



**“COMPARACIÓN DE VARIABLES EDÁFICOCLIMÁTICAS, EN ZONAS DE
BOSQUE Y PÁRAMO UTILIZANDO MODELO DE INTERPOLACIÓN
KRIGING EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSI, PROVINCIA
DE CHIMBORAZO”**

ELABORADO POR:

DIEGO ARMANDO DAMIÁN CARRIÓN

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL**

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL**

**RIOBAMBA-ECUADOR
2014**

EL TRIBUNAL DE TESIS, CERTIFICA: que el trabajo de investigación titulado **“COMPARACIÓN DE VARIABLES EDÁFICOCLIMÁTICAS, EN ZONAS DE BOSQUE Y PÁRAMO UTILIZANDO MODELO DE INTERPOLACIÓN KRIGING EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”** de responsabilidad del señor egresado Diego Armando Damián Carrión, ha sido prolijamente revisado, quedando autorizada su presentación.

TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Paulina Beatriz Díaz Moyota.

DIRECTOR

Ing. María Eugenia Samaniego Erazo.

MIEMBRO

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

Riobamba, octubre 2014

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi padre Ángel, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis Abuelitos Miguel (QEPD) y Sofía, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi hermano Paulo Cesar, por ser un ejemplo no solo para mí, sino para todos los que le conocemos, por ser una persona perseverante y luchadora, mostrándome día a día el gran amor, aprecio y consideración que me tiene.

Mis Primos, Sonia (QEPD), Cesar, Miguel, Estefanía y Gabriela, para que vean en mí un ejemplo a seguir

A todos mis amigos, Mario S, Roy. I, Adrián. V, José Luis. A, Marco. P, Luis. M, por compartir los buenos y malos momentos en las aulas de clases, en especial a ti María Fernanda S. por estar en los momentos que más necesite tu apoyo gracias por cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante y cumplir otra etapa en mi vida.

Y a todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto, ustedes saben quiénes son por todo esto les agradezco de todo corazón de que estén conmigo.

EL AUTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios que me dio la vida y la ha llenado de bendiciones en todo este tiempo, a él que con su infinito amor me ha dado la sabiduría suficiente para culminar mi carrera universitaria.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento, reconocimiento y cariño a mi familia por todo el esfuerzo que hicieron para darme una profesión y hacer de mí una persona de bien, gracias por los sacrificios y la paciencia que demostraron todos estos años.

Mi eterno agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a través de la Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal, y a todos los docentes de la misma por habernos impartido todos los conocimientos que pondremos en práctica en nuestra vida profesional.

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por eso agradezco a los miembros de mi tribunal Ing. Paulina Diaz y Maria Eugenia Samaniego, quienes a lo largo de este tiempo han puesto a prueba mi capacidad y conocimientos en el desarrollo de este nuevo tema de investigación el cual ha finalizado con éxito llenando todas las expectativas planteadas.

A la Universidad Nacional de Chimborazo a través del proyecto "Caracterización Biogeográfica de las subcuencas hídricas para la adaptación al cambio climático considerando el paisaje cultural andino de la parroquia Achupallas, cantón Alausi, provincia de Chimborazo" por confiar en mí y darme su auspicio, en especial a los ingenieros Franklin Cargua, Marco Rodríguez y Patricio Santillán como guías en el trabajo desarrollado.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO	PAG.
LISTA DE CUADROS	i
LISTA DE GRÁFICOS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE ANEXOS	iv
I. TÍTULO	1
II. INTRODUCCIÓN	1
A. JUSTIFICACION	3
B. OBJETIVOS	4
C. HIPÓTESIS	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA	5
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	35
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
VI. CONCLUSIONES	95
VII. RECOMENDACIONES	97
VIII. RESUMEN	98
IX. SUMMARY	99
X. BIBLIOGRAFÍA	100
XI. ANEXOS	103

LISTA DE CUADROS

Nº	CONTENIDO	Página
1	Datos del contenido de Carbono en el suelo	37
2	Datos de pH en el suelo	37
3	Datos de la Temperatura	38
4	Datos de la Humedad Relativa	38
5	Coordenadas de los conglomerados	41
6	Contenido de carbono en el suelo	43
7	Contenido de pH en el suelo	46
8	Variable climática Temperatura	48
9	Variable climática Humedad Relativa	50
10	Ubicación de las parcelas para la Validación cruzada	73
11	Contenido de carbono en el suelo para la validación cruzada	75
12	Análisis estadístico carbono	78
13	Contenido de pH en el suelo para la validación cruzada	80
14	Análisis estadístico para la variable pH	83
15	Variable de temperatura para la validación cruzada	85
16	Análisis estadístico temperatura	88
17	Variable climática Humedad Relativa para la validación cruzada	90
18	Análisis estadístico humedad relativa	93

LISTA DE GRÁFICOS

Nº	CONTENIDO	Página
1	Contenido de carbono en el suelo	44
2	Contenido de pH en el suelo	45
3	Contenido de temperatura	49
4	Contenido de humedad relativa	51
5	Diagrama de Flujo Método de Interpolación Kriging Bayesiano	53
6	Diagrama de Flujo Método de Interpolación Kriging Ordinario	54
7	Variación de Carbono	78
8	Variación de pH	83
9	Variación de Temperatura	88
10	Variación de Humedad Relativa	93

LISTA DE FIGURAS

Nº	CONTENIDO	Página
1	Escala de pH	17
2	Interposición de capas.	22
3	Estructura de una GDB	23
4	Conformación de una GDB	23
5	Conformación de un SIG	24
6	kriging ordinario	28
7	Curva de Covarianza	29
8	Curva semivariograma	30
9	Semivariograma empírica	32
10	Superficie Semivariograma empírica	33
11	Nube semivariograma	34
12	Mapa de ubicación geográfica de los conglomerados en la parroquia Achupallas	42
13	Modelo de interpolación Kriging Carbono	56
14	Semivariograma y error del modelo de interpolación kriging	59
15	Mapa de TIN; Usos de suelo y modelo Kriging Carbono	60
16	Modelo de interpolación Kriging pH	61
17	Semivariograma y error del modelo de interpolación kriging	63
18	Mapa TIN; Usos de suelo y Modelo Kriging de pH	64
19	Modelo de interpolación Kriging Temperatura	65
20	Semivariograma y error del modelo de interpolación kriging	67
21	Mapa de TIN; Usos de suelo y Modelo Kriging de Temperatura	68

22	Modelo de interpolación Kriging Humedad Relativa	69
23	Semivariograma y error del modelo de interpolación kriging	71
24	Mapa TIN; Usos de suelo y Modelo Kriging de Humedad Relativa	72
25	Mapa de ubicación de las parcelas para la Validación Cruzada	74
26	Validación Cruzada Carbono	76
27	Variación de contenido de Carbono	79
28	Mapa de Validación Cruzada pH	81
29	Variación de contenido de pH	84
30	Mapa de Validación Cruzada Temperatura	86
31	Variación de contenido de Temperatura	89
32	Mapa de Validación Cruzada Humedad Relativa	92
33	Variación de contenido de Humedad Relativa	94

LISTA DE ANEXOS

Nº	CONTENIDO	Página
1	Visitas al área de estudio	104
2	Medio de movilización	105
3	Identificación del área de estudio	106
4	Trabajo realizado en el área de estudio	107
5	Capacitaciones	109

I. COMPARACIÓN DE VARIABLES EDÁFICOCLIMÁTICAS, EN ZONAS DE BOSQUE Y PÁRAMO UTILIZANDO MODELO DE INTERPOLACIÓN KRIGING EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

II. INTRODUCCION

El cambio climático como consecuencia el efecto invernadero a nivel nacional al igual que el resto del mundo ha soportado una serie de cambios con intensidades y frecuencias inusuales en los registros históricos como inundaciones, sequías y deslizamientos que han azotado a nivel mundial, estas alteraciones a nivel mundial están siendo provocado por la humanidad, al deteriorar los Recursos Naturales entre ellos los bosques nativos y los páramos, considerados como ecosistemas frágiles dentro del naturaleza y a su vez uno de los más productivos e importantes del planeta, ya que no solamente nos ofrece belleza paisajística si no también nos brinda innumerables beneficios tanto ambientales, económicos, sociales y culturales importantes para el desarrollo de nuestras actividades.

Uno de los sistemas naturales que pueden verse seriamente afectados por los impactos del cambio climático, constituye el ecosistema páramo; en razón que este ecosistemas se distribuye en un amplio rango latitudinal y altitudinal (desde costa Rica hasta el norte de Bolivia), condición que permite estudiar y comparar los cambios inducidos por el clima a lo largo de su gradiente de distribución (Pauli et al. 2003).

El Ecuador comprende 25 de las 32 Zonas de Vida según la clasificación y formaciones vegetales de Holdrige, además hospeda 2 de los 10 puntos centrales de Biodiversidad Mundial. El país tiene el mayor número de especies vivas en relación al área en el planeta. Tiene la tercera más grande diversidad de anfibios y la cuarta más grande diversidad de aves de todo el mundo, 17% de todas las especies (MAE Citado por Viteri, A., & Cordero, E. V. 2012).

El sector forestal ecuatoriano ha sido valorado más comúnmente como valor agregado directo de las industrias dentro del Producto Interno Bruto (PIB), es decir, los recursos forestales tangibles como proveedor de madera para las distintas industrias de transformación. Sin embargo, su contribución es mucho más amplia debido a los múltiples servicios ambientales, y demás beneficios climáticos, que ofrece a otros sectores como el del turismo, la generación hidroeléctrica, la agricultura, la investigación científica, que tienen un aporte importante a la sociedad. La superficie territorial del Ecuador es de 256.370 Km² con una cobertura forestal de 111,400 Km² aproximadamente, lo que representa el 43.5% del total del territorio ecuatoriano (Viteri, A., & Cordero, E. V. 2012).

Donde la revolución digital y avances tecnológicos han hecho posible que la información digitalizada sea fácil de capturar, procesar, almacenar, distribuir, y transmitir, estas herramientas poderosas y versátiles se han vuelto muy necesarias dado que se ha excedido la capacidad humana para almacenar información de valor a partir de la tremenda cantidad de datos y transformarlos en conocimiento organizado con el cual se puede obtener diferentes resultados (JC. Riquelme, R. Ruiz y K. Gilbert).

Por ello, se implementó esta investigación en los ecosistemas forestales utilizando una metodología estandarizada y el uso de herramientas tecnológicas actuales como el arcgis 10.2 con la herramienta Kriging que permitieran generar información relacionada al cambio en futuro de la distribución y comportamiento de los diferentes ecosistemas en este caso el páramo y el bosque andino en función de cambio climático (MAE, 2008).

A. JUSTIFICACIÓN

La degradación de los ecosistemas de páramo y bosque andino, como consecuencia de los cambios de uso de suelo y el calentamiento global, nos llevó a realizar una investigación con información actualizada, íntegra y oficial sobre los recursos forestales tanto en páramo como en bosque andino de la parroquia Achupallas, ya que representan un bien de invaluable magnitud tanto para la concepción de nuevas y sostenidas políticas locales como nacionales para el desarrollo del sector (estrategias, planes de acción, normativas y leyes); así como para la generación de actividades productivas integrales a través del uso sostenible de los recursos existentes, contribuyendo a asegurar la provisión de los bienes y servicios ambientales indispensables para las presentes y futuras generaciones.

En este sentido, los resultados de la presente investigación es poder generar información fidedigna que pueda ser utilizada tanto para reportes locales como regionales, con el propósito de analizará la variación de los factores edáfoclimaticos (carbono, pH, temperatura y humedad relativa) en los diferentes tipo de suelo en la parroquia Achupallas, mediante el uso de herramientas cartográficas basadas en proyecciones espaciales, mediante el software Arcgis 10.2 con la herramienta de interpolación kriging que permitirá visualizar la variación de estos factores en la zona de estudio.

II. OBJETIVOS

1. Objetivo General

Comparación de variables edáfoclimáticas, en zonas de bosque y páramo utilizando modelo de interpolación kriging en la parroquia Achupallas, cantón Alausi, provincia de Chimborazo

2. Objetivos Específicos

- Elaborar una Geodatabase con las variables carbono, pH, temperatura, humedad relativa.
- Interpolar los resultados obtenidos de la geodatabase mediante el modelo kriging en el software arcgis 10.2.
- Validar la información obtenida mediante el método de validación cruzada.

HIPÓTESIS

1. Hipótesis nula

Las variables edafoclimáticas no se alteran por el cambio de uso de suelo.

2. Hipótesis alternante

Las variables edafoclimáticas se alteran por el cambio de uso de suelo.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. PARROQUIA ACHUPALLAS

La parroquia Achupallas que está conformada por tres microcuencas dos de las cuales (Jubal y Ozogoche) están dentro de los límites del parque nacional Sangay (SNAP, 2014) en una zona de transición donde convergen las corrientes cálidas y cargadas de humedad procedentes de la amazonia, con las frías y secas de los andes, razón por la cual se tiene un alto grado de precipitaciones, mientras que la microcuenca de Zula está más alejada de este sitio de convergencia dominada por corrientes frías, secas con poca presencia de precipitaciones. (Morrone, 2004). Las microcuencas de los ríos Zula, Ozogoche y Jubal forman parte de la zona alta de las cuencas de los ríos Guayas, Pastaza y Santiago respectivamente.

Las microcuencas de los ríos Zula y Ozogoche registran una temperatura media anual de 9,5°C con temperaturas diarias que fluctúan entre los 4,1 los 17,86°C y una humedad relativa del 74%, encontrando en estas dos microcuencas diversos pisos ecológicos desde páramos de almohadillas a bosques nublados de montaña; la microcuenca del río Jubal registra una temperatura media anual de 8,3°C y humedad relativa del 83,6%, identificando en la parte sur un ecotono entre los andes ecuatorianos y la amazonia, remanentes de bosque nublado y mayor diversidad de flora y fauna (Holdridge, 1999).

B. PÁRAMO

Los páramos son ecosistemas de gran riqueza ecológica y, a su vez, juegan un importante papel en la economía de sociedades andinas por su valor agrícola e hídrico. Su importancia ecológica, genética y científica se basa en sus paisajes únicos y flora endémica, la cual se ha acondicionado a sus extremas condiciones climáticas y a las características de sus suelos. Cumplen una importante función social y económica para algunas comunidades dedicadas a la actividad agrícola en estas zonas, y son fundamentales en la regulación natural regional, gracias a que su vegetación y las características de sus suelos retienen el

agua controlando la escorrentía superficial, reduciendo picos y protegiendo de la erosión a las zonas bajas.

Los páramos son ecosistemas zonales ubicados por encima del límite superior del bosque cerrado, o bosque de niebla, y por debajo del límite superior de vida en las montañas tropicales de centro y sur América (Hofstede, 1997; Luteyn, 1999). Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Costa Rica son los principales países de América que poseen estos ecosistemas (Monasterio, 1986), aunque también algunos autores asocian características similares a bosques alpino-tropicales de islas del Pacífico y África. En América se encuentran entre los 3000 y 4800 m.s.n.m. aproximadamente (Verweij, 1995) con un área aproximada de 35.000 km², ubicados entre las latitudes 8°N y 11°S (Mario A. 2005).

1. PÁRAMOS EN EL ECUADOR

Los páramos en Ecuador han sido usado y modificado desde tiempos inmemoriales, cumple un rol fundamental, destacándose su importancia social como espacio de vida, en el que se realizan actividades agrícolas y ganaderas. Ecosistema frágil, el páramo juega un rol ecológico fundamental como hábitat de innumerables especies (flora endémica y paisaje único), como captador y fuente de agua, para las poblaciones del páramo e inclusive de las ciudades.

Cumple con varias funciones, es un ecosistema que genera vida, es un territorio de altura en el que viven algunas comunidades. Los páramos ecuatorianos son parte de la historia agraria, que debido al crecimiento de la población, han sido ocupados por los campesinos.

Las altitudes entre las que se encuentra este ecosistema típicamente tropical varían bastante, pero, en términos generales, se encuentra sobre la línea de bosques continuos (los bosques andinos) y llega hasta donde pueden existir plantas por debajo las nieves eternas. En el Ecuador se usa comúnmente la altitud de 3.500m.s.n.m. como límite inferior, pero las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas hacen que este límite varíe mucho y que se encuentren a veces páramos desde los 2.800 m.s.n.m., especialmente en el sur del país, o bosques cerrados hasta por sobre los 4.000 m.s.n.m.

En el Ecuador, el páramo cubre alrededor de 1.250.000 ha, es decir aproximadamente un 6% del territorio nacional. En términos relativos, el Ecuador es el país que más páramos tiene con respecto a su extensión total. Colombia tiene la mayor extensión de páramos en términos globales, mientras que los demás países los tienen en proporciones menores. Los páramos están por encima de lo que es o lo que algún día fue el ecosistema de bosques andinos, en la actualidad fuertemente alterado. La zona de transición entre los dos ecosistemas, marcada en términos generales por la disminución en la altura y densidad de los árboles con respecto al bosque nublado inferior, se denomina generalmente sub páramo.

Los páramos ecuatorianos es un ecosistema de gran diversidad dada por condiciones de tipo geográfico, ecológico, así como diferencias que se han dado por su proceso histórico, por el uso y las modificaciones que el ser humano ha hecho en este ecosistema.

Estas diferencias son importantes pues nos permiten visualizar este ecosistema desde diferentes aspectos y comprender mejor su problemática, sus fortalezas y debilidades.

El páramo es un ecosistema regulador del recurso hídrico sometido a fuertes presiones, avance de la frontera agrícola para actividades agropecuarias, quemadas, construcción de infraestructuras como embalses y acequias.

a. Clasificación de los Páramos en el Ecuador.

De las definiciones se deduce que, el páramo es un sistema complejo, lo que impide el establecimiento de una clasificación única y definitiva. En la información recopilada de los estudios se propone clasificaciones/categorizaciones de acuerdo a la posición geográfica, el clima y la vegetación. Esta zonificación es una primera clasificación que no recoge aspectos de tipo social ni económico.

1. Posición Geográfica

Se ha establecido una clasificación de los páramos en Ecuador según su posición latitudinal en los Andes, considerándolos de esta manera en páramos ubicados en los Andes del norte, centro y sur, los páramos ubicados en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha como

Páramos de la Sierra norte; los de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo como páramos de la Sierra centro y los páramos de Cañar, Azuay y Loja como Páramos de la Sierra sur.

2. Altitud

Las altitudes entre las que se encuentran este ecosistema típicamente varían bastante pero en términos generales, se encuentra sobre la línea de bosques continuos (bosques andinos) y llega hasta donde pueden existir plantas por debajo las nieves perpetuas. En el Ecuador se usa comúnmente la altitud de 3500 m.s.n.m. como límite inferior, pero las condiciones geológicas, climáticas y antrópicas hacen que este límite varíe mucho de allí que se encuentran páramos desde los 2800 m.s.n.m., especialmente en el sur del país, así como también bosques cerrados hasta por sobre los 4000 m.s.n.m..

3. Condiciones Climáticas

El clima durante el año es estable, pero hay una diferencia muy marcada entre el día y la noche, lo que se puede resumir en "verano todos los días, e invierno todas las noches."

4. Tipos de Vegetación

Los páramos forman parte de una notable biodiversidad a escala de ecosistemas que se presenta en el Ecuador gracias a tres factores principales: la situación ecuatorial, la presencia de la cordillera de los Andes y otras sierras menores, la existencia de una fuente per húmeda amazónica y de varias corrientes marinas frías y cálidas frente a las costas. Dada la gran altitud y por esto las bajas temperaturas y la alta incidencia de neblina e irradiación solar, el clima es muy extremo para los seres vivos presentes. No obstante su gran altitud y sus extremas condiciones climáticas, los páramos muestran una notable pluralidad de seres vivos en varios grupos especialmente plantas, aves, anfibios y mamíferos.

La vegetación de los páramos es diversa sin embargo se puede encontrar principalmente: pajonales típicos, especies de pastos, árboles, arbustos, pantanos, bosques y bosquetes. En la provincia del Carchi se encuentran poblaciones de frailejones, igual y excepcionalmente en los Llanganates en los Andes Centrales.

A más de estos aspectos sería necesario considerar el drenaje, vertiente que ocupa en el páramo (hacia la costa vertiente occidental u hacia la Amazonia vertiente Oriental, así como las vertientes internas), sin embargo esta información se encuentra en muy pocos estudios por lo que ésta no se ha analizado.

Con la información extraída de algunos estudios en relación a estos aspectos y una propuesta de zonificación establecida por Mena y Hofstede y utilizada en varios estudios para caracterizar la zona, se propone la siguiente clasificación:

Páramo de Pajonal, páramo de Frailejones, páramo herbáceo de almohadilla, páramo herbáceo pajonal y almohadilla, páramo Pantanoso, páramo Seco, páramo Sobre Arenales, páramo Arbustivo del Sur, súper Páramo, súper Páramo Azonal.

5. Tipos de suelos en páramos

Los suelos de los páramos son de tipo volcánico, ya sea por roca volcánica meteorizada (sur) o por ceniza volcánica reciente (norte y centro).

Los suelos del norte y centro se denominan *Andosoles*. Son suelos jóvenes, con horizontes poco diferenciados y, por su gran riqueza en materia orgánica, tienen un color negro. Poseen una elevada tasa de retención de agua y una gran permeabilidad, lo que permite un buen desarrollo de las raíces y una notable resistencia a la erosión.

Pero una vez que se ha perdido la estructura porosa por pisoteo o desecación, el suelo ya no puede guardar tanta agua y se vuelve hidrofóbico o repelente del agua

En la parte sur del Ecuador, donde la cordillera es diferente, los suelos también son diferentes (*Inceptisoles*). La roca metamórfica meteorizada (proceso de desintegración física y química de los materiales sólidos en o cerca de la superficie de la Tierra)

originalmente también era de origen volcánico, pero de una edad mucho mayor que los volcanes que dominan el paisaje en el norte.

Los volcanes del sur emitieron su material antes de que se levantaran los Andes, en un ambiente tropical. Después, estas rocas volcánicas fueron levantadas a la altitud actual, pasando por una serie de alteraciones que las transformaron en rocas metamórficas.

En general, los suelos formados en este material son más superficiales y menos fértiles

En el extremo Sur de la distribución de cenizas volcánicas recientes, se encuentra una zona con una capa muy delgada de cenizas volcánicas sobre lavas más antiguas.

Aquí los suelos son similares a los del Norte, pero muy delgados. La vegetación, a partir aproximadamente de Alausí, es un tanto diferente a la del norte.

b. Caracterización de los Páramos en la Provincia de Chimborazo

La provincia de Chimborazo tiene una extensión de 648.124 hectáreas, y la transformación de áreas naturales en la provincia para agricultura, pastos, centros urbanos, infraestructura y otros usos abarca el 48% del territorio incluyendo áreas sobre los 3.400 metros de altitud que constituye el límite altitudinal del páramo.

En todos los páramos del mundo se ha reportado un total de 3.595 especies, de las cuales 1.524 se encuentra en el Ecuador.

Las plantas de los páramos de Chimborazo, así como de otros páramos del

Ecuador, se han desarrollado como adaptaciones a climas extremos, características que no se encuentran en otros ecosistemas del mundo. Los páramos de Chimborazo son fuente de agua en tres cuencas hidrográficas importantes para la generación de agua para el riego y la generación eléctrica a nivel nacional:

La cuenca del Río Guayas (que ocupa el 36% de la provincia), la cuenca del Río Pastaza (con 54% de la provincia) y la cuenca del Río Santiago (en 9% de la provincia). Hay dos

factores que influyen en el clima de estos páramos: la ubicación en los trópicos y la presencia de la cordillera de los Andes.

En la región tropical hay una convergencia intertropical de masas de aire en la línea ecuatorial que, al chocar con la cordillera, provocan una gran cantidad de lluvias, nubes y neblina que generan un clima húmedo y frío.

El 60% de la población de la provincia de Chimborazo viven en las zonas rurales relacionadas a los páramos, cuya población indígena está entre las más pobres del país.

1. Los sistemas ecológicos en los páramos de la Provincia de Chimborazo.

Los sistemas ecológicos son grupos de comunidades vegetales que ocurren en ambientes físicos similares y son influenciados por los mismos procesos ecológicos dinámicos (por ejemplo, incendios o inundaciones), sustratos (por ejemplo, superficie y composición de suelos) y gradientes ambientales (por ejemplo, climas locales).

2. Cobertura y uso del suelo en los páramos de la Provincia de Chimborazo.

La superficie total, de vegetación remanente y zonas convertidas a usos productivos de los sistemas ecológicos ligados al páramo cubren una superficie total de 406.187 hectáreas de la Provincia de Chimborazo. El sistema ecológico más dominante son los pajonales (más del 50%). En su mayoría estos están sujetos a uso de pastoreo extensivo, tanto de ganado vacuno como ovino.

Las áreas intervenidas tanto para agricultura como ganadería intensiva y extensiva, representan más del 74% frente a penas 18% de ecosistemas en estado natural (incluyendo pajonal, bosques siempre verdes, glaciares, vegetación geliturbada y bofedales).

3. Geomorfología

Una característica directamente relacionada con el drenaje pero que también por sí misma tiene efecto sobre la distribución de los seres vivos en el páramo es la pendiente. Solo algunos tipos de plantas son capaces de permanecer en pendientes muy escarpadas, con consecuencias sorprendentes.

En algunos páramos se nota que las partes más pendientes y escarpadas mantienen bosques achaparrados bastante tupidos, rodeados de pajonal o de almohadillas, lo que nos da una pauta muy interesante acerca de la situación anterior de los páramos.

Es muy posible que, en realidad, antiguamente los bosques hayan sido la vegetación dominante de gran parte los actuales páramos, pero el sobrepastoreo y las quemas la transformaron en lo que vemos ahora: manchas de bosque en medio de una matriz de pajonal.

Las manchas de bosque en las pendientes muy bien pudieron haberse salvado precisamente porque tanto al fuego como al ganado les resultaba difícil llegar a estos sitios, de modo que estos bosques serían reliquias de lo que eran los páramos antes de las que más y el sobrepastoreo

En las pendientes más fuertes prácticamente ya no existe suelo y, por ende, solamente las plantas más tenaces sobreviven: los líquenes y los musgos. Por el hecho de que estas áreas más pendientes son precisamente las más inaccesibles, tanto para la gente como para las vacas y el fuego, son las mejor conservadas.

En el otro extremo están las pendientes suaves y las planicies. Porque el clima en el páramo es muy húmedo, en las planicies, en muchos casos se forman pantanos. Los pantanos más extensos se encuentran en los valles glaciales que son típicos de las alturas andinas. Estos valles se formaron por el paso de grandes masas de hielo que bajaron desde lo alto cuando las condiciones del planeta hicieron que un fenómeno global de enfriamiento tuviera lugar.

Ha habido varias de estas glaciaciones en la historia de la Tierra. Los valles formados por el paso de estas masas gigantes de hielo son muy diferentes a las hondonadas formadas por aguas corrientes, en este segundo caso, los valles son profundos y tienen una forma de V, mientras que los valles glaciales adoptan una forma de U, es decir, con una planicie en medio de las fuertes pendientes.

Un fenómeno típico es la presencia de vientos que suben o bajan por el pendiente. Por naturaleza, el aire se mueve de un área caliente a un área fría. Por ejemplo, en un valle el aislamiento por viento es mayor que en una colina y, por esto, hay más heladas en la colina.

Además, si la topografía es más ondulada o colinada, los vientos tienden a ser más fuertes y se presentan más heladas.

4. Precipitación en páramos.

La precipitación en los páramos es generalmente abundante y relativamente continua a lo largo del año, de modo que, a pesar de que se puede hablar de estaciones más y menos lluviosas, la diferencia no es drástica.

Al ser un ecosistema tropical, las estaciones en los páramos no se refieren a los cambios de temperatura a lo largo del año (la estacionalidad es diaria y no anual) sino a los cambios en la precipitación. En otras palabras, hay meses más lluviosos (invierno) que otros (verano).

La duración de una y otra estación y los meses exactos en que ocurren varían según las condiciones de cada localidad. El rango de precipitación en todo el páramo (es decir, en todos los países que lo poseen) está entre 500 y 3.000 mm por año. Así mismo, la humedad relativa tiene un rango entre 25 y 100%, con un promedio de 70-85%

Las variaciones locales tienen efectos sobre la vegetación y sobre los animales de diversa manera. Uno de los más claros es el de las migraciones: los animales se mueven de un sitio a otro buscando condiciones favorables para alimentarse o reproducirse. No se ha estudiado mucho sobre las migraciones en el páramo pero es obvio que existen y que son consecuencia de una mayor oferta de alimento u otros recursos en determinadas épocas del año (Cunalata. C y Inga. C. 2012).

C. CLASIFICACIÓN DE LOS BOSQUES

Un bosque primario, o bosque nativo, denominado también bosque virgen en el lenguaje corriente, es un bosque intacto (u original), y con un grado de naturalidad que nunca ha sido ni explotado, ni fragmentado ni directamente o manifiestamente influenciado por el hombre. No todos los bosques antiguos son primarios; son denominados secundarios los regenerados de hace mucho tiempo sobre un bosque antes destruido, significativamente modificado o explotado por el hombre.

En realidad, existen muchas definiciones de bosque. Estas comunidades de plantas cubren grandes áreas del globo terráqueo y funcionan como hábitats animales, moduladores de flujos hidrológicos y conservadores del suelo, constituyendo uno de los aspectos más importantes de la biosfera de la Tierra.

Aunque a menudo se han considerado como consumidores de dióxido de carbono, los bosques maduros son prácticamente neutros en cuanto al carbono, y son solamente los alterados y los jóvenes los que actúan como dichos consumidores (75 normas para utilizar los bosques nativos 2000).

1. BOSQUES NATIVOS DE PROTECCIÓN

Son aquellos ubicados en suelos frágiles, en pendientes iguales o superiores a un grado determinado, a ciertas distancias de las orillas de fuentes, cursos o masas de agua, y que deben someterse a un manejo destinado al resguardo de tales suelos y recursos hídricos, con el fin de evitar la erosión, daños irreversibles por precipitaciones, avalanchas y rodados o la alteración de sus ciclos hidrológicos. En tales tipos de bosques está prohibida la corta, descegado o aprovechamiento del bosque (Veloz, L. 1999).

2. BOSQUE SIEMPRE VERDE ANDINO DE CEJA ANDINA (BSVCA)

Este tipo de vegetación se encuentra en las provincias de Bolívar, Carchi, Chimborazo, Imbabura, Pichincha y Tungurahua, en un rango altitudinal que varía entre los 2800 y 4000 m.s.n.m.. El dosel de los arboles está entre los 5 y 10 metros de altura. Las especies más conspicuas son *Gynoxis chigualensis*, *Vallea stipularis*, *Miconia barclayana* y *Buddleja incana* (Sierra et al. 1999, Baquero et al. 2004).

Actualmente el bosque de Ceja Andina está presente en forma de islas de bosques natural (fragmentos o parches) relegados a las quebradas, o en suelos con pendientes pronunciadas. Este aislamiento del bosque se debe a varios factores, como los provocados por deslizamientos, derrumbes u otros desastres naturales y los ocasionados por el ser humano.

Este tipo de vegetación se caracteriza por ser una zona de transición entre el bosque montano y el páramo, el suelo está densamente cubierto de musgos y los arboles crecen

irregularmente, con troncos ramificados desde la base (Baquero et al. 2004, ECOLAP Y MAE 2007, Suarez. 2008). La temperatura oscila entre 6°C y 17°C, con una precipitación anual 922 mm (Baquero et al. 2004).

a. Contenido de Carbono en el Suelo de Bosque.

De acuerdo a Macías, F. (2004) los factores que inciden sobre la captura de carbono son: a) las características climáticas del sitio (régimen térmico e hídrico; b) las características edáficas (textura, pH y estructura); c) la disponibilidad de agua y nutrientes para la ecosistema; y d) la composición y actividad de los organismos (en especial, la dinámica de la comunidad microbiana edáfica). El acuerdo de Kioto incluye entre los sumideros de Carbono que deben tenerse en cuenta el incremento de biomasa producida en los sistemas forestales y los incrementos de secuestro en biomasa y suelos producidos por actividades específicas de gestión en suelos agrícolas, praderas y, sobre todo, en sistemas edáficos en recuperación ambiental por ser en estos lugares donde se puede producir una mayor intensidad de la fijación. Así, cifras obtenidas en Galicia permiten establecer ritmos de secuestro del orden de 20 tC/ha/año.

1. Metodología que utilizó para recoger las muestras de suelo según IPCC

La información de suelo es necesaria para el reporte de carbono y las características de los ecosistemas. Las características físicas y muestras de suelo para análisis de laboratorio se tomaron dentro de la sub-parcela de 20 x 20 m, originalmente destinada para la medición de árboles superiores a 10 cm de DAP.

En la sub parcela se establecieron cinco puntos de muestreo, distribuidos uno en el centro y en cada extremo de los cuatro vértices.

En el punto central de la sub-parcela se observó el color, textura, estructura y pedregosidad del suelo (FAO 2006). Adicionalmente, se observó la fisiografía y la accesibilidad a la parcela.

Para conocer los cambios en el contenido de carbono, en los cinco puntos de muestreo se extrajeron muestras de suelo hasta los 30 cm de profundidad, donde son más notorios dichos cambios (IPCC 2006).

Las muestras se extrajeron a tres profundidades: entre 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm, para lo cual fue necesario construir pequeñas calicatas.

A cada profundidad se tomó dos muestras; la primera de 500 cm³ compuesta de cinco cilindros extraídos de los cinco puntos de muestreo, que sirvió para el cálculo de carbono orgánico y carbono de raicillas de suelo; y la segunda muestra fue de 300 cm³ compuesta de tres cilindros extraídos de tres puntos de muestreo destinados para el cálculo de la densidad aparente.

Para determinar el contenido de carbono por unidad de volumen de suelo, se lo realizó por el método de pérdida por ignición, para lo cual fue primero necesario conocer la densidad aparente del suelo.

Para esto se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido” como se presenta a continuación:

- Utilizar un cilindro de volumen conocido.
- Secar la muestra en la estufa a 105° C hasta obtener un peso constante.
- Peso de la muestra seca (Ps).
- Calcular la densidad aparente:

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

El carbono contenido en el suelo (en gr C/cm²) se calcula a partir de los valores de porcentaje de carbono, densidad aparente y volumen de la muestra (que es el resultado de multiplicar el área transversal de la muestra por la profundidad del muestreo), con la siguiente fórmula (Rosenzweig y Hillel 2000).

- a. Posteriormente, los resultados por cm² se extrapolan a valores por ha:
- b. Carbono en suelo (**ton C/ha**) = **DA* FC* P* A**

Dónde:

P = Profundidad de muestreo en cm

FC = Contenido de carbono (%)

DA = Densidad aparente (g/cm^3)

A = Área (cm^2) de la sección transversal de la muestra de suelo.

b. Potencial Hidrogeno en los diferentes usos de suelos de los páramos y bosques.

El pH (Potencial Hidrogeno) corresponde a la escala de valoración de la acidez y la alcalinidad de una solución, donde se indica la concentración de iones hidronio $[\text{H}_3\text{O}^+]$ presentes en determinadas sustancia, el pH puede medirse mediante una valoración que consiste en la neutralización del ácido (o base) con una cantidad determinada de base (o ácido) de concentración conocida, en presencia de un indicador (un compuesto cuyo color varia con el pH).

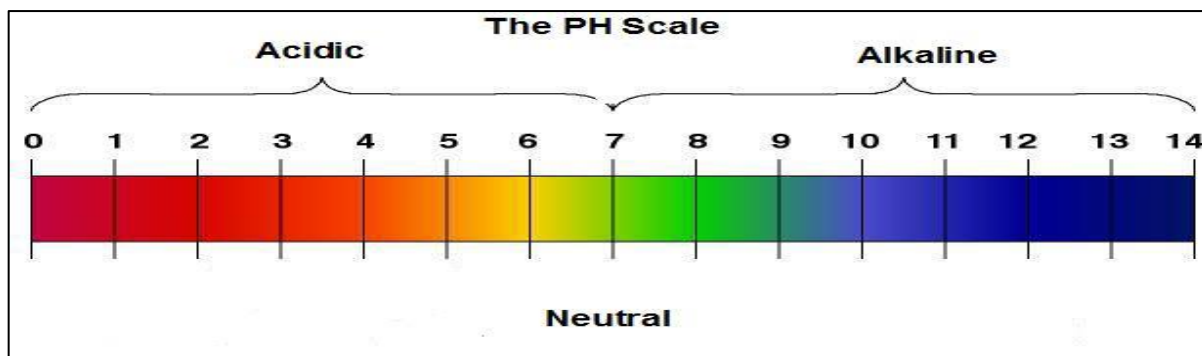


Figura 01. Escala de pH
Fuente: Macías, F. (2004).

En el caso del pH la concentración de hidrogeniones de la solución del suelo ejerce su efecto más importante sobre la disponibilidad de nutrientes y la concentración de iones potencialmente tóxicos, en líneas generales un pH alto está asociado a deficiencias de Fe o P y un pH bajo a toxicidad, Estas diferencias en la disponibilidad de nutrientes podrías tener consecuencias importantes sobre el crecimiento vegetal y es por ello frecuente asumir que la selección produce eco tipos especialmente adaptados a tipos de suelos particulares (Stoffella, S.1998).

Según Macías, F. (2004). Por centímetro de horizonte A los valores máximos encontrados son los existentes en suelos de carácter andino lo que, junto con la elevada edad media de la materia orgánica de estos suelos demuestra el papel importante de los compuestos al reaccionar en condiciones de pH ácido (4.0-5.5) para estabilizar de la materia orgánica.

c. Variaciones climáticas en el bosque y páramos andinos.

El clima es un recurso variable en el tiempo y el espacio, los factores climáticos están inexorablemente enlazados a los elementos esenciales de la vida humana como la disponibilidad de alimentos, las fuentes de agua, actividades agrícolas entre otras cosas, por lo que es esencial conocer la interacción entre el clima en las diferentes actividades del hombre y sus ecosistemas.

Las temperaturas de los páramos en la región interandina se caracterizan por su gran variación térmica diaria, con diferencias de las temperaturas entre el día y la noche que varían más que las oscilaciones de las temperaturas medias mensuales a lo largo del año. Las oscilaciones de la temperatura media mensual a una altitud de 3.550 m.s.n.m. son menores de 2°C, mientras que las oscilaciones diarias pueden alcanzar casi 30°C. Se dice que la gradiente vertical de la temperatura en los páramos venezolanos es de 0,6°C por cada 100 m (Berg, A., & Suchi, S. 2001).

1. Infoplán

Como sistema georreferenciado, el Infoplán contiene mapas con un amplio nivel de desagregación geográfica sobre regiones, provincias, cantones y parroquias, e incluye información estadística para las zonas y sectores censales del país, con una desagregación máxima que alcanza aproximadamente a 21.000 grupos de 500 habitantes o 5 manzanas en el área urbana, las fuentes de información para medio ambiente entre ellas las condiciones climáticas, infraestructura proviene principalmente del procesamiento de fotografías aéreas y satelitales (<http://www.eclac.cl/deype/mecovi/docs/TALLER6/7.pdf>).

2. El Anuario Meteorológico contiene tres secciones:

La PRIMERA información general sobre la red de estaciones meteorológicas, desde donde se obtienen los datos, referencia importante para garantizar la idoneidad de la información.

Una SEGUNDA sección, corresponde a los cuadros estadísticos, que contienen la información climática. Comprende los resúmenes diarios, mensuales y anuales de las variables meteorológicas que disponen de seis meses de datos como mínimo; incluyen interpretaciones gráficas de las variaciones en precipitación, humedad relativa y temperatura.

La TERCERA sección incluye mapas temáticos, iniciando con la representación de temperatura media (isotermas), la distribución anual de la precipitación (isoyetas) y el mapa nacional de ubicación de las estaciones meteorológicas www.serviciometeorologico.gob.

3. Temperatura en los diferentes usos de suelo de los páramos y bosques.

Los páramos se caracterizan por sus bajas temperaturas ocasionada por los altos índices de cobertura nubosa, niebla y precipitaciones horizontales, encontrándose entre los ecosistemas más elevados de los andes situándose por encima de la línea de árboles y por debajo de los campos nevados y glaciares Young, B. (2012). Las temperaturas de los páramos se caracterizan por su gran variación térmica diaria, con diferencias de las temperaturas entre el día y la noche que varían más que las oscilaciones de las temperaturas medias mensuales a lo largo del año. Las oscilaciones de la temperatura media mensual a una altitud de 3.550 m.s.n.m. son menores de 2°C (SARMIENTO, 1986), mientras que las oscilaciones diarias pueden alcanzar casi 30°C (MONASTERIO & REYES, 1980), según MENA, P. (2000), la temperatura es el factor principal esta baja entre 0,5°C y 0,7°C por cada 100 m de altitud (a partir de los 2000 m). La variación de temperaturas es alta en el día (frecuentemente más de 15°C con una radiación solar importante).

4. Humedad Relativa en los diferentes usos de suelo de los páramos y bosques

La característica fundamental de los ecosistemas páramos es captar, almacenar y regular el agua que reciben de las precipitaciones, esta propiedad se debe principalmente a la gran acumulación de materia orgánica, características edáficas y a la morfología de ciertas plantas de páramo, se dice que el páramo es una fuente de agua y se debe principalmente a las precipitaciones constantes y alta humedad relativa, sus suelos que tienen una alta capacidad de regulación de los flujos de agua y permiten su aprovechamiento permanente para darle diferentes usos, generalmente poseen un clima frío y húmedo (Pourrut 1994).

Precisamente por encontrarse sobre los 3000 m.s.n.m. tiene alta humedad relativa y posee un clima húmedo considerándose este como un clima adverso o rudo, el promedio de las temperaturas anuales es bajo, existe una alta humedad relativa a pesar de las precipitaciones moderadas y una débil evaporación.

La cantidad de lluvia en el páramo puede tener una variación importante (entre 500 y más de 3.000 mm/año). Más que la cantidad de lluvia es la humedad constante con las precipitaciones ocultas (neblina, lloviznas, etc.). Raramente la estación seca pasa de un mes, hay zonas particulares que por ubicarse fuera del alcance de los vientos amazónicos, reciben vientos fuertes de poca humedad que generan un microclima árido y forman la zona del arenal (MENA, P. 2000).

D. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S.I.G)

Un S.I.G no es simplemente un sistema informático para hacer mapas, aunque pueda crearlos a diferentes escalas, en diferentes proyecciones y con diferentes colores. Un S.I.G es una herramienta de análisis. La mayor ventaja de un S.I.G es que permite identificar las relaciones espaciales entre características de varios mapas. Un S.I.G no almacena un mapa en sentido convencional, ni almacena una imagen concreta o vista de un área geográfica. En vez de ello, un S.I.G almacena los datos a partir de los cuales se pueda crear la escala deseada, dibujada para satisfacer un producto. En suma un S.I.G no contiene mapas o gráficos, sino una base de datos.

Administrar, regular, controlar y planificar las acciones que se desarrollan en un territorio determinado constituye una tarea muy compleja. En este sentido, identificar las variables que intervienen en el proceso de administración, permite conocer una parte del problema, paralelamente resulta imprescindible comprender y analizar las interrelaciones que existen entre esas variables. De este modo es posible construir no solo el escenario de comportamiento en un momento dado, sino simular comportamientos posibles, deseados o no, para en conducirla gestión en el sentido deseado; o en el peor de los casos, poder reaccionar a tiempo ante situaciones imprevistas.

Un S.I.G se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que estén diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los S.I.G son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para solucionar problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

a. Componentes de un SIG

- Hardware.
- Software.
- Información.
- Personal.
- Métodos.

b. Funciones de los SIG

La programación S.I.G tiene una serie de funciones diseñadas para la gestión de información geográfica:

- Captura, registro y almacenamiento de datos el paso de información analógica, en papel, a formato digital de una computadora; esto se puede realizar de varias maneras como digitalización, vectorización, importación y otras.
- Estructura de datos y manipulación creación de base de datos, de nueva cartografía.
- Proceso, análisis y gestión de datos topología, consultas gráficas, alfanuméricas, combinadas, superposición de plano e información.
- Creación de salidas impresión de informes, graficación de planos y publicación en diversos formatos electrónicos.

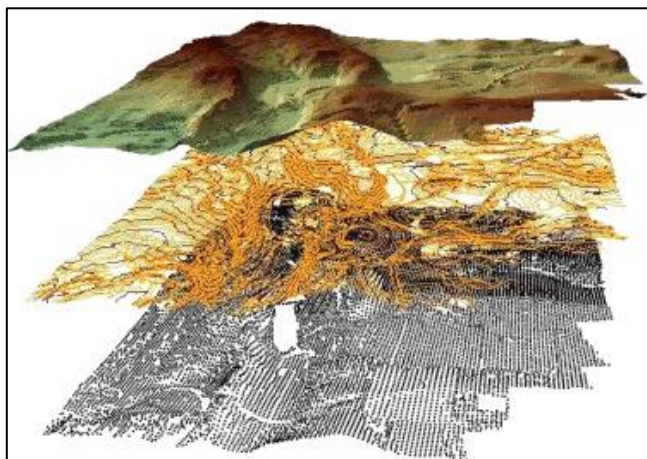


Figura 02. Interposición de capas.
Fuente: www.esri.com

1. BASE DE DATOS GEOGRÁFICA

Un S.I.G mantiene una base de datos. El concepto de base de datos es esencial en un S.I.G y constituye la principal diferencia entre un S.I.G y un simple sistema de dibujo o de cartografía computacional que sólo puede producir buena información gráfica. Cualquier S.I.G actual tiene un sistema de administración de base de datos que integra coberturas, imágenes, tablas de atributos, etcétera. Un S.I.G vincula datos espaciales con información descriptiva de alguna característica particular de un mapa. La información se almacena como atributos o características del elemento gráficamente representado. Por ejemplo, una red vial se podría representar con líneas de camino centrales, en cuyo caso, la representación visual real del camino no produciría mucha información sobre él. Para obtener tal información, el usuario tendría que consultar los datos tabulares almacenados para caminos, que describirían la clase de camino, su ancho, el tipo de pavimento, número de callejones, nombre de las calles y rangos de dirección. Luego, el usuario crearía un despliegue que simbolice todos los caminos de acuerdo con el tipo de información que se necesita.

a. Geodatabase

Es una base de datos geográfica que se recibe dentro de una base de datos emparentada a un sistema de manejo y servicios de datos geográficos. Estos servicios incluyen reglas de la validación, relaciones y asociaciones topológicas.

Se le denomina la unidad nivel tope de almacenamiento de datos geográficos, en donde se encuentran feature datasets, feature classes, object classes y relationship classes y contienen índices espaciales para poder acceder en forma eficiente a grandes extensiones continuas (<http://www.gabrielortiz.com>).

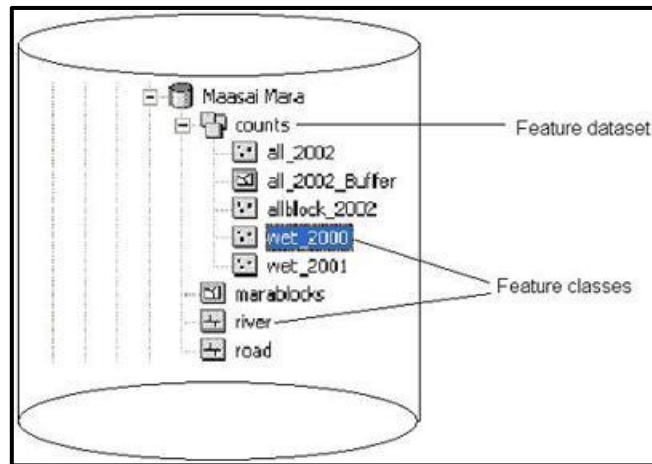


Figura 03 Estructura de una GDB
Fuente: www.esri.com

Estas permiten el almacenamiento de capas con muchos elementos y de grandes extensiones sin tener que particionalas. Ej. ArcSDE (índices espaciales, números enteros, compactación, consultas rápidas sin importar el tipo de consulta o la cantidad de elementos)

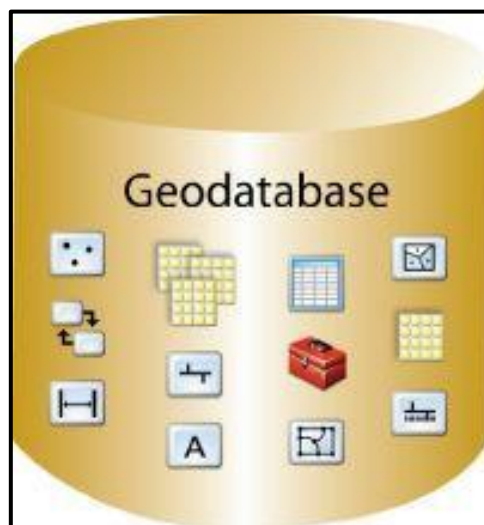


Figura 04. Conformación de una GDB
Fuente: www.esri.com

La geodatabase es una colección de datasets de diversos tipos que se utiliza en ArcGIS y se administra en una carpeta de archivos o una base de datos relacional. Es la fuente de datos nativa para ArcGIS y se utiliza para la edición y automatización de datos en este software, la geodatabase contiene información tipo:

- Vector → feature dataset
- Ráster → raster dataset
- TIN → tin dataset

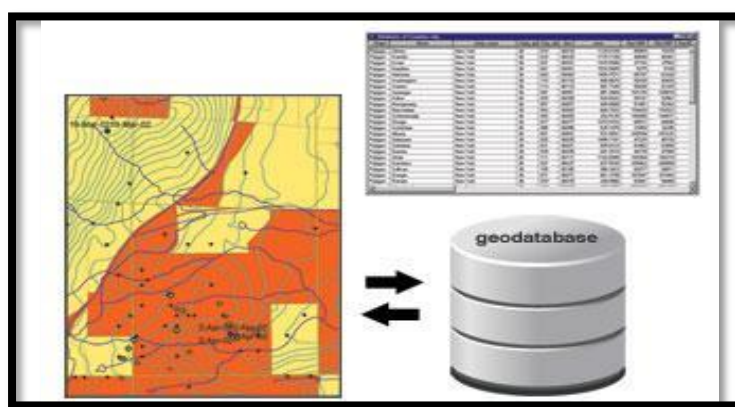


Figura 05. Conformación de un SIG.

Fuente: www.esri.com

b. Almacenamiento de Geodatabases en Tablas y Archivos

El almacenamiento de geodatabases incluye tanto el esquema y la base de reglas para cada dataset geográfico como el almacenamiento simple, tabular de los datos espaciales y de atributos. Los tres dataset principales de la geodatabase (clases de entidad, tablas de atributos y datasets ráster), así como otros elementos de la geodatabase, se almacenan utilizando tablas, las representaciones espaciales en datasets geográficos se almacenan como entidades vectoriales o ráster estas geometrías se almacenan y se administran en columnas de atributos junto con campos de atributos tabulares tradicionales.

Una clase de entidad se almacena como una tabla, cada fila representa una entidad en la tabla de clase de entidad de polígono siguiente, la columna forma contiene la geometría de

polígono para cada entidad. Se utiliza el valor polígono para especificar que el campo contiene las coordenadas y la geometría que definen un polígono en cada fila.

c. Elementos en una Geodatabase

Todos los usuarios de S.I.G trabajarán con tres tipos de datasets fundamentales sea cual sea el sistema que utilicen. Tendrán un conjunto de clases de entidad (muy similar a una carpeta llena de shapefiles de ESRI); tendrán varias tablas de atributos (archivos de dBase, tablas de Microsoft Access, hojas de cálculo de Excel, D.B.M.S, etc.); y, la mayor parte del tiempo, también tendrán un gran conjunto de datasets de imágenes y ráster con los que trabajar.

Fundamentalmente, todas las geodatabases contendrán este mismo tipo de contenido. Se puede pensar en esta colección de datasets como en el punto inicial universal para el diseño de la base de datos S.I.G.

Si es necesario, los usuarios pueden extender sus modelos de datos para que admitan ciertas capacidades esenciales. La geodatabase tiene varios elementos de datos y tipos de datasets adicionales que se pueden utilizar para extender esta colección fundamental de datasets.

1. Construcción de una Base de Datos Geográfica

La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada que pueda ser procesada por el lenguaje de las computadoras actuales. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles y normalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en capas; en esta fase, y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a compilar, se seleccionan las capas temáticas a incluir (CAÑIZARES, Y. E., & GÓMEZ VILLA, A. F. 2013).

d. Un S.I.G permite:

- Realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de base de datos.

- Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema.
- Realizar pruebas analíticas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial.

1. MODELO DE INTERPOLACIÓN KRIGING

El nombre Kriging, nombre dado por su creador, el ingeniero en minas sudafricano D.G. Krige. Hasta el día de hoy, todos los interpoladores geoestadísticos están en el grupo de los Kriging (con sus variantes), los cuales ofrecen no solo predicciones y superficies de respuesta requeridas, sino también mapas de probabilidades y cuantiles (Johnston et al. 2001 citado por Villatoro.M, Henríquez.C, Sancho. F).

El Método Kriging cuantifica la estructura espacial de los datos -mediante el uso de variogramas llamados algunas veces semivariogramas debido a su similitud en el cálculo- y los predice mediante la interpolación, usando estadística. Se asume que los datos más cercanos a un punto conocido tienen mayor peso o influencia sobre la interpolación, influencia que va disminuyendo conforme se aleja del punto de interés (Burrough y McDonnell 1998 citado por Villatoro.M, Henríquez.C, Sancho. F).

Este método pertenece al grupo de los métodos geo-estadísticos ya que describe la correlación tanto espacial como temporal entre los valores de un atributo. Tradicionalmente se ha utilizado en las llamadas geo-ciencias (geofísica, hidrogeología, etc.), sin embargo, sus principios se aplican cada vez más en una amplia variedad de campos científicos como pesquerías, silvicultura, ingeniería civil, procesamiento de imágenes, cartografía, meteorología, etc.

La Geo-estadística asume que los datos están correlacionados y que la continuidad se puede establecer para puntos, bloques o volúmenes. Por lo tanto, en esta disciplina, se utiliza el concepto de variable regional que describe fenómenos con una distribución geográfica y con una cierta continuidad espacial. Kriging es el método de cálculo de una variable regional en un punto, al interior de un área usando un criterio de minimización de la estimación de la varianza. Para ello se resuelve un conjunto de ecuaciones con información

presente en un gráfico denominado variograma y las distancias relativas entre los datos y la posición del punto, donde el valor interpolado es requerido (MOREANO.R).

a. Técnicas geoestadísticas.

El uso de técnicas geoestadísticas, puede crear superficies que incorporan las propiedades estadísticas de los datos medidos. Debido a que la geoestadística se basa en las estadísticas, estas técnicas producen no sólo las superficies de predicción, sino también un error o incertidumbre superficies, que le da una indicación de lo bien que las predicciones son.

Muchos métodos se asocian con geoestadística, pero todos ellos están en la familia kriging entre ellos tenemos: Ordinario, simple, universal, probabilidad, del indicador y kriging disyuntivo.

Kriging se divide en dos tareas distintas: la cuantificación de la estructura espacial de los datos y la producción de una predicción, la cuantificación de la estructura conocida como variografía, es donde se monta un modelo espacial-dependencia a sus datos. Para hacer una predicción para un valor desconocido para un lugar específico, kriging utilizará el modelo ajustado de variografía, la configuración de datos espaciales, y los valores de los puntos de muestreo de medición alrededor de la ubicación de la predicción.

La autocorrelación es una función de la distancia. Esta es una característica definitoria de la geoestadística. En la estadística clásica, las observaciones se supone independiente, es decir, no existe una correlación entre las observaciones. En la geoestadística, la información sobre ubicaciones espaciales le permite calcular distancias entre observaciones y modelar autocorrelación como una función de la distancia.

Observe también que, en general, el mercado de valores sube con el tiempo, y esto se llama tendencia, para los datos geoestadísticos tiene las mismas condiciones, y se expresa en la siguiente fórmula matemática simple:

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s)$$

En donde:

$Z(s)$ es la variable de interés, descompuesto en una tendencia determinista $\mu(s)$ y una al azar, autocorrelated errores forman $\varepsilon(s)$.

El símbolo S que simplemente indica la localización; piense en ello como que contiene la x-espacial (longitud) y y-(latitud) coordenada, las variaciones en esta fórmula son la base de todos los diferentes tipos de kriging.

1. MODELO KRIGING ORDINARIO

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$$

En donde:

μ es una constante desconocida, una de las principales cuestiones relativas de kriging ordinario es si el supuesto de una media constante es razonable a veces hay buenas razones científicas para rechazar este enunciado. Sin embargo, como un método de predicción simple, tiene una notable flexibilidad. La siguiente figura es un ejemplo de una dimensión espacial:

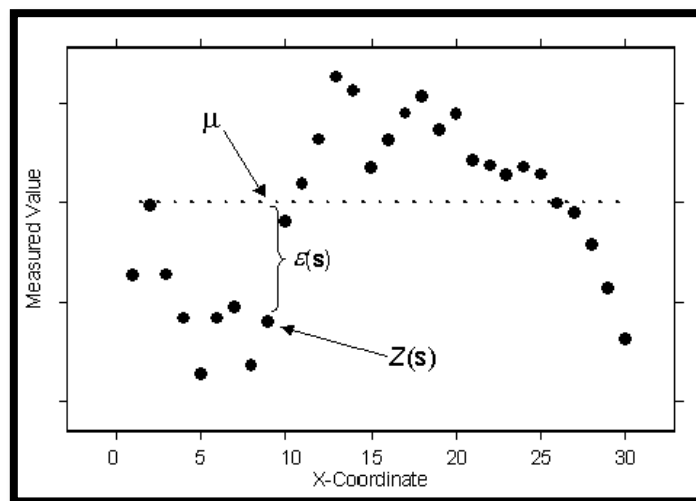


Figura 06. Kriging ordinario
Fuente: <http://resources.arcgis.com>

Parece que los datos son valores de elevación obtenidos de un transecto de línea a través de un valle y sobre una montaña. También parece que los datos son más variables a la izquierda y se vuelve más suave a la derecha de hecho, estos datos se simuló a partir del modelo kriging ordinario con una constante μ medias. La media viene dado por la línea discontinua. Por lo tanto, kriging ordinario se puede utilizar para datos que parece tener una tendencia. No hay manera de decidir, sobre la base de los datos por sí solo, si el patrón observado es el resultado de la auto correlación entre los ε -(errores s) con μ constante o tendencia, con $\mu (s)$ con el cambio de s (<http://resources.arcgis.com>).

a. Construcción de un modelo válido

Al igual que con todos los métodos de interpolación geoestadística, la precisión de sus predicciones en la interpolación areal depende de la exactitud de su modelo. Con esto en mente, gran parte se debe tener cuidado para construir un modelo válido en el Asistente geoestadístico.

Debido a que la interpolación areal en el ArcGIS Geostatistical Analyst se implementa a través de un marco de kriging, variografía interactiva es un paso esencial en la construcción del modelo. A menudo es difícil visualmente juzgar la calidad de una curva de covarianza, por lo que los intervalos de confianza (las líneas verticales de color rojo en el gráfico a continuación) se proporcionan para cada uno de covarianza empírica (cruces azules). Si no se especifica correctamente el modelo de covarianza, se espera un 90 por ciento de las covarianzas empíricas caiga dentro de los intervalos de confianza. En el gráfico siguiente, 11 de los 12 covarianzas empíricos caen dentro de los intervalos de confianza, y 1 punto se queda un poco fuera del intervalo de confianza. Esto indica que el modelo se ajusta a los datos, y los resultados se pueden confiar.

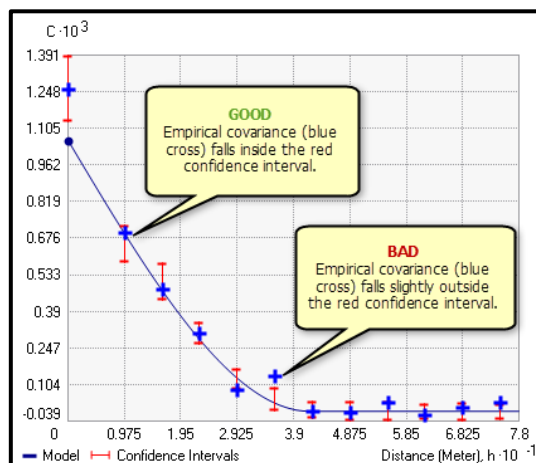


Figura 07. Curva de Covarianza
Fuente: <http://resources.arcgis.com>

La curva de covarianza por defecto a menudo no se ajusta bien a los datos. En este caso, los parámetros variografía en el paso 2 del Asistente Geostatistical necesitan ser alterados, el montaje de una curva de covarianza adecuado es a menudo difícil, y la mejor manera de mejorar en montaje es simplemente para practicar, pero hay algunas reglas generales que pueden ayudar a adaptarse a un buen modelo:

- Disminuir el Lag Tamaño valor hasta que las covarianzas empíricas ya no son negativas.
- Si el modelo sigue sin entrar, experimentar con el tipo de parámetro. K-Bessel y estable son los modelos más funcionales, pero también toman más tiempo para procesar.
- Si usted encuentra una combinación de Lag Tamaño y escribe que casi es única, pruebe a reducir el valor enrejado del Espacio. Sin embargo, tenga en cuenta que la disminución del espaciado reticular aumentará rápidamente el tiempo de procesamiento, el parámetro de espaciado reticular se describe en la sección "Nuevos parámetros para la interpolación areal".

Como se observa en el gráfico siguiente, si la variable se cambia a semivariogram en el paso 2 del *Asistente geoestadístico*, la curva semivariogram por puntos (la línea azul en el gráfico a continuación) no puede pasar a través de los intervalos de confianza, esto no es un problema, y los criterios para un buen modelo no cambia: si un gran porcentaje de los semivariaciones empíricas caen dentro de los intervalos de confianza, se puede tener confianza en la exactitud de su modelo.

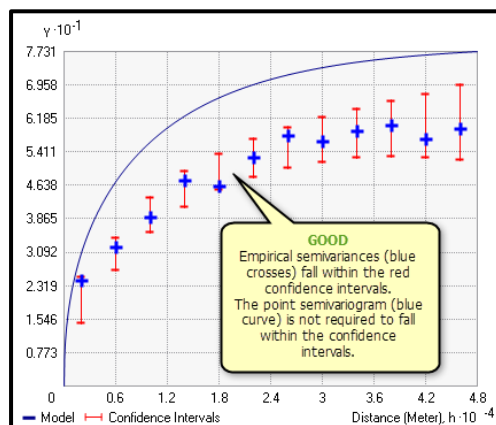


Figura 08. Curva semivariogram

Fuente: <http://resources.arcgis.com>

En el Asistente para geoestadístico, se encontrará con tres parámetros que no aparecen en otros métodos kriging:

- **Espaciado reticular.**- sirve para estimar covarianzas de puntos, cada polígono se superpone con una red cuadrada, y un punto es asignado a cada intersección de la retícula. El parámetro de espaciado reticular especifica la distancia horizontal y vertical entre cada punto, si el espaciado reticular es suficiente que un polígono no recibe un punto grande, se coloca un punto en su centroide. Un espaciado reticular más pequeño hace predicciones más precisas, pero también aumentará el tiempo de procesamiento. Por ejemplo, cortando el espaciado de la red en media tendrá cuatro veces más tiempo para procesar.
- **Nivel de Confianza.**- especifica el nivel de confianza para los intervalos de confianza para las curvas semivariogram / covarianza. Si el modelo es correcto, este valor indica el porcentaje de covarianzas empíricas / semivariances que debe estar dentro de los intervalos de confianza, tenga en cuenta que la línea semivariogram punto no necesariamente va a estar dentro de los intervalos de confianza. Este parámetro es sólo para fines de diagnóstico; el valor no afectará a las predicciones.
- **Sobredispersión Paramétrica.**- Sólo aplicable por prueba (overdispersed Poisson) recuento de datos. En Poisson datos de recuento, la sobredispersión (mayor variabilidad que se espera a partir del modelo de Poisson) se observa con frecuencia, el parámetro de sobredispersión ayuda a corregir esto, el parámetro es igual a la inversa del parámetro de dispersión de la distribución binomial negativa.

Todos los otros parámetros tienen el mismo significado que en otros métodos kriging.

b. Funciones semivariograma y covarianza empíricos

Las funciones semivariograma y covarianza son las cantidades teóricas que no se puede observar, por lo que estiman que a partir de sus datos, usando lo que se llama el semivariograma empírica y funciones de covarianza empíricos. A menudo, usted puede obtener una perspectiva de las cantidades observando la forma en que se calculan. Supongamos que usted toma todos los pares de datos que son una distancia similar y la dirección de la otra, como por ejemplo las relacionadas con las líneas azules en la siguiente figura.

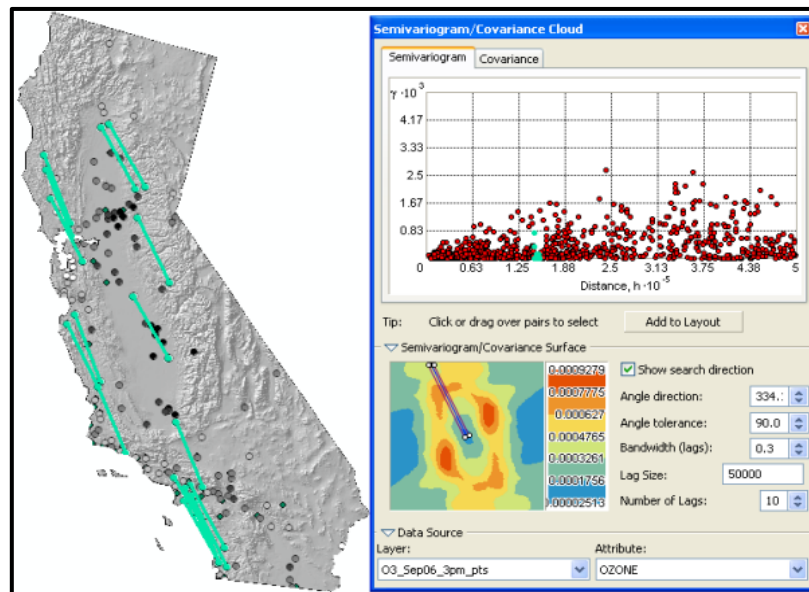


Figura 09. Semivariograma empírica

Fuente: <http://resources.arcgis.com>

Para todos los pares de ubicaciones s_i y s_j que están unidas por líneas, calcular media

$$[(z(s_i) - z(s_j))^2]$$

En donde:

$z(s_i)$ es el valor medido en la posición s_i . Si todos los pares de ubicaciones s_i e s_j están cerca uno del otro, se espera que $z(s_i)$ y $z(s_j)$ será similar en valor, de modo que cuando

usted toma las diferencias y la Plaza de ellas, la media debe ser pequeño. Como s_i e s_j obtengo más separadas, se espera que sus valores serán más diferentes, de modo que cuando usted toma sus diferencias y la Plaza de ellas, el promedio se hará más grande.

En la función de covarianza, para todos los pares de ubicaciones s_i y s_j que están unidas por líneas, las computa de software media $[(Z(s_i) - \bar{z})(Z(s_j) - \bar{z})]$

En donde:

$Z(s_i)$ es el valor medido en la ubicación s_i y \bar{z} es la media de todos los datos.

Ahora bien, si todos los pares s_i e s_j están cerca uno del otro, se espera tampoco que tanto $z(s_i)$ y $z(s_j)$ estará por encima de la media \bar{z} o de ambos estará por debajo de la media. De cualquier manera, su producto es positivo, así que cuando usted hace un promedio de todos los productos, se puede esperar un valor positivo. Si s_i e s_j están muy separadas, se espera que cerca de la mitad del tiempo los productos serán negativos y la mitad del tiempo que será positivo, por lo que usted espera de su promedio para estar cerca de cero.

De Análisis geoestadístico, para todos los pares que tienen una distancia y ángulo similar, los valores medios calculados anteriormente se representan en un semivariogram o superficie covarianza.

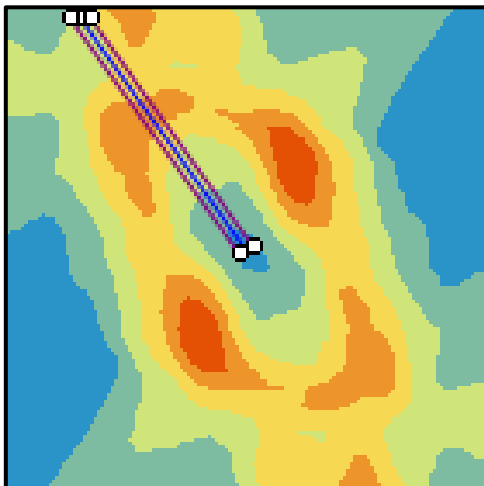


Figura 10. Superficie Semivariogram empírica
Fuente: <http://resources.arcgis.com>

1. Creación Semivariogramas Empíricos

Para crear un semivariogram empírica, se determinan la diferencia al cuadrado entre los valores de todos los pares de ubicaciones. Cuando éstos se representan, con la mitad de la diferencia al cuadrado en el eje y, y la distancia que separa las ubicaciones en el eje x, se denomina la nube semivariogram. La escena siguiente muestra las parejas de un mismo lugar (el punto rojo) con otras 11 localidades.

Uno de los principales metas de la variografía es explorar y cuantificar la dependencia espacial, también llamada autocorrelación espacial, autocorrelación espacial cuantifica el supuesto de que las cosas que están más cerca son más parecidos de lo que las cosas que están más alejados, por lo tanto, los pares de lugares que están más cerca (extremo izquierdo en el eje x de la nube semivariogram) tendrían valores similares más bajas (en el eje Y de la nube semivariogram). Como pares de ubicaciones se vuelven más separadas (que se mueve a la derecha en el eje x de la nube semivariogram), que deberían ser más diferente y tener una diferencia mayor cuadrado (moverse hacia arriba en el eje y de la nube semivariogram).

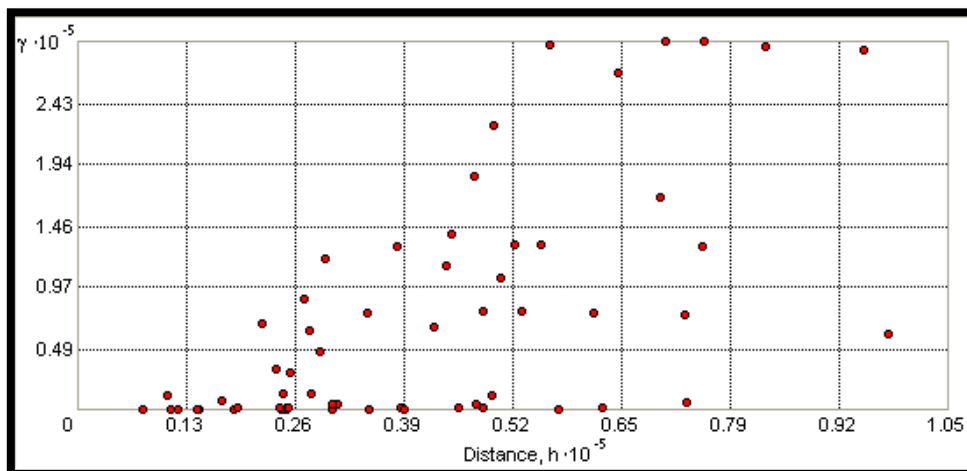


Figura 11. Nube semivariogram puntos.

Fuente: <http://resources.arcgis.com>

Debido a limitaciones de computación (informática límites de tiempo y memoria), si el conjunto de datos de entrada tiene más de 5.000 observaciones, Geoestadística analiza seleccionará al azar a 5.000 observaciones para el análisis estructural y ajuste del modelo semivariogram (esto proporciona cerca de 12 millones de pares de puntos). El modelo resultante (superficie) por lo general no se ve afectada por el muestreo aleatorio ya que todos los datos se utilizan para generar los valores previstos, sin embargo si el conjunto de datos tiene unos valores muy grandes, que pueden o pueden no estar en el subconjunto utilizado para generar los valores semivariogram / covarianza empíricos, y, en consecuencia, la semivariogram modelo estimado pueden ser diferentes de un modelo semivariogram estimado usando todo el conjunto de datos (<http://resources.arcgis.com>).

IV. MATERIALES Y METODOS

A. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

1. Localización

La presente investigación se realizara en parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

a. Superficie

La parroquia de achupallas tiene una superficie total de 94432,65 ha.

2. Ubicación geográfica

Coordenadas Proyectadas UTM Zona 17S, DATUM WGS 84

Altitud: 2600 – 4500 m.s.n.m.

Longitud: 9747487.1 N

Latitud: 748065.7 E

3. Características climáticas

Temperatura promedio anual: 12 - 18 °C

Humedad relativa: 50 - 70 %

Precipitación promedio anual: 250 – 500 mm.

4. Ubicación ecológica

Según INFOPLAN (Sistema de información para el desarrollo local en el Ecuador) la parroquia Achupallas tiene la siguiente clasificación ecológica: Bosque Siempre Verde de Ceja Andina altitudes de los 3000 a 3400 m.s.n.m., Matorral Seco Montano de los Andes del Norte y Centro ubicadas en los 2500 a 3000 m.s.n.m. y Páramo desde los 3400 a 4500 m.s.n.m.

B. MATERIALES

1. Materiales de campo

GPS (geoposicionador), Brújula (360°), cinta métrica (50 y 15 m), binoculares, cámara fotográfica digital (mayor a 10 megapíxeles), machete, cuchillo, calculadora de mano, pala pequeña de corte recto, bolsas plásticas para colectas de muestras, linterna, equipo de camping, lápices y esferográficos, laptop, Reloj, vehículo

2. Materiales de oficina

Computadora, impresora, hojas de papel, esferográficos, calculadora.

3. Materiales informáticos

Arcgis 10.2, Método de interpolación Kriging, Software opensource (GNU Linux), Microsoft office, cartas topográficas escala 1:50000.

C. METODOLOGÍA

La metodología que se empleó consistió en dividir el trabajo en varias etapas para el cumplimiento de los diferentes objetivos.

1. Para el cumplimiento del primer objetivo creación de la base de datos:

Se realizó una base de datos, los datos obtenidos para las variables edáficas (carbono y el pH) se obtendrán del inventario multipropósito de la parroquia Achupallas, el mismo que consta con 35 parcelas distribuidas en toda el área de estudio las cuales que entre otros datos tienen las coordenadas X, Y, altura, y las variables a estudiarse. Mientras que para las variables climáticas (temperatura y humedad relativa) se obtuvieron los datos de INFOPLAN 2011 los cuales se procesaran y se obtendrán los datos para emparejar con las 35 parcelas y así poder obtener la base de datos.

A continuación mostraremos las tablas empleadas para la creación de la base de datos:

Cuadro 01. Datos de la variable carbono

ID	Sector	ALTURA (m.s.n.m.)	X (Latitud)	Y (Longitud)	CARBONO (MgC/ha)
1					
2					
3					
etc					

Cuadro 02. Datos de la variable pH

ID	Sector	ALTURA (m.s.n.m.)	X (Latitud)	Y (Longitud)	PH (Nivel)
1					
2					
3					
Etc					

Cuadro 03. Datos del contenido de temperatura

ID	Sector	ALTURA (m.s.n.m.)	X (Latitud)	Y (Longitud)	T °(C)
1					
2					
3					
Etc					

Cuadro 04. Datos de humedad relativa

ID	Sector	ALTURA (m.s.n.m.)	(Latitud)	Y (Longitud)	HR (%)
1					
2					
3					
Etc					

2. Para el cumplimiento del segundo objetivo interpolación Kriging:

Con la base de datos ya creada en Excel se procedió a ingresar los datos al software arcgis 10.2, trabajando con el sistema de coordenadas WGS84 UTM ZONA 17S, con el DATUM WGS84, la cartografía base que se utilizo fue obtenida de INFOPLAN 2011, la herramienta de interpolación utilizada fue Kriging, la misma que utilizamos por ser un BLUE (Best Linear Unbiased Estimator), es decir, el mejor estimador lineal imparcial, lo que lo convierte en la técnica óptima para la interpolación de cualquier tipo de variable espacial. Y la varianza de Kriging será mínima, lo que elimina cualquier tipo de incertidumbre del punto medio, a comparación de otros métodos que no darán nunca un valor cierto así como tampoco proveen de información sobre la varianza de la estimación (Domínguez, 1999).

3. Para el cumplimiento del tercer objetivo validar la información:

El método escogido para esta investigación fue la Validación Cruzada debido a su sencillez en la aplicación y a la facilidad de interpretación de resultados para variables edáficoclimáticas. Consiste en eliminar el *i*-ésimo valor medido y estimarlo a partir del resto de datos. (Quintín, s.f).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A.- CUMPLIMIENTO DEL PRIMER OBJETIVO

1. Recopilar información de la Variable de edáfica.

La investigación para determinar el contenido de biomasa y carbono, presente en las diferentes clases de uso de suelo se llevó a cabo en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, los responsables de la investigación fueron los ingenieros Franklin Cargua y Marco Rodríguez, la metodología aplicada en la investigación para el levantamiento de las parcelas fue del Manual de Campo publicado por el proyecto Evaluación Nacional Forestal ENF y el programa Nacional Conjunto ONU-REDD+ del Ministerio del Ambiente del Ecuador, bajo la cooperación del programa “Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático” FAO Finlandia y el componente ONU REDD FAO.

a. Establecimiento de las Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM)

Las parcelas permanentes de muestreo son instrumentos que permiten estudiar la dinámica y comportamiento de los ecosistemas naturales con el propósito de obtener información esencial para ser utilizada en el momento de tomar decisiones, a partir de este inventario, se obtendrán valores e indicadores para la evaluación de la aplicación de las políticas, planes y programas.

En el cuadro 05 y gráfica 12, nos muestra el número de conglomerados y la cantidad de parcelas distribuidas en cada uno de los sectores del área de estudio, las mismas que están debidamente georreferenciadas y ubicadas. Donde podemos observar que el páramo cuenta con seis conglomerados, cultivos, bosque y plantación forestal con dos conglomerados cada uno dándonos de 12 conglomerados y un total de 35 parcelas, las parcelas se codificaron por sectores y número de conglomerado para una mejor identificación utilizando las iniciales de cada una como se muestran en los cuadros posteriores.

Cuadro 05. Coordenadas UTM de los conglomerados.

Conglomerado	Parcela	Sector	UTM X	UTM Y	Altitud (m.s.n.m.)
001	P1	Huangra Bosque	764099	9726401	3241
	P2		763849	9726401	3256
	P3		763849	9726651	3259
002	P1	Huangra Bosque	766208	9727397	2739
	P2		765958	9727397	2674
	P3		765958	9727647	2796
003	P1	Huangra Pasto	765436	9725979	2812
	P2		765186	9725979	2710
	P3		765186	9726229	2881
004	P1	Pomacocho	759429	9739837	3992
	P2		759179	9739837	3875
	P3		759179	9740087	3870
005	P1	Pomacocho Rio Saucay	759038	9736130	3473
	P2		758788	9736132	3723
	P3		758788	9736382	3397
006	P1	Ozogoche Alto Laguna Cubillín	767734	9749853	3794
	P2		767484	9749853	3932
	P3		767484	9750105	3854
007	P1	Ozogoche Alto Pasto	766979	9750280	3785
	P2		766729	9750278	3771
	P3		766726	9750530	3763
008	P1	O. Alto Laguna Pichahuiña	765171	9749347	4096
	P2		764921	9749347	3984
	P3		764921	9749597	4020
009	P1	O. Bajo Plantación de pino	761931	9754976	3796
	P2		761681	9754976	3880
	P3		761681	9755227	3876
010	P1	O. Bajo Plantación de Pino	762181	9754976	3784
	P2		761681	9755477	3752
011	P1	Achupallas Laguna Mapahuiña	747973	9743065	3947
	P2		747723	9743065	3854
	P3		747723	9743315	3785
012	P1	Jubal	759021	9733001	3649
	P2		758771	9733001	3576
	P3		758771	9733251	3546

Elaborado por: **Diego Damián**

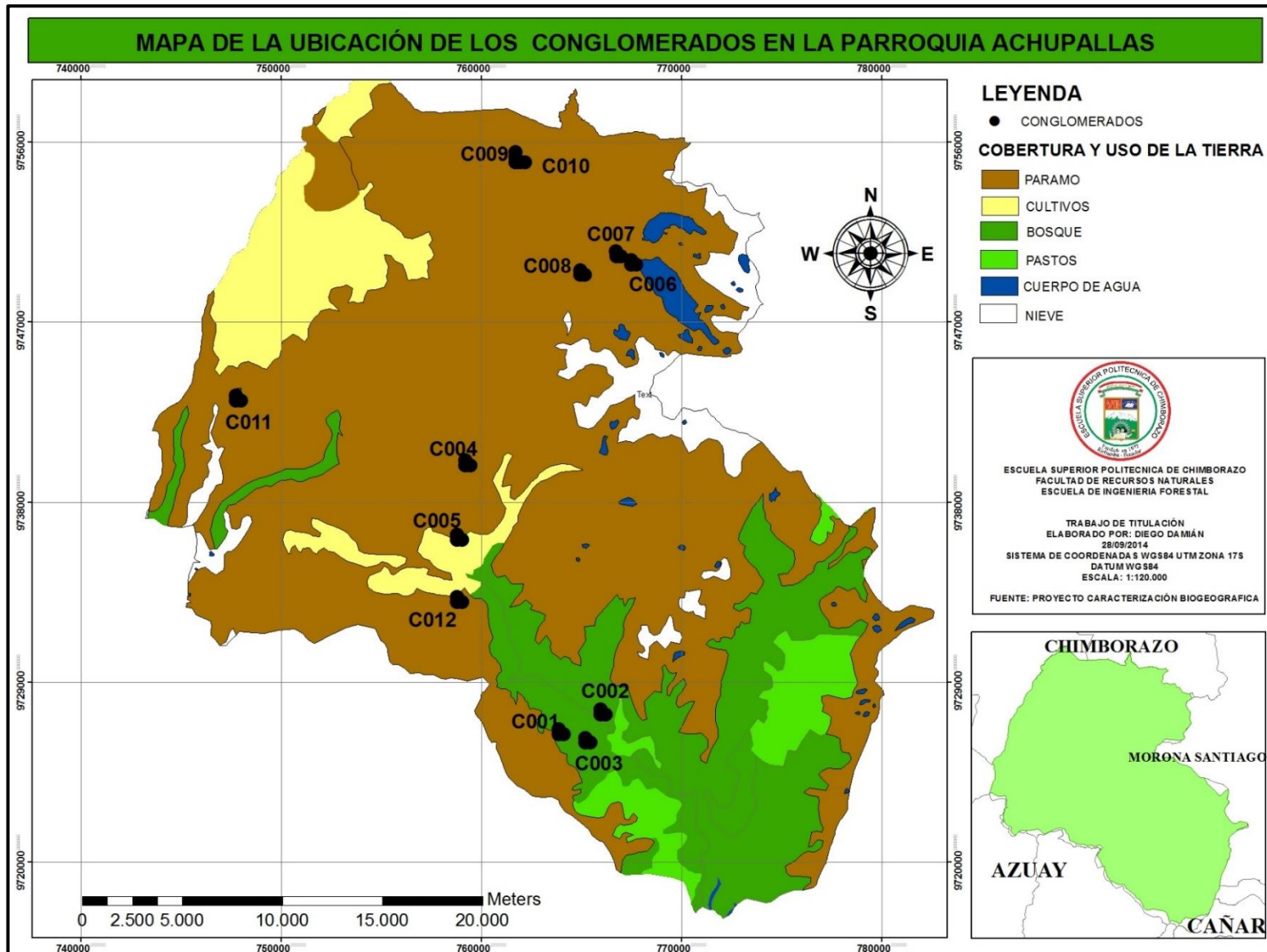


Figura 12. Mapa de ubicación geográfica de los conglomerados en la parroquia Achupallas.
Elaborado por: Diego Damián.

Cuadro 06. Contenido de carbono en el suelo.

ID_PARCELA	SECTOR	X- COORD	Y-COORD	ALTITUD (m.s.n.m.)	Suelo MgC/ha
001P1	BSQHG	764099	9726401	3241	259,69
001P2	BSQHG	763849	9726401	3256	189,76
001P3	BSQHG	763849	9726651	3259	201,37
002P1	BSQHG	766208	9727397	2739	233,46
002P2	BSQHG	765958	9727397	2674	217,08
002P3	BSQHG	765958	9727647	2796	221,77
003P1	HGPST	765436	9725979	2812	152,43
003P2	HGPST	765186	9725979	2710	153,64
003P3	HGPST	765187	9726229	2881	160,25
004P1	PMCH	759429	9739837	3992	224,36
004P2	PMCH	759179	9739837	3875	230,23
004P3	PMCH	759179	9740087	3870	220,65
005P1	PMCHRS	759038	9736130	3473	157,49
005P2	PMCHRS	758788	9736132	3723	209,93
005P3	PMCHRS	758786	9736382	3397	199,77
006P1	OZALGC	767734	9749853	3794	275,9
006P2	OZALGC	767484	9749854	3932	187,24
006P3	OZALGC	767483	9750105	3854	227,63
007P1	OZAPS	766979	9750280	3785	208,42
007P2	OZAPS	766729	9750278	3771	228,05
007P3	OZAPS	766726	9750530	3763	192,85
008P1	OZALGP	765171	9749347	4096	218,61
008P2	OZALGP	764921	9749347	3984	216,23
008P3	OZALGP	764921	9749597	4020	210,17
009P1	OZBPP	761931	9754976	3796	254,54
009P2	OZBPP	761681	9754976	3880	291,59
009P3	OZBPP	761681	9755227	3876	260,37
010P1	OZBPP	762181	9754976	3784	281,19
010P2	OZBPP	761681	9755477	3752	297,59
011P1	ACHLM	747973	9743065	3947	225,52
011P2	ACHLM	747723	9743064	3854	255,73
011P3	ACHLM	747723	9743315	3785	274,37
012P1	JBL	759021	9733001	3649	292,22
012P2	JBL	758771	9733001	3576	231,72
012P3	JBL	758771	9733251	3546	220,6

Elaborado por: **Diego Damián**

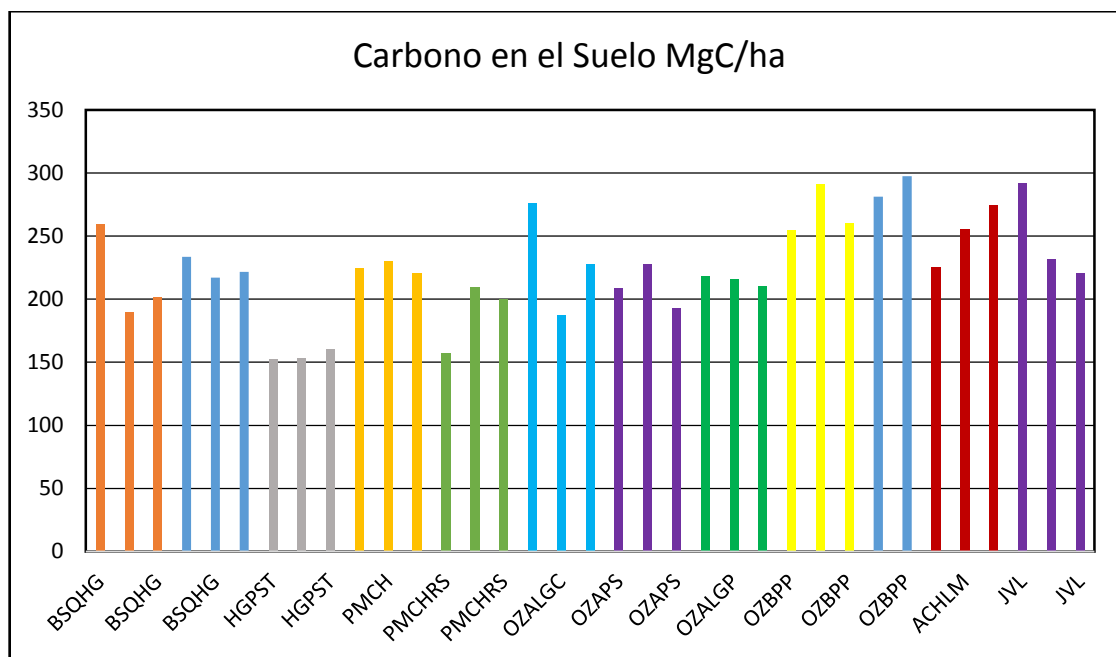


Gráfico 01. Contenido de carbono edáfico.

Elaborado por: Diego Damián

En la gráfica 01 y cuadro 06, nos muestra el contenido de carbono presente en el suelo en unidades de toneladas por hectárea (MgC/ha) de cada uno de los conglomerados donde se recogieron y analizaron las muestras del mismo, nos podemos dar cuenta que en el sector de Ozogoché bajo en la plantación de pino en el conglomerado 009 y 010 se evidenció la mayor captura de carbono presente en el suelo con valores de 291,59 y 297,59 MgC/ha respectivamente y en cambio en el sector de Huangras en pastos en el conglomerado 003 se obtuvieron los valores más bajos que fueron de 152,43 MgC/ha.

Donde nos podemos dar cuenta que existe una gran diferencia entre estos dos tipos de ecosistemas para captar carbono, pues en su composición vegetal son diferentes ya que el conglomerado 009 y 010 está conformado por una masa arbórea y el conglomerado 003 está compuesto de pastos, esto nos da a entender que en el suelo donde se encuentran árboles se almacenan mayor cantidad de carbono con respecto al resto de suelos y sus composición vegetal estudiados en esta investigación.

b. Contenido de pH

Para obtener el pH del suelo se lo realizó en el laboratorio de servicios ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo para la determinación de pH se realizó siguiente protocolo: se agregó agua a muestras de suelo secas al aire a 30 °C y tamizadas por 2 mm en una relación suelo:agua de 1:2,5 (v:v), se mezcló y se dejó equilibrar por 1 hora. Transcurrido este tiempo, la suspensión se agitó nuevamente y se midió el pH con el electrodo del pH metro en posición vertical.

En la gráfica 02 y cuadro 07, nos muestra el contenido de pH presente en el suelo de cada uno de los conglomerados donde se recogieron y analizaron las muestras del mismo, nos podemos dar cuenta que en el sector de Pomacocho rio Saucay y en Ozogoché alto laguna de Pichahuiña en los conglomerados 005 y 008 se evidenció un pH neutro con valores de 7,17 y 6,87 respectivamente y en cambio en el sector de Huangras Bosque en el conglomerado 001 se obtuvo el valor más bajo que fue de 4,86 siendo este un suelo muy ácido según (Smith, F. 2007). Donde nos podemos dar cuenta que el promedio de pH es de 6 siendo la gran mayoría de suelos ácidos, teniendo una desviación estándar de 0,5.

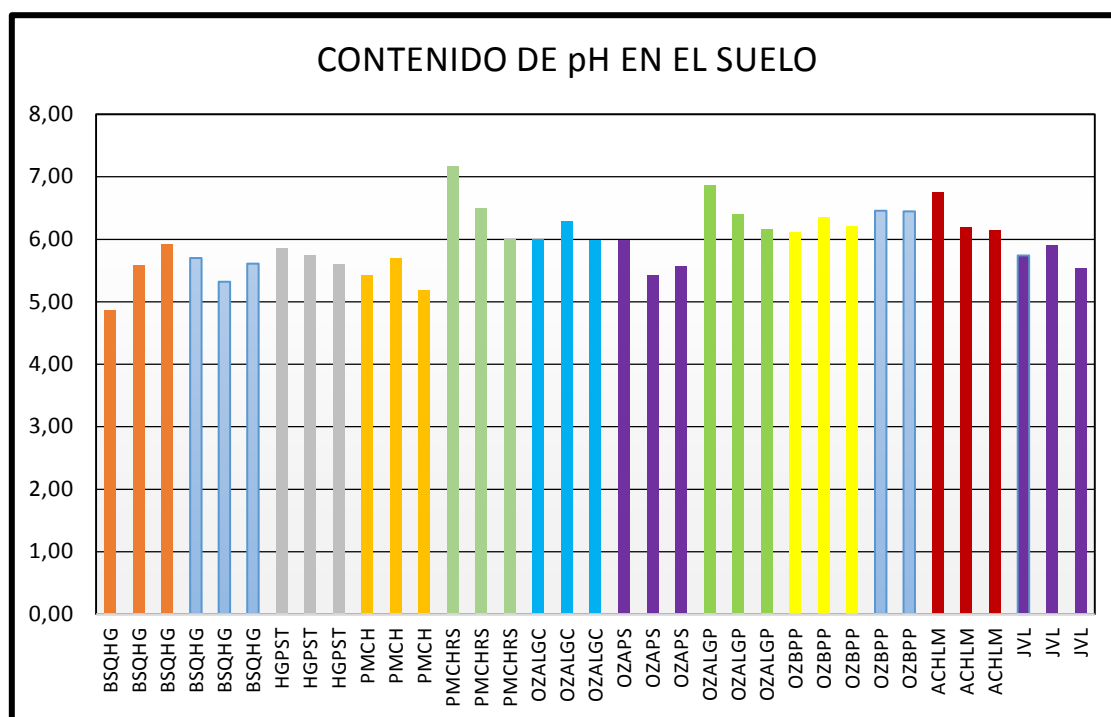


Gráfico 02. Contenido de pH en el suelo
Elaborado por: Diego Damián

Cuadro 07. Contenido de pH en el suelo

ID_PARCELA	SECTOR	X-COORD	Y-COORD	ALTITUD (m.s.n.m.)	pH
001P1	BSQHG	764099	9726401	3241	4,86
001P2	BSQHG	763849	9726401	3256	5,58
001P3	BSQHG	763849	9726651	3259	5,92
002P1	BSQHG	766208	9727397	2739	5,70
002P2	BSQHG	765958	9727397	2674	5,32
002P3	BSQHG	765958	9727647	2796	5,61
003P1	HGPST	765436	9725979	2812	5,85
003P2	HGPST	765186	9725979	2710	5,75
003P3	HGPST	765187	9726229	2881	5,60
004P1	PMCH	759429	9739837	3992	5,42
004P2	PMCH	759179	9739837	3875	5,69
004P3	PMCH	759179	9740087	3870	5,18
005P1	PMCHRS	759038	9736130	3473	7,17
005P2	PMCHRS	758788	9736132	3723	6,50
005P3	PMCHRS	758786	9736382	3397	5,99
006P1	OZALGC	767734	9749853	3794	5,99
006P2	OZALGC	767484	9749854	3932	6,29
006P3	OZALGC	767483	9750105	3854	5,98
007P1	OZAPS	766979	9750280	3785	5,98
007P2	OZAPS	766729	9750278	3771	5,42
007P3	OZAPS	766726	9750530	3763	5,56
008P1	OZALGP	765171	9749347	4096	6,87
008P2	OZALGP	764921	9749347	3984	6,39
008P3	OZALGP	764921	9749597	4020	6,15
009P1	OZBPP	761931	9754976	3796	6,11
009P2	OZBPP	761681	9754976	3880	6,35
009P3	OZBPP	761681	9755227	3876	6,21
010P1	OZBPP	762181	9754976	3784	6,45
010P2	OZBPP	761681	9755477	3752	6,44
011P1	ACHLM	747973	9743065	3947	6,75
011P2	ACHLM	747723	9743064	3854	6,19
011P3	ACHLM	747723	9743315	3785	6,14
012P1	JBL	759021	9733001	3649	5,74
012P2	JBL	758771	9733001	3576	5,91
012P3	JBL	758771	9733251	3546	5,53

Elaborado por: Diego Damián

2. Recopilar información de las Variables de climáticas

Para recolectar información de las variables climáticas se tomaron datos de las estaciones red hidrometeorológica de la provincia de Chimborazo, los datos recolectados para las variables en estudio se obtuvieron del sistema de información para el desarrollo local en el Ecuador (INFOPLAN 2011). INFOPLAN es un sistema de diseño abierto, que puede fácilmente transformarse, crecer e integrar nuevos temas y datos. Su flexibilidad le permite también adecuarse al monitoreo de programas específicos de desarrollo; Infoplán es un sistema geográfico de información diseñado para apoyar la formulación de políticas, programas y proyectos de desarrollo local, compuesto por más de 100 indicadores e índices sociales en las áreas de educación, salud, vivienda, pobreza, empleo, género y población, complementados con indicadores y mapas sobre gestión municipal, medio ambiente, infraestructura y geografía física un donde extrajimos los datos mensuales del año 2011 debido a que INFOPLAN saca sus anuarios meteorológicos cada dos años mediante la interpolación de estos datos obtuvimos los datos para las 35 parcelas.

c. Elaboración de la base de datos para la variable Temperatura y Humedad relativa.

Para la elaboración de la base de datos de las variables temperatura y Humedad relativa, se obtuvo mediante el shape de Isoyetas (Temperatura) e Isohumas (Humedad relativa) que nos facilitó el sistema de información para el desarrollo local en el Ecuador (INFOPLAN 2011) en donde, con el uso de la herramienta Arcgis 10.2 se ingresaron las coordenadas geográficas (X;Y) y altura de cada una de las 35 parcelas donde obtuvimos como resultado los datos para cada parcela cumpliendo así la recolección y creación de base de datos para la Temperatura y Humedad relativa dándonos los siguientes resultados:

Cuadro 08. Variable climática Temperatura.

ID_PARCELA	SECTOR	X-COORD	Y-COORD	ALTITUD (m.s.n.m.)	TEMPERATURA (°C)
001P1	BSQHG	764099	9726401	3241	9
001P2	BSQHG	763849	9726401	3256	9
001P3	BSQHG	763849	9726651	3259	9
002P1	BSQHG	766208	9727397	2739	9
002P2	BSQHG	765958	9727397	2674	9
002P3	BSQHG	765958	9727647	2796	9
003P1	HGPST	765436	9725979	2812	9
003P2	HGPST	765186	9725979	2710	9
003P3	HGPST	765187	9726229	2881	9
004P1	PMCH	759429	9739837	3992	9
004P2	PMCH	759179	9739837	3875	9
004P3	PMCH	759179	9740087	3870	9
005P1	PMCHRS	759038	9736130	3473	9
005P2	PMCHRS	758788	9736132	3723	9
005P3	PMCHRS	758786	9736382	3397	9
006P1	OZALGC	767734	9749853	3794	5
006P2	OZALGC	767484	9749854	3932	5
006P3	OZALGC	767483	9750105	3854	5
007P1	OZAPS	766979	9750280	3785	5
007P2	OZAPS	766729	9750278	3771	5
007P3	OZAPS	766726	9750530	3763	5
008P1	OZALGP	765171	9749347	4096	5
008P2	OZALGP	764921	9749347	3984	5
008P3	OZALGP	764921	9749597	4020	5
009P1	OZBPP	761931	9754976	3796	5
009P2	OZBPP	761681	9754976	3880	5
009P3	OZBPP	761681	9755227	3876	5
010P1	OZBPP	762181	9754976	3784	5
010P2	OZBPP	761681	9755477	3752	5
011P1	ACHLM	747973	9743065	3947	7
011P2	ACHLM	747723	9743064	3854	7
011P3	ACHLM	747723	9743315	3785	7
012P1	JBL	759021	9733001	3649	9
012P2	JBL	758771	9733001	3576	9
012P3	JBL	758771	9733251	3546	9

Elaborado por: Diego Damián

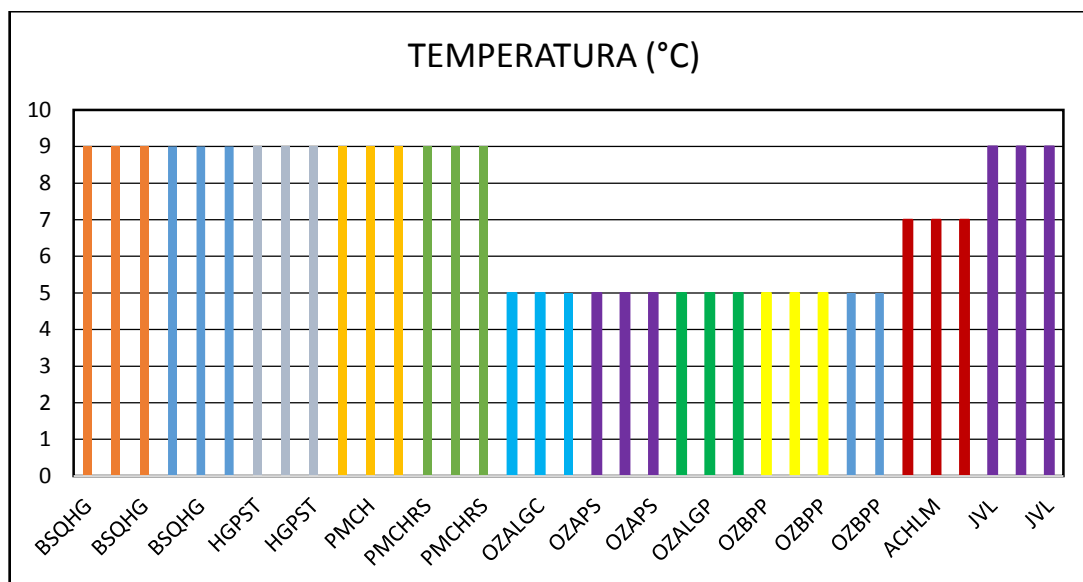


Gráfico 03. Contenido de temperatura
Elaborado por: Diego Damián

En la gráfica 03 y cuadro 08, nos muestra la temperatura anual para los diferentes tipos de usos de suelo de la parroquia Achupallas durante el año 2011 como nos podemos dar cuenta las temperaturas más altas alcanzada en ese año corresponde al sector de bosque de Huangras, Huangras pastos, pomacocho, Pomaccho río saucay y en Jubal en las parcelas (001P1;001P2;001P3;002P1;002P2;002P3;003P1;003P2;003P3;004P1;004P2;004P3;005P1;005P2;005P3; 012P1;012P2;012P3) respectivamente dándonos una temperatura aproximada de 9°C, y las más bajas se encuentran en los sectores de ozogoch alto laguna de los Cubillines, ozogoch alto pastos, ozogoch alto laguna de Pichahuiña y ozogoch bajo plantación de pino en las parcelas (006P1; 006P2; 006P3; 007P1; 007P2; 007P3; 008P1; 008P2; 008P3; 009P1; 009P2; 009P3; 010P1; 010P2), respectivamente.

En el estudio realizado por Berg, A., & Suchi, S. (2001), indica que la gradiente altitudinal, bajan las temperaturas medias anuales de unos 10°C a 3.000 m.s.n.m. de altitud, hasta 7,1°C en La Aguada (3.452 m.s.n.m.), donde nos podemos dar cuenta que la gradiente vertical de la temperatura en los páramos es de 0,6°C por cada 100 m, lo cual nos da una idea en qué tipo de ecosistema nos encontramos.

Cuadro 09. Variable climática Humedad Relativa.

ID_PARCELA	SECTOR	X- COORD	Y-COORD	ALTITUD (m.s.n.m.)	HR (%)
001P1	BSQHG	764099	9726401	3241	83
001P2	BSQHG	763849	9726401	3256	83
001P3	BSQHG	763849	9726651	3259	83
002P1	BSQHG	766208	9727397	2739	83
002P2	BSQHG	765958	9727397	2674	83
002P3	BSQHG	765958	9727647	2796	83
003P1	HGPST	765436	9725979	2812	83
003P2	HGPST	765186	9725979	2710	83
003P3	HGPST	765187	9726229	2881	83
004P1	PMCH	759429	9739837	3992	82
004P2	PMCH	759179	9739837	3875	82
004P3	PMCH	759179	9740087	3870	82
005P1	PMCHRS	759038	9736130	3473	82
005P2	PMCHRS	758788	9736132	3723	82
005P3	PMCHRS	758786	9736382	3397	82
006P1	OZALGC	767734	9749853	3794	82
006P2	OZALGC	767484	9749854	3932	82
006P3	OZALGC	767483	9750105	3854	82
007P1	OZAPS	766979	9750280	3785	82
007P2	OZAPS	766729	9750278	3771	82
007P3	OZAPS	766726	9750530	3763	82
008P1	OZALGP	765171	9749347	4096	82
008P2	OZALGP	764921	9749347	3984	82
008P3	OZALGP	764921	9749597	4020	82
009P1	OZBPP	761931	9754976	3796	82
009P2	OZBPP	761681	9754976	3880	82
009P3	OZBPP	761681	9755227	3876	82
010P1	OZBPP	762181	9754976	3784	82
010P2	OZBPP	761681	9755477	3752	82
011P1	ACHLM	747973	9743065	3947	81
011P2	ACHLM	747723	9743064	3854	81
011P3	ACHLM	747723	9743315	3785	81
012P1	JBL	759021	9733001	3649	82
012P2	JBL	758771	9733001	3576	82
012P3	JBL	758771	9733251	3546	82

Elaborado por: Diego Damián

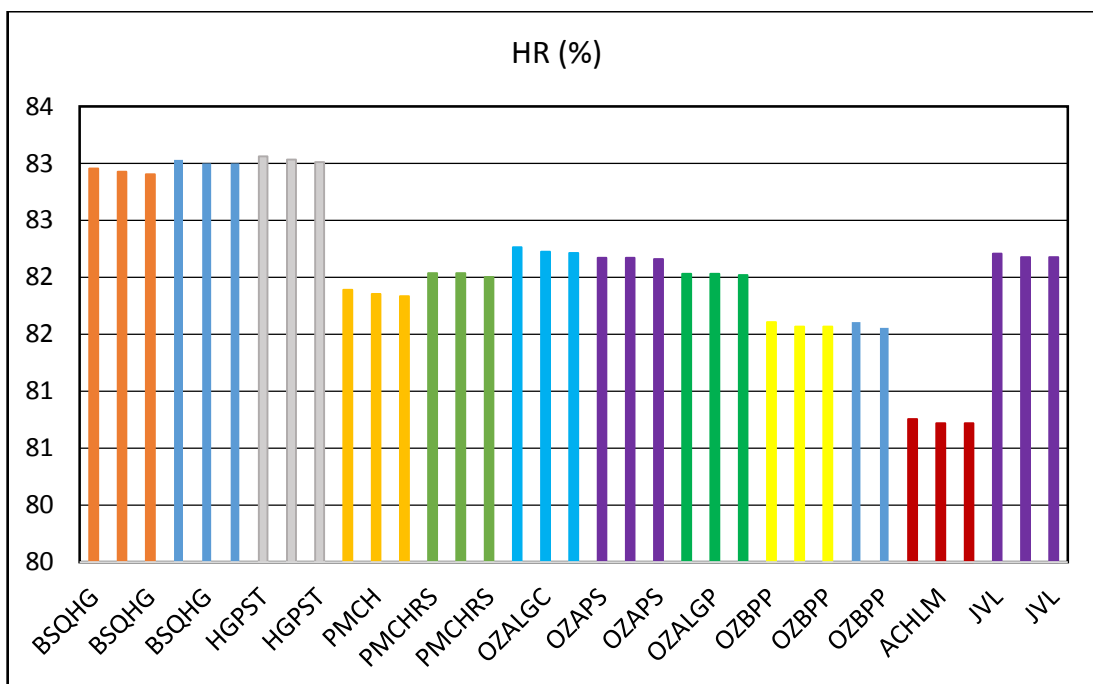


Gráfico 04. Contenido de la humedad relativa
Elaborado por: Diego Damián

En la gráfica 04 y cuadro 09, nos muestra la humedad relativa anual para los diferentes tipos de usos de suelo de la parroquia Achupallas durante el año 2011 como nos podemos dar cuenta la humedad relativa más alta alcanzada en ese año corresponde al sector de bosque de Huangras, Huangras pastos, en las parcelas (002P1;002P2;002P3;003P1;003P2;003P3) respectivamente dándonos una humedad relativa aproximada de 83%, y las más bajas se encuentran en el sector de Achupallas laguna de Mapaguiña en las parcelas de (011P1;011P2;011P3) con un 80.7 %, respectivamente.

Se dice que la humedad relativa de una masa de aire la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene y la que tendría si estuviera completamente saturada; así cuanto más se aproxima el valor de la humedad relativa al 100% más húmedo está donde podemos ver que los sectores de Huangras es más húmedo debido a múltiples factores como su composición florística.

B. CUMPLIMIENTO DEL SEGUNDO OBJETIVO

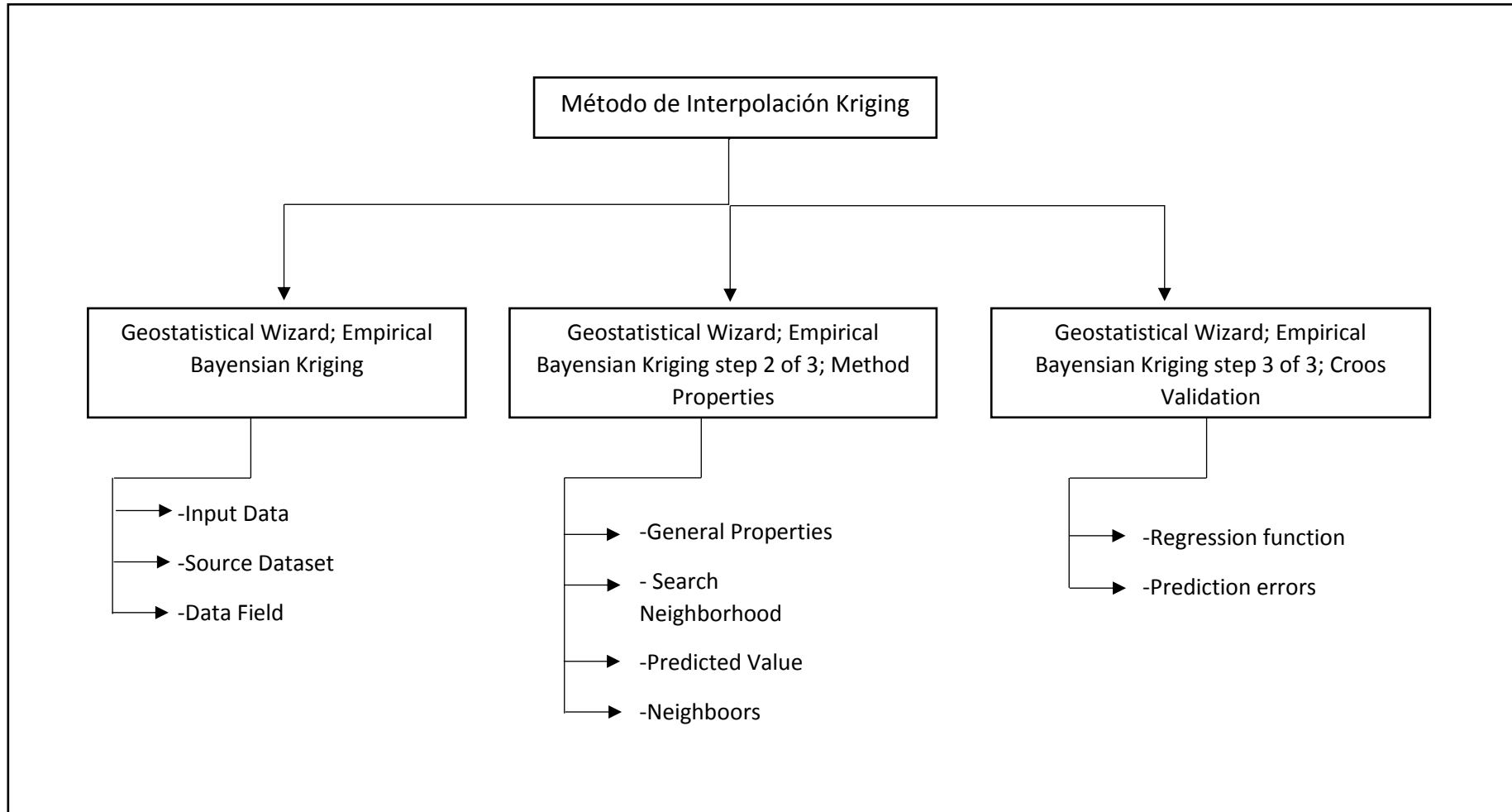
Para el cumplimiento del segundo objetivo se interpoló las variables edafoclimáticas (Carbono, pH, Temperatura y Humedad relativa) utilizando el modelo de interpolación Kriging (Ordinario y Bayesiano) se utilizaron estos métodos ya que este método pretende que el estimador no produzca error o sea equitativo y que la varianza de la estimación sea mínima dependiendo del mejor interpolador además de tener en cuenta la localización de los puntos observados (longitud / latitud), puede ser completado con el uso de covariables de interés, como pueden ser los datos meteorológicos: temperatura, viento, entre otros, además de orografía, edáficos (carbono, pH, nitrógeno, fosforo), etc.

a. Método de Interpolación Kriging.- permite tomar la forma de una variable y conservar la información primaria (mediciones) y tomar en consideración la correlación espacial. (Mejía et al, s.f.), también se dice que es un interpolador que puede ser exacto o alisado dependiendo del modelo de error de medición. Es muy flexible y le permite investigar los gráficos de auto-correlación espacial y de correlación cruzada. Kriging utiliza modelos estadísticos que permiten una variedad de superficies de salida incluyendo predicciones, errores estándar de predicción, probabilidad.

b. Kriging Bayesiano Empírico.- es un método de interpolación Kriging basado en que da cuenta de la incertidumbre en la estimación del semivariograma mediante la simulación de muchos semivariogramas a partir de los datos de entrada. Este modelo no crea subconjuntos de valores. (Ojeda-Ramírez, & González-Herrera)

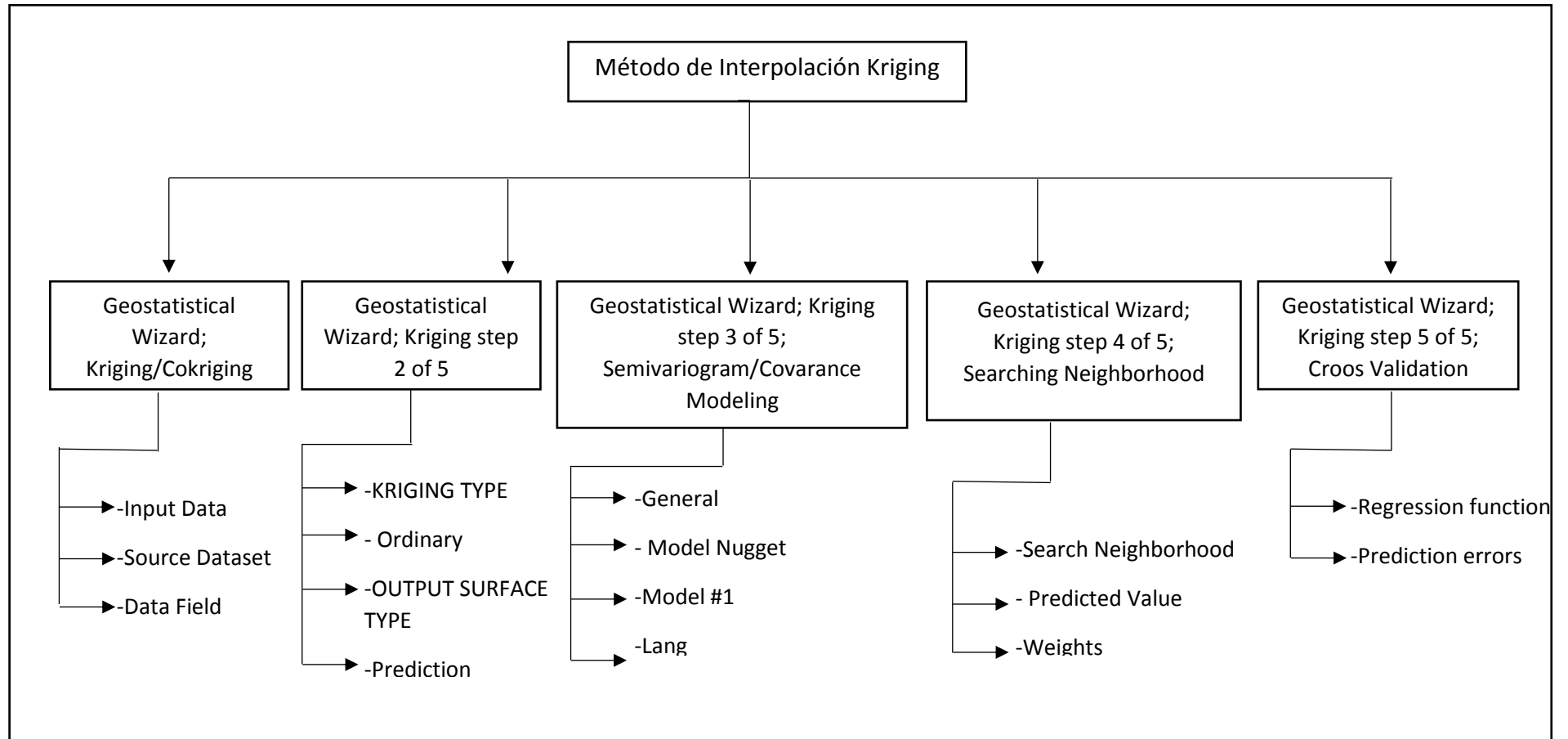
A continuación se muestra un diagrama de flujo donde se describe paso a paso como se utiliza el modelo de interpolación kriging (Ordinario y Bayesiano) y cada una de las herramientas que se necesitan para lograr un buen modelamiento de las diferentes variables; en el Kriging Ordinario se tiene que seguir cinco pasos y sus diferentes opciones para llegar a obtener el resultado final y en el kriging bayesiano se tiene que seguir tres pasos y sus diferentes opciones para llegar a tener el modelo requerido en el estudio.

Gráfico 05. Diagrama de Flujo Método de Interpolación Kriging Bayesiano



Elaborado por: Diego Damián

Gráfico 06. Diagrama de Flujo Método de Interpolación Kriging Ordinario



Elaborado por Diego Damián

c. Modelo de Interpolación Kriging

Teniendo en cuenta que la ciencia y la tecnología van evolucionando, que los sistemas de información geográfica y la ecotecnología están al alcance de todos estas se han utilizado como herramienta el autodiseño de los ecosistemas de manera que exista una simbiosis entre el ser humano y el ambiente natural (Mitsch y Jorgensen, 1989); se puede afirmar que el mejoramiento de los servicios ambientales relacionados con el aumento de la captura de carbono, disminución de las emisiones de gases de invernadero e incremento del aporte de materia orgánica y sus nutrientes al suelo, es una vía ecotecnológica que requiere en primera instancia el conocimiento de los beneficios del aprovechamiento de los mecanismos de regulación de los sistemas. En este caso, se debe tener en cuenta que los procesos naturales disminuyen las concentraciones atmosféricas de gases de invernadero, los cuales a excepción del dióxido de carbono se eliminan en gran parte a través de reacciones químicas o fotoquímicas dentro de la atmósfera, mientras el CO₂ efectúa ciclos continuos entre varios compartimentos conocidos como sumideros (vegetación, suelo y océano) (IPCC, 1997).

Según Montagnini y Fair, (2004), dice que se encuentra entre 1.5 y 3 veces más carbono en los suelos que en la flora, por lo que son considerados los mayores depósitos del carbono terrestre, del cual el 13% está contenido en los suelos. Sin embargo, la acumulación de este elemento en el suelo es sensible a cambios en el uso de la tierra y las prácticas de manejo. Las pérdidas de materia orgánica y carbono del suelo se dan por la conversión de ecosistemas naturales a sistemas agrícolas o actividad antropogénica, debido a la reducción en los aportes de materia orgánica y la protección física del suelo, y a la disminución de materiales no solubles en los residuos de cosecha, de manera que estas conversiones pueden reducir el carbono del suelo más del 50% a una profundidad de 20 cm y entre 25-30% a 100 cm durante un periodo de agricultura de 30 a 50 años (Tan y Lal, 2005).

En el cambio del uso del suelo se generan emisiones cuando la biomasa se extrae de las selvas, se quema o se deja descomponer en el sitio de extracción. Si por el contrario, ocurren sucesiones naturales en terrenos dedicados a cultivos o pastizales, se favorece la captura de CO₂ (Chaparro et al., 2001). Por ende vamos a interpolar los datos obtenidos de carbono edáfico para ver su variación en los diferentes pisos altitudinales y usos de suelo.

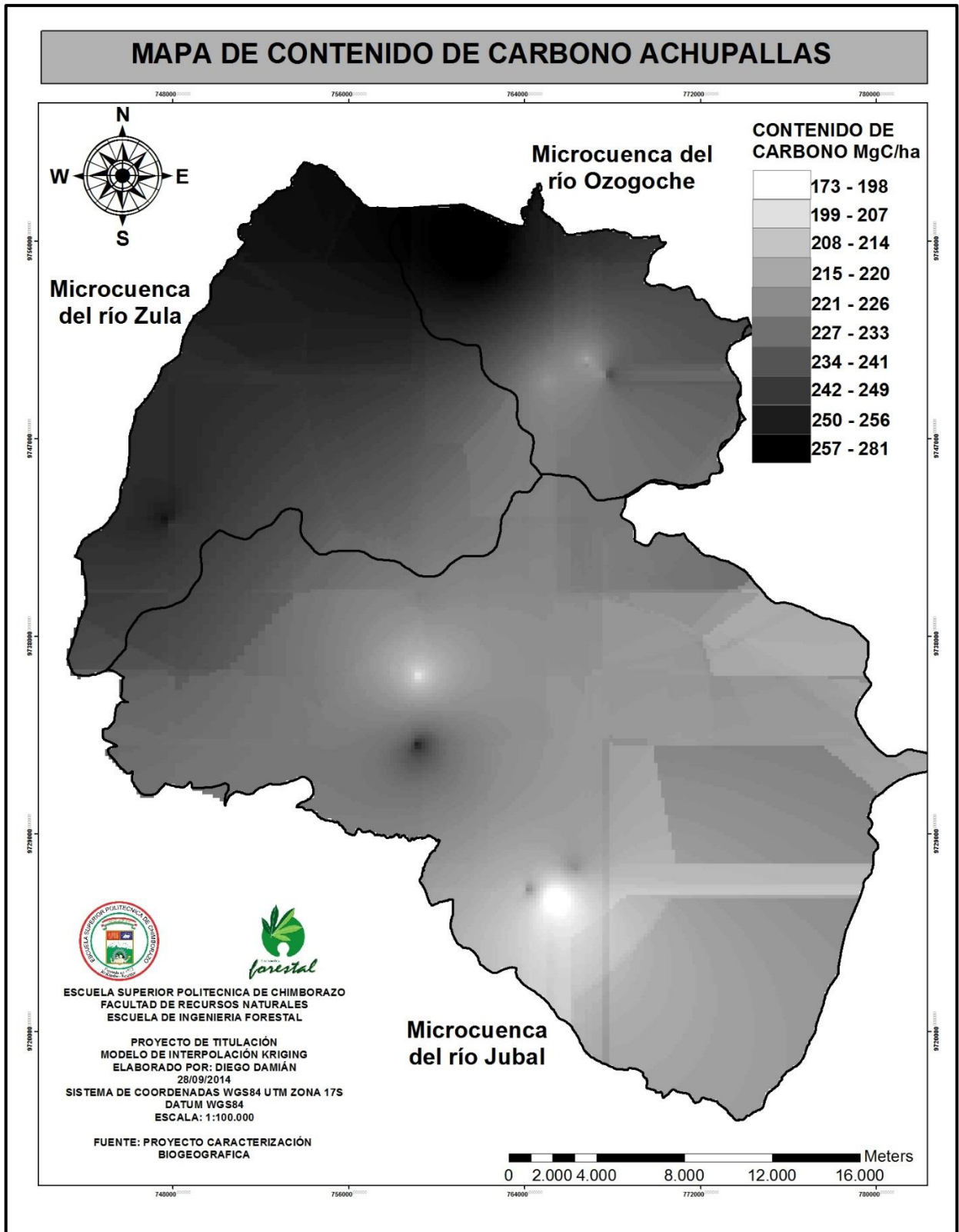


Figura 13. Modelo de interpolación Kriging Carbono
Elaborado por: Diego Damián

d. Modelo interpolado Kriging de carbono edáfico

De acuerdo a lo mencionado anteriormente en la literatura tenemos que el modelo de interpolación indica los diferentes niveles de carbono que contiene el área de estudio, teniendo que los colores más suaves son los que menor contenido de carbono poseen y los colores más fuertes son los que mayor contenido de carbono poseen, encontrando valores desde 173-198 MgC/ha (color blanco) hasta 257-281 MgC/ha (color negro) dándonos una idea de cómo se encuentra distribuido el carbono en sus diferentes usos de suelo y su altitud.

Para evaluar la cantidad de carbono se hizo referencia a las diferentes microcuencas, donde encontramos diferentes usos de suelo a diferente altitud, obteniendo valores estimados debido a que no podemos cuantificar un valor real ya que es un modelo de interpolación. Obteniendo valores para la zona de páramo de 227,63 MgC/ha, cultivos 209,93 MgC/ha, bosque 201,37 MgC/ha, lugares cerca de cuerpos de agua 187,24 MgC/ha; observando que en la parte superior de la zona de estudio existe mayor cantidad de páramos como se muestra en la figura 15 observando que cada una de ellas se encuentra en diferentes pisos altitudinales teniendo que a mayor altura mayor contenido de carbono, encontrando que la microcuenca de río Zula y Ozogoche se encuentra casi en su totalidad cubierta por páramos y humedades con altitudes sobre los 3.000 m.s.n.m. Por lo tanto el suelo típico de páramo es negro y húmedo, precisamente debido a la alta humedad y al clima frío, la descomposición de materia orgánica y sus nutrientes es muy lenta, lo que hace que se acumule una gruesa capa de suelo orgánico conteniendo estas grandes cantidades de Carbono edáfico. El suelo es retenido por una intrincada red de raíces y rizomas que hacen parte de la cubierta vegetal continua de los páramos en buen estado.

En general, los suelos de los páramos se hallan sobre depósitos volcánicos gracias a su estructura granular estable, tienen alta porosidad lo que produce una buena permeabilidad, que a su vez hace que sean resistentes a la erosión y por ende la pérdida de materia orgánica y carbono orgánico.

Mientras tanto en la microcuenca de río Jubal se encuentra en el ecotono de los andes ecuatorianos y la amazonia llegando a tener alturas de 2000 m.s.n.m encontrando una vegetación de bosques nublados, bosques siempre verde de ceja andina y zonas no intervenidas entre otros, los cuales a su vez poseen los menores tiempos de residencia de la

materia orgánica debido a la mayor temperatura y precipitación, lo que hace que los depósitos de carbono respondan con mayor rapidez a cambios ambientales como la sustitución de usos y coberturas vegetales del terreno (López-Ulloa, 2005).

Otro factor que altera en los niveles de carbono es la actividad antropogénica debido a que las microcuencas de los ríos Ozogoché y Jubal se encuentran enmarcadas dentro del Parque Nacional Sangay, siendo esta una área protegida, por ende no han sido alteradas en su totalidad ya que contiene bosques naturales, páramos intactos, sistemas lacustres entre otros componentes que demuestran su gran importancia, por el contrario la microcuenca del río Zula se encuentra en la zona de transición al Parque Nacional Sangay siendo esta la zona con mayor actividad agrícola, ganadera y diferentes actividades antrópicas que alteran el ecosistema y por ende las cantidades de carbono edáfico observando claramente en la figura 14, teniendo en cuenta que la modernización de los sistemas de producción, han acelerado el proceso de sustitución al cambio de usos de suelos yendo de bosques y páramos andinos a monocultivos y potreros, ocasionando los cambios en el clima, la cobertura vegetal, los aportes de biomasa, el deterioro en el ecosistema, agotamiento de nutrientes del suelo, problemas de lixiviación y erosión, impacto sobre la biodiversidad, alteración de los ciclos hidrológicos, del nitrógeno carbono y disminución de la capacidad productiva de los agroecosistemas (Feijoo et al., 2002). Siendo también un factor importante la deforestación ya que esta se ha convertido en uno de los principales promotores de la alteración de los ciclos del carbono, y por ende de las altas concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera contribuyendo al calentamiento global, ya que en zonas donde aún existe vegetación natural que no ha sido alterada, los contenidos de materia orgánica son relativamente constantes y las entradas de

carbono en forma de materia en descomposición o carbono edáfico son similares a las salidas en forma de CO₂.

1. Semivariograma y error

Del análisis del método de interpolación kriging para la variable carbono, nos muestra un comportamiento de semivariograma uniforme para la dispersión de los 35 datos (parcelas) interpolados además de tener una tendencia ascendente, indicando un aumento de la semivarianza con la distancia entre las parcelas ubicadas en la zona de estudio como se muestran en la figura 14.

Teniendo un error de predicción de 0,36 no siendo elevado el mismo para el modelo aplicado.

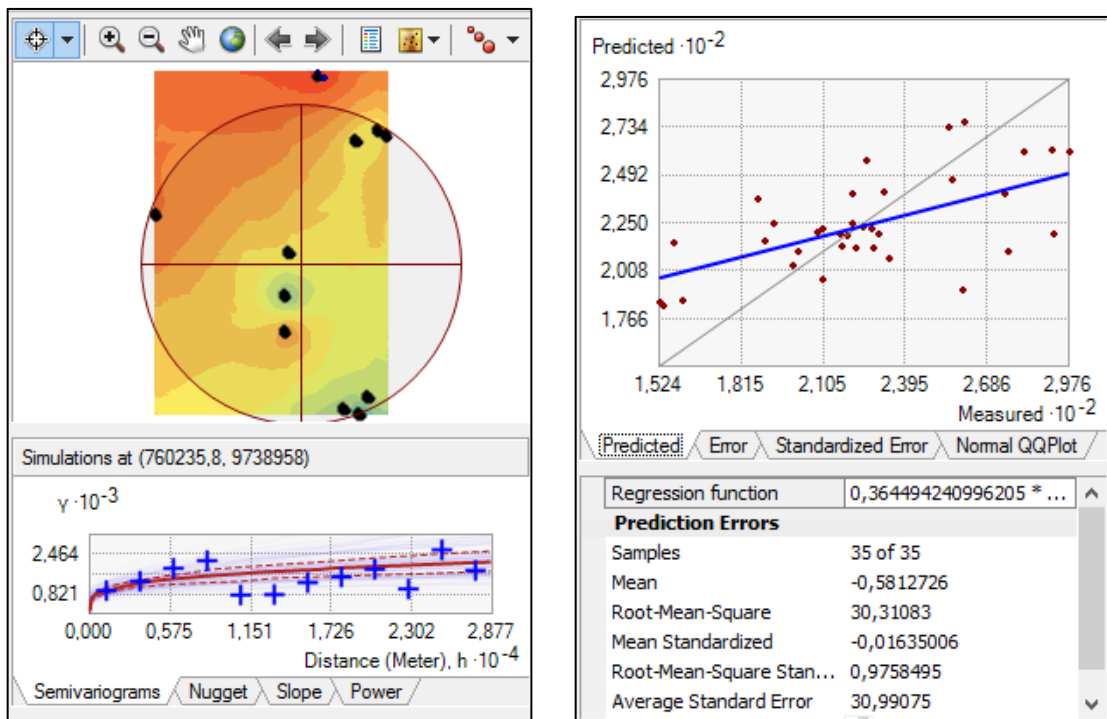


Figura 14. Semivariograma y error del modelo de interpolación kriging

Elaborado por: Diego Damián

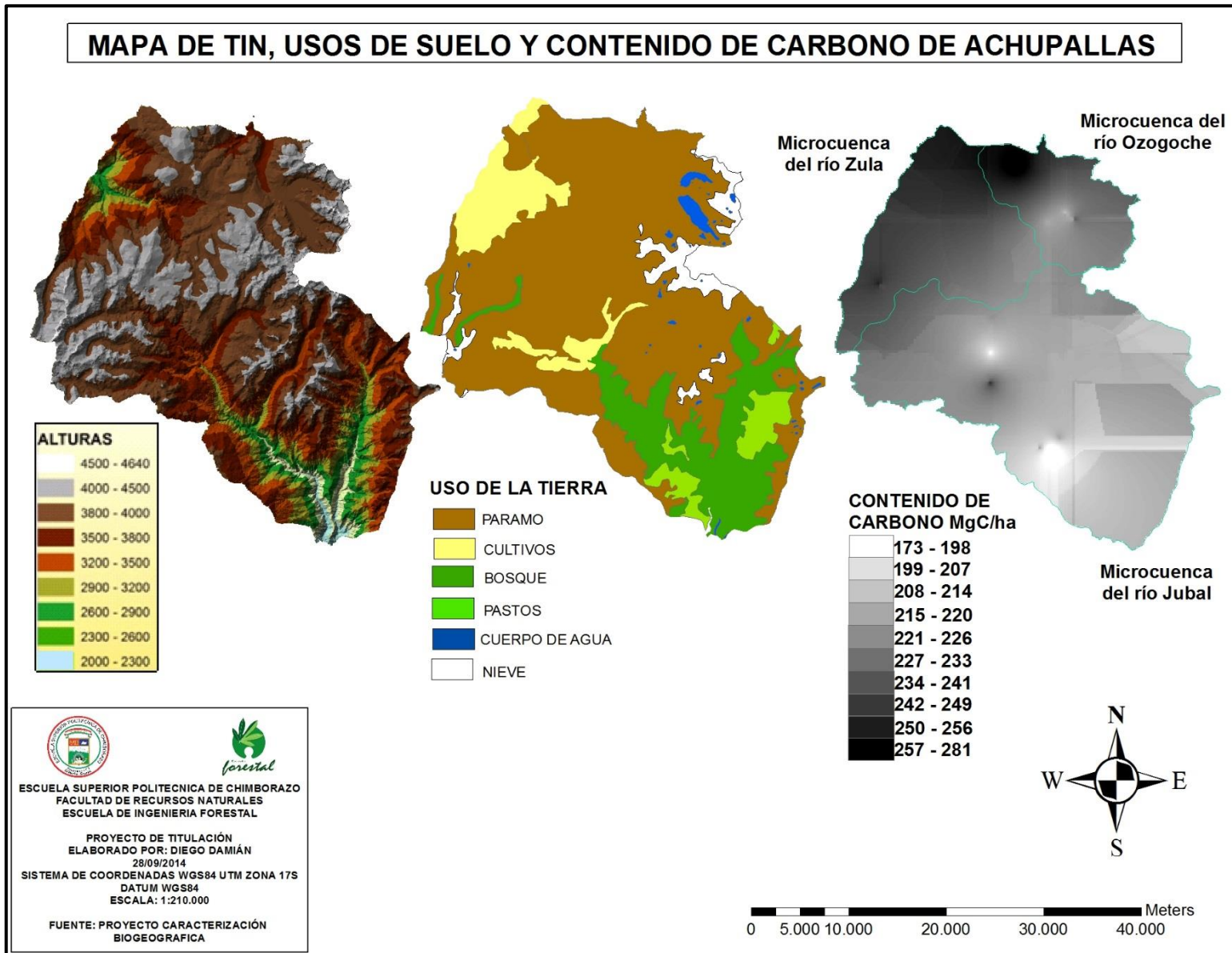


Figura 15. Mapa de TIN; Usos de suelo y modelo Kriging Carbono
Elaborado por: Diego Damián

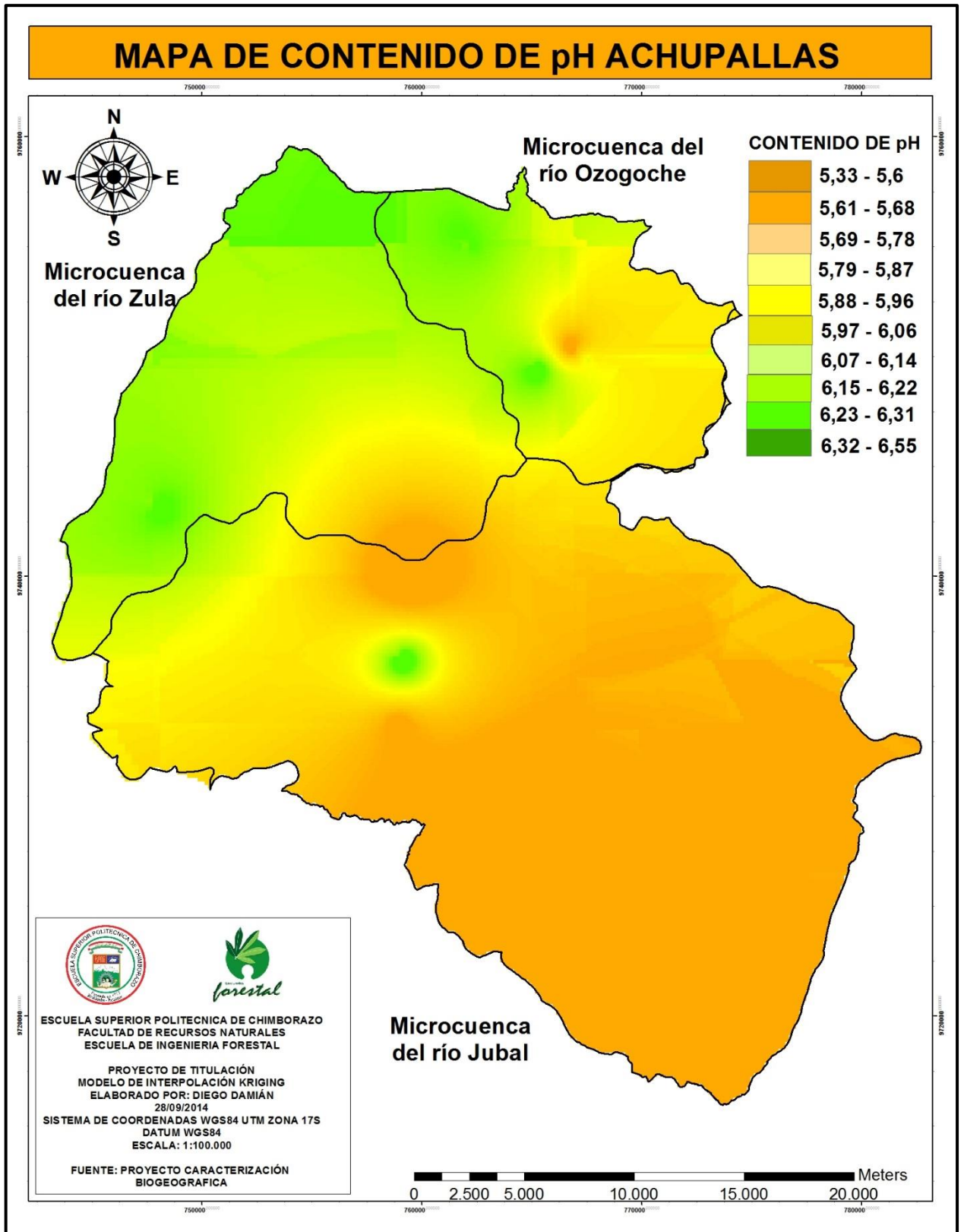


Figura 16. Modelo de interpolación Kriging pH
Elaborado por: Diego Damián

e. Modelo de interpolación Kriging de pH

De acuerdo a lo antes mencionado tenemos que el modelo de interpolación kriging muestra los diferentes niveles de pH que contiene el área de estudio, teniendo que los colores con tonalidad tomate muestran un pH 5 siendo estos las más ácidos de la zona de estudio y los colores con tonalidad verde tienen valores de un pH 6 acercándose a un pH neutro (7) mientras que los colores amarillos y sus diferentes tonalidades tienen valores intermedios yendo desde 5,79 hasta 6,06 de contenido de potencial Hidrogeno, dándonos una idea de cómo se encuentra distribuido el pH en sus diferentes tipos de usos de suelo y su altitud.

Para evaluar la cantidad de pH se hizo referencia a las diferentes microcuencas, donde encontramos diferentes usos de suelo a diferente altitud, obteniendo valores estimados debido a que no podemos cuantificar un valor real ya que es un modelo de interpolación. Obteniendo valores de pH para la zona de páramo de 5,17; cultivos 7,17; bosque 5,92, lugares cerca de cuerpos de agua 6,29; observando que en la parte superior de la zona de estudio existe mayormente páramos como se muestra en la figura 18 observando que cada una de las microcuencas tienen diferentes pisos altitudinales encontrando que a menor altura encontramos suelos más ácidos debido que los suelos de los páramos son francos arenosos y se encuentra sobre depósitos volcánicos gracias a su estructura granular estable, tienen alta porosidad lo que produce una buena permeabilidad, según Morales, J., & Sarmiento, L. (2002). Los suelos de páramos poseen un pH 4,82 siendo ácidos teniendo valores semejantes a los encontrados en nuestro estudio, también se dice que los suelos intervenidos (agrícolas) varían el contenido de pH debido a una prolongada historia de aplicación de fertilizantes nitrogenados siendo estas variaciones en las zonas intervenidas como la microcuenca del río Zula. (ROZAS, 2011).

De acuerdo a Quantin (1995), se pueden distinguir dos tipos páramos en nuestra zona de estudio los andosol alofánico (silandosol) que tienen un pH superior a 5, teniendo suelos que depende de su edad y de su estado de alteración para su fertilidad como pueden ser la microcuenca del río Jubal y los andosol no alofánico (aluandosol) que el pH de estos suelos es muy bajo generalmente estos suelos están presentes en lugares donde el exceso de frío y de humedad limita el potencial de los cultivos como pueden ser las microcuencas del Zula y Ozogoche. En general los suelos de la parroquia achupallas son suelo ácidos encontrando

pH menores a 7 siendo esta interpolación correcta ya que los suelos estudiados son de origen volcánico y de acuerdo a varios autores antes mencionados los suelos se desarrollan a partir de cenizas y otros materiales volcánicos ricos en elementos vítreos. Teniendo altos valores en contenido de materia orgánica, además tienen una gran capacidad de retención de agua y mucha capacidad de intercambio catiónico haciéndolos ácidos (MENA, P. 2000).

1. Semivariograma y error para variable pH.

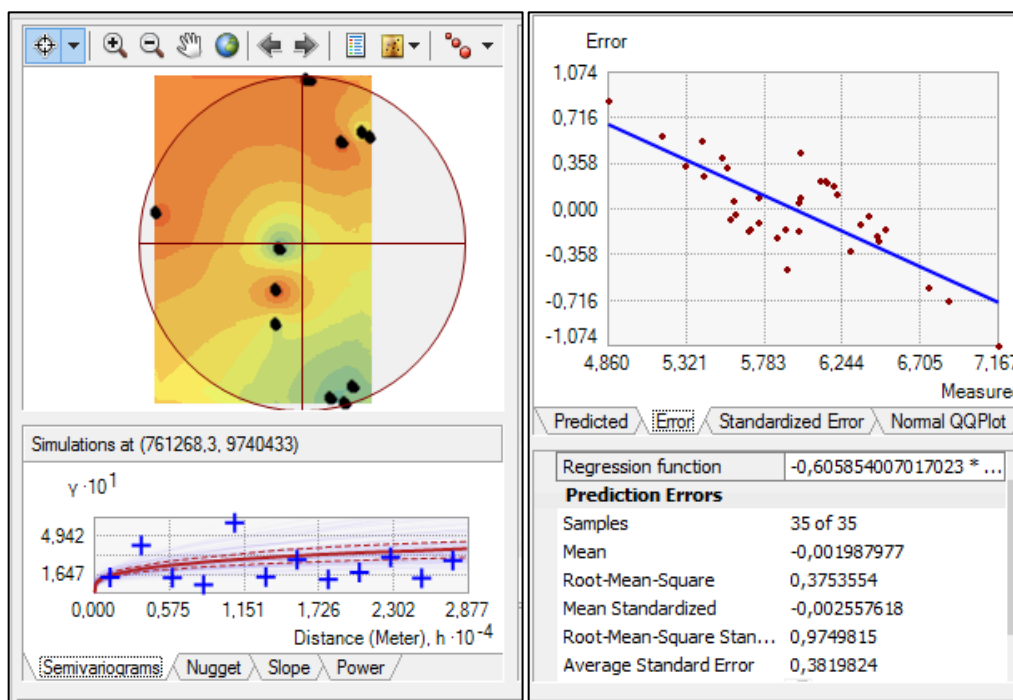


Figura 17. Semivariograma y error del modelo de interpolación kriging
Elaborado por: Diego Damián

Del análisis del método de interpolación kriging para la variable pH, nos muestra un comportamiento de semivariograma muy disperso ya que algunos datos no se encuentran dentro de la curva de semivariograma teniendo en cuenta esto se interpolan los 35 datos (parcelas) además observamos una tendencia ascendente, indicando un aumento de la semivarianza con la distancia entre las parcelas ubicadas en la zona de estudio.

Teniendo en cuenta que algunos datos no estuvieron dentro de la curva de semivariograma observamos un error de predicción de -0,60 siendo un error no elevado para el modelo aplicado y pudiendo trabajar con este error.

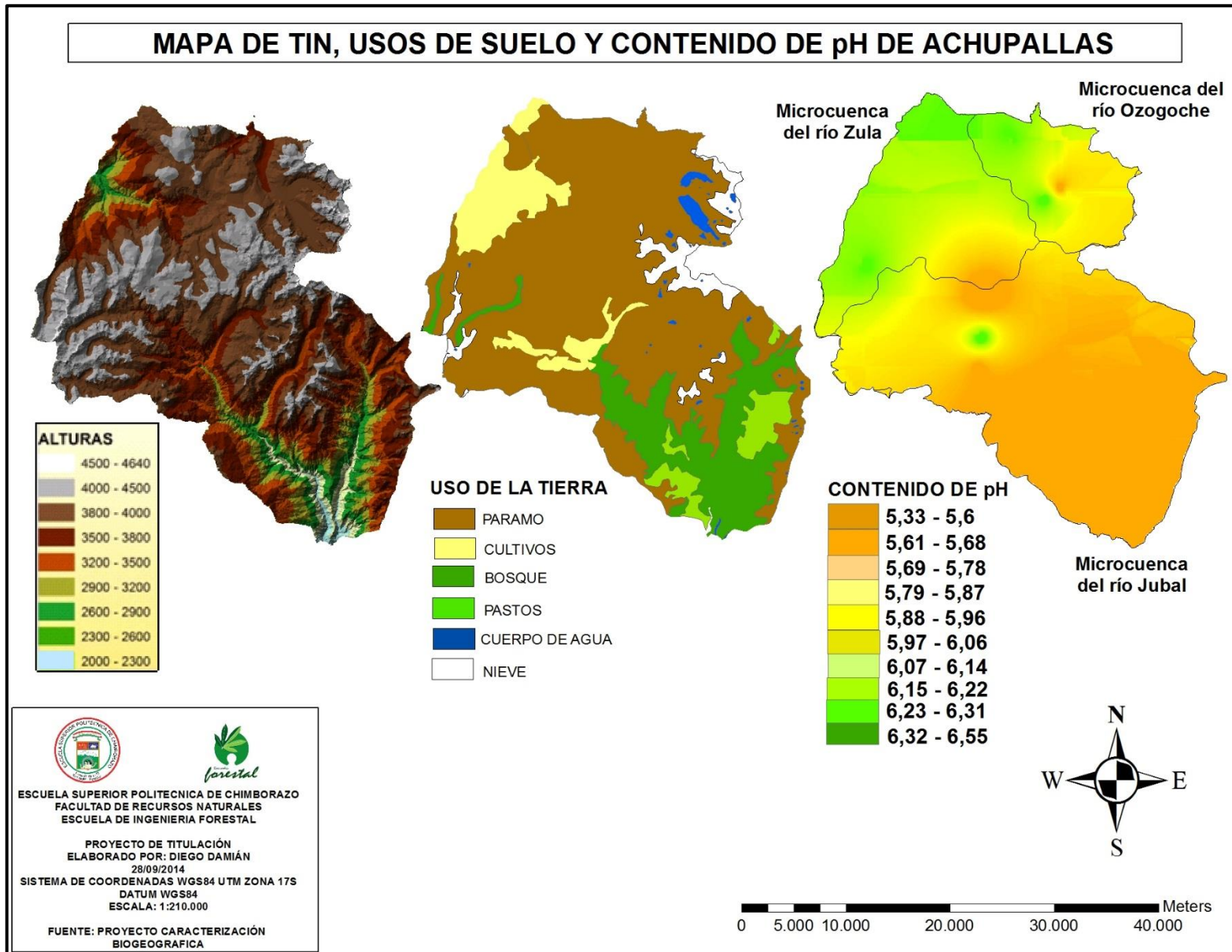


Figura 18. Mapa TIN; Usos de suelo y Modelo Kriging de pH
 Elaborado por: Diego Damián

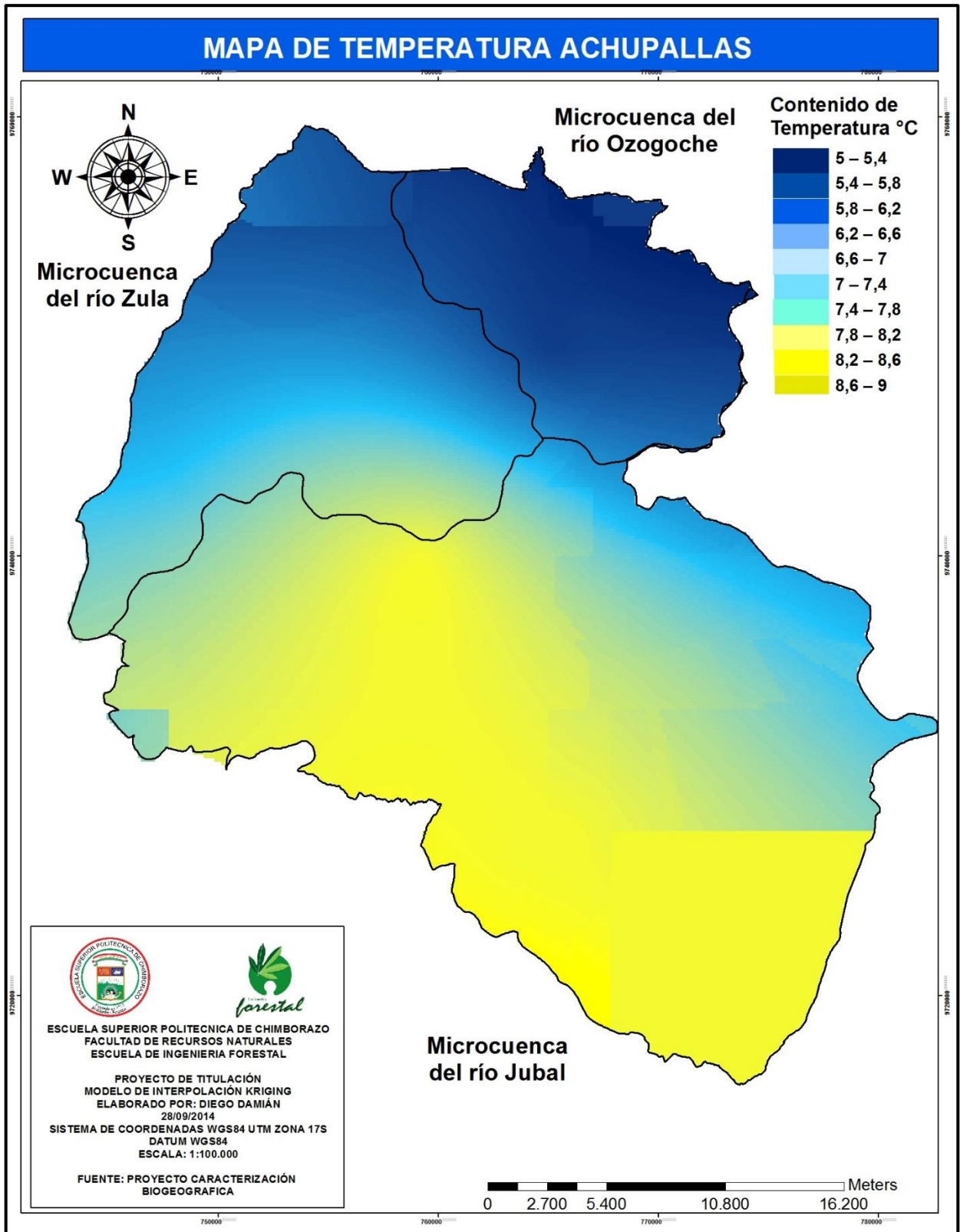


Figura 19. Modelo de interpolación Kriging Temperatura
Elaborado por: Diego Damián

f. Modelo de interpolación Kriging de Temperatura.

De acuerdo a los antes mencionado tenemos que el modelo de interpolación kriging muestra los diferentes niveles de temperatura que contiene el área de estudio, teniendo que los colores azules muestran una temperatura de 5°C siendo estas las zonas con temperaturas más bajas y los colores con tonalidad amarilla tienen valores de un 9°C siendo las más altas temperaturas, mientras que los colores azules claros y sus diferentes tonalidades tienen valores intermedios yendo desde los 6°C hasta 7,8°C de temperatura, dándonos una idea de cómo se encuentra distribuida la temperatura en sus diferentes microcuencas, tipos de usos de suelo y su altitud.

Para evaluar la cantidad de temperatura se hizo referencia a las diferentes microcuencas y su altitud, donde encontramos diferentes ecosistemas y usos de suelo, obteniendo valores estimados debido a que no podemos cuantificar un valor real ya que es un modelo de interpolación. Obteniendo valores de temperatura para la zona de páramo de 5°C; cultivos 9°C; bosque 9°C, lugares cerca de cuerpos de agua 5°C; figura 21 observando que cada una de las microcuencas tienen diferentes pisos altitudinales teniendo que a mayor altura encontramos menor temperatura siendo estos la mayoría páramos y cuerpos de agua como el sistema lacustre Ozogoche.

Teniendo un ecosistema de transición yendo desde los andes ecuatorianos que conforman las dos microcuencas de los ríos Zula y Ozogoche hasta la zona de la amazonia lo que comprende la microcuenca del río Jubal yendo aproximadamente desde los 4000 m.s.n.m. hasta los 2000 m.s.n.m. viendo la gran variación de temperatura y por lo tanto la de sus ecosistemas que lo conforman como son los páramos, páramos de almohadilla, bosque nublados, bosques montañosos, bosques vírgenes entre otros, viendo claramente cómo va cambiando su temperatura a medida que varía su altitud, observando el cambio de topografía yendo de zonas muy escarpadas hasta zonas con pendientes suaves influyendo esto en los cambios de temperatura y condiciones climáticas viendo claramente en la gráfica 20.

1. Semivariograma y error para la variable temperatura

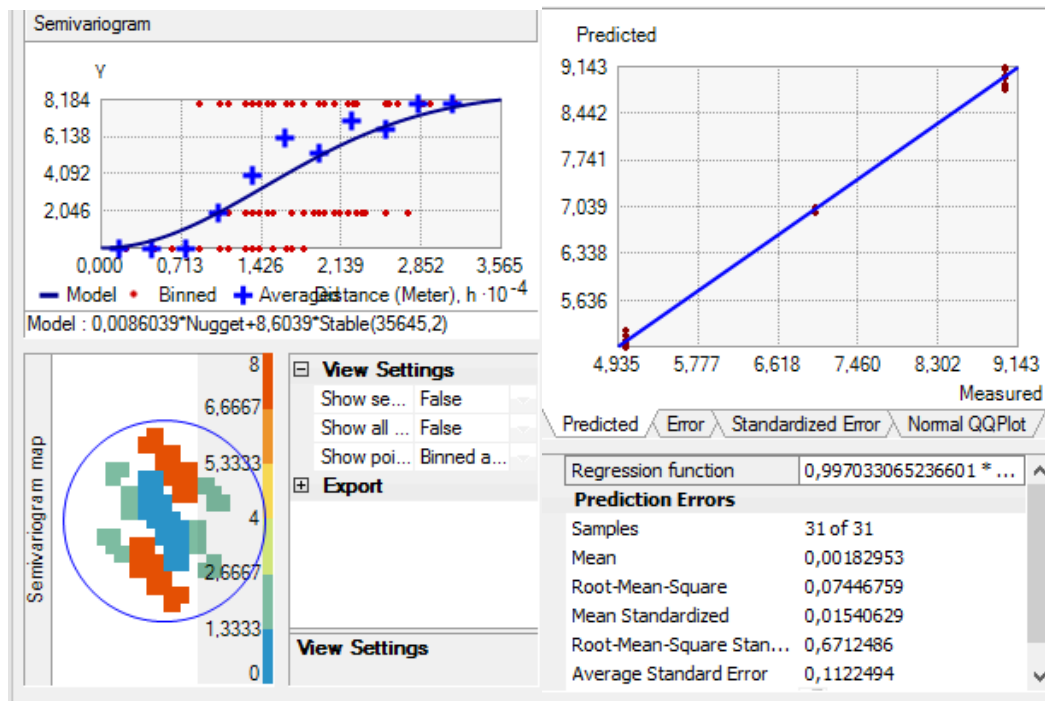


Figura 20. Semivariograma y error del modelo de interpolación kriging
Elaborado por: Diego Damián

Del análisis del método de interpolación kriging para la variable temperatura, nos muestra un comportamiento de semivariograma creciente y uniforme ya que la mayoría se encuentra en la línea que conforma la curva interpolada con los 35 datos (parcelas) además observamos una tendencia ascendente, indicando un aumento de la semivarianza con la distancia entre las parcelas ubicadas en la zona de estudio.

Teniendo en cuenta que la mayoría de datos están dentro de la curva de semivariograma observamos un error de predicción de 0.99 siendo un error elevado para el modelo aplicado pero pudiendo editar la imagen y trabajar con ese error.

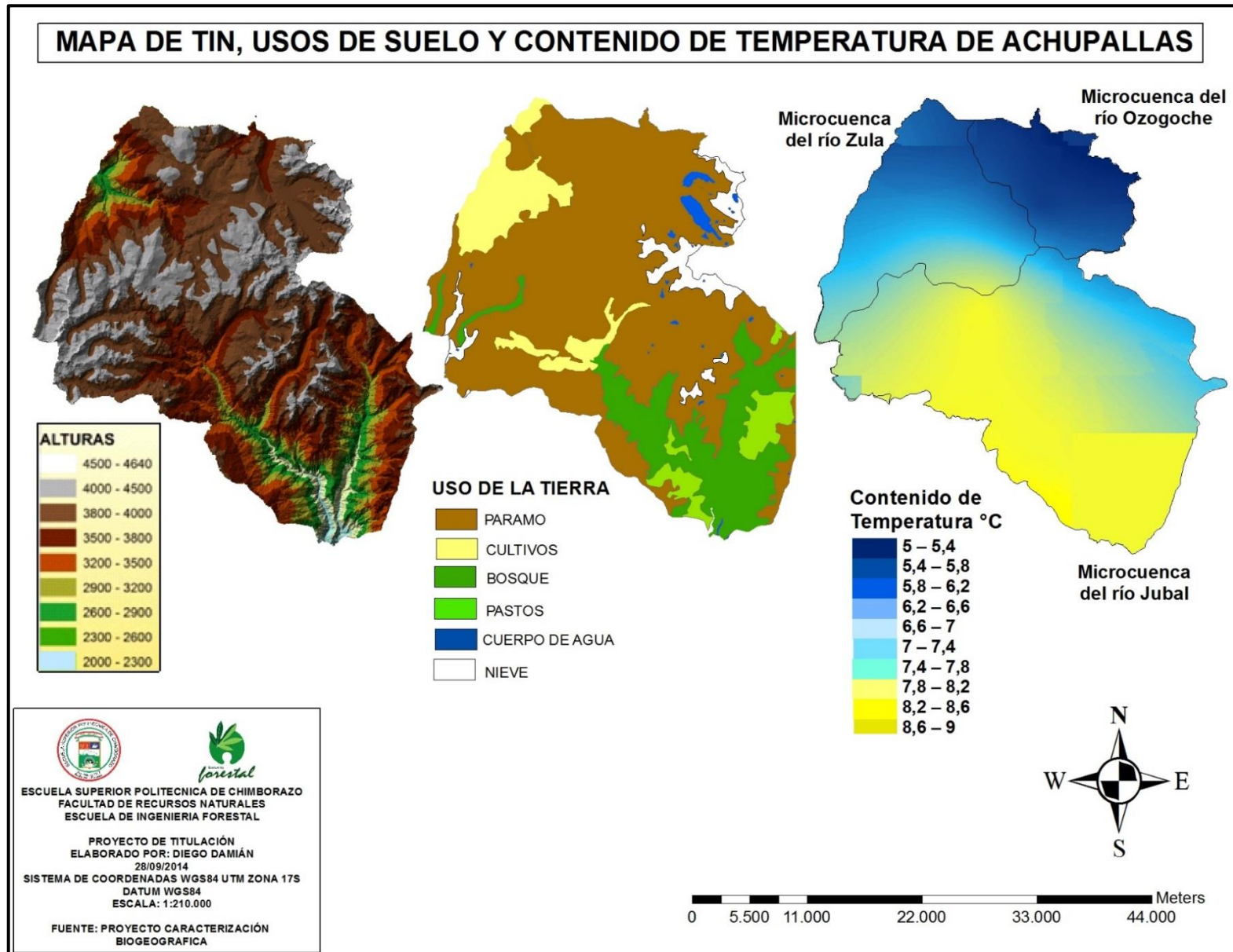


Figura 21. Mapa de TIN; Usos de suelo y Modelo Kriging de Temperatura
Elaborado por: Diego Damián

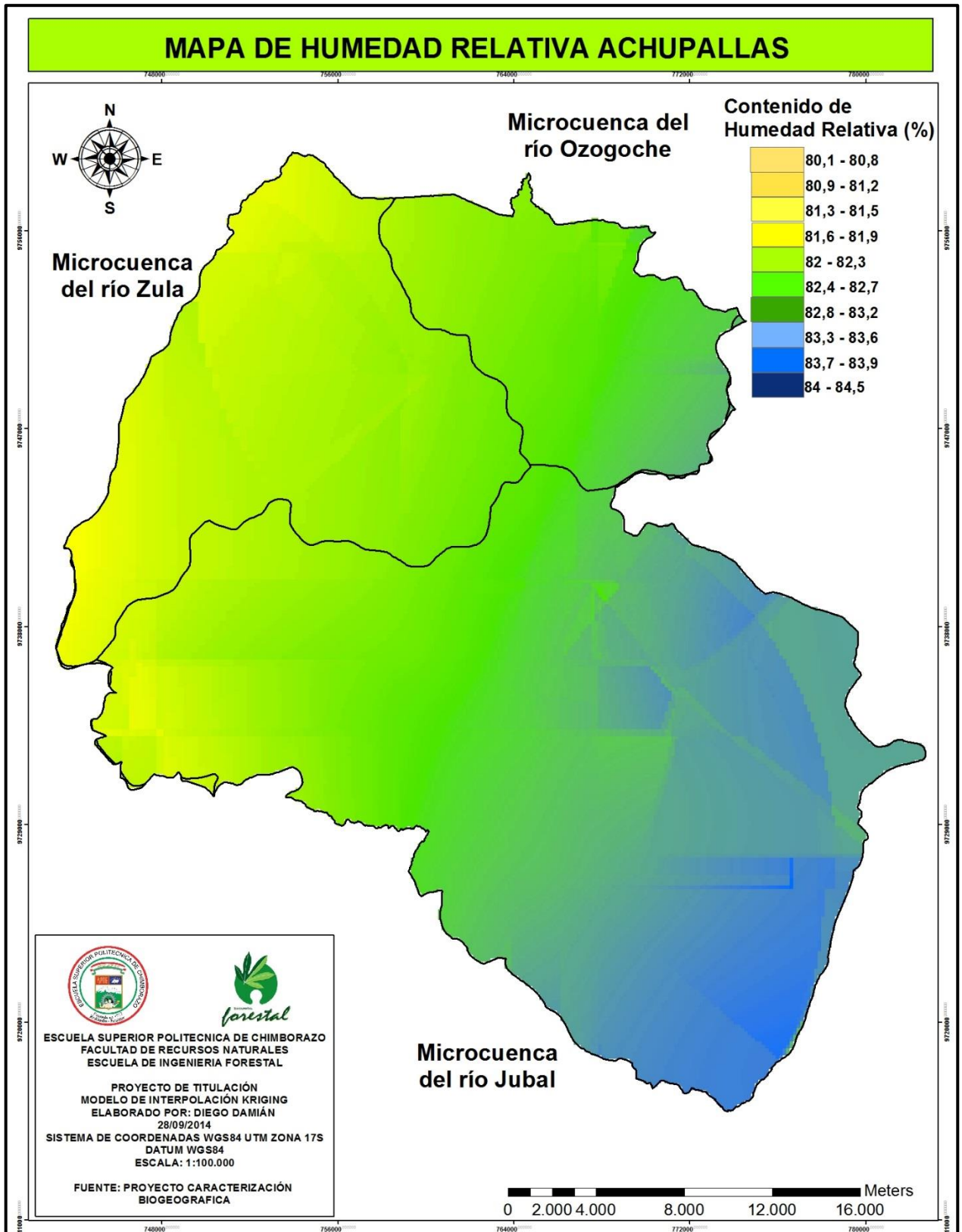


Figura 22. Modelo de interpolación Kriging Humedad Relativa
Elaborado por: Diego Damián

g. Modelo de interpolación Kriging de Humedad relativa.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente tenemos que el modelo de interpolación kriging muestra los diferentes niveles de humedad relativa que contiene el área de estudio, teniendo que los colores amarillos muestran una humedad relativa de 80% siendo estas las zonas con menor humedad relativa y los colores con tonalidad azul tienen valores de un 84% siendo los más altos porcentajes de humedad relativa, mientras que los colores verdes y sus diferentes tonalidades tienen valores intermedios yendo desde el 82% hasta 83,2% de humedad relativa, dándonos una idea de cómo se encuentra distribuida la humedad relativa en sus diferentes microcuencas, tipos de usos de suelo y su altitud ver gráfico 24.

Para evaluar el porcentaje de humedad relativa se hizo referencia a las diferentes microcuencas y su altitud, donde encontramos diferentes ecosistemas y usos de suelo, obteniendo valores estimados debido a que no podemos cuantificar un valor real ya que es un modelo de interpolación. Obteniendo valores de humedad relativa para la zona de páramo del 82%; cultivos 82%; bosque 83%, lugares cerca de cuerpos de agua 81%; observando en la figura 29 que cada una de las microcuencas tienen diferentes pisos altitudinales teniendo que a mayor altura menor humedad relativa encontrando en estas zonas la mayoría páramos y cuerpos de agua como el sistema lacustre Ozogoché que se encuentra abastecido por las precipitaciones y el alto grado de humedad relativa.

La zona de estudio tiene un ecosistema de transición yendo desde los andes ecuatorianos que conforman las dos microcuencas de los ríos Zula y Ozogoché hasta la zona de la amazonia lo que comprende la microcuenca del río Jubal teniendo en cuenta que en estas zonas el clima es impredecible ya que no hay una marcada estación seca y lluviosa, yendo aproximadamente desde los 4000 m.s.n.m. hasta los 2000 m.s.n.m. viendo la gran variación de humedad relativa debido a que en las vertientes de la cordilleras de sotavento (lado expuesto al viento), las precipitaciones son menores que las de barlovento (lado expuesto al viento). En barlovento, las corrientes de aire se elevan al chocar con la montaña, se enfría y se condensa lo que da como resultado abundantes nubosidad, precipitaciones y humedad relativa, encontrando este efecto en el área de estudio ya que las corrientes de los andes ecuatorianos se encuentran con las húmedas de la amazonia y convergen en un ecosistema con alta diversidad ecológica y humedad relativa, identificando en la parte sur de la área

estudiada un ecotono entre los andes ecuatorianos y la amazonia, presentando varios ecosistemas montanos y alto andinos continuos, interrumpidos únicamente por algunos pastos y muy pocos cultivos, esta microcuencas son las que más aisladas florísticamente están en relación a las actividades antropogénicas. (Holdridge, 1999).

Semivariograma y error para la variable Humedad relativa

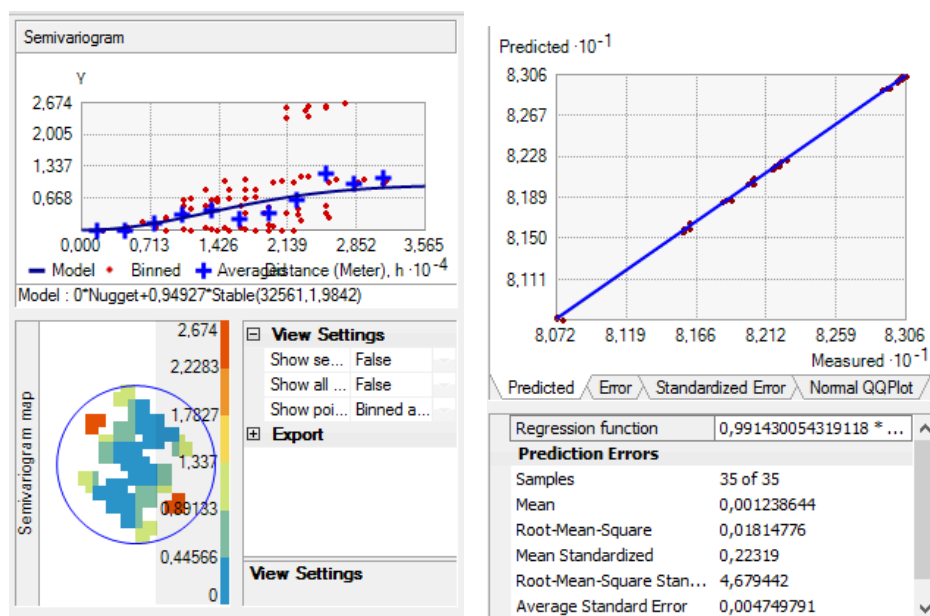


Figura 23. Semivariograma y error del modelo de interpolación kriging
Elaborado por: Diego Damián

Del análisis del método de interpolación kriging para la variable humedad relativa, nos muestra un comportamiento de semivariograma creciente y uniforme ya que la mayoría se encuentra en la línea que conforma la curva interpolada con los 35 datos (parcelas) además observamos una tendencia ascendente, indicando un aumento de la semivarianza con respecto a la distancia entre las parcelas ubicadas en la zona de estudio.

Teniendo en cuenta que la mayoría de datos están dentro de la curva de semivariograma observamos un error de predicción de 0.99 siendo un error elevado para el modelo aplicado pero pudiendo trabajar la imagen resultante.

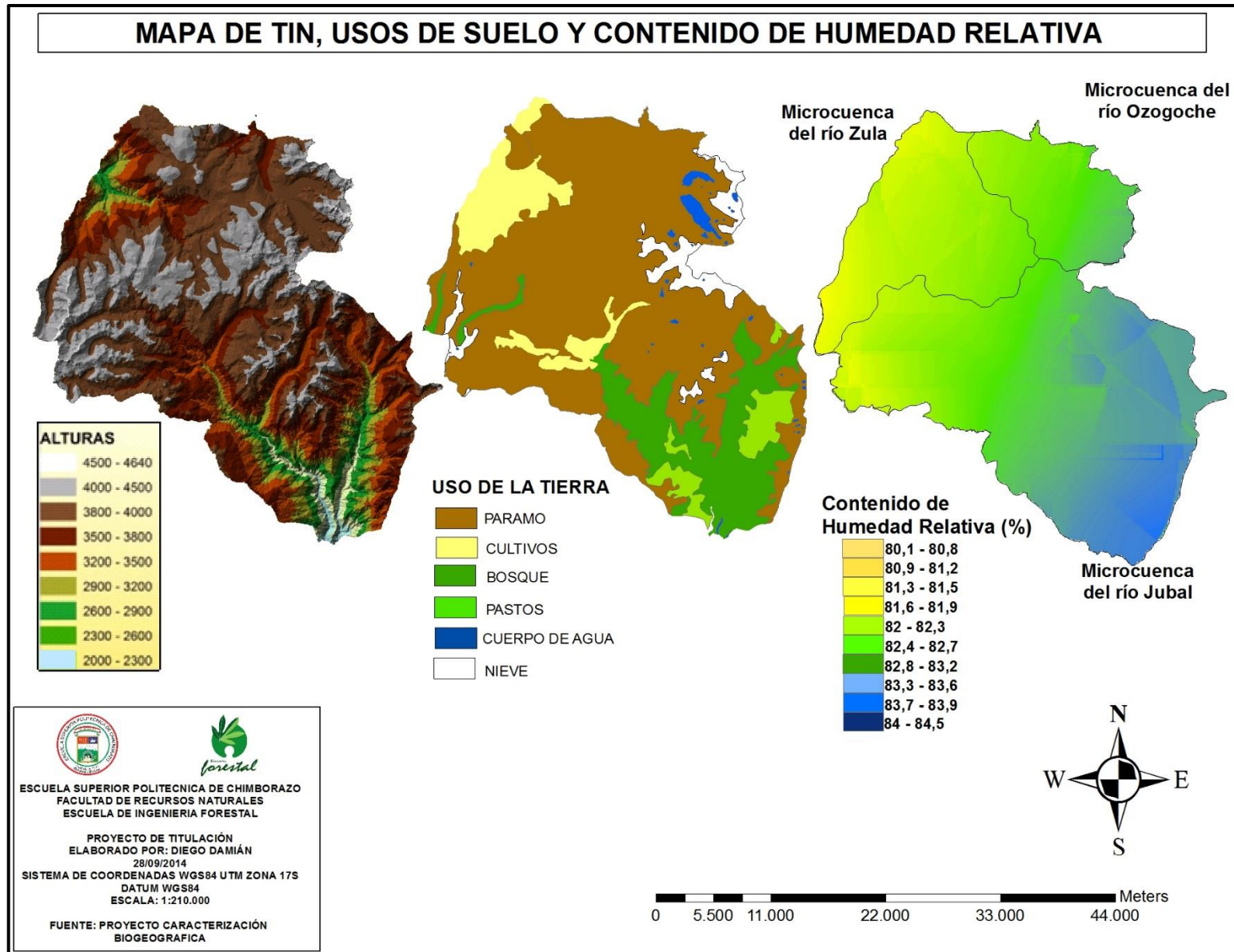


Figura 24. Mapa TIN; Usos de suelo y Modelo Kriging de Humedad Relativa
 Elaborado por: Diego Damián

C.- CUMPLIMIENTO DEL TERCER OBJETIVO

a. Validación de la información utilizando el método de validación cruzada.

Consiste en eliminar el i-décimo valor medido en este caso sería (3.5) 4 parcelas de las 35 que tenemos y estimarlo a partir del resto de datos (31 parcelas) como se muestra en el cuadro 10, estos datos fueron escogidos por que se encuentran distribuidos en toda la superficie de la parroquia achupallas y en los diferentes tipos de usos de suelo, alturas y microcuencas.

Cuadro 10. Ubicación de las parcelas para la Validación cruzada.

ID_PARCELA	PARCELA	X- COORD	Y-COORD	ALTITUD (m.s.n.m.)	TEMPERAT URA °C	HR %	Suelo MgC/ha	pH
001P1	BSQHG	764099	9726401	3241	9	83	259,69	4,86
002P2	BSQHG	765958	9727397	2674	9	83	217,08	5,32
008P2	OZALGP	764921	9749347	3984	5	82	216,23	6,39
011P3	ACHLM	747723	9743315	3785	7	81	274,37	6,14

Elaborado por: Diego Damián

En el cuadro 10 indica las parcelas escogidas para realizar la validación cruzada entre las cuales tenemos que la parcela 001P1 se encuentra ubicada en el sector de bosque de Huangras a una altitud de 3241 m.s.n.m. encontrándose está en la microcuenca del río Jubal en el ecotono de la amazonia y la sierra ecuatoriana habiendo mayor abundancia de especies de flora y fauna; la parcela 002P2 se encuentra ubicada en el sector de bosque de huangras a una altitud de 2674 m.s.n.m. siendo esta escogida por ser este un ecosistema similar al anterior; la parcela 008P2 se encuentra ubicada el sector de ozogoche alto en la laguna de Pichahuiña a 3784 m.s.n.m. teniendo una vegetación de páramo encontrando en su mayoría especies de poaceae; y la parcela 011P3 ubicada en la micro cuenca del río zula el sector de achupallas en la laguna de mapahuiña a una altura de 3785 m.s.n.m., en este lugar las condiciones son diferentes ya que cuenta con diferentes factores físicos que hacen de este ecosistema único por las características de concentración de agua en su sistema lacustre.

Estas cuatro parcelas fueron escogidas debido a que se encuentran en las diferentes microcuencas encontrándose la parcela 001P1 y 002P2 en la microcuenca del rio Jubal; la parcela 008P2 se encuentra en la microcuenca del rio Ozogoche; y la parcela 011P3 se encuentra en la micro cuenca del rio Zula.

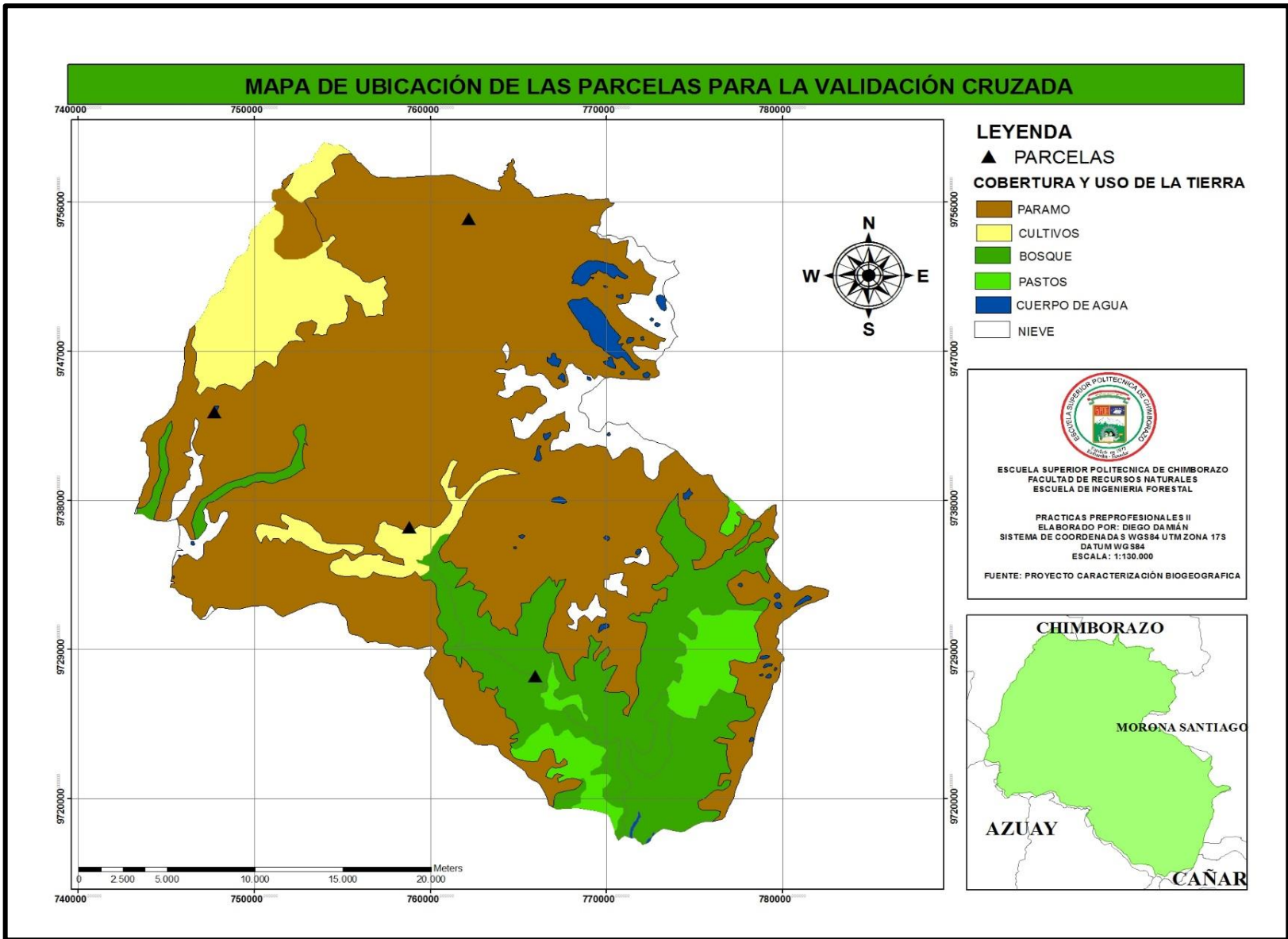


Figura 25. Mapa de ubicación de las parcelas para la Validación Cruzada
Elaborado por: Diego Damián

Cuadro 11. Contenido de carbono en el suelo para la validación cruzada.

ID_PARCELA	SECTOR	X- COORD	Y-COORD	ALTITUD (m.s.n.m.)	Suelo MgC/ha
001P1	BSQHG	764099	9726401	3241	259,69
001P2	BSQHG	763849	9726401	3256	189,76
001P3	BSQHG	763849	9726651	3259	201,37
002P1	BSQHG	766208	9727397	2739	233,46
002P3	BSQHG	765958	9727647	2796	221,77
003P1	HGPST	765436	9725979	2812	152,43
003P2	HGPST	765186	9725979	2710	153,64
003P3	HGPST	765187	9726229	2881	160,25
004P1	PMCH	759429	9739837	3992	224,36
004P2	PMCH	759179	9739837	3875	230,23
004P3	PMCH	759179	9740087	3870	220,65
005P1	PMCHRS	759038	9736130	3473	157,49
005P2	PMCHRS	758788	9736132	3723	209,93
006P1	OZALGC	767734	9749853	3794	275,9
006P2	OZALGC	767484	9749854	3932	187,24
006P3	OZALGC	767483	9750105	3854	227,63
007P1	OZAPS	766979	9750280	3785	208,42
007P2	OZAPS	766729	9750278	3771	228,05
007P3	OZAPS	766726	9750530	3763	192,85
008P1	OZALGP	765171	9749347	4096	218,61
008P2	OZALGP	764921	9749347	3984	216,23
008P3	OZALGP	764921	9749597	4020	210,17
009P1	OZBPP	761931	9754976	3796	254,54
009P2	OZBPP	761681	9754976	3880	291,59
009P3	OZBPP	761681	9755227	3876	260,37
010P2	OZBPP	761681	9755477	3752	297,59
011P1	ACHLM	747973	9743065	3947	225,52
011P2	ACHLM	747723	9743064	3854	255,73
012P1	JBL	759021	9733001	3649	292,22
012P2	JBL	758771	9733001	3576	231,72
012P3	JBL	758771	9733251	3546	220,6

Elaborado por: Diego Damián

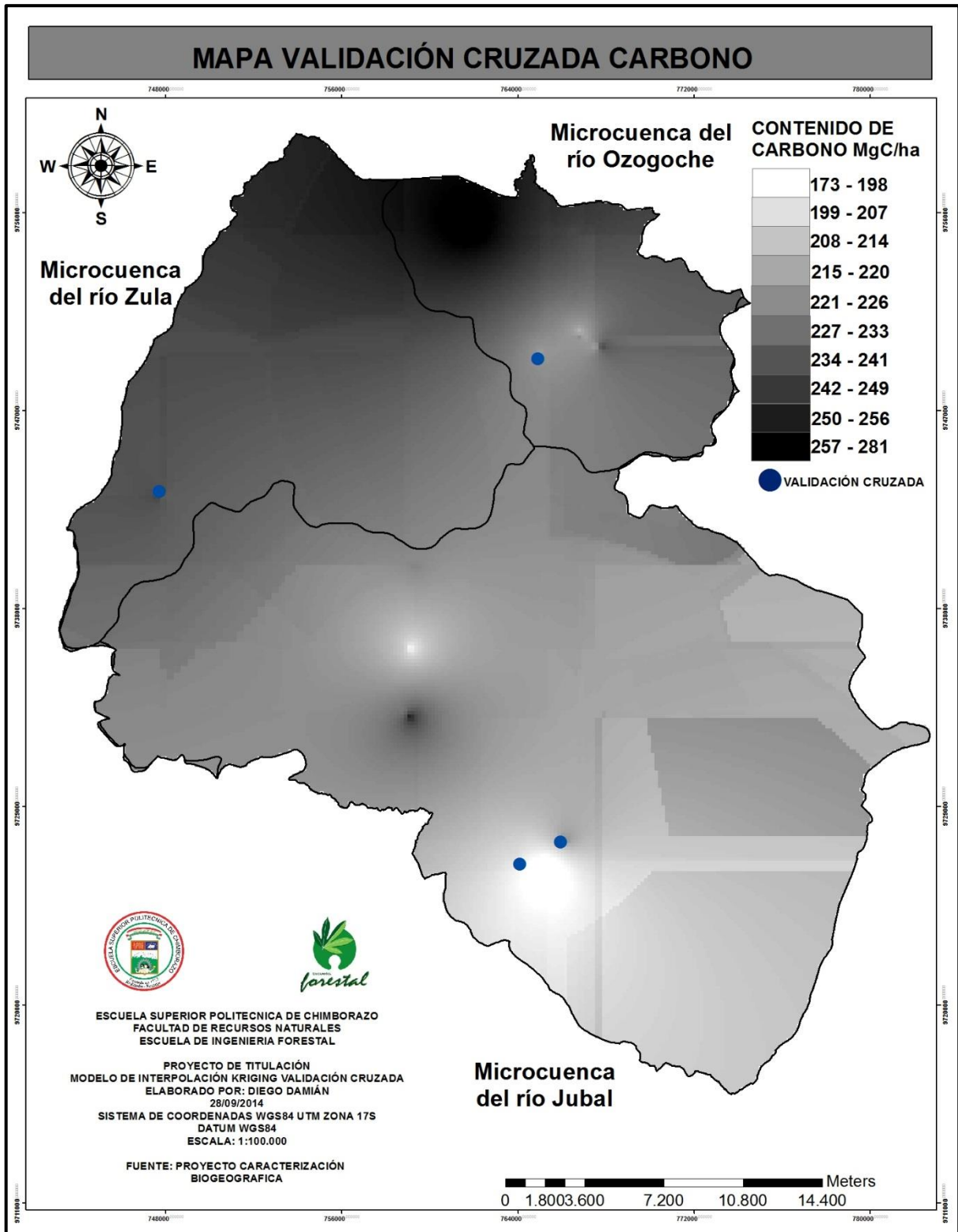


Figura 26. Validación Cruzada Carbono
Elaborado por: Diego Damián

En el cuadro 11 nos muestra el número de parcelas (31) cada una con sus respectivos datos como son (ID; Sector; X- COORD; Y-COORD; ALTITUD (m.s.n.m.) y Suelo MgC/ha), con los cuales se realizó en la interpolación utilizando la herramienta espacial kriging una vez obteniendo el modelo como se muestra en el gráfico 27 podemos cuantificar la variación de carbono edáfico y poner a validar el modelo kriging dependiendo cuanto varía el contenido de carbono de antes y después de realizar la validación cruzada en las cuatro parcelas que se las realizó en análisis y de esta forma validar o rechazar el modelo aplicado en la presente investigación.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Un error experimental es una desviación del valor medido de una magnitud física respecto al valor real de dicha magnitud. En general los errores experimentales son ineludibles y dependen básicamente del procedimiento elegido y la tecnología disponible para realizar la medición, por lo tanto para el análisis estadístico se utilizó el error absoluto y el error relativo donde el llamado error absoluto, corresponde a la diferencia entre el valor medido (fm) y el valor real (fr) en valor absoluto para que nos de valores positivos. Y el error relativo, que corresponde al cociente entre el error absoluto y el valor real (fr).

Matemáticamente tenemos las siguientes expresiones:

Error absoluto: $[e\ abs = fm - fr]$

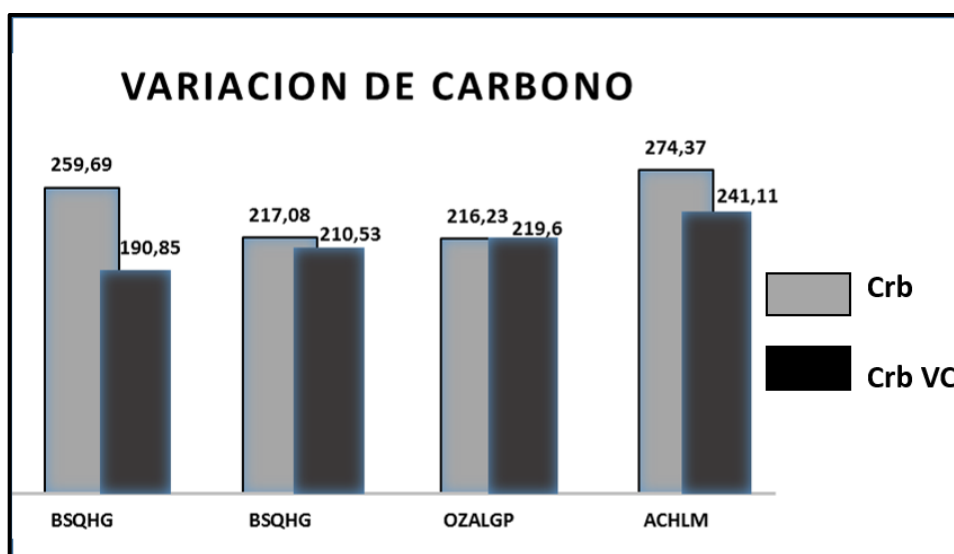
Error relativo: $e\ rel = \frac{e\ abs}{fr}$

En la presente investigación tenemos que el valor medido (fm) es el valor obtenido con el modelo de interpolación kriging y el valor real (fr) es el valor obtenido después de aplicar el método de validación cruzada una vez obtenidos estos valores se cuantificó en porcentaje para realizar la sumatoria correspondiente y se sacó la media de la variable carbono, con estos resultados se determinó si el modelo está entre los límites de error permitidos según varios autores. A continuación se muestra los datos procesados y el histograma de variación de Carbono.

Cuadro 12. Análisis estadístico carbono

PARCELA	Carbono	Carbono Vc	Error Absoluto	Error Relativo	%
BSQHG	259,69	190,85	68,84	0,27	26,5
BSQHG	217,08	210,53	6,55	0,03	3,0
OZALGP	216,23	219,6	3,37	0,02	1,6
ACHLM	274,37	241,11	33,26	0,12	12,1
				Sumatoria	43,2
				Media	10,8

Elaborado por Diego Damián

Histograma de variación de la variable Carbono**Gráfico 07. Variación de Carbono**

Elaborado por: Diego Damián

Podemos observar en el cuadro 12, gráfica 07 y figura 27, la variación de carbono con respecto a la validación cruzada teniendo el valor más alto para el BSQHG con 26,5% al respecto de las otras variables, esto se debe a que en estas parcelas no tuvimos muchos datos o porque tenían mucha distancia unas de otras por ende aumenta el error, en general el error para la variable carbono es del 10,8 % encontrados dentro de un rango aceptable ya que según el trabajo Bustamante, J. (2003) dice que para el modelo de interpolación kriging se puede trabajar con errores del 9%, para Raichijk, C.,(2005) el error es del 11% pudiendo decir que nuestro modelo de interpolación kriging está bien elaborado y sus datos son confiables.

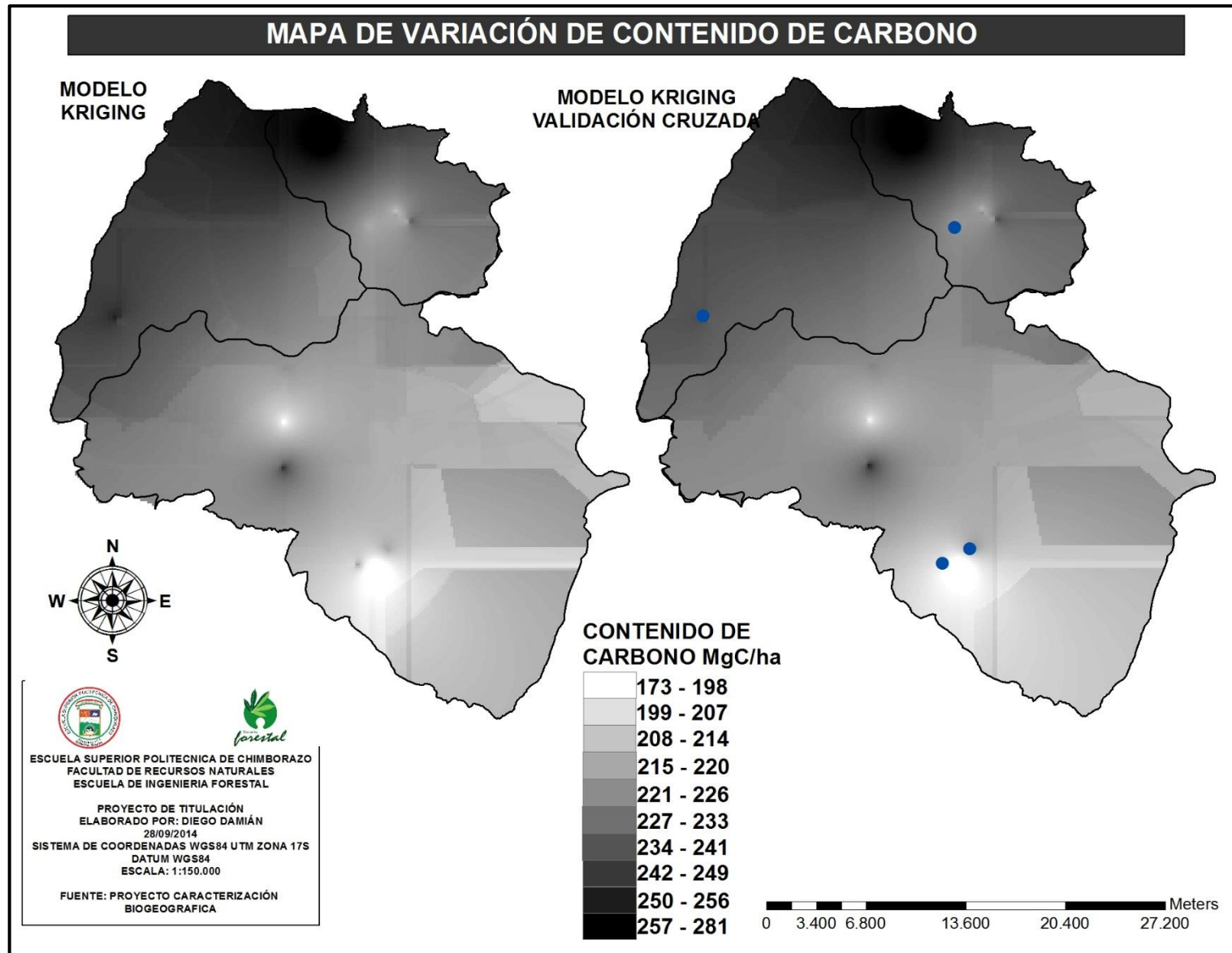


Figura 27. Variación de contenido de Carbono
Elaborado por: Diego Damián

Cuadro 13. Contenido de pH en el suelo para la validación cruzada.

ID_PARCELA	SECTOR	X- COORD	Y-COORD	ALTITUD (m.s.n.m.)	pH
001P1	BSQHG	764099	9726401	3241	4,86
001P2	BSQHG	763849	9726401	3256	5,58
001P3	BSQHG	763849	9726651	3259	5,92
002P1	BSQHG	766208	9727397	2739	5,70
002P3	BSQHG	765958	9727647	2796	5,61
003P1	HGPST	765436	9725979	2812	5,85
003P2	HGPST	765186	9725979	2710	5,75
003P3	HGPST	765187	9726229	2881	5,60
004P1	PMCH	759429	9739837	3992	5,42
004P2	PMCH	759179	9739837	3875	5,69
004P3	PMCH	759179	9740087	3870	5,18
005P1	PMCHRS	759038	9736130	3473	7,17
005P2	PMCHRS	758788	9736132	3723	6,50
006P1	OZALGC	767734	9749853	3794	5,99
006P2	OZALGC	767484	9749854	3932	6,29
006P3	OZALGC	767483	9750105	3854	5,98
007P1	OZAPS	766979	9750280	3785	5,98
007P2	OZAPS	766729	9750278	3771	5,42
007P3	OZAPS	766726	9750530	3763	5,56
008P1	OZALGP	765171	9749347	4096	6,87
008P2	OZALGP	764921	9749347	3984	6,39
008P3	OZALGP	764921	9749597	4020	6,15
009P1	OZBPP	761931	9754976	3796	6,11
009P2	OZBPP	761681	9754976	3880	6,35
009P3	OZBPP	761681	9755227	3876	6,21
010P2	OZBPP	761681	9755477	3752	6,44
011P1	ACHLM	747973	9743065	3947	6,75
011P2	ACHLM	747723	9743064	3854	6,19
012P1	JBL	759021	9733001	3649	5,74
012P2	JBL	758771	9733001	3576	5,91
012P3	JBL	758771	9733251	3546	5,53

Elaborado por: Diego Damián

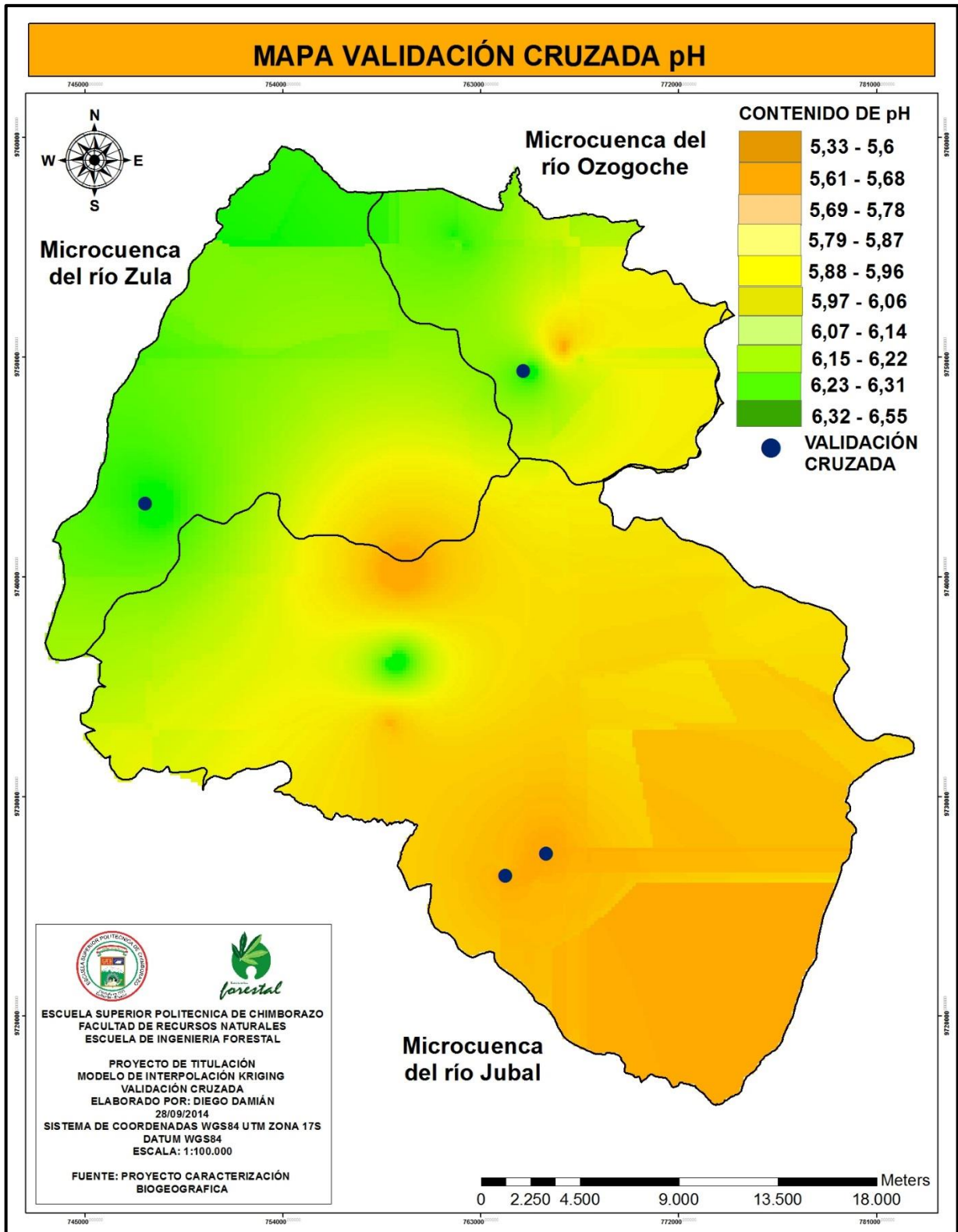


Figura 28. Mapa de Validación Cruzada pH

Elaborado por: Diego Damián

En el cuadro 13 nos muestra el número de parcelas (31) cada una con sus respectivos datos como son (ID; Sector; X- COORD; Y-COORD; ALTITUD (m.s.n.m.) y pH), con los cuales se realizar en la interpolación utilizando la herramienta espacial kriging una vez obteniendo el modelo como se muestra en el figura 29 podemos cuantificar la variación de pH edáfico y poner validar el modelo kriging dependiendo cuanto varia el contenido de pH de antes y después de realizar la validación cruzada en las cuatro parcelas que se las realizo en análisis y de esta forma validar o rechazar el modelo aplicado en la presente investigación.

ANALISIS ESTADISTICO

Un error experimental es una desviación del valor medido de una magnitud física respecto al valor real de dicha magnitud. En general los errores experimentales son ineludibles y dependen básicamente del procedimiento elegido y la tecnología disponible para realizar la medición, por lo tanto para el análisis estadístico se utilizó el error absoluto y el error relativo donde el llamado error absoluto, corresponde a la diferencia entre el valor medido (fm) y el valor real (fr) en valor absoluto para que nos de valores positivo. Y el error relativo, que corresponde al cociente entre el error absoluto y el valor real fr

Matemáticamente tenemos las siguientes expresiones:

Error absoluto: $[e\ abs = fm - fr]$

Error relativo: $e\ rel = \frac{e\ abs}{fr}$

En la presente investigación tenemos que el valor medido (fm) es el valor obtenido con el modelo de interpolación kriging y el valor real (fr) es el valor obtenido después de aplicar el método de validación cruzada una vez obtenido estos valores se cuantifico en porcentaje para realizar la sumatoria correspondiente y se sacar la media de la variable pH, con estos resultado se determinó si el modelo está entre los límites de error permitidos según varios autores. A continuación se muestra los datos procesados y el histograma de variación de pH.

Cuadro 14. Análisis estadístico para la variable pH

PARCELA	pH	pH Vc	Error Absoluto	Error Relativo	%
BSQHG	4,86	5,72	0,9	0,2	17,7
BSQHG	5,32	5,69	0,4	0,1	7,0
OZALGP	6,39	6,33	0,1	0,0	1,0
ACHLM	6,14	6,34	0,2	0,0	3,3
				Sumatoria	29,0
				Media	7,3

Elaborado por Diego Damián

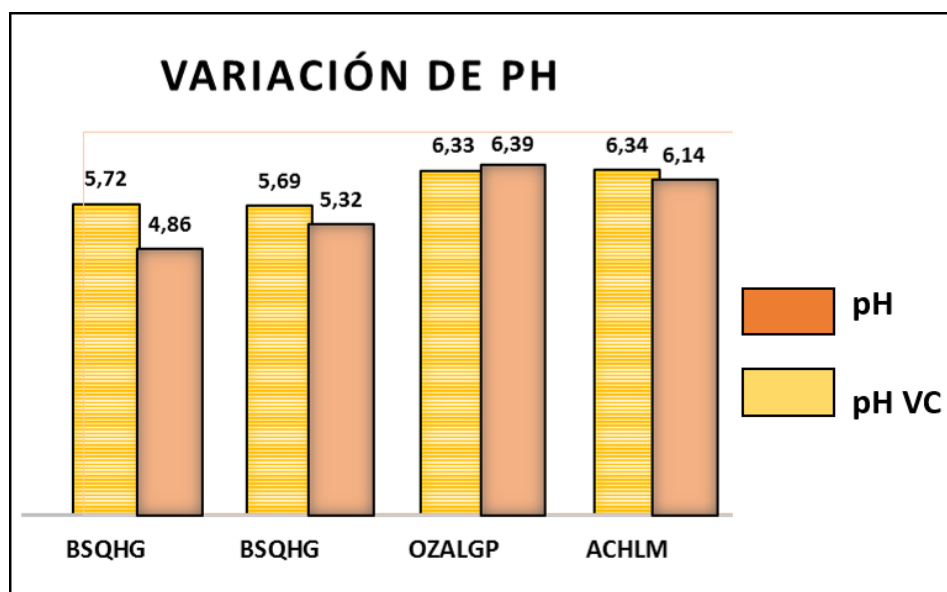


Gráfico 08. Variación de pH
Elaborado por: Diego Damián

Podemos observar en el cuadro 14 y la gráfica 29 la variación de pH con respecto a la validación cruzada teniendo el valor más alto para el BSQHG con 17,7% al respecto de las otras variables, esto se debe a que en estas parcelas no tuvimos muchos datos o porque tenían mucha distancia unas de otras por ende aumenta el error, en general el error para la variable pH es del 7.3 % encontrados muy por debajo del rango aceptable ya que según el trabajo Bustamante, J. (2003) dice que para el modelo de interpolación kriging se puede trabajar con errores del 9%, para Raichijk, C.,(2005) el error es del 11% pudiendo decir que nuestro modelo de interpolación kriging está bien elaborado y sus datos son confiables.

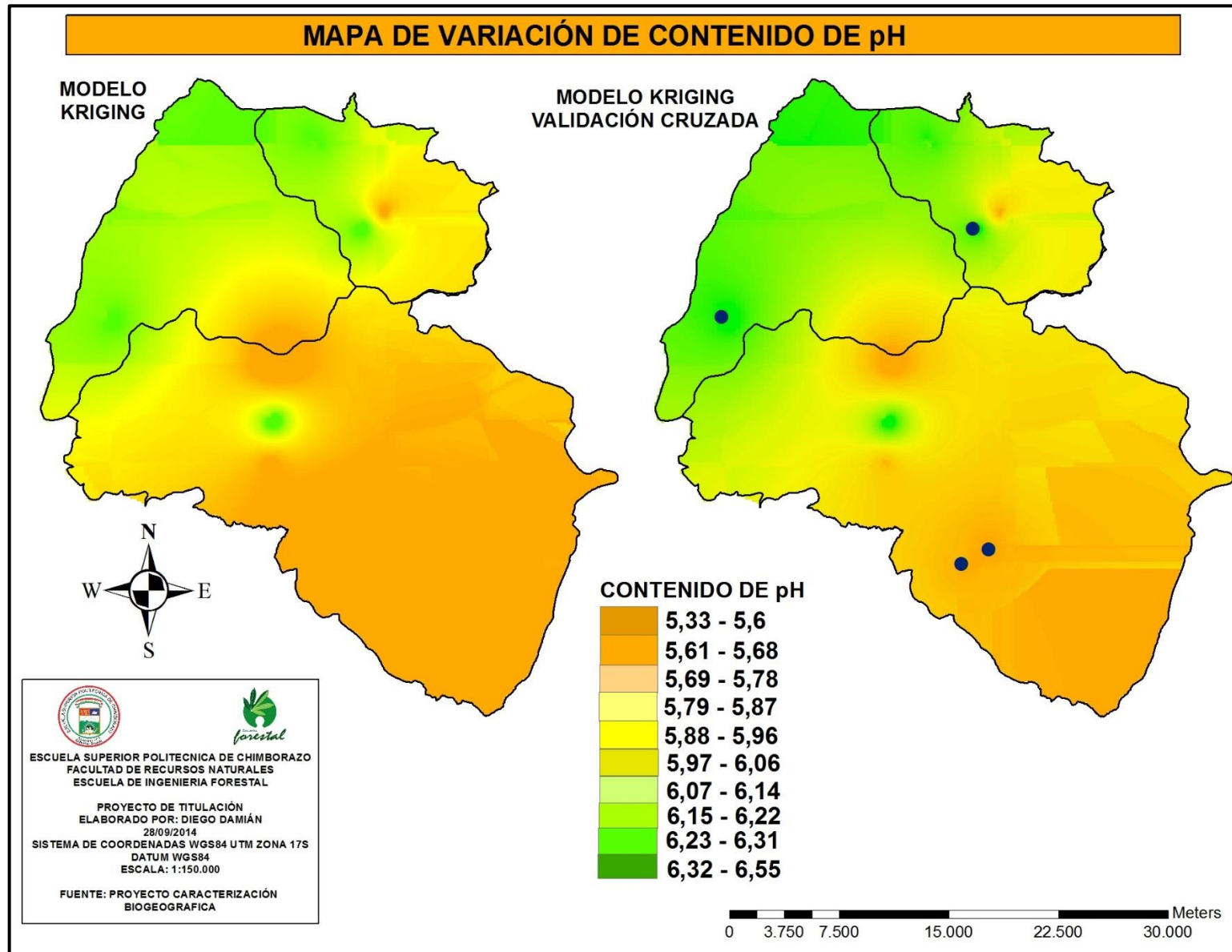


Figura 29. Variación de contenido de pH
 Elaborado por: Diego Damián

Cuadro 15. Variable de temperatura para la validación cruzada.

ID_PARCELA	SECTOR	X- COORD	Y-COORD	ALTITUD (m.s.n.m.)	TEMPERATURA (°C)
001P1	BSQHG	764099	9726401	3241	9
001P2	BSQHG	763849	9726401	3256	9
001P3	BSQHG	763849	9726651	3259	9
002P1	BSQHG	766208	9727397	2739	9
002P2	BSQHG	765958	9727397	2674	9
002P3	BSQHG	765958	9727647	2796	9
003P1	HGPST	765436	9725979	2812	9
003P2	HGPST	765186	9725979	2710	9
003P3	HGPST	765187	9726229	2881	9
004P1	PMCH	759429	9739837	3992	9
004P2	PMCH	759179	9739837	3875	9
004P3	PMCH	759179	9740087	3870	9
005P1	PMCHRS	759038	9736130	3473	9
005P2	PMCHRS	758788	9736132	3723	9
005P3	PMCHRS	758786	9736382	3397	9
006P1	OZALGC	767734	9749853	3794	5
006P2	OZALGC	767484	9749854	3932	5
006P3	OZALGC	767483	9750105	3854	5
007P1	OZAPS	766979	9750280	3785	5
007P2	OZAPS	766729	9750278	3771	5
007P3	OZAPS	766726	9750530	3763	5
008P1	OZALGP	765171	9749347	4096	5
008P2	OZALGP	764921	9749347	3984	5
008P3	OZALGP	764921	9749597	4020	5
009P1	OZBPP	761931	9754976	3796	5
009P2	OZBPP	761681	9754976	3880	5
009P3	OZBPP	761681	9755227	3876	5
010P1	OZBPP	762181	9754976	3784	5
010P2	OZBPP	761681	9755477	3752	5
011P1	ACHLM	747973	9743065	3947	7
011P2	ACHLM	747723	9743064	3854	7
011P3	ACHLM	747723	9743315	3785	7
012P1	JBL	759021	9733001	3649	9
012P2	JBL	758771	9733001	3576	9
012P3	JBL	758771	9733251	3546	9

Elaborado por: Diego Damián

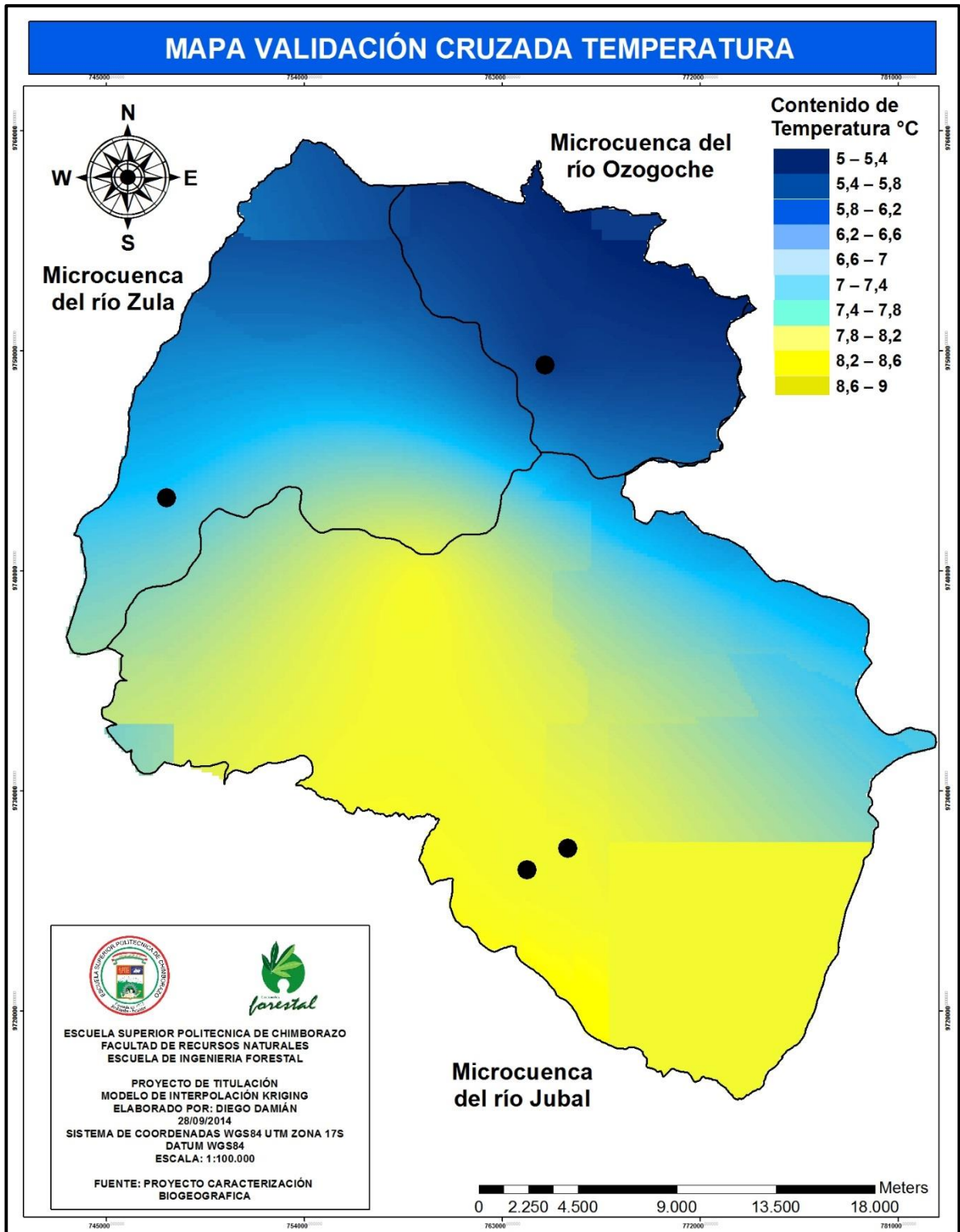


Figura 30. Mapa de Validación Cruzada Temperatura
Elaborado por: Diego Damián

En el cuadro 15 nos muestra el número de parcelas (31) cada una con sus respectivos datos como son (ID; Sector; X- COORD; Y-COORD; ALTITUD(m.s.n.m.); Temperatura °C), con los cuales se realizó en la interpolación utilizando la herramienta espacial kriging una vez obteniendo el modelo como se muestra en el figura 31 podemos cuantificar la variación de temperatura y poner a validar el modelo kriging dependiendo cuanto varía el contenido de temperatura de antes y después de realizar la validación cruzada en las cuatro parcelas que se las realizó en análisis y de esta forma validar o rechazar el modelo aplicado en la presente investigación.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Un error experimental es una desviación del valor medido de una magnitud física respecto al valor real de dicha magnitud. En general los errores experimentales son ineludibles y dependen básicamente del procedimiento elegido y la tecnología disponible para realizar la medición, por lo tanto para el análisis estadístico se utilizó el error absoluto y el error relativo donde el llamado error absoluto, corresponde a la diferencia entre el valor medido (f_m) y el valor real (f_r) en valor absoluto para que nos de valores positivo. Y el error relativo, que corresponde al cociente entre el error absoluto y el valor real (f_r).

Matemáticamente tenemos las siguientes expresiones:

Error absoluto: $[e_{abs} = f_m - f_r]$

Error relativo: $e_{rel} = \frac{e_{abs}}{f_r}$

En la presente investigación tenemos que el valor medido (f_m) es el valor obtenido con el modelo de interpolación kriging y el valor real (f_r) es el valor obtenido después de aplicar el método de validación cruzada una vez obtenidos estos valores se cuantificó en porcentaje para realizar la sumatoria correspondiente y se sacó la media de la temperatura, con estos resultados se determinó si el modelo está entre los límites de error permitidos según varios autores. A continuación se muestra los datos procesados y el histograma de variación de Temperatura.

Cuadro 16. Análisis estadístico temperatura

PARCELA	Temp (°C)	Temp (°C) VC	Error Absoluto	Error Relativo	%
BSQHG	9	9	0	0	0,00
BSQHG	9	9	0	0	0,00
OZALGP	5	5,1	0,1	0,02	2
ACHLM	7	7	0	0	0
				Sumatoria	2
				Media	0,5

Elaborado por Diego Damián

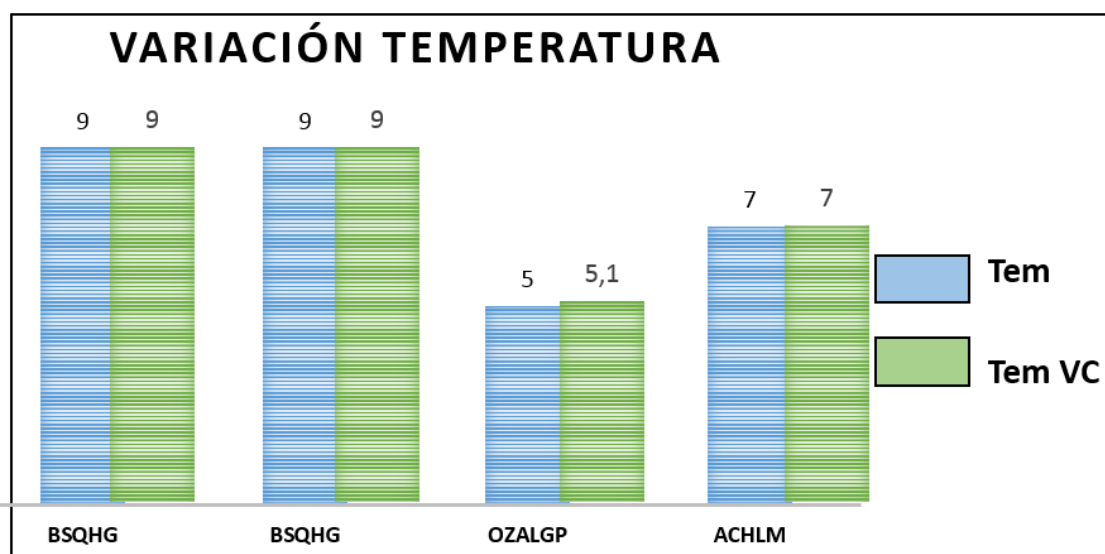


Gráfico 09. Variación de Temperatura
Elaborado por: Diego Damián

Podemos observar en el cuadro 16 y la gráfica 38;39 la variación de temperatura con respecto a la validación cruzada teniendo valores similares para las cuatro parcelas que se les aplicó este procedimiento esto se debe a que las condiciones climáticas en esta zona no son muy variables, en general el error para la variable temperatura es del 0,5 % encontrados muy por debajo del rango aceptable ya que según el trabajo Bustamante, J. (2003) dice que para el modelo de interpolación kriging se puede trabajar con errores del 9%, para Raichijk, C.,(2005) el error es del 11% pudiendo decir que nuestro modelo de interpolación kriging está bien elaborado y sus datos son confiables.

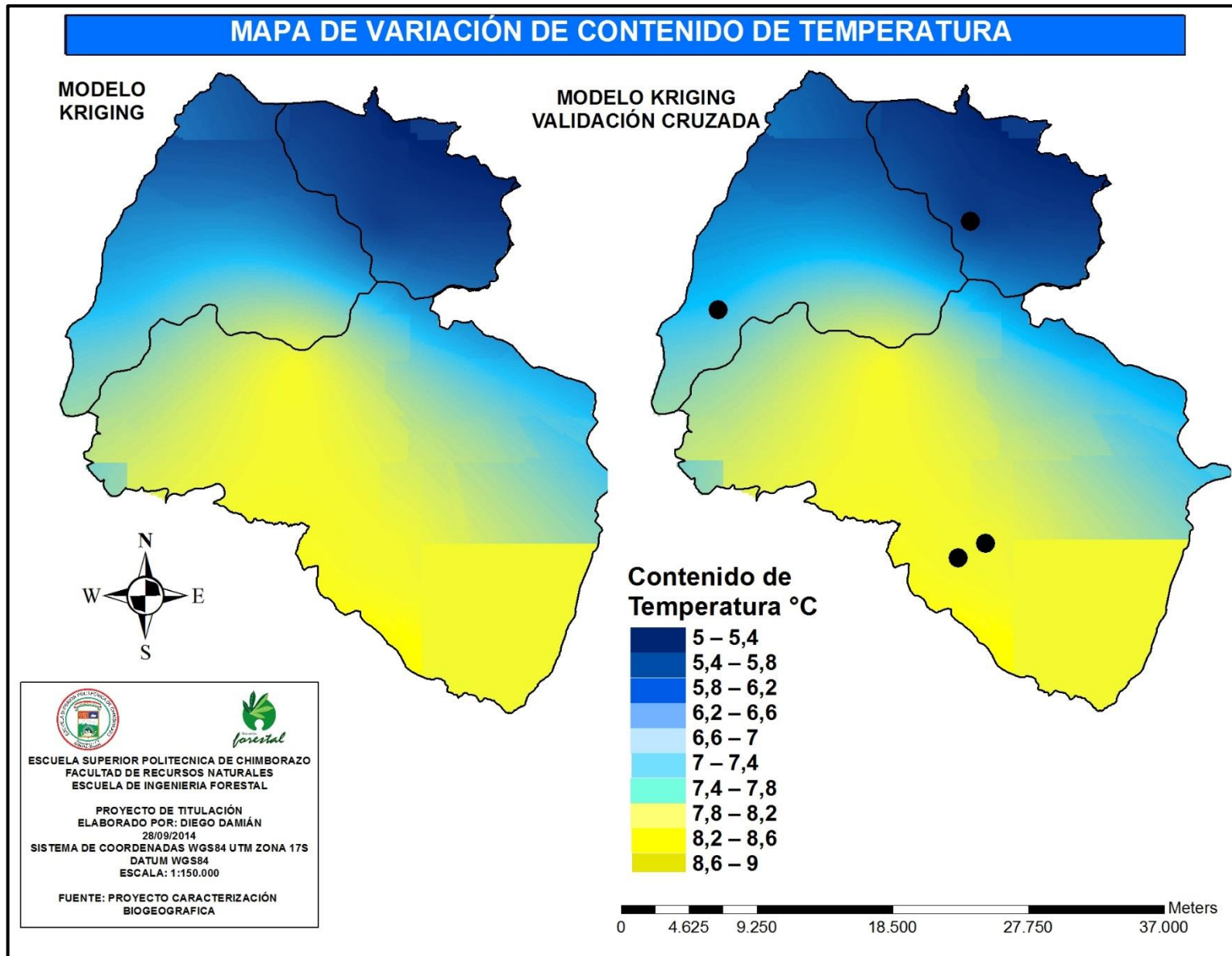


Figura 31. Variación de contenido de Temperatura
Elaborado por: Diego Damián

Cuadro 17. Variable climática Humedad Relativa para la validación cruzada.

ID_PARCELA	SECTOR	X- COORD	Y-COORD	ALTITUD (m.s.n.m.)	HR (%)
001P1	BSQHG	764099	9726401	3241	83,0
001P2	BSQHG	763849	9726401	3256	82,9
001P3	BSQHG	763849	9726651	3259	82,9
002P1	BSQHG	766208	9727397	2739	83,0
002P3	BSQHG	765958	9727647	2796	83,0
003P1	HGPST	765436	9725979	2812	83,1
003P2	HGPST	765186	9725979	2710	83,0
003P3	HGPST	765187	9726229	2881	83,0
004P1	PMCH	759429	9739837	3992	81,9
004P2	PMCH	759179	9739837	3875	81,9
004P3	PMCH	759179	9740087	3870	81,8
005P1	PMCHRS	759038	9736130	3473	82,0
005P2	PMCHRS	758788	9736132	3723	82,0
006P1	OZALGC	767734	9749853	3794	82,3
006P2	OZALGC	767484	9749854	3932	82,2
006P3	OZALGC	767483	9750105	3854	82,2
007P1	OZAPS	766979	9750280	3785	82,2
007P2	OZAPS	766729	9750278	3771	82,2
007P3	OZAPS	766726	9750530	3763	82,2
008P1	OZALGP	765171	9749347	4096	82,0
008P2	OZALGP	764921	9749347	3984	82,0
008P3	OZALGP	764921	9749597	4020	82,0
009P1	OZBPP	761931	9754976	3796	81,6
009P2	OZBPP	761681	9754976	3880	81,6
009P3	OZBPP	761681	9755227	3876	81,6
010P2	OZBPP	761681	9755477	3752	81,6
011P1	ACHLM	747973	9743065	3947	80,8
011P2	ACHLM	747723	9743064	3854	80,7
012P1	JBL	759021	9733001	3649	82,2
012P2	JBL	758771	9733001	3576	82,2
012P3	JBL	758771	9733251	3546	82,2

Elaborado por: Diego Damián

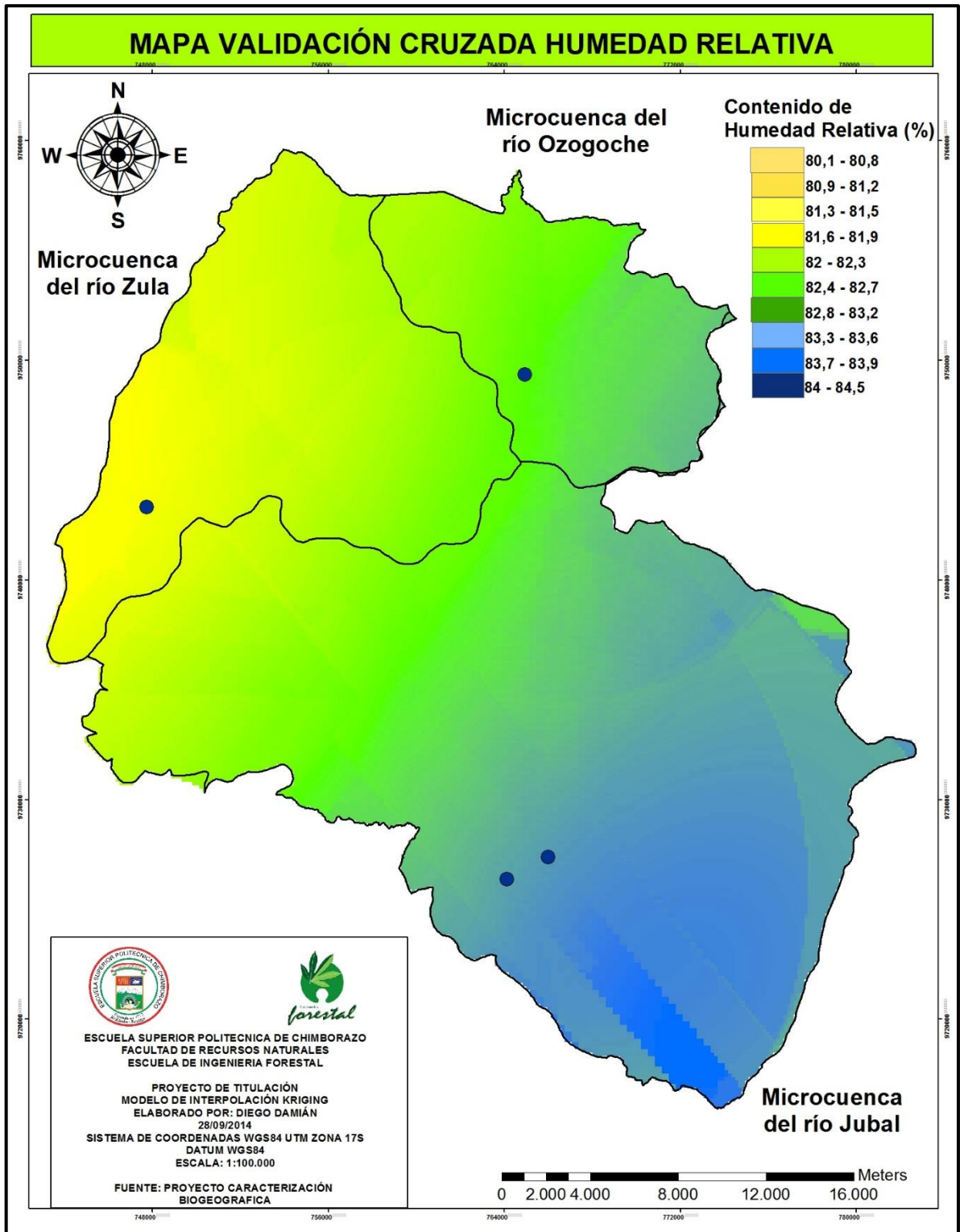


Figura 32. Mapa de Validación Cruzada Humedad Relativa
 Elaborado por: Diego Damián

En el cuadro 17 nos muestra el número de parcelas (31) cada una con sus respectivos datos como son (ID; Sector; X- COORD; Y-COORD; ALTITUD (m.s.n.m.) y Humedad Relativa (%), con los cuales se realizar en la interpolación utilizando la herramienta espacial kriging una vez obteniendo el modelo como se muestra en el gráfico 33, podemos cuantificar la variación de humedad relativa y poner validar el modelo kriging dependiendo cuanto varia el contenido de humedad relativa de antes y después de realizar la validación cruzada en las cuatro parcelas que se las realizo en análisis y de esta forma validar o rechazar el modelo aplicado en la presente investigación.

ANALISIS ESTADISTICO

Un error experimental es una desviación del valor medido de una magnitud física respecto al valor real de dicha magnitud. En general los errores experimentales son ineludibles y dependen básicamente del procedimiento elegido y la tecnología disponible para realizar la medición, por lo tanto para el análisis estadístico se utilizó el error absoluto y el error relativo donde el llamado error absoluto, corresponde a la diferencia entre el valor medido (fm) y el valor real (fr) en valor absoluto para que nos de valores positivo. Y el error relativo, que corresponde al cociente entre el error absoluto y el valor real (fr).

Matemáticamente tenemos las siguientes expresiones:

Error absoluto: $[e\ abs = fm - fr]$

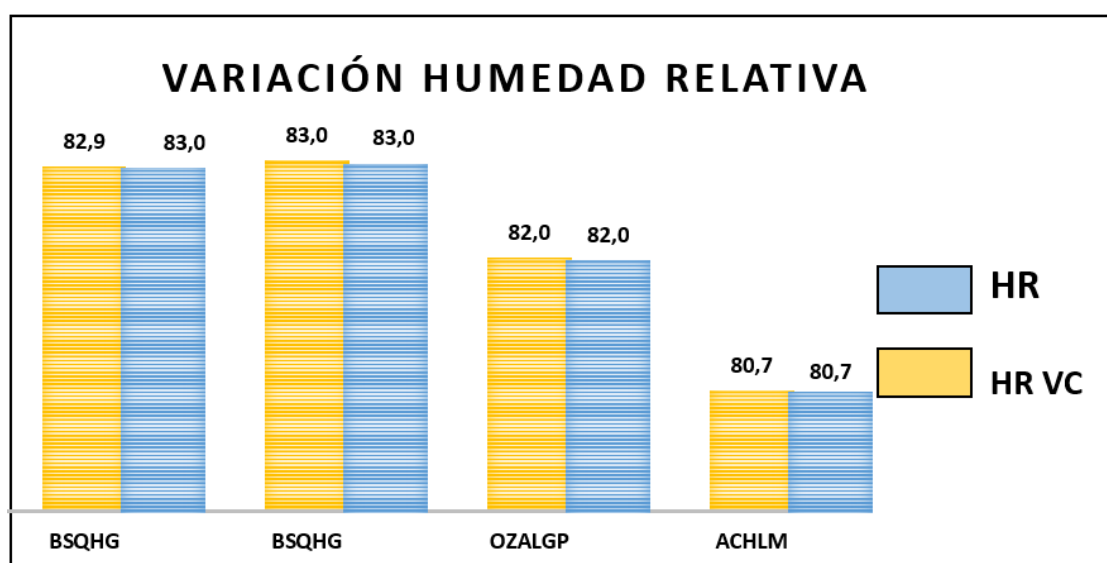
Error relativo: $e\ rel = \frac{e\ abs}{fr}$

En la presente investigación tenemos que el valor medido (fm) es el valor obtenido con el modelo de interpolación kriging y el valor real (fr) es el valor obtenido después de aplicar el método de validación cruzada una vez obtenido estos valores se cuantifico en porcentaje para realizar la sumatoria correspondiente y se sacar la media de la humedad relativa, con estos resultado se determinó si el modelo está entre los límites de error permitidos según varios autores. A continuación se muestra los datos procesados y el histograma de variación de humedad relativa.

Cuadro 18. Análisis estadístico humedad relativa

PARCELA	HR (%)	HR Vc (%)	Error Absoluto	Error Relativo	%
BSQHG	83	82,93	0,03	0,00	0,03
BSQHG	83	83	0,00	0,00	0,00
OZALGP	82	82,03	0,00	0,00	0,00
ACHLM	81	80,7	0,02	0,00	0,02
				Sumatoria	0,06
				Media	0,01

Elaborado por Diego Damián

**Gráfico 10. Variación de Humedad Relativa**

Elaborado por: Diego Damián

Podemos observar en el cuadro 18 y la gráfica 10, la variación de humedad relativa con respecto a la validación cruzada teniendo valores similares para las cuatro parcelas que se les aplicó este procedimiento. Esto se debe a que las condiciones climáticas en esta zona no son muy variables, en general el error para la variable humedad relativa es del 0,1 % encontrados muy por debajo del rango aceptable ya que según el trabajo Bustamante, J. (2003) dice que para el modelo de interpolación kriging se puede trabajar con errores del 9%, para Raichijk, C., (2005) el error es del 11% pudiendo decir que nuestro modelo de interpolación kriging está bien elaborado y sus datos son confiables.

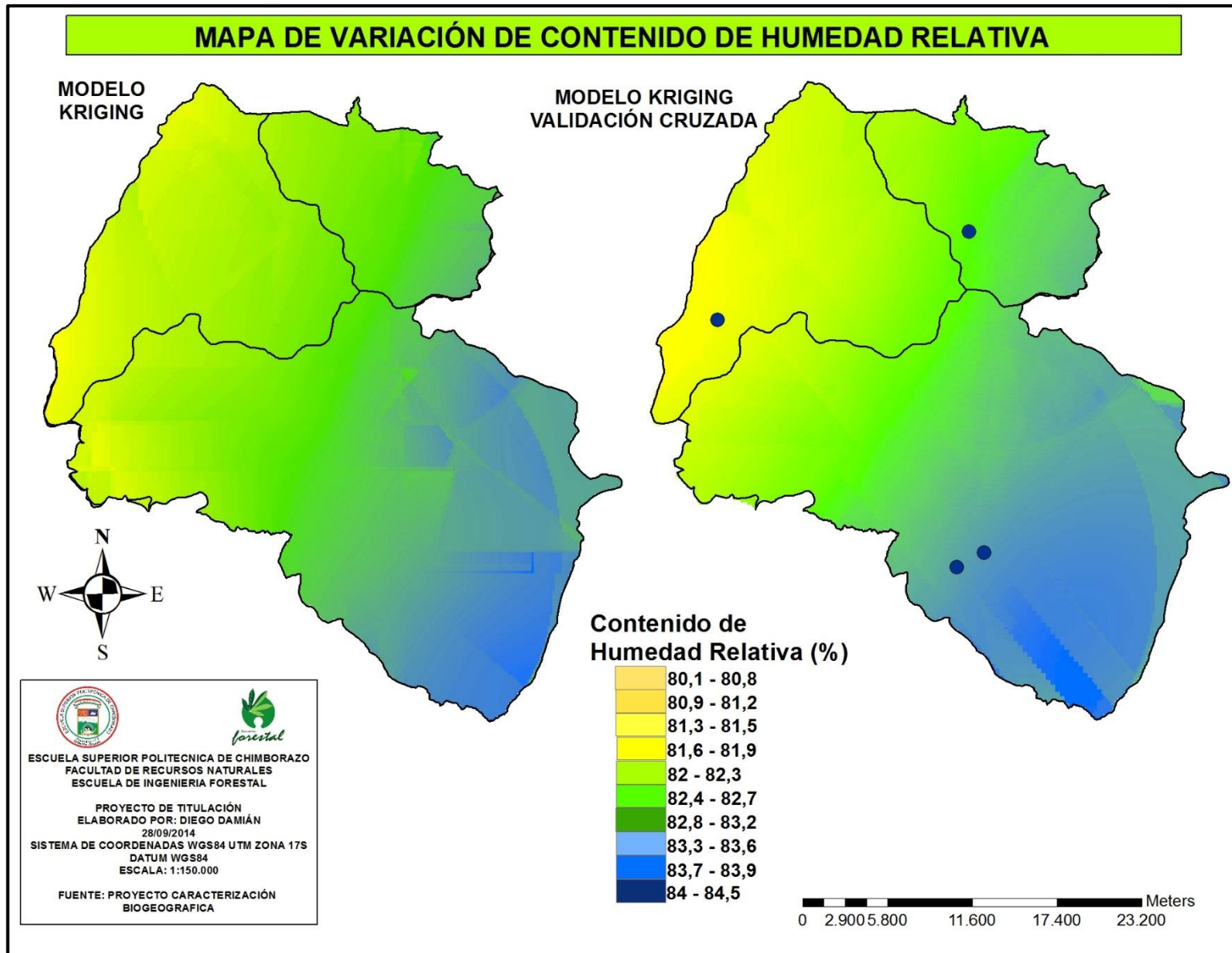


Figura 33. Variación de contenido de Humedad Relativa
Elaborado por: Diego Damián

VI. CONCLUSIONES

1. Con la compilación de información de forma organizada, actualizada, fiable y oficial se logró elaborar la base de datos de las variables Carbono (MgC/ha), pH, Temperatura (°C) y Humedad Relativa (%), las cuales se encuentran debidamente etiquetadas con el ID; Sector; X- COORD; Y-COORD; ALTITUD (m.s.n.m.); Total. Cada una de las variables edáficoclimáticas contiene 12 conglomerados, cada uno de ellos con tres parcelas, dándonos un total de 35 parcelas debido a que en el conglomerado 10 solo consta con dos parcelas, con la elaboración de la base de datos se pudo trabajar de forma eficiente en los modelos de interpolación.
2. Los modelos espaciales de interpolación nos muestran que en la parte norte de la zona de estudio sus suelos son en la gran mayoría de páramo, por encontrarse en un ecosistema característico a más de 4000 m.s.n.m tienen menor temperatura y humedad relativa haciendo que estos suelos contengan mayor contenido de carbono y su pH sea ácidos observando claramente en las gráficas 15;18;21;24 mientras que en la parte sur del área de estudio encontramos un ecotono entre los andes ecuatorianos y la amazonia, presentando varios ecosistemas montanos y alto andinos continuos, interrumpidos únicamente por algunos pastos y muy pocos cultivos, esta microcuenca es la que más aisladas florísticamente están en relación a las actividades antropogénicas teniendo altitudes menores a los 2000 m.s.n.m, encontrando mayor temperatura y humedad relativa haciendo que estos suelos contengan menor contenido de carbono y su pH sea ácidos observando claramente en las gráficas 15;18;21;24.
3. En la parte alta de la zona de estudio en la microcuenca del río Zula y Ozogoche encontramos mayor cantidad de carbono edáfico debido a sus características, teniendo una actividad microbiana baja ya que las condiciones climáticas como la temperatura son muy desfavorables haciendo que los microorganismos no puedan desarrollarse con normalidad, siendo esta una relación inversamente proporcional con la microcuenca río Jubal ya que esta posee menor contenido de carbono y sus temperaturas son más elevadas y por ende su actividad microbiana aumenta.

4. Los resultados demuestran que es posible generar mapas edáficoclimáticos reales mediante el método de interpolación kriging, generando una capacidad predictiva confiable, este modelo de interpolación es muy superiores a otros modelos espaciales, observando que es mejor para la interpolación las variables climáticas ya que en estas obtuvimos un error de 0,5% para la temperatura, un 0,1% para la humedad relativa al contrario que para las variables edáficas obtuvimos un 10,8% para Carbono y un 6,8% para la variable pH, siendo estos errores muy aceptables de acuerdo a diversos autores.

5. De acuerdo a los resultados obtenidos para los diferentes usos de suelo tenemos que el Bosque de Huangras tenemos una temperatura de 9°C; Humedad relativa del 83%; Carbono edáfico de 259,69 MgC/ha y un pH de 4,86, mientras que en el páramo de Ozogoche alto sector de la laguna de Pichahuiña encontramos una temperatura de 5°C; Humedad relativa del 82%; Carbono edáfico de 216,23 MgC/ha y un pH de 6,39 y para zonas cultivada en el sector de Pomacocho Rio Saucay encontramos una temperatura de 9°C; Humedad relativa del 82%; Carbono edáfico de 209,93 MgC/ha y un pH de 6,50. Afirmando la hipótesis ya que las variables edáficoclimáticas varían dependiendo del uso de suelo.

VII. RECOMENDACIONES

1. La limitante más grande de esta investigación, sin lugar a dudas, fueron los pocos datos proporcionados para realizar el modelo de interpolación kriging dándonos resultados aproximados a la realidad en algunas partes, por lo tanto se recomienda realizar más análisis en diferentes partes de la zona de estudio para de este modo poder suavizar la gráfica.
2. Se recomienda incentivar a realizar estudios con modelos de interpolación ya que ayudan a cuantificar diferentes parámetros y en nuestro caso el carbono que puede servir como herramientas base para la elaboración de una futura estrategia de pagos por servicios ambientales en el Ecuador, dentro de una propuesta encaminada a ser considerada como un Mecanismo de Desarrollo Limpio.
3. Utilizar procesos que permitan una adecuada verificación de calidad para ingreso y procesamiento de datos tanto para la creación de la base de datos como para la interpolación de los mismos.
4. Se recomienda dar seguimiento a este estudio en periodos de 5 años para ver la variación de las variables edáficoclimáticas como consecuencia del efecto invernadero y por ende el calentamiento global, tanto para la zona de estudio como para otras zonas.

VIII. RESUMEN

La presente investigación propuso comparar variables edáficoclimáticas en las zonas de bosque y páramo utilizando un modelo de interpolación kriging, en la parroquia Achupallas, cantón Alausi, provincia de Chimborazo, el modelo de interpolación kriging se aplicó por ser, el mejor estimador lineal imparcial, lo que le convierte en la técnica óptima para la interpolación de cualquier tipo de variable espacial. Para la interpolación se realizó una base de datos de las variables edáficoclimáticas (Carbono; pH; Temperatura; Humedad Relativa), cada una consta con 12 unidades de muestreo (conglomerado), distribuidos sistemáticamente en toda la parroquia. Realizada la interpolación nos muestra que en la parte norte de la zona de estudio los suelos en su mayoría son páramos por encontrarse en un ecosistema característico a más de 4000 m.s.n.m, encontrando menor temperatura y humedad relativa, haciendo que estos suelos contengan mayor contenido de carbono y su pH sea ácidos. Mientras que en la parte sur del área de estudio encontramos un ecotono entre los andes ecuatorianos y la amazonia, presentando varios ecosistemas montanos y alto andinos continuos, interrumpidos únicamente por algunos pastos y muy pocos cultivos, esta zona es la que más aisladas florísticamente están en relación a las actividades antropogénicas teniendo altitudes menores a los 2000 m.s.n.m, encontrando mayor temperatura y humedad relativa haciendo que estos suelos contengan menor contenido de carbono y su pH sea ácidos. Con el modelo de interpolación generamos mapas con una capacidad predictiva confiable, observando que es mejor para la interpolación las variables climáticas ya que en estas encontramos un error de 0,5% para la temperatura, un 0,1% para la humedad relativa al contrario que para las variables edáficas obtuvimos un 10,8% para Carbono y un 6,8% para la variable pH, siendo estos errores muy aceptables de acuerdo a la literatura.



IX. SUMMARY

The present research proposed: Compare edaphic-climatic variables in the forest areas and paramo using a kriging interpolation model, at the Achupallas parish, Alausi canton, province of Chimborazo, the kriging interpolation model was applied for being, the best impartial lineal estimator, converting in the optimal technique for the interpolation of any kind of spatial variable. For interpolation was carried out a edaphic-climatic database (Carbon; pH; Temperature; Relative Humidity), each one consists with 12 sampling units (conglomerate), systematically spread across the parish. Once carried out the interpolation shows the northern part in the study area the soils most of which are paramos due to is located in an ecosystem that is characteristic more than 4000 m.a.s.l, finding less temperature and relative humidity, making these soil contain a higher carbon content and its pH is acid. Whereas in the southern area in the study area and ecotone is found between Ecuadorian Andean highlands region and Amazon rainforest region, showing several montane ecosystem and continuous high Andean, interrupted only by some mountain pasture and a few crops, this is the most isolate area floristically are in relation to anthropogenic activities with lower altitudes of 2000 m.a.s.l, finding higher temperature and relative humidity influencing these soil contain lower carbon content and its pH is acid. With the interpolation model are generated maps with the reliable predictive capabilities, observing that is the best for interpolation the climatic variables due to a mistake of 0,5% is found for the temperature, 0,1% for the relative humidity on the contrary the edaphic variables are obtained a 10,8% for Carbon and 6,8% for the pH variable, being these mistakes very acceptable according to the literature consulted.



X. BIBLIOGRAFIA

1. Baquero, F. et al. 2004. La Vegetación de los Andes del Ecuador Eco Ciencia/CESLA/ Corporacion EcoPar / MAG SIGAGRO / CDC – Jatun Sacha / Division Geografica – IGM. Quito.
2. Berg, A., & Suchi, S. (2001). La Vegetación de los Páramos La Aguada, La Fría y Espejo en los Andes Venezolanos.
3. Cañizares, Y. E., & Gómez Villa, A. F. (2013). Construcción de la base de datos geográfica (gdb), para el sistema de formación geográfica (sig), vinculado a la producción de lúpulo, caso calarcá (doctoral dissertation).
4. Diaz-Granados Ortiz, Mario A .; Navarrete González, Juan d. and Suarez López Tatiana. páramos: hidrosistemas sensibles. rev.ing. [online]. 2005, n.22, pp. 64-75. issn 0121-4993.
5. Domínguez Izquierdo, P, (1999), Cuantificación Geoestadística de la contaminación por mercurio en el distrito minero de Pablo Enríquez (Provincia del Azuay), y evaluación de los impactos en el Medio Ambiente, Quito, Ecuador.
6. Explored noticias ecuador. 75 normas para utilizar los bosques nativos Publicado 25/julio/2000.
7. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), (2003), Manual Curso Análisis Espacial Arcview 8.2
8. Guías ArcGIS 9.3.1. [en línea]. <<http://resources.arcgis.com/en/help/previous-help/index.html>>
9. Krivoruchko, K., A. Gribov, E. Krause (2011). "Multivariante areal interpolación para Continuo y el conde de datos", Procedia Ciencias Ambientales , Volumen 3: 14-19
10. Macías, F. (2004). Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de Carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental. Recursos Rurais, 1, 49-56.
11. Mena, P. A., C. Josse & G. Medina (Eds.). 2000. Los Suelos del Páramo. Serie Páramo 5. GTP/Abya Yala. Quito.
12. Ministerio del Ambiente del Ecuador – MAE- (2008) Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Fondo Mundial GEF. Adaptación al cambio climático através de una efectiva gobernabilidad del agua en Ecuador PACC.

13. Morales, J., & Sarmiento, L. (2002). Dinámica de los macroinvertebrados edáficos su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el páramo venezolano. *Ecotropicos*, 15(1), 99-110.
14. Ojeda-Ramírez, L. Á., Rojas - Villalobos, H. L., Torres-Olave, M. E., & González Herrera, r. costos y riesgos por fenómenos naturales en tuxtla gutiérrez chiapas: aplicación de herramientas geo-estadísticas y sig.
15. Ortiz, Gabriel. [en línea]. <<http://www.gabrielortiz.com/>>.
16. Pauli H; M Gottfried; D Hhenwallner; K Reiter y G Grabherr 2003. Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Instituto de ecología y conservación biológica. Universidad de Viena. disponible en: www.gloria.ac.at
17. Quintín, J. (s.f.) Elementos de Geoestadística.
18. Raichijk, C., Grossi Gallegos, H., & Righini, R. (2005). Evaluación de un método alternativo para la estimación de valores medios mensuales de irradiación global en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9, 11-05.
19. Rozas, H. R. S., Echeverria, H. E., & Angelini, H. P. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana argentina *Ciencia del suelo*, 29, 29-37.
20. Sierra, R. 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y Ecociencia. Quito, Ec. 107-108 pp.
21. Stoffella, S., Posse, G., & Collantes, M. (1998). Variabilidad fenotípica y genotípica de poblaciones de *Lotus tenuis* que habitan suelos con distinto pH. *Ecología Austral*, 8, 57-63.).
22. Veloz, L. 1999. Áreas totalmente protegidas y reservas de germoplasma. Fundación Forestal Juan Manuel Durini. Imprenta V & O Graficas. Quito-Ecuador.
23. Viteri, A., & Cordero, E. V. (2012). Documento de análisis del sector forestal en el contexto de adaptación y mitigación al cambio climático del sector uso de suelo, cambio de suelo, y silvicultura (forestal) en el Ecuador. Ministerio del Ambiente, República de Ecuador, Cordero, V., & Cuenca, P. Recuperado:
24. Villatoro, Mario, Carlos Henríquez, and Freddy Sancho. "Comparación de los Interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo." *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas* 32.1 (2008).
25. Young, B. E., Young, K. R., & Josse, C. 2012 Vulnerabilidad de los Ecosistemas de los Andes Tropicales al Cambio Climático. *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*, 195.

26. http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/to_create_a_prediction_standard_error_map/0031000000nn000000.
27. <http://www.google.com/gobiernodeachupallas.gob.ec>.

XI. ANEXOS

ANEXO 01. Visitas al área de estudio



1. Poblado de Jubal.



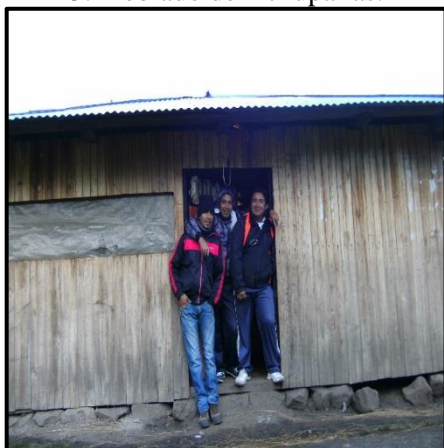
2. Poblado de Huangras.



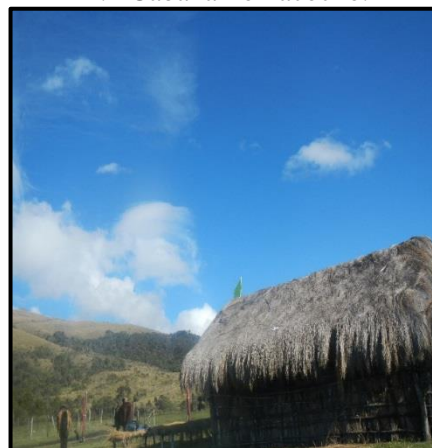
3. Poblado de Achupallas.



4. Cabaña Pomacocho.



5. Casa comunal Jubal.



6. Cabaña Huangras.

ANEXO 02. Medio de movilización



7. Lugar hasta donde llega la camioneta.



8. Camioneta de la UNACH.



9. Transportándonos por medio de caballos Jubal.



10. Movilizándonos por medio de caballos Huangras.



11. Atravesando el río Jubal por medio de caballos.

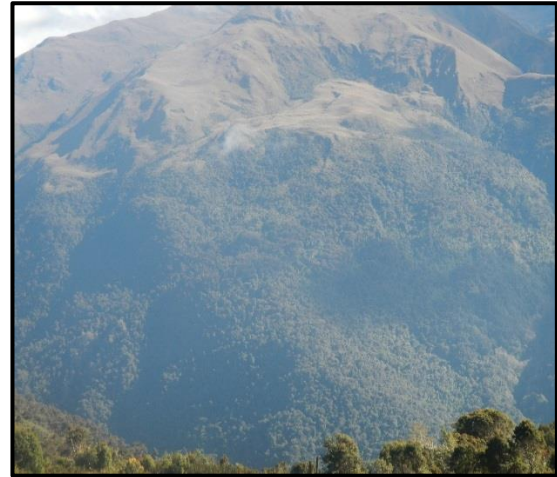


12. Caminando al lugar de recolección de las muestras.

ANEXO 03. Identificación del área de estudio



13. Páramo de Jubal.



14. Ecotono entre el páramo y bosque.



15. Bosque de Pomacocho.



16. Páramo de Mapahuiña.



17. Bosque de Huangras.



18. Plantación de pino.

ANEXO 03. Trabajo realizado en el área de estudio



19. Materiales utilizados.



20. Toma de datos con el GPS



21. Toma de muestras de suelo.



22. Lugar donde se va a tomar las muestras.



23. Limpieza del lugar donde se van a tomar las muestras.



24. Mapaguña lugar para tomar las muestras



25. Inventario Forestal.



26. Flora en bosque de Huangras.



27. Identificación de la flora.



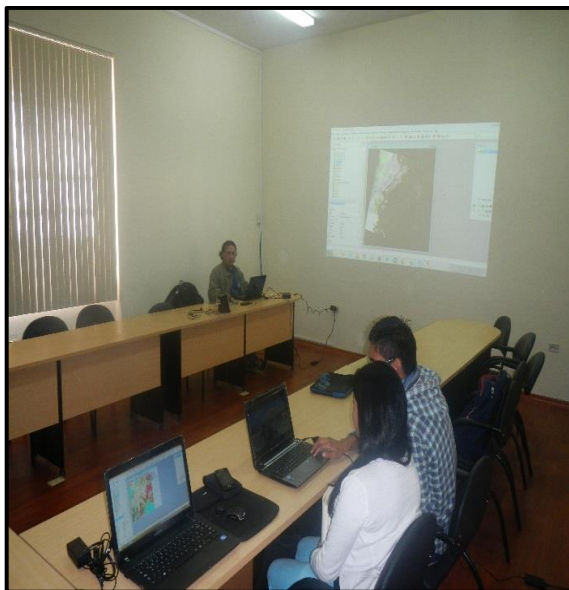
28. Flora del bosque de ceja andina.



29. Recolección de datos EMA_Jubal.



30. Estación meteorológica automatizada.

Anexos 05. Capacitaciones.

31. Capacitación sobre los SIG.



32. Capacitación sobre IDRISIS.