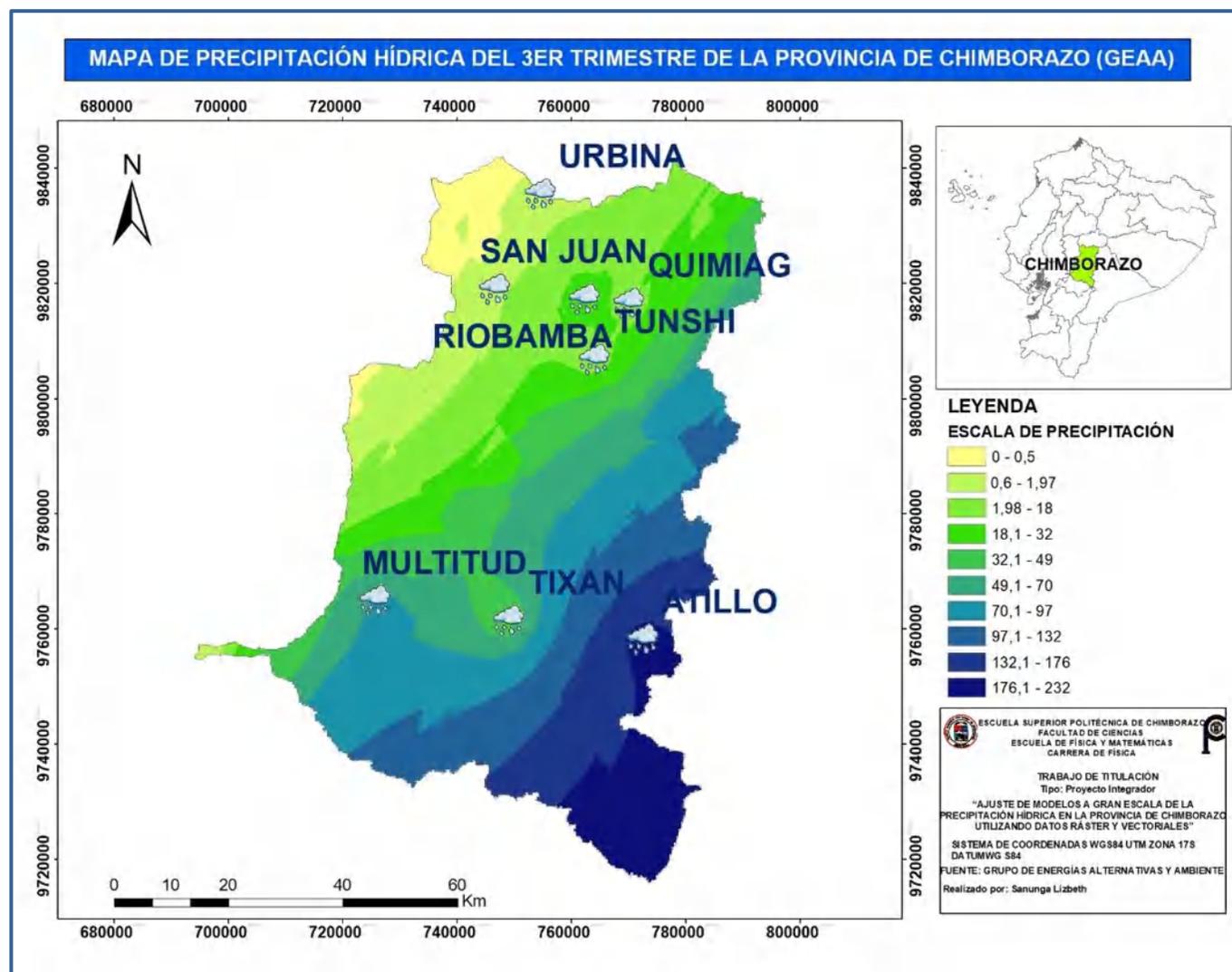


Figura 7-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 3er trimestre (GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

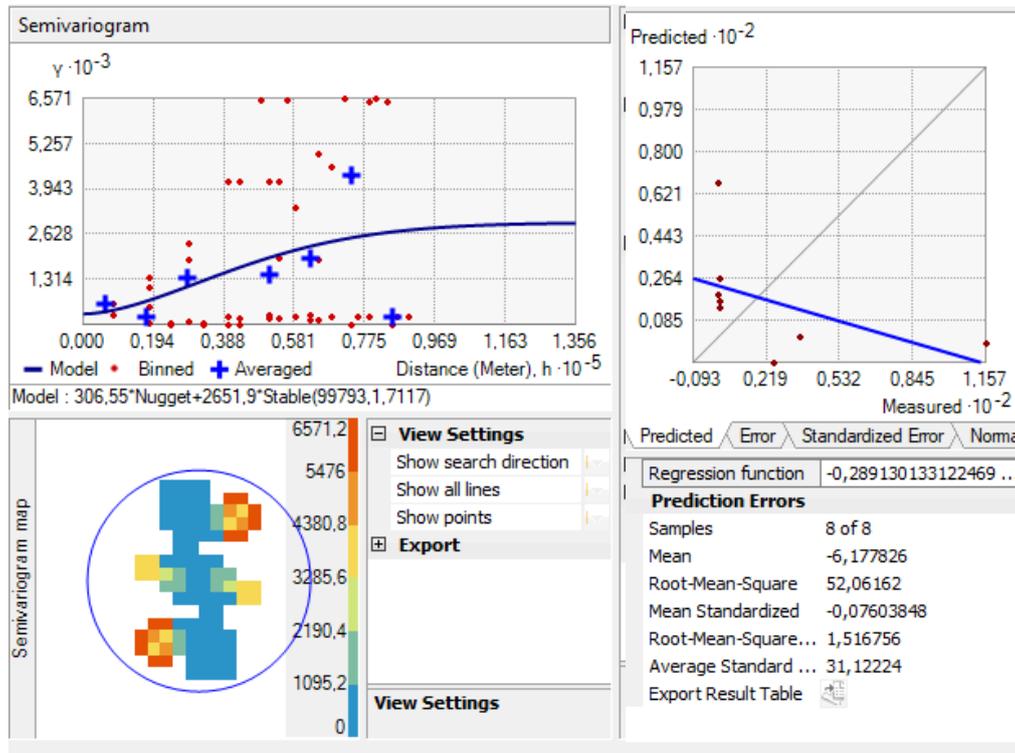


Figura 8-3. Semivariograma y error referente 4to trimestre (datos GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth. 2021.

De acuerdo con la figura 8-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 4to trimestre (GEAA) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de $-0,28$ donde más cerca sea a 0 el modelo es compatible, pero en ese caso se podría llegar a la conclusión que datos obtenidos en las estaciones no son suficientes para aplicar este método, además de la calidad de los datos puede ser un factor determinante para que no satisfaga este método.

En la figura 9-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a las estaciones del GEAA del 4to trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (23,1 - 106) mm nos indica una mayor precipitación hídrica, los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (4,1 - 23) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 4) mm nos indica una ligera precipitación.

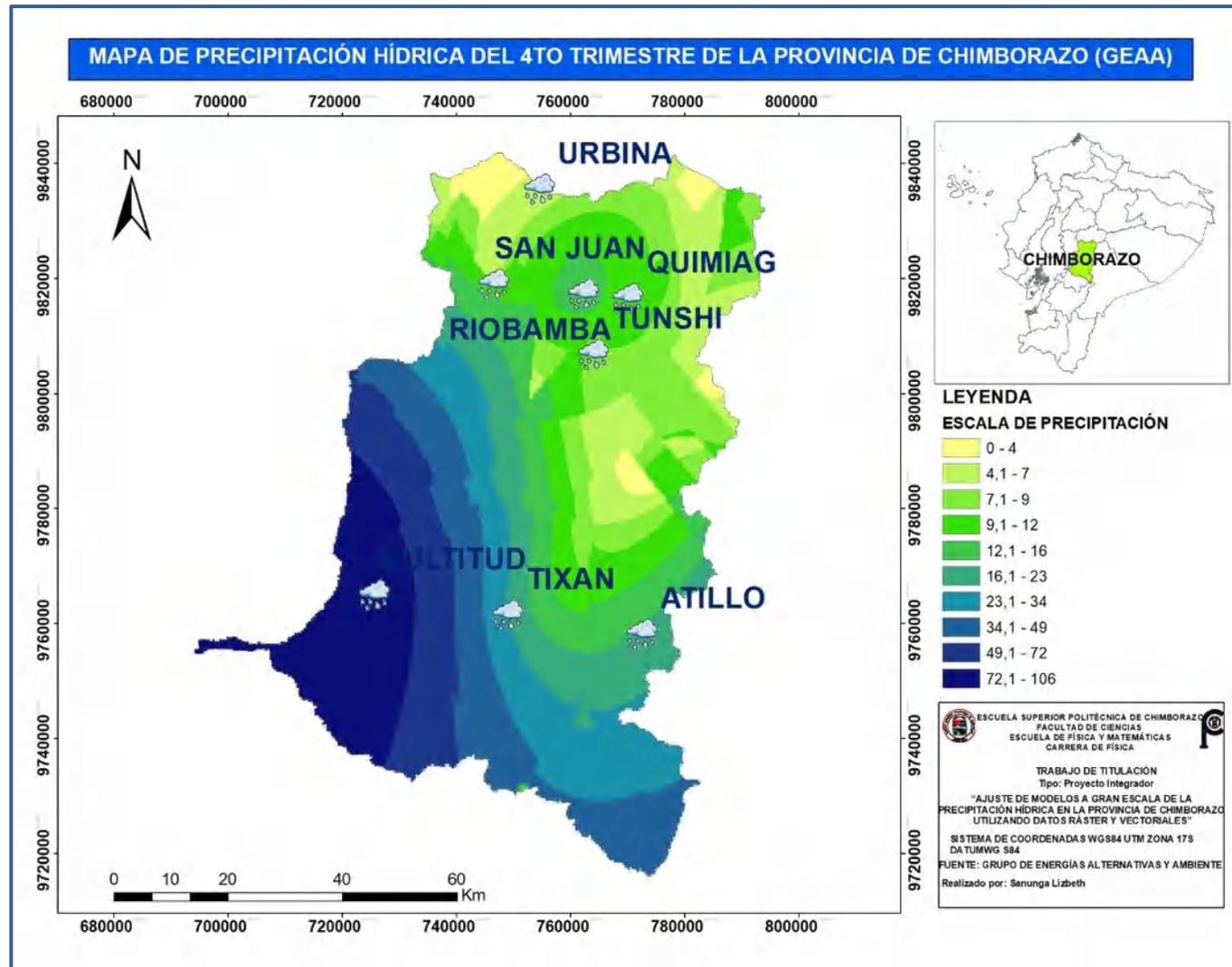


Figura 9-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 4to trimestre (GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth. 2021.

Serviograma y error

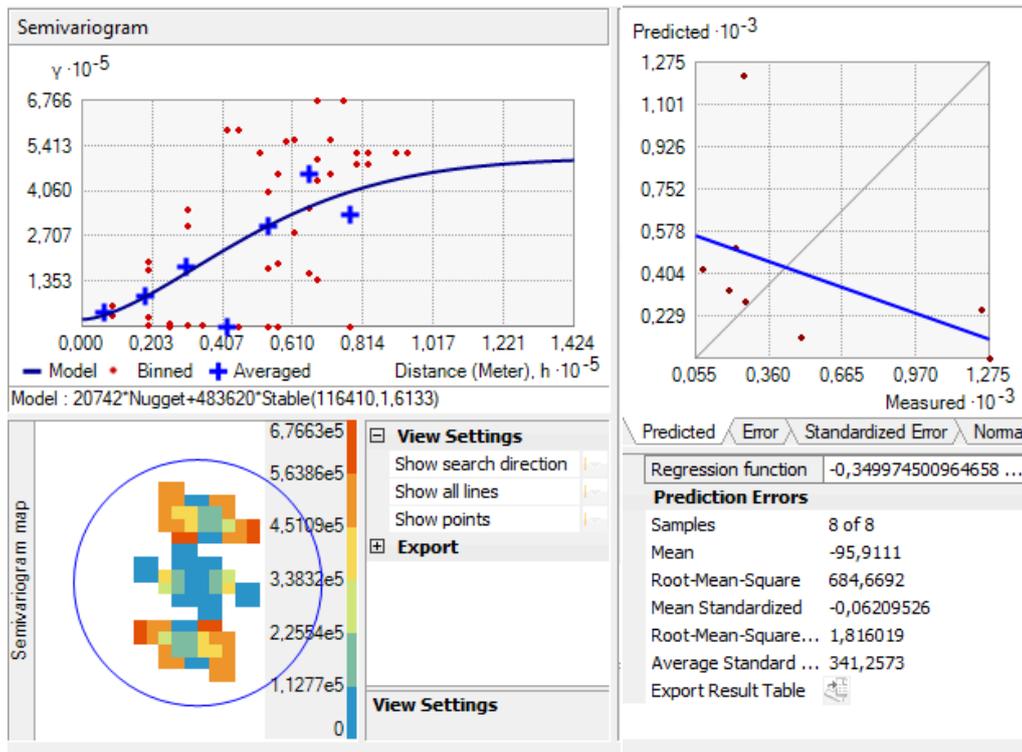


Figura 10-3. Semivariograma y error anual (datos GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 10 -3 el método de interpolación kriging de la precipitación anual (GEAA) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de -0,34 donde más cerca sea a 0 el modelo es compatible, pero en ese caso se podría llegar a la conclusión que datos obtenidos en las estaciones no son suficientes para aplicar este método, además de la calidad de los datos puede ser un factor determinante para que no satisfaga este método.

En la figura 11-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo anual respecto a las estaciones del GEAA, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (645,1 – 1.355)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (186,1 - 645) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 186) mm nos indica una ligera precipitación.

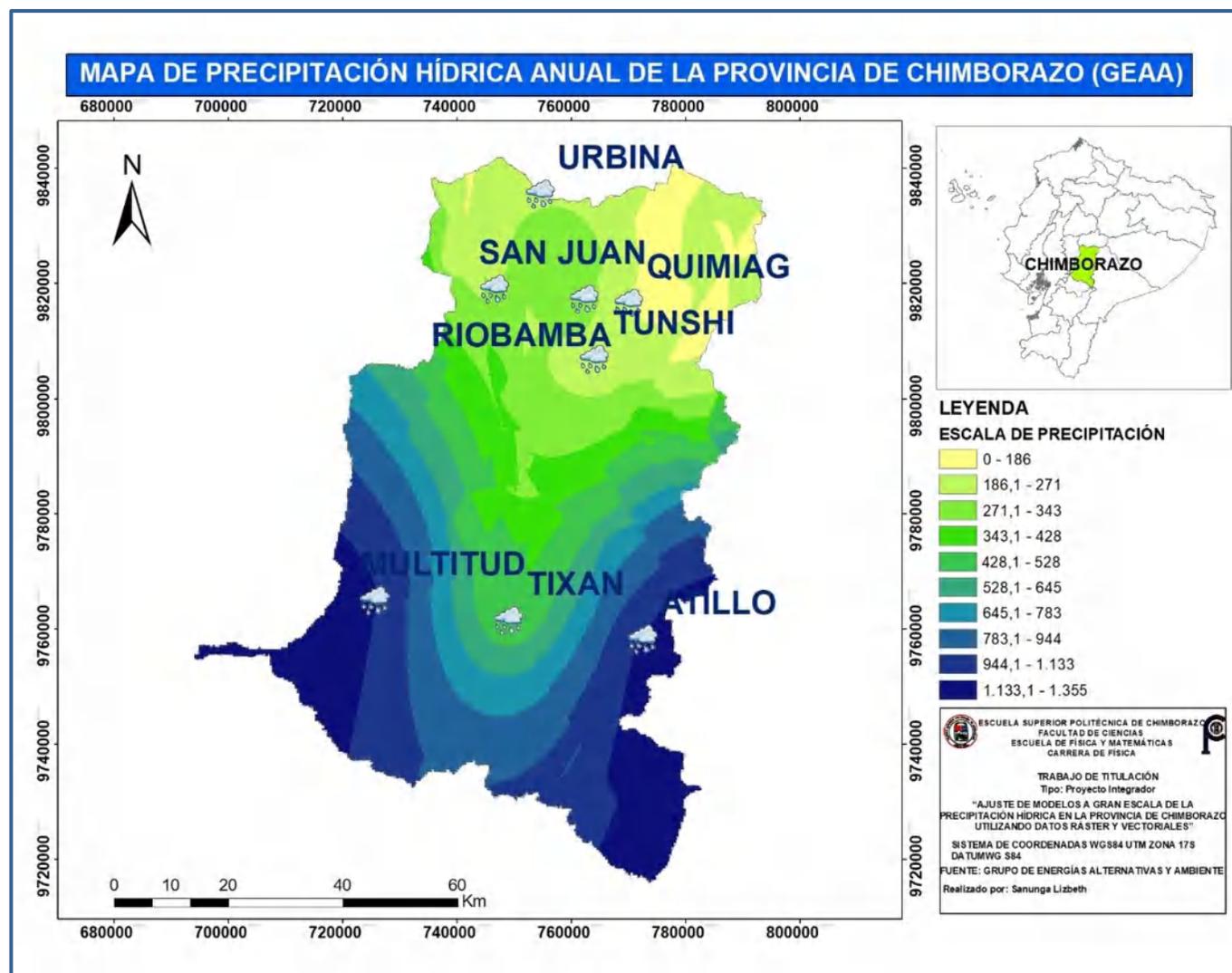


Figura 11-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación anual (GEAA)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

3.3.2. Serviogramas y error (Datos Satelitales)

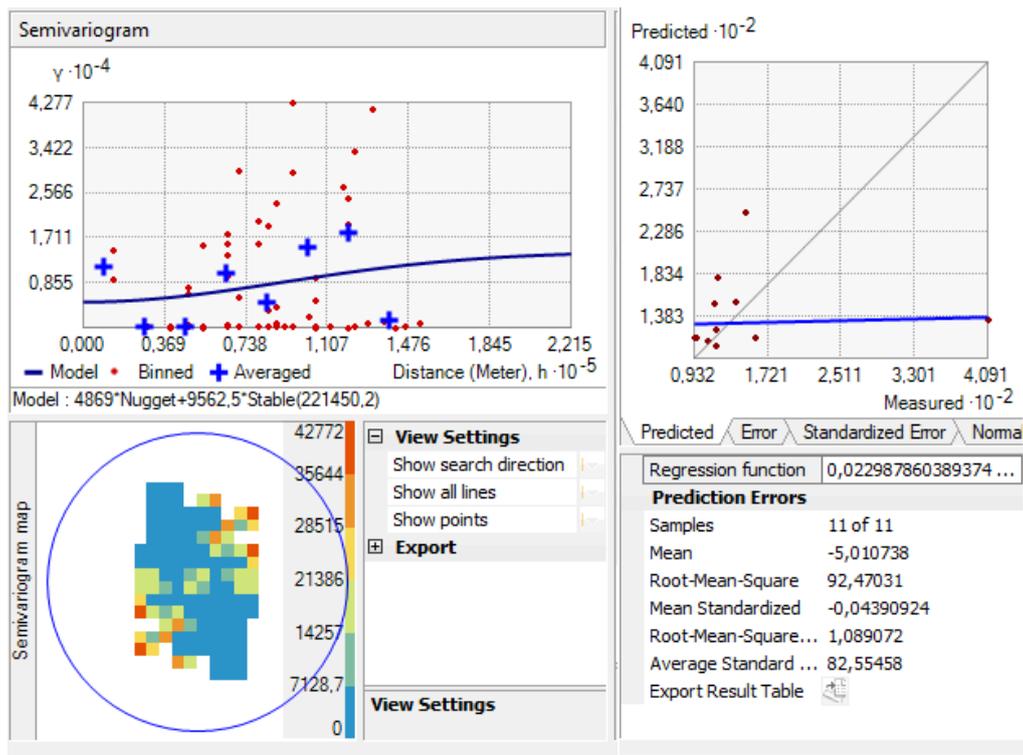


Figura 12-3. Semivariograma y error referente al 1er trimestre (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 12-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 1er trimestre (GEAA) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,02 donde más cerca sea a 0 el modelo es compatible.

En la figura 13-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a los (datos satelitales) del 1er trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (127,1 - 232)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (105,1 - 127) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 105) mm nos indica una ligera precipitación.

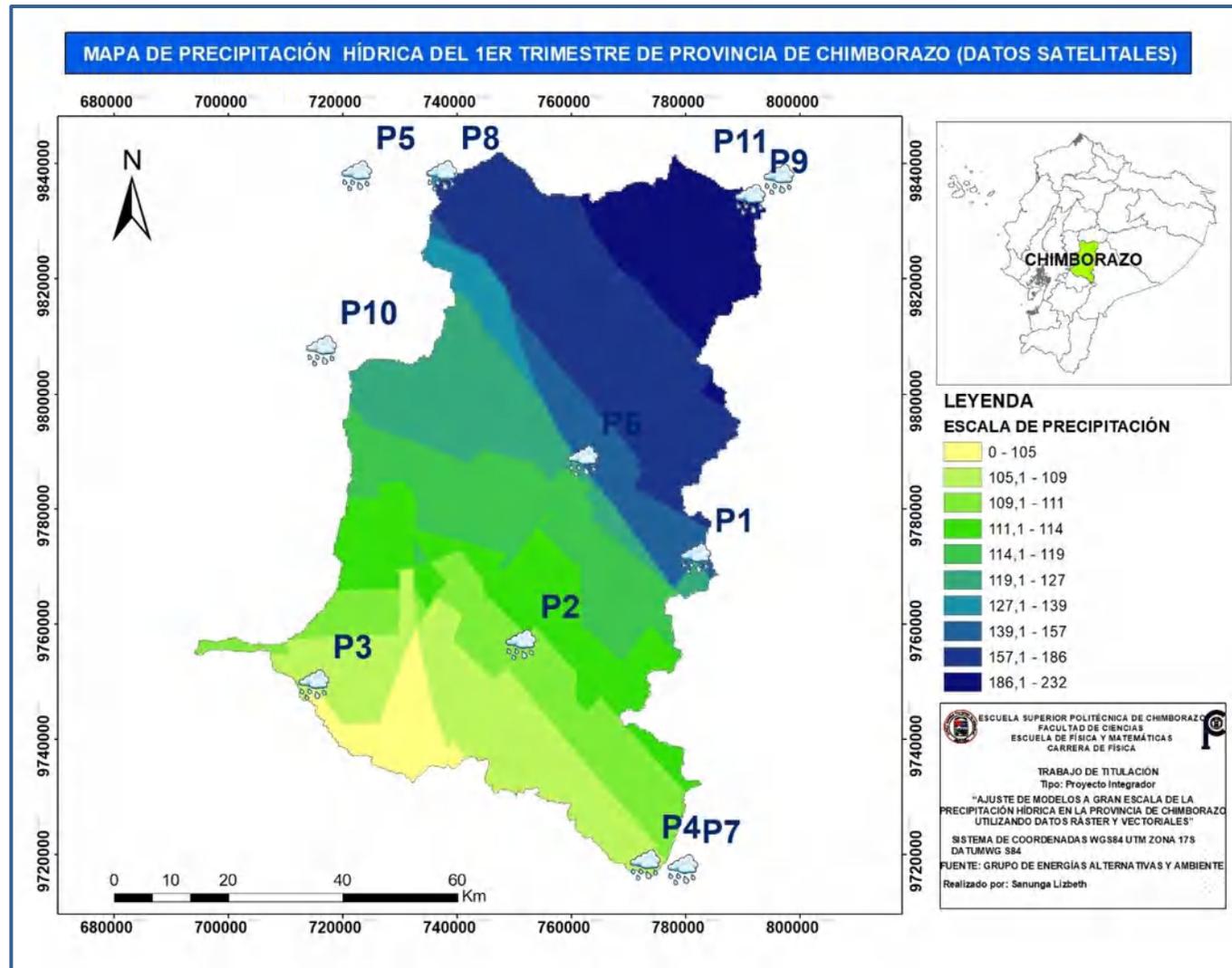


Figura 13-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 1er trimestre (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error



Figura 14-3: Semivariograma y error referente al 2do trimestre (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 14 -3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 2do trimestre (GEAA) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,56 donde más cerca sea a 0.

En la figura 15-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a los (datos satelitales) del 2do trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (201,1 - 262)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (158,1 – 201) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 158) mm nos indica una ligera precipitación.

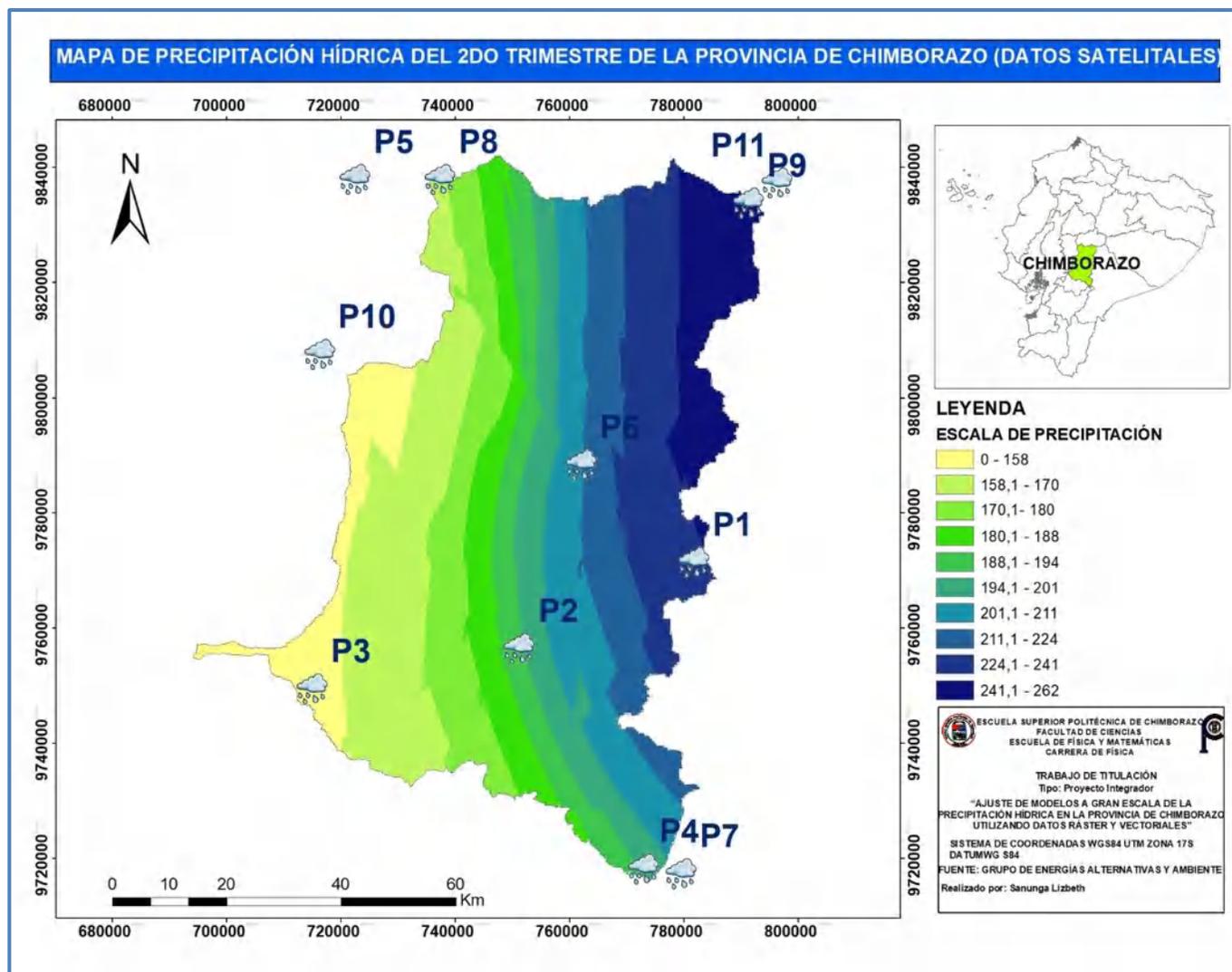


Figura 15-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 2do trimestre (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

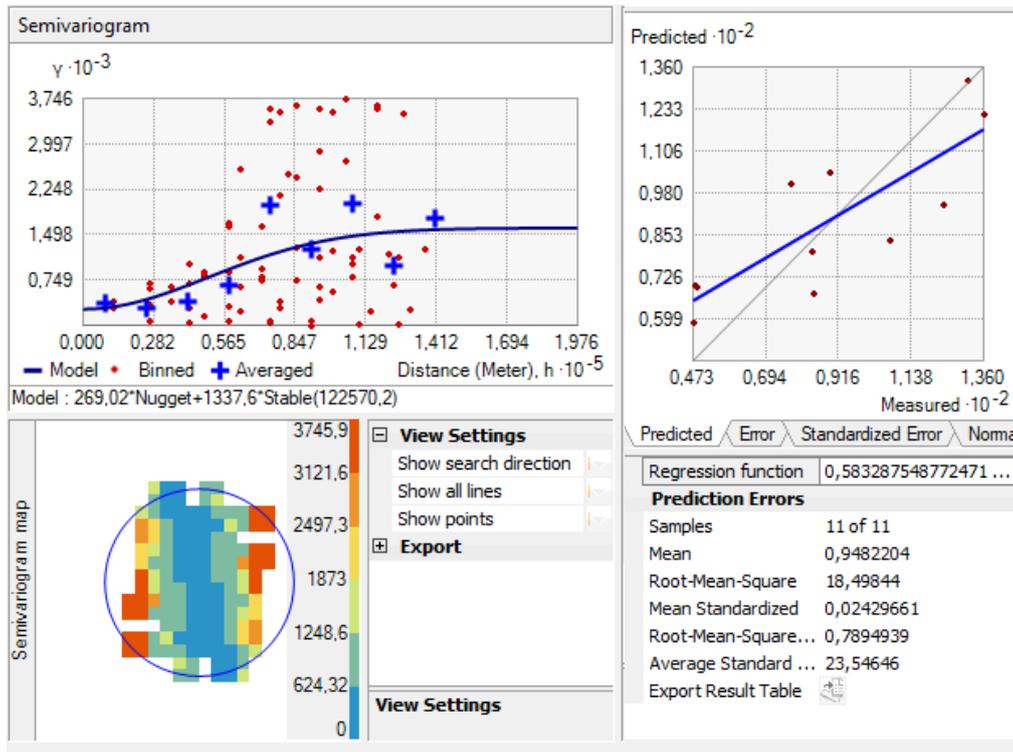


Figura 16-3. Semivariograma y error referente al 3er trimestre (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 16-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 3er trimestre de los (datos satelitales) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,58 donde más cerca sea a 0.

En la figura 17-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a los (datos satelitales) del 3er trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (93,1 - 130)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (59,1 - 93) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 59) mm nos indica una ligera precipitación.

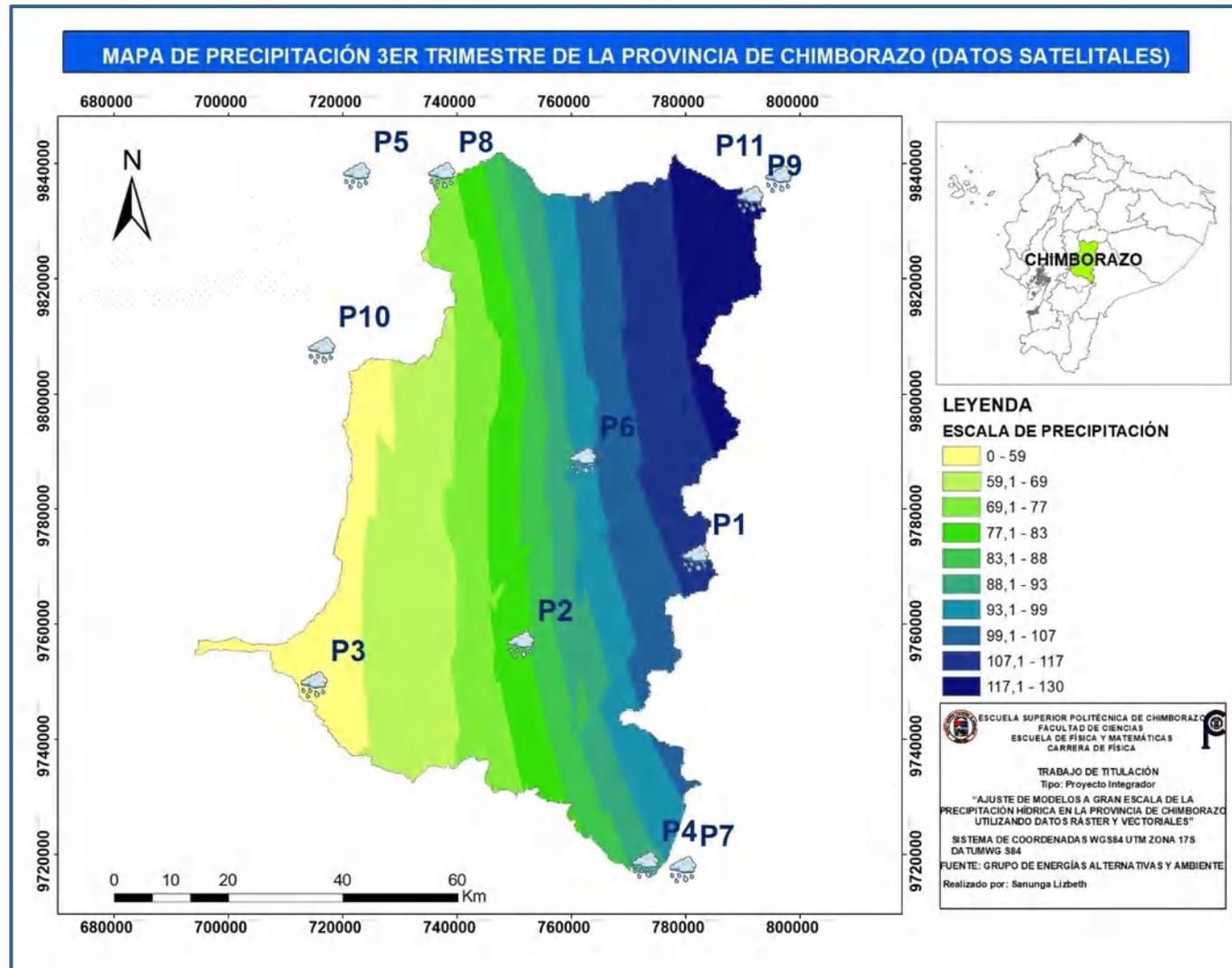


Figura 17-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 3er trimestre (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

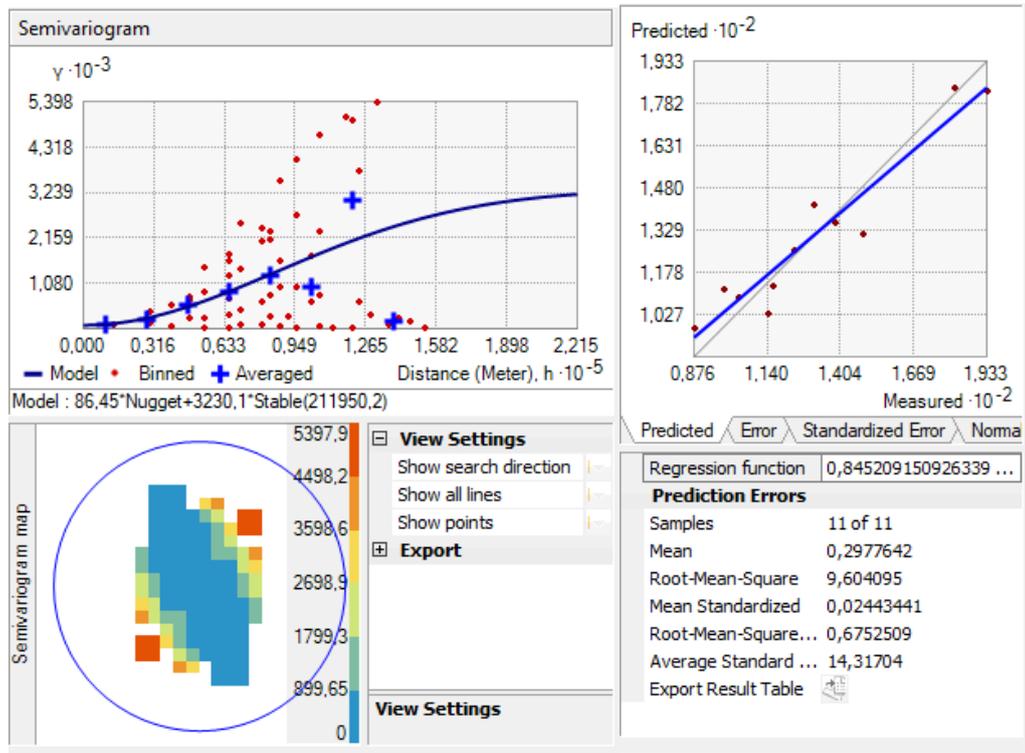


Figura 18-3: Semivariograma y error referente al 4to trimestre (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 18-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 4to trimestre (datos satelitales) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,84 donde más cerca sea a 0, el modelo es compatible.

En la figura 19-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a los (datos satelitales) del 4to trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (127,1 - 184)mm nos indica una mayor precipitación hídrica, los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (91,1 - 127) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 91) mm nos indica una ligera precipitación.

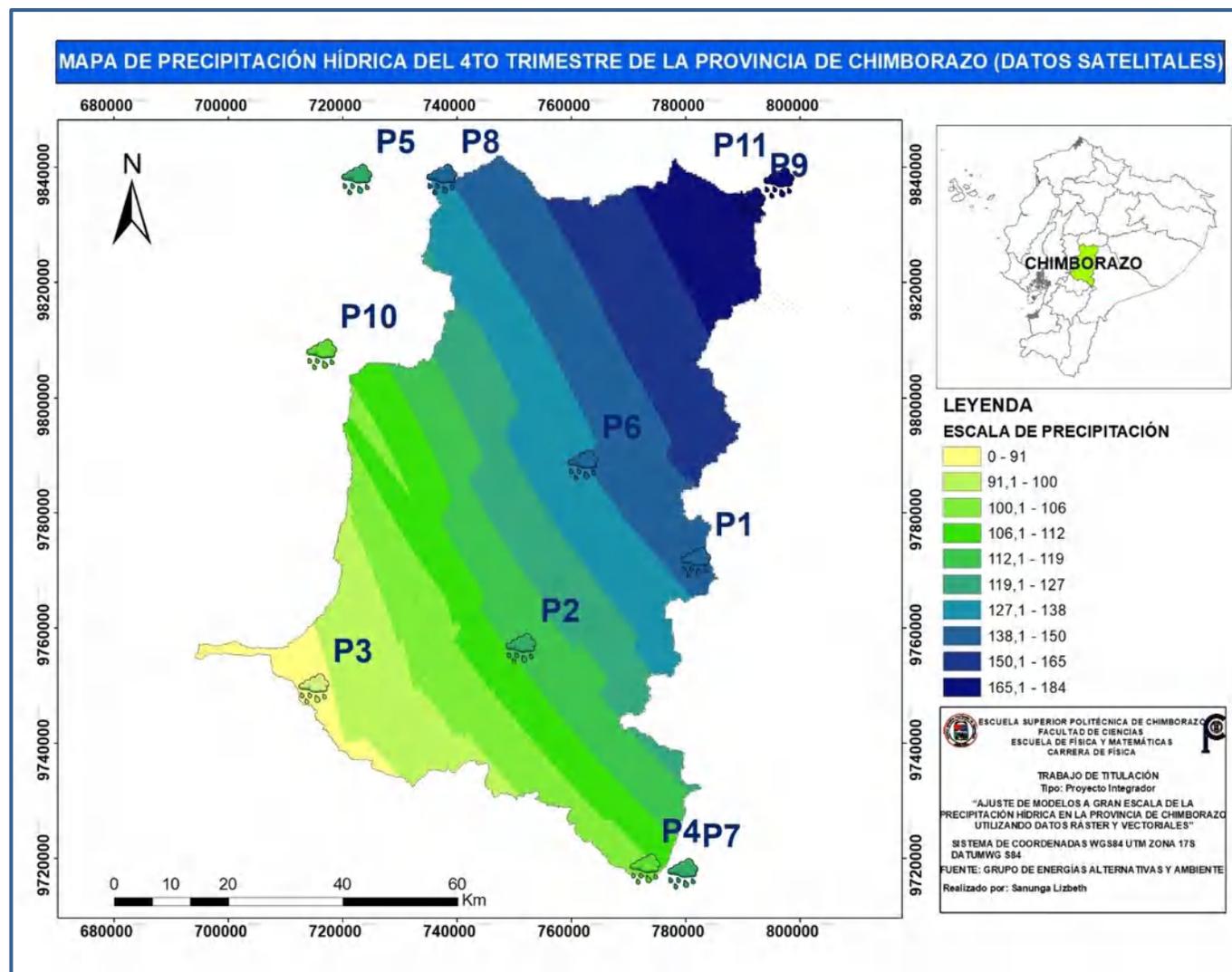


Figura 19-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 4to trimestre (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

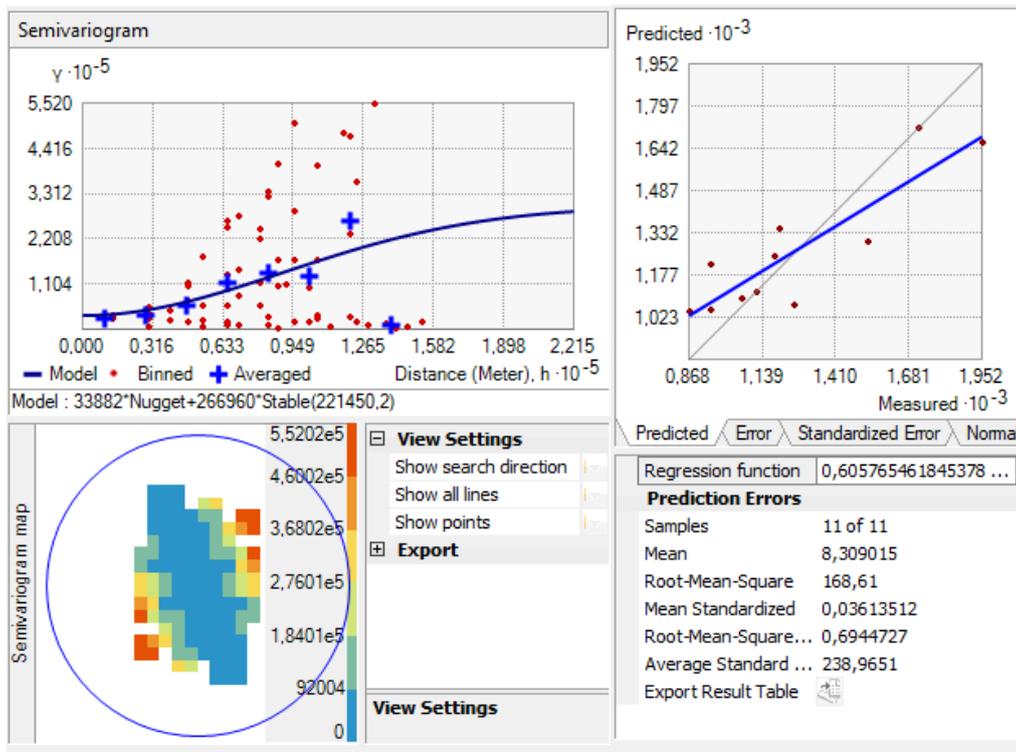


Figura 20-3. Semivariograma y error anual (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 20-3 el método de interpolación kriging de la precipitación anual (datos satelitales) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,60 donde más cerca sea a 0. En la figura 21-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación anual que contiene la provincia de Chimborazo respecto a los (datos satelitales), donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (1.235,1 -1.771)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (976,1 – 1.235) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 976) mm nos indica una ligera precipitación.

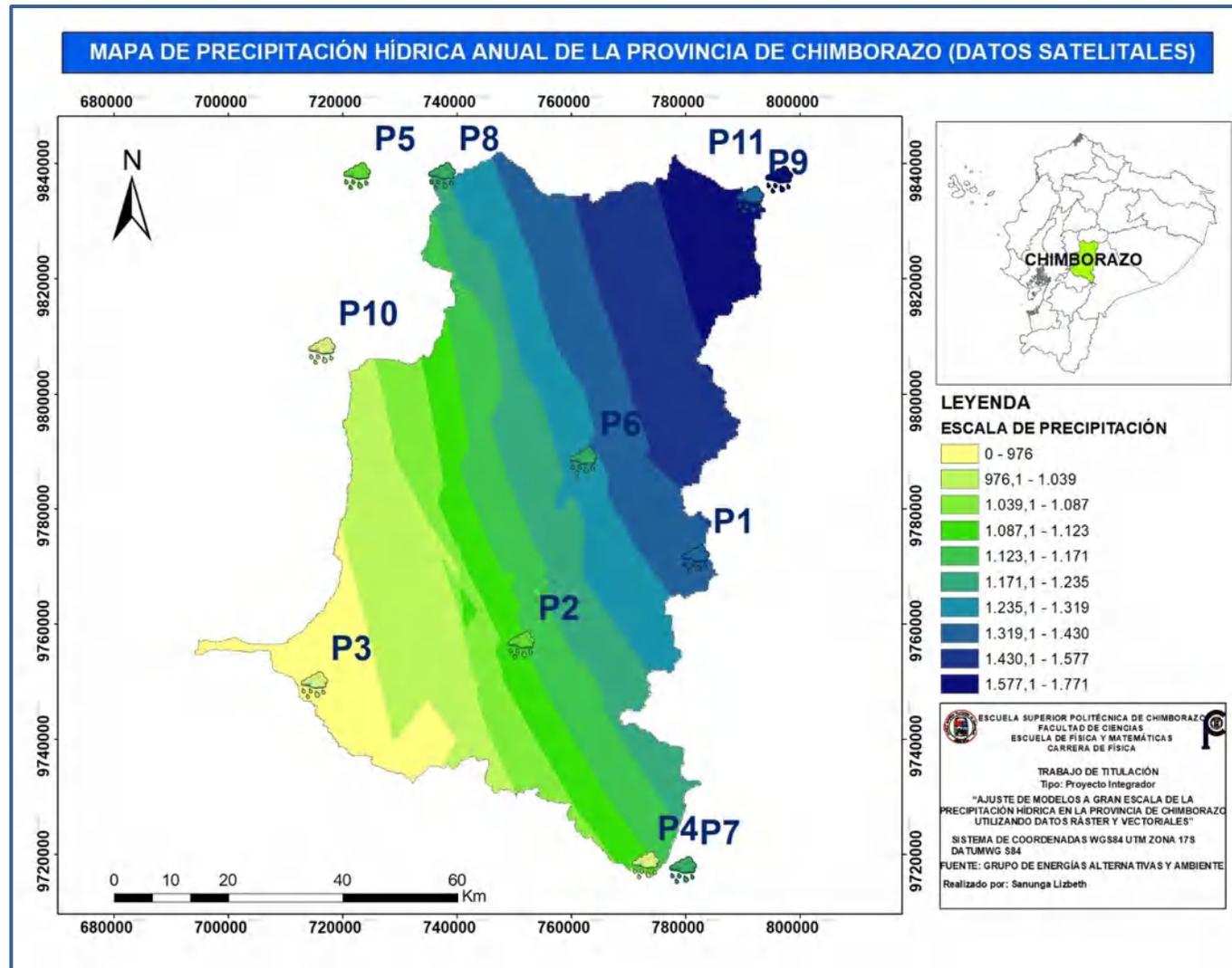


Figura 21-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación anual (datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

3.3.3. Serviogramas y error (GEAA – Datos satelitales)

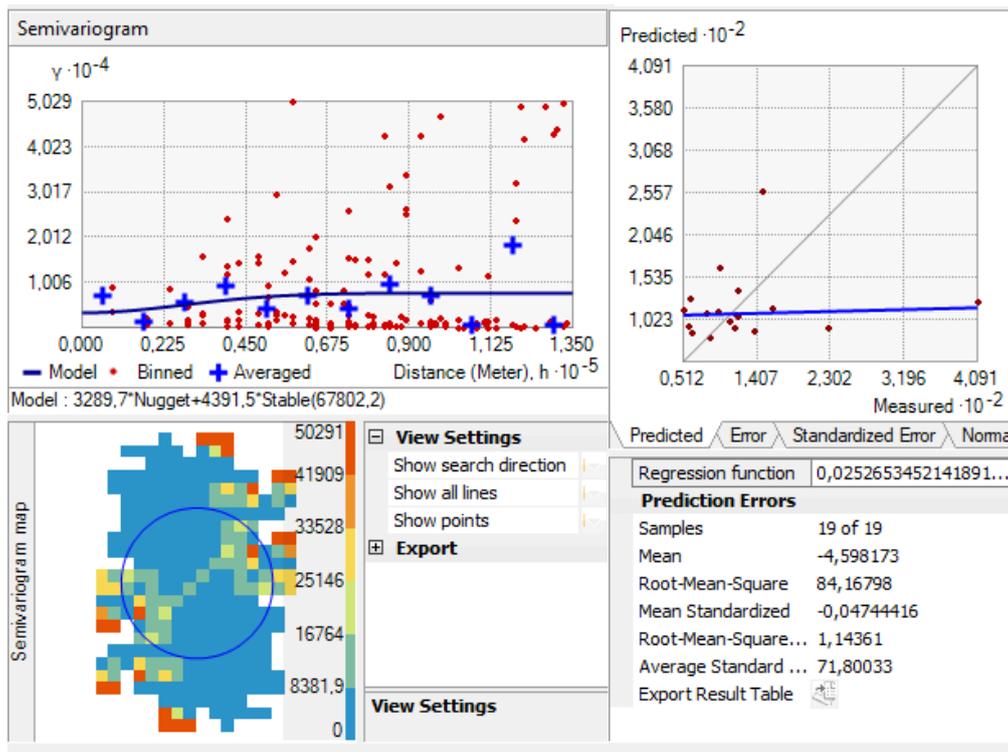


Figura 22-3. Semivariograma y error referente al 1er trimestre (GEAA-datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 22-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 1er trimestre (GEAA -datos satelitales) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,02 donde más cerca sea a 0, el modelo es compatible.

En la figura 23-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a las estaciones del GEAA y datos satelitales del 1er trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (119,1 - 227)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (84,1 - 119) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 84) mm nos indica una ligera precipitación.

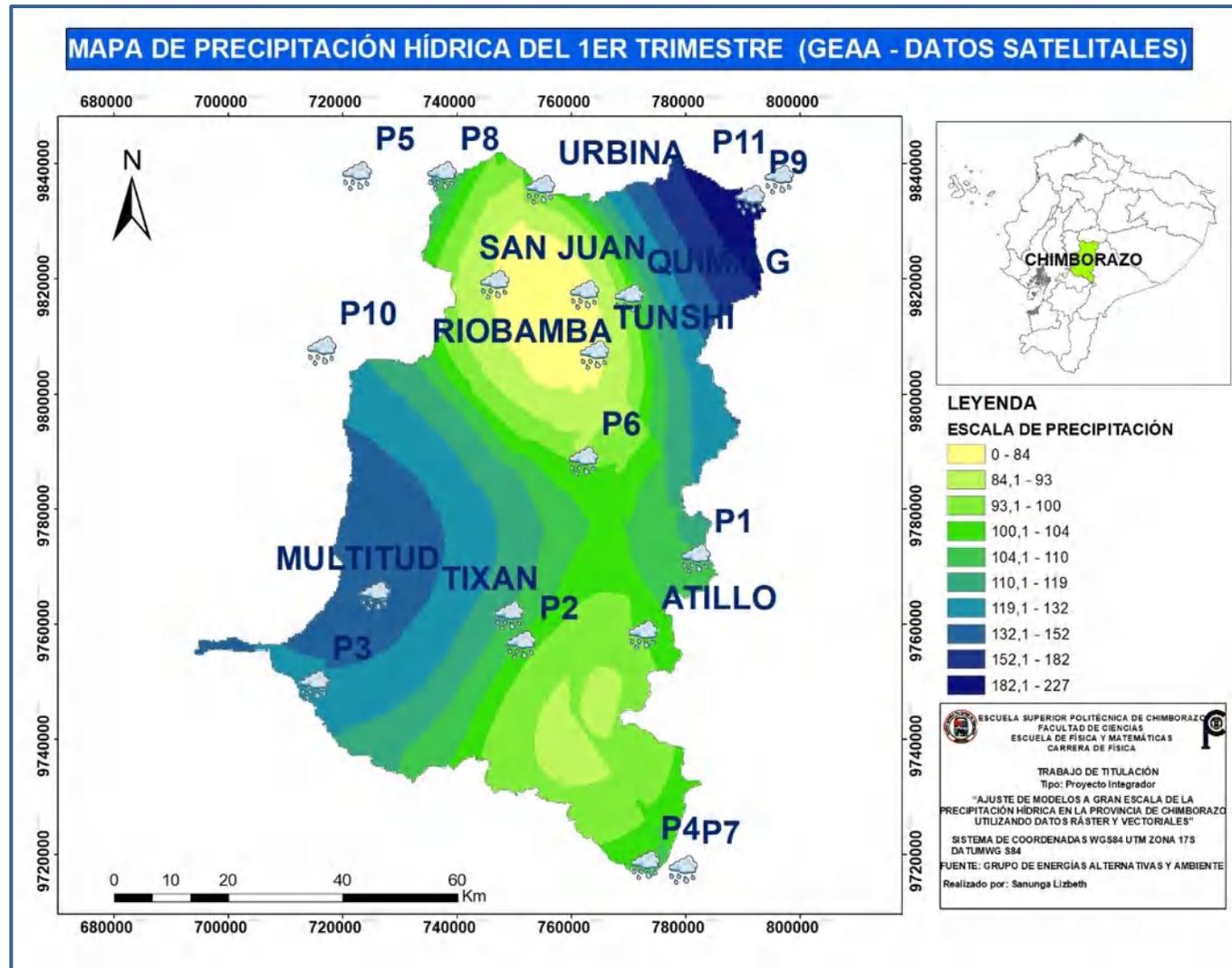


Figura 23-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 1er trimestre (GEAA-datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

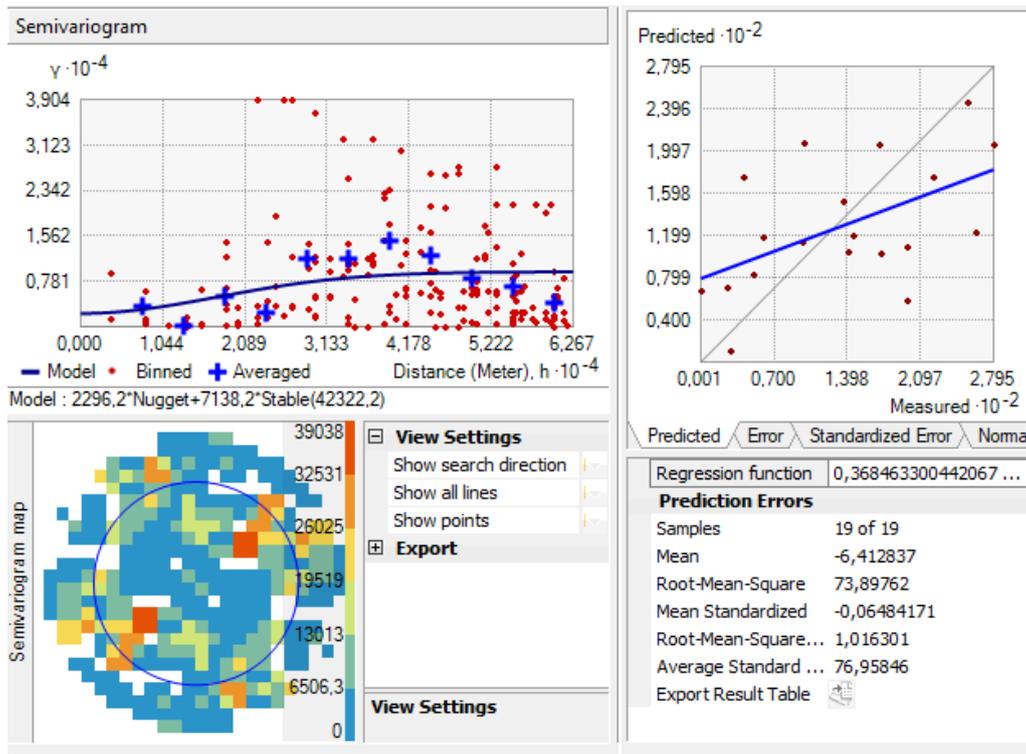


Figura 24-3. Semivariograma y error referente al 2do trimestre (GEAA - datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 24-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 2do trimestre (GEAA -datos satelitales) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,36 donde más cerca sea a 0

En la figura 25-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a las estaciones del GEAA y datos satelitales del 2do trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (139,1 - 248)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (65,1 - 139) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 65) mm nos indica una ligera precipitación.

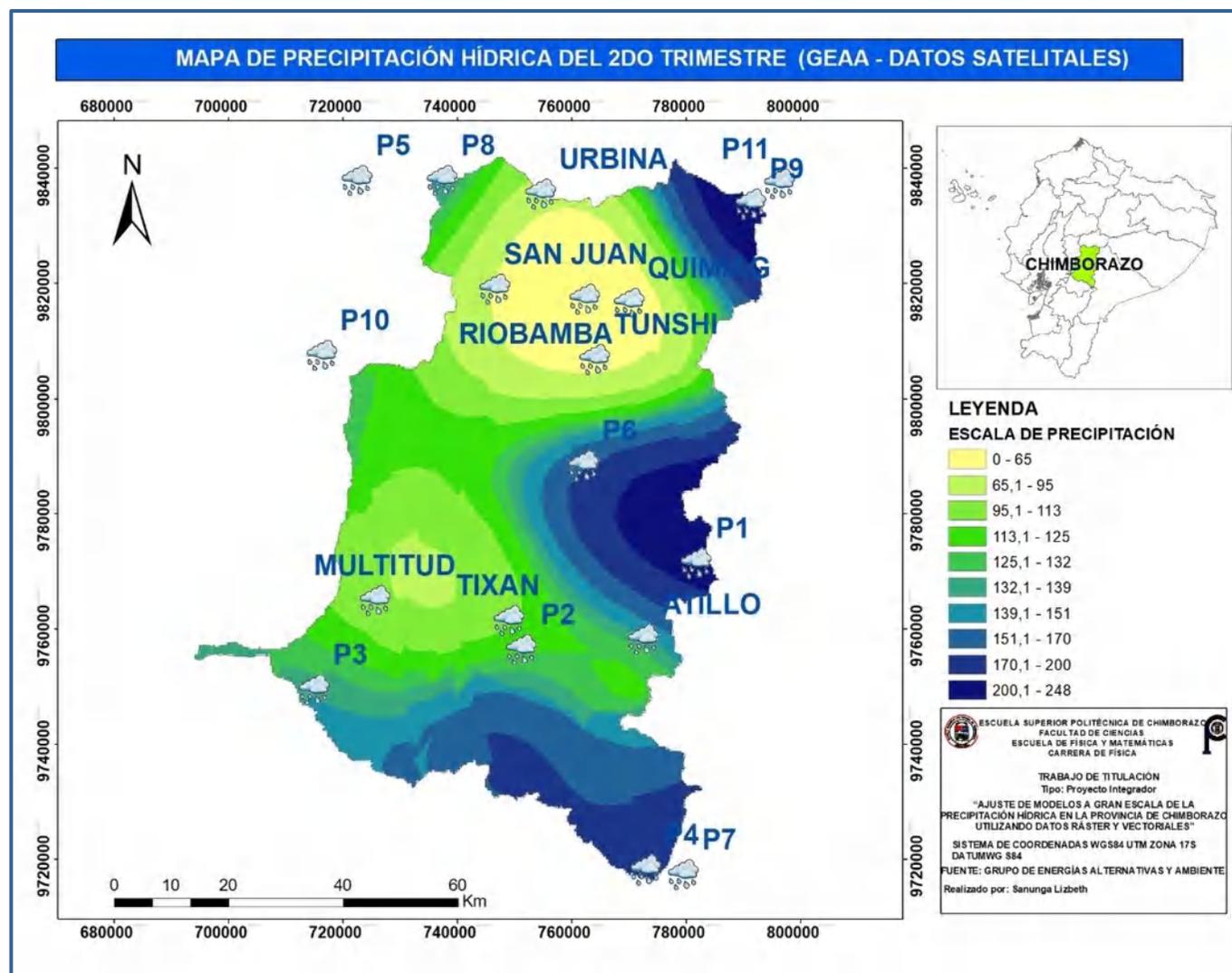


Figura 25-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 2do trimestre (GEAA-datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

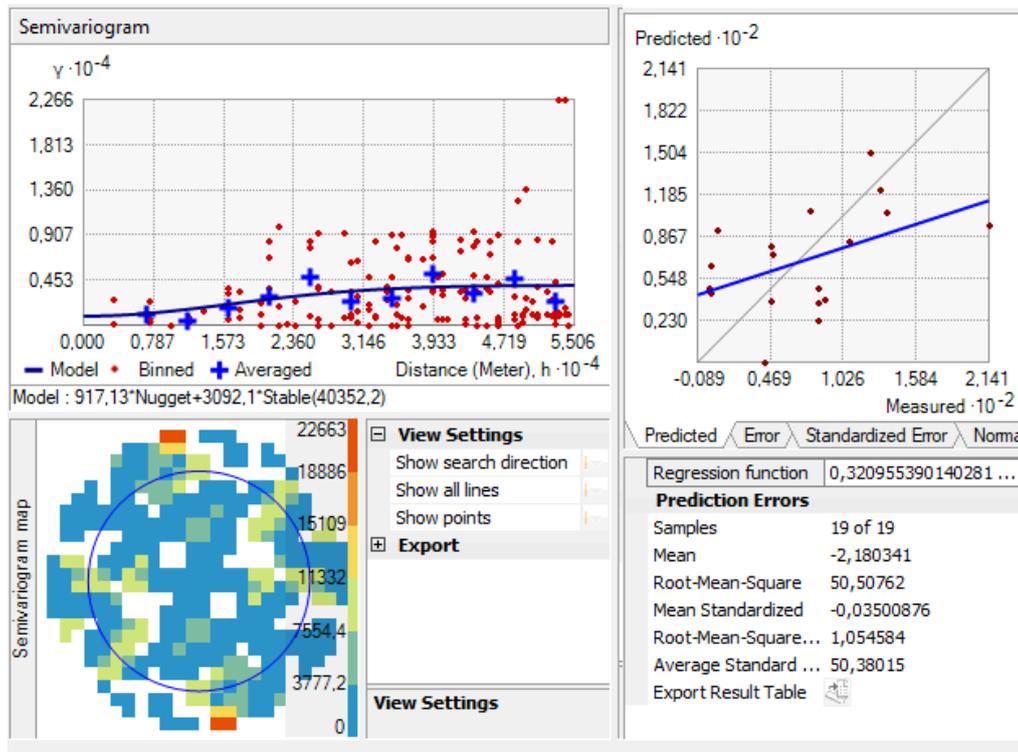


Figura 26-3. Semivariograma y error referente al 3er trimestre (GEAA - datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 26-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 3er trimestre (GEAA -datos satelitales) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,32 donde más cerca sea a 0, el modelo es compatible.

En la figura 27-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a las estaciones del GEAA y datos satelitales del 3er trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (74,1 - 178)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (24,1 - 74) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 24) mm nos indica una ligera precipitación.

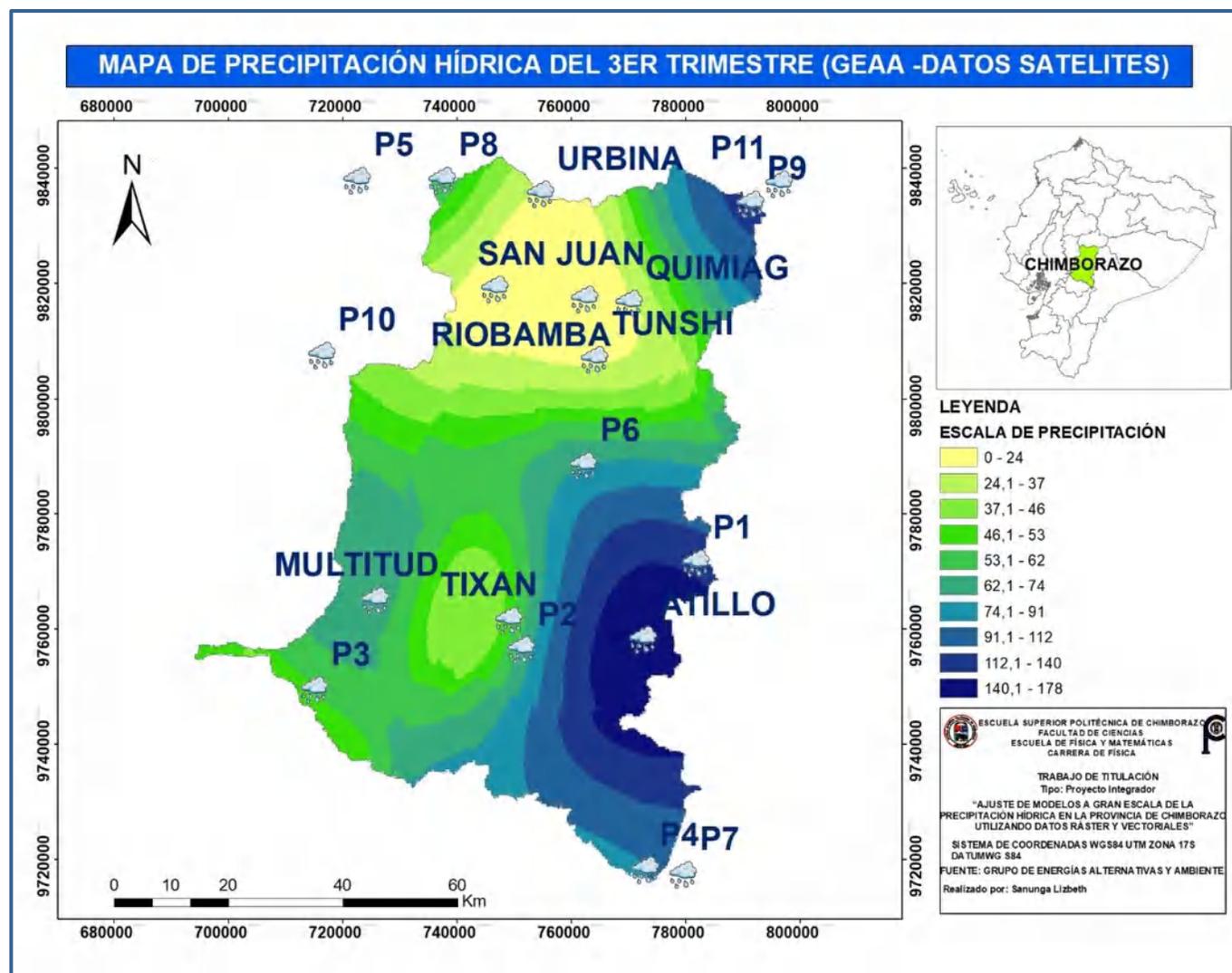


Figura 27-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 3er trimestre (GEAA - datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

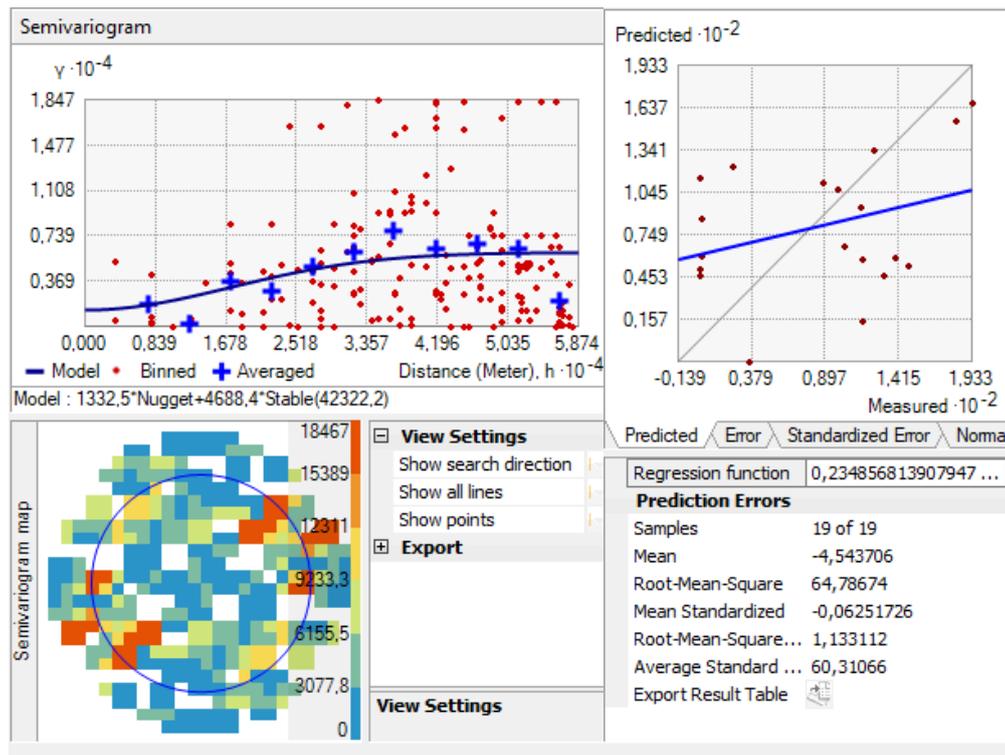


Figura 28-3. Semivariograma y error referente al 4to trimestre (GEAA - datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 28-3 el método de interpolación kriging de la precipitación respecto al 4to trimestre (GEAA -datos satelitales) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,23 donde más cerca sea a 0.

En la figura 29-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación que contiene la provincia de Chimborazo respecto a las estaciones del GEAA y datos satelitales del 4to trimestre, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (93,1 - 173)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (35,1 - 93) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 35) mm nos indica una ligera precipitación.

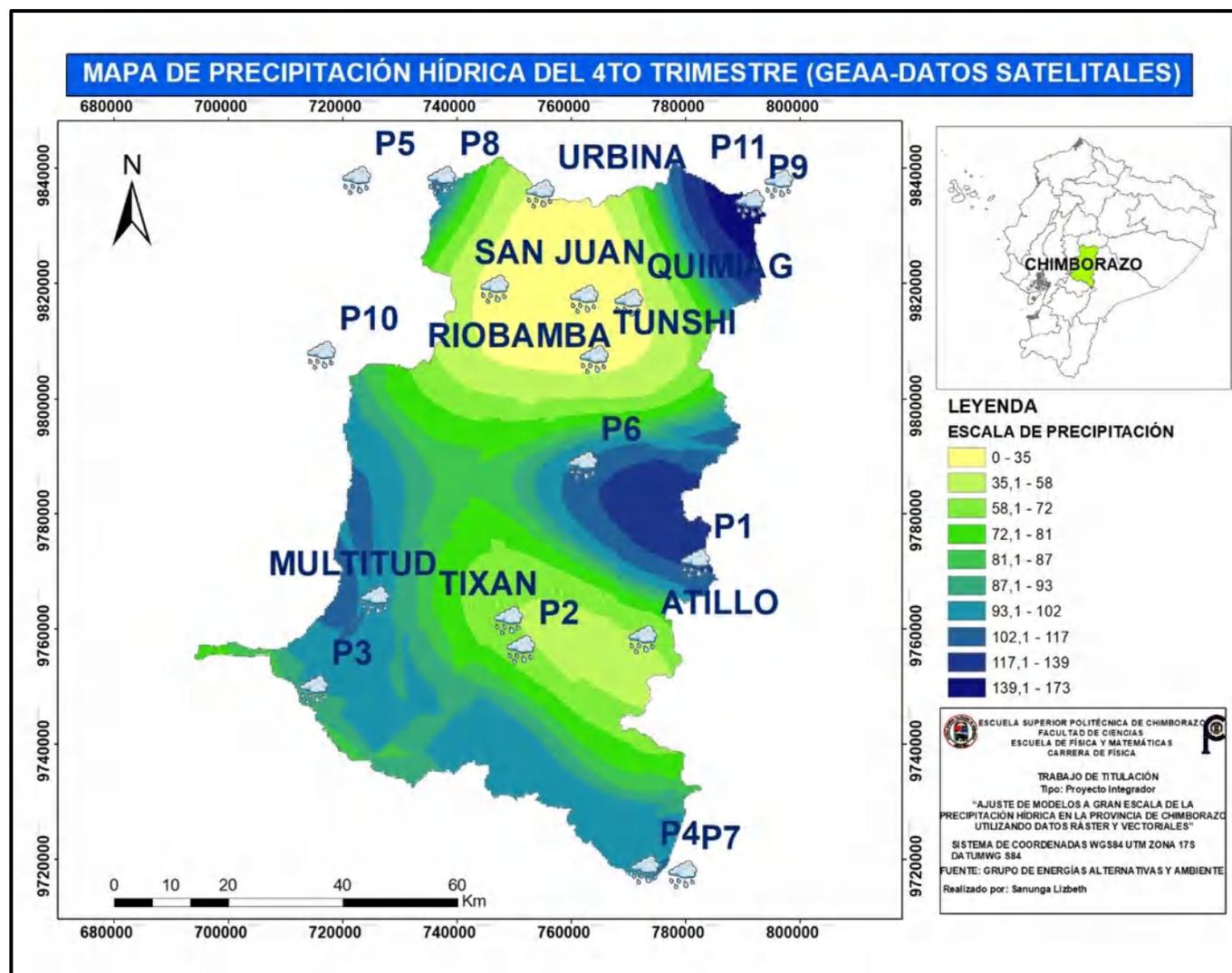


Figura 29-3. Mapa de interpolación Kriging de la precipitación referente al 4to trimestre (GEAA - datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Serviograma y error

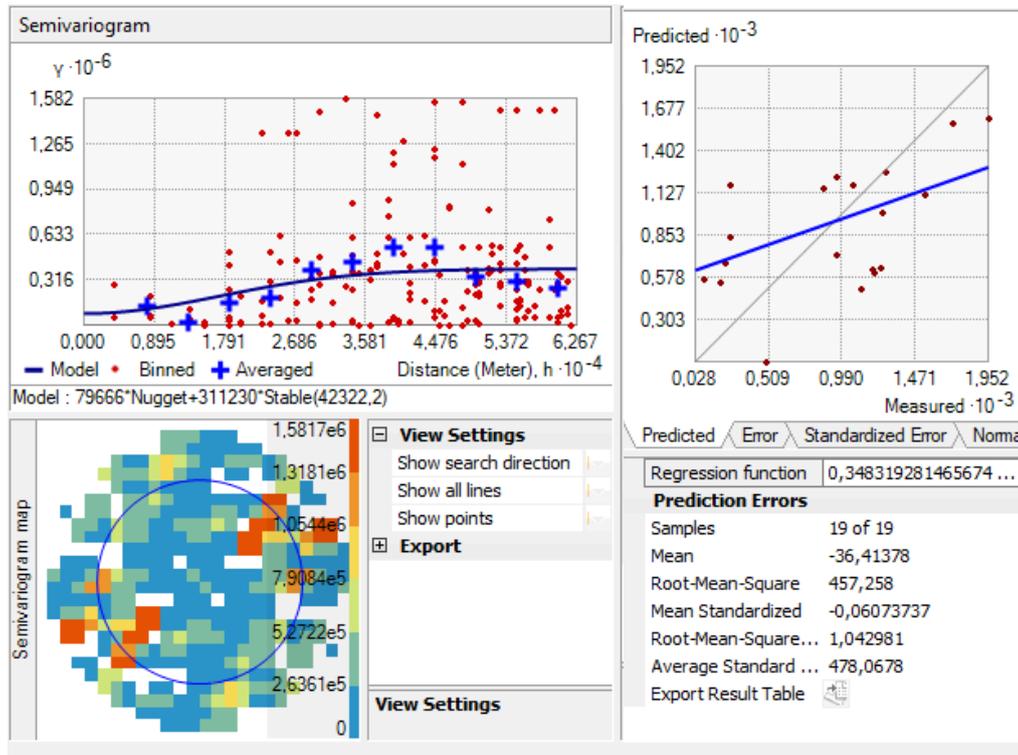


Figura 30-3. Semivariograma y error referente anual (GEAA - datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

De acuerdo con la figura 30-3 el método de interpolación kriging de la precipitación anual (GEAA - datos satelitales) nos detalla un serviograma creciente, donde los puntos se encuentran muy cerca de la curva de interpolación. Donde se obtiene un error de predicción de 0,34 donde más cerca sea a 0, el modelo es compatible.

En la figura 31-3 de acuerdo con el modelo de kriging nos detalla los diferentes niveles de precipitación anual que contiene la provincia de Chimborazo respecto a las estaciones del GEAA y datos satelitales, donde los colores más intensos como azul oscuro con un rango de (995,1 – 1.714)mm nos indica una mayor precipitación hídrica , los colores diversas tonalidades como el verde con un rango de (525,1 - 995) mm nos indica una menor intensidad de precipitación hídrica y el color amarillo con valor (0 - 525) mm nos indica una ligera precipitación.

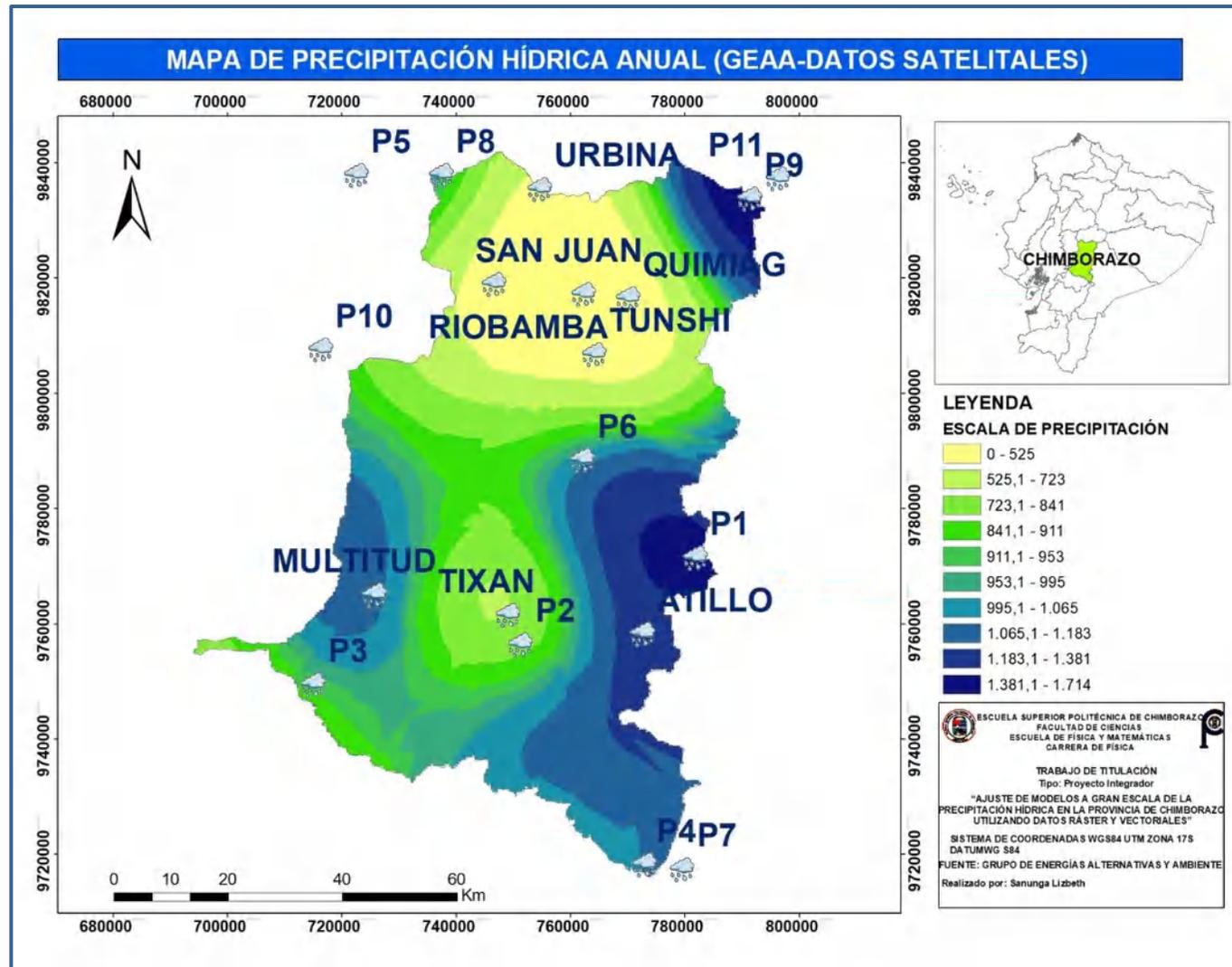


Figura 31-3. Mapa de interpolación Kriging anual (GEAA - datos satelitales)

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

3.4. Validación de los datos

Este método se basa en la eliminación de i-décimo valor medido donde es 2 referente a los 19 valores de precipitación que se tiene, y de esta manera estimar con los valores restantes (17 datos), los valores selectos se encuentran en el cantón Penipe y Guamote. En la tabla 3-1 se puede apreciar la ubicación de los datos que fueron escogidos.

Tabla 4-3: Puntos seleccionados para la validación.

ID	Coordenadas UTM		CANTÓN	PRECIPITACIÓN
	X (Longitud)	Y (Latitud)		
P9	791342	9833658	Penipe	1717,67
ATILLO	772610	9758048	Guamote	1275

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

En la tabla 3-3 consta de dos puntos que fueron escogidos para la realización de la validación donde el P9 está situada al norte-este de la provincia y se encuentra ubicado en el cantón Penipe, el punto de Atillo se encuentra al sureste de la provincia, con su ubicación en el cantón de Guamote.



Figura 32-3. Mapa de los puntos seleccionado para la validación

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

Tabla 5-3: Datos de la precipitación para la validación cruzada

ID	X	Y	PRECIPITACIÓN (Suma)
RIOBAMBA	762273	9817120	488,9
URBINA	754571	9835358	256,4
TUNSHI	764087	9806678	188,1
QUIMIAG	770083	9816392	79
TIXÁN	749103	9761332	255,9
SAN JUAN	746596	9818849	216,7
MULTITUD	725688	9764881	1242,3
P1	781815	9771342	1530,89
P2	751261	9771342	1115,36
P3	715013	9749328	867,58
P4	772961	9718027	948,25
P5	722524	722524	1063,42
P6	762069	762069	1203,37
P7	779504	9717276	1256
P8	737361	9837773	1184,55
P10	716306	9807422	949,04
P11	796336	9837145	1952,08

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

3.5. Análisis Estadístico

El error experimental se le denomina a la desviación que existe entre muestras tomadas de la misma población. Estos errores dependerán del modelo o procedimiento desarrollado, para el análisis de este trabajo se utilizó el error absoluto y el error relativo. Dónde el valor absoluto es la diferencia del valor medido con el valor real y el error relativo es el cociente entre el error absoluto y el valor real. (Damián, 2014, p.78).

$$\text{Error absoluto } e_{abs} = fm - fr$$

$$\text{Error relativo } e_{real} = \frac{e_{abs}}{fr}$$

fm : valores obtenidos de la interpolación kriging

fr : valores de la validación cruzada

Tabla 6-3: Análisis Estadístico de la precipitación hídrica

ID	KRIGING ORDINARIO	VALIDACIÓN CRUZADA	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVA	%
P9	1583,21	1520,42	62,79	0,041	4,12
ATILLO	1269,45	1229,21	40,24	0,03	3,27
				SUMA	7,40
				PROMEDIO	3,70

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

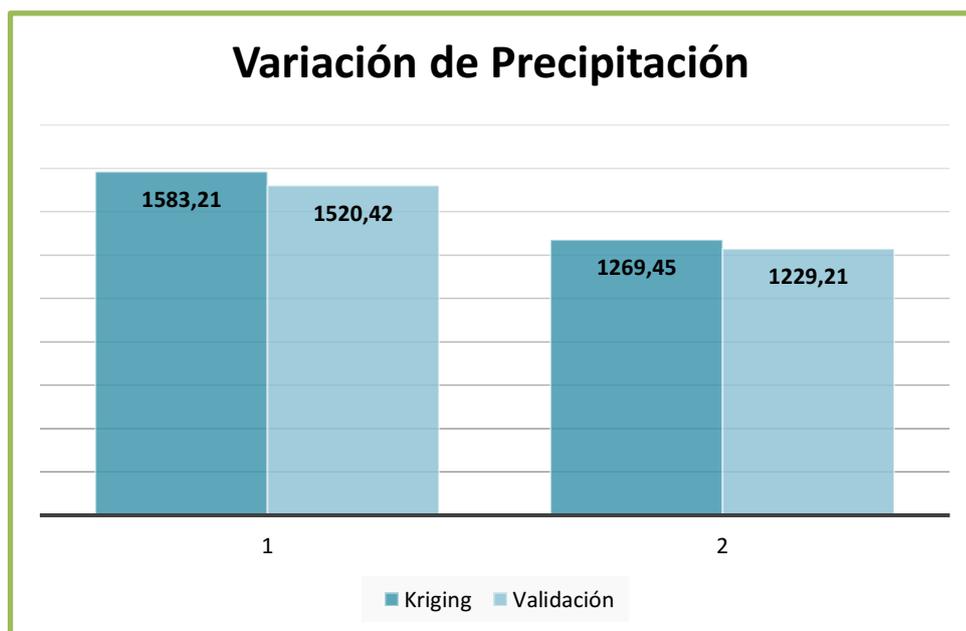


Gráfico 1-3. Variación de la precipitación hídrica

Realizado por: Sanunga, Lizbeth, 2021.

En la tabla 5-3 y en el gráfico 1-3 nos muestra la variación de la precipitación donde el error es del 4% y está dentro del rango, según (Raichijk et al., 2005, p.5). Con este error del modelo de interpolación se puede decir que el modelo selecto es confiable.

CONCLUSIONES

Se monitoreó los parámetros de la precipitación hídrica en las estaciones del GEAA, donde al realizar el estudio de los datos se pudo encontrar algunas inconstancias en los datos generados por ciertas estaciones del GEAA, ya que las estaciones no generaban datos sobre la precipitación hídrica esto se debe a fallas técnicas que se produce en las mismas.

Se proceso, se analizó e imputó datos de las series registradas mediante tablas dinámica en Excel donde se hizo el uso de información de ciertas estaciones.

Se determinó un modelo global que se ajustó al comportamiento de los datos registrados como es *Power Access Data Viewer* que genera información a tiempo real, además de ser una información muy confiable.

Se generó y se ajustó contornos en ArcGIS usando los datos del modelo global y datos de las series registradas proporcionados por el GEAA, el cual se pudo obtener un mapa real de mejor calidad referente a la precipitación hídrica de la provincia de Chimborazo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir con la investigación y el estudio de otros modelos globales para la precipitación hídrica de la provincia de Chimborazo para verificar cual es el mejor modelo apropiado.

BIBLIOGRAFÍA

ARCGIS. *ArcMap*. [blog]. [Consulta: 17 febrero 2021] Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>.

BARANI, J. *BARANIDESING*. [blog]. [Consulta: 03 Marzo de 2021]. 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 Science & Business, 2014. [Consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=ro3EBAAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

BORJA ESCOBAR, C. Análisis de la variabilidad espacio - temporal del índice de vegetación mejorado (evi) y su relación con índices atmosféricos globales en el páramo ecuatoriano (Trabajo de Titulación). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Quito - Ecuador. 2020. p.1. [Consulta: 2020-11-21]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20950>.

LABORATORIO DE CLIMATOLOGÍA. *TerraClim*. [blog]. [Consulta: 15 febrero 2021] Disponible en: <http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>

COLLADO LATORRE, J; et al. *ArcGIS10 Prácticas paso a paso*. [En línea]. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2013. [Consulta: 29 Enero 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/57369>.

DAMIÁN CARRIÓN, D. Comparación de variables edáficoclimáticas, en zonas de bosque y páramo utilizando modelo de interpolación kriging en la parroquia Achupallas, cantón Alausi, provincia de Chimborazo (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba - Ecuador. 2014. pp.70 - 78. [Consulta : 2020-02-24]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3596>

FERNÁNDEZ SÁNCHEZ, J. *Problemas de Meteorología y Climatología*. [En línea]. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2016. [Consulta: 25 noviembre 2020] Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/103057?prev=bf>.

GIRONÉS MOMPÓ, F. Evaluación de las predicciones climáticas de modelos globales en Chile (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Chile. 2019. pp. 6 - 9. [Consulta: 2021-03-11].

Disponible en :
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/129224/Giron%20-%20Evaluaci%20de%20las%20predicciones%20clim%20a%20ticas%20de%20modelos%20globales%20en%20Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HIJMANS, R; et al. *WorldClim* [blog]. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en:
<https://centroclima.org/clima/worldclim/>.

IBÁÑEZ ASENSIO, S; et al. *Sistemas de coordenadas UTM*. [blog]. [Consulta: 14 marzo 2020]. Disponible en:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10772/Coordenadas%20UTM.pdf>.

LEDESMA JIMENO, M. *Principios de Meteorología y Climatología*. [en línea]. Madrid - España: Paraninfo, SA,2011. [Consulta: 14 enero 2009]. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=QgtMz54pUWQC&pg=PA117&dq=precipitacion+meteorolog%C3%ADa&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjx_pbpYjvAhUXRTABHczRDvEQ6AEwBHoECAYQAg#v=onepage&q&f=true.

MAK,M. *Atmospheric Dynamics* [en línea]. Cambridge - New York: Prensa de la Universidad de Cambridge, 2011. [Consulta: 12 de noviembre de 2020]. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=0kp6HfWTAKAC&pg=PR11&dq=atmospheric+dynamics&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiqhd_8xJbtAhUytDEKHbgpDSAQ6AEwBHoECAMQAg#v=onepage&q=atmospheric%20dynamics&f=false.

MEASUREMENT. *Global Precipitation Measurement*. [blog]. [Consulta: 18 noviembre 2020]
<https://gpm.nasa.gov/science/precipitation-algorithms>.

NASA EARTH SCIENCES. *Goddard Earth Science Research*. [blog]. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en : <https://earth.gsfc.nasa.gov/climate/research/water-cycle-and-precipitation>.

PAWSON, S. *Global Modeling and Assimilation Office*. [blog]. [Consulta: 12 diciembre 2015]. Disponible en: https://gmao.gsfc.nasa.gov/global_mesoscale/.

POWER, NASA. *Prediction Of Worldwide Energy Resources*. [blog]. [Consulta: 29 enero 2021]. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/docs/>.

PUCHA-COFREP, F; et al. *Fundamentos de SIG*. [En línea]. Ediloja, 2017. [Consulta: 12 noviembre 2020]. Disponible en:
<https://books.google.com.ec/books?id=XOIsDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=ArcGIS+q>

ue+es&hl=es-

419&sa=X&ved=2ahUKEwj8wJSWzpbAhU1tTEKHdOPD1gQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=ArcGIS%20que%20es&f=false. ISBN.

QUEREDA SALA, J. *Curso de Climatología General*. [En línea]. Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions, 2005. [Consulta: 24 febrero 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/104105>. ISBN.

RAICHUJK, C; et al. *Evaluación de un método alternativo para la estimación de valores medios mensuales de irradiación global en Argentina*. [blog]. [Consulta : 04 Marzo 2021]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/83064>.

RASCÓN, L. *Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico*. [En línea]. [Citado el: 26 de Febrero de 2021.] <https://books.google.com.ec/books?id=0S3XDWsDzSAC&pg=PA15&dq=tipos+de+la+precipitacion&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj46eptYjvAhWBTjABHYJEAFQQ6AEwAHoECAyQAg#v=onepage&q=tipos%20de%20la%20precipitacion&f=false>. ISBN.

ROJO, O. *Modelos Físicos y Modelos Matemáticos*. Unicentro. [En línea], México, pp.99-101. [Consulta: 21 Noviembre 2020]. ISSN 2175-5620. Disponible en: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/491/650>.

SENDIÑA NADAL, I ; et al. *Fundamentos de Meteorología*. [en línea] Universidad Santiago de Compostela, 2006. [Consulta: 03 marzo 2021]. Disponible en : <https://books.google.com.ec/books?id=HE3xtRmNg4kC&pg=PA15&dq=fundamentos+fisicos+en+la+dinamica+atmosferica&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi4qfG29KfvAhV5GFkFHYpTBKYQ6AEwAhoECAEQAg#v=onepage&q=fundamentos%20fisicos%20en%20la%20dinamica%20atmosferica&f=false>.

SURVEY, OFFICE OF COAST. *Office Of Coast Survey*. [blog]. [Consulta: 1 febrero 2021]. Disponible en: <https://nauticalcharts.noaa.gov/charts/rnc-and-enc-comparison.html>.

TALAVERA ESPINOSA, A. *Lo que debemos saber sobre Meteorología*. [blog]. [Consulta: 26 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>.

UNIVERSIDAD DE ILLINOIS URBANA-CHAMPAIGN. *Departamento de Ciencias Atmosféricas*. [Consulta: 2020 noviembre 2020]. Disponible en: <https://atmos.illinois.edu/research/areas/precipitation-and-hydrometeorological-processes>.

WORDCLIM. *WordClim.* [blog]. [Consulta: 11 de Marzo de 2021.]
<https://worldclim.org/data/index.html>.

ANEXOS

ANEXO A: ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE ATILLO



ANEXO B: ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE TUNSHI



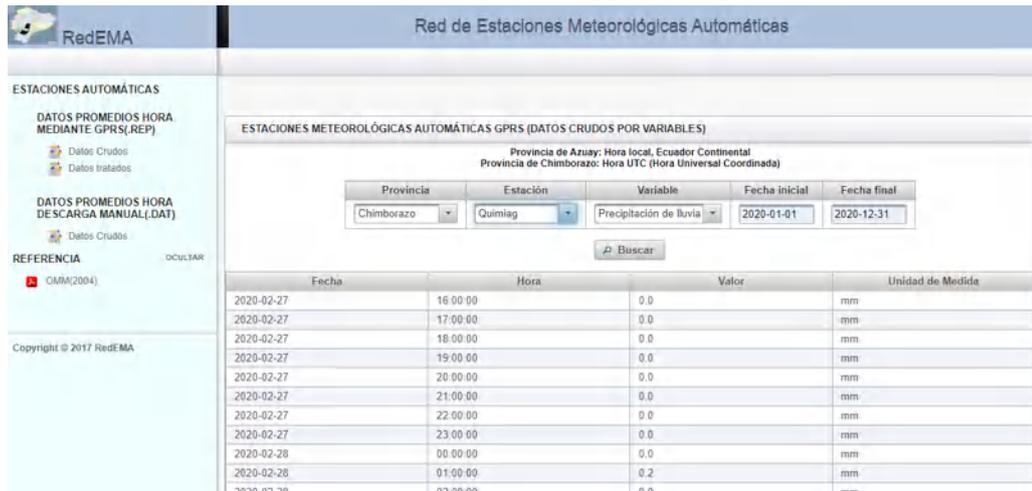
ANEXO C: ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SAN JUAN



ANEXO D: PLUVIÓMETRO INSTALADO EN LAS ESTACIONES



ANEXO E: PÁGINA WEB QUE PROPORCIONA DATOS DE PRECIPITACIÓN



RedEMA Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas

ESTACIONES AUTOMÁTICAS

DATOS PROMEDIOS HORA MEDIANTE GPRS (REP)

Datos Crudos
Datos tratados

DATOS PROMEDIOS HORA DESCARGA MANUAL (DAT)

Datos Crudos

REFERENCIA

OCULTAR

OMM(2004)

Copyright © 2017 RedEMA

ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS GPRS (DATOS CRUDOS POR VARIABLES)

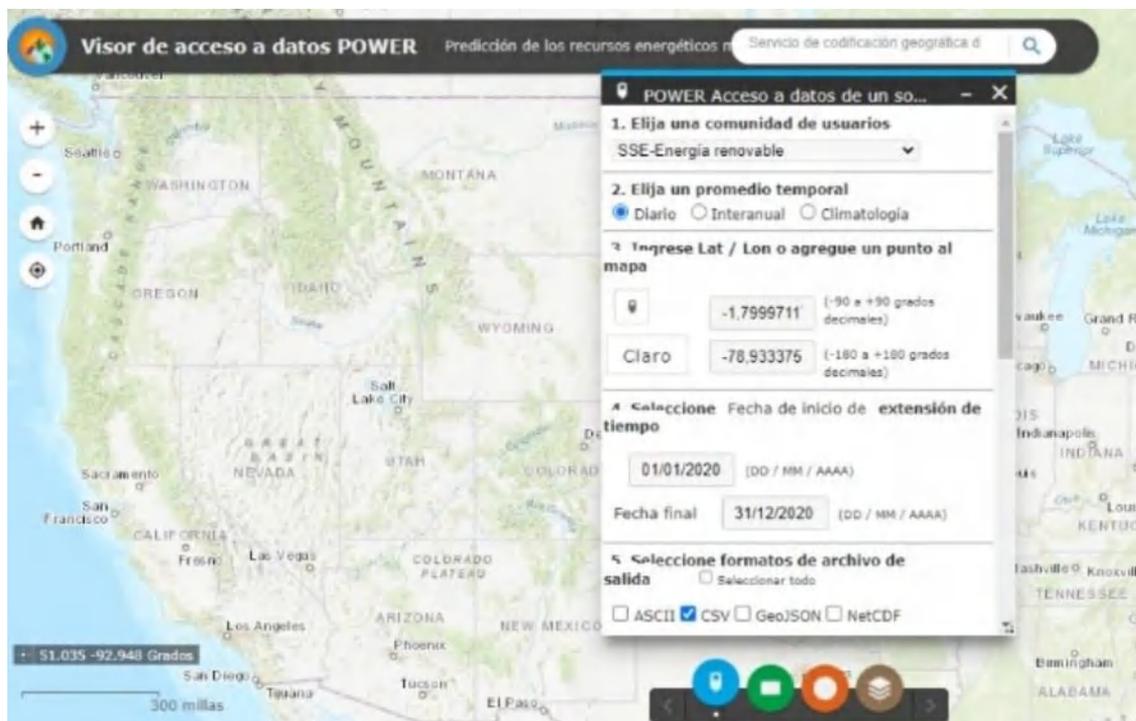
Provincia de Azuay: Hora local, Ecuador Continental
Provincia de Chimborazo: Hora UTC (Hora Universal Coordinada)

Provincia	Estación	Variable	Fecha inicial	Fecha final
Chimborazo	Quimiag	Precipitación de lluvia	2020-01-01	2020-12-31

Buscar

Fecha	Hora	Valor	Unidad de Medida
2020-02-27	16:00:00	0.0	mm
2020-02-27	17:00:00	0.0	mm
2020-02-27	18:00:00	0.0	mm
2020-02-27	19:00:00	0.0	mm
2020-02-27	20:00:00	0.0	mm
2020-02-27	21:00:00	0.0	mm
2020-02-27	22:00:00	0.0	mm
2020-02-27	23:00:00	0.0	mm
2020-02-28	00:00:00	0.0	mm
2020-02-28	01:00:00	0.2	mm
2020-02-28	02:00:00	0.0	mm

ANEXO F: APLICACIÓN DE MAPEO WEB POWER DATA ACCESS VIEWER

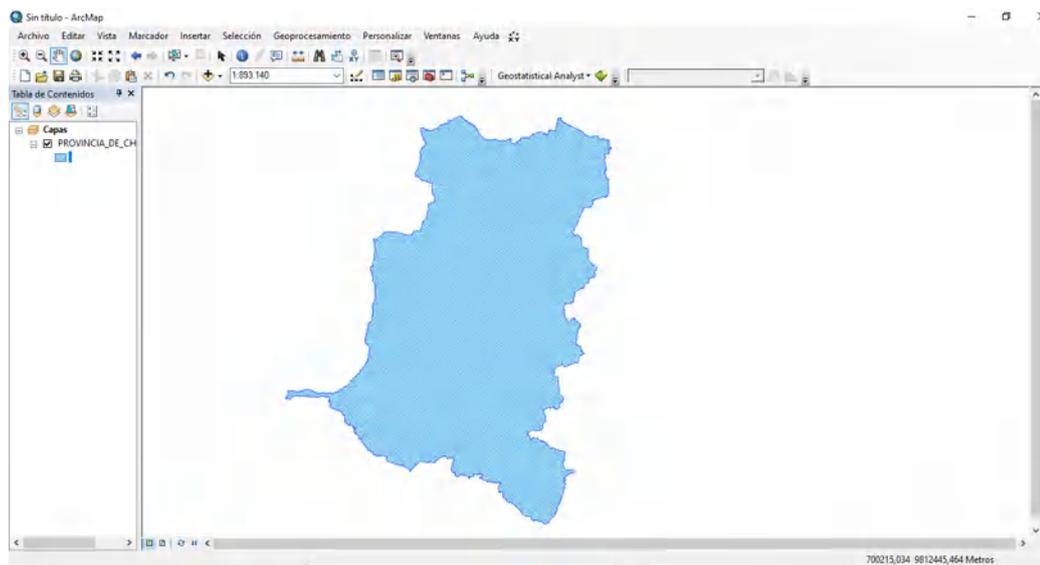


Visor de acceso a datos POWER Predicción de los recursos energéticos n Servicio de codificación geográfica d

POWER Acceso a datos de un so...

1. Elija una comunidad de usuarios
SSE-Energia renovable
2. Elija un promedio temporal
 Diario Interanual Climatología
3. Ingrese Lat / Lon o agregue un punto al mapa
-1.7999711 (-90 a +90 grados decimales)
Claro -78.933375 (-180 a +180 grados decimales)
4. Seleccione Fecha de inicio de extensión de tiempo
01/01/2020 (DD / MM / AAAA)
Fecha final 31/12/2020 (DD / MM / AAAA)
5. Seleccione formatos de archivo de salida
 Seleccionar todo
 ASCII CSV GeoJSON NetCDF

ANEXO G: SOFTWARE ARCMAP DE ARCGIS





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**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: 21 / 09 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Lizbeth Carolina Samunga Guananga</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Física</i>
Título a optar: <i>Física</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCE, I=QUITO, serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.09.21 14:57:21 -05'00'



1814-DBRA-UTP-2021