



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ESTIMACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO SOBRE EL SUELO, A
PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM+, EN EL
BOSQUE DE CEJA ANDINA DE LA COMUNIDAD INDÍGENA
HUANGRAS - ACHUPALLAS- CHIMBORAZO.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL**

AIDA FERNANDA SÁNCHEZ OCAÑA

RIOBAMBA-ECUADOR

2016

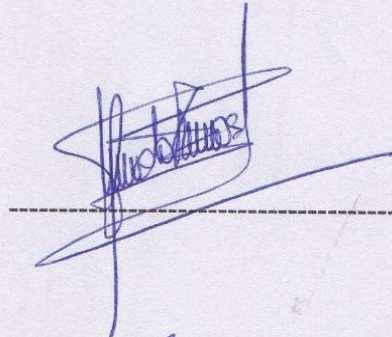
EL TRIBUNAL DE TESIS, CERTIFICA: que el trabajo de investigación titulado “ESTIMACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO SOBRE EL SUELO, A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM+, EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA DE LA COMUNIDAD INDÍGENA HUANGRAS - ACHUPALLAS- CHIMBORAZO” de responsabilidad de la señorita Aida Fernanda Sánchez Ocaña, ha sido prolijamente revisado, quedando autorizada su presentación.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

TRIBUNAL DE TESIS

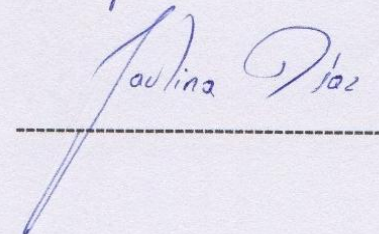
Riobamba, 25 de noviembre del 2015

Ing. Raúl Ramos
DIRECTOR



Aida Fernanda Sánchez Ocaña

Ing. Paulina Díaz
MIEMBRO



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

Riobamba, 17 de Mayo del 2016

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Aida Fernanda Sanchez Ocaña, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 03 de junio del 2016

Aida Fernanda Sanchez Ocaña

180466605-3



.....

AUTORÍA

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual del autor y del proyecto de Caracterización Biogeográfica de la UNACH conjuntamente con la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su amor infinito, por su bendición, por darme fuerza ante los problemas que se me presentaban y por haberme guiado por el buen camino para así culminar con mi objetivo.

A mi familia por su amor y comprensión, en especial a mis padres por sus consejos, esfuerzos y sacrificios que han hecho por mí para que este sueño se haga realidad.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería Forestal por haberme aceptado ser parte de ella, por darme la oportunidad de ser un profesional competitivo, así como también a los diferentes docentes por brindarme sus conocimientos y apoyo para mi formación, en especial a mi director Raúl Ramos y mi asesora Paulina Díaz que con sus conocimientos y experiencia hicieron posible este trabajo.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por permitirme hacer la tesis en su prestigiosa Institución.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico a mis papitos Ángel Sanchez y Mary Ocaña por su apoyo y amor incondicional, por siempre creer en mí y empujarme en cada sueño que tengo, por su esfuerzo y sacrificio que hizo posible este gran sueño.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
TABLA DE CONTENIDOS	iii
TABLA DE CUADROS	v
TABLA DE GRÁFICOS	vi
TABLA DE MAPAS	vii
I. ESTIMACIÓN DEL CARBONO ORGANICO SOBRE EL SUELO, A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM+, EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA DE LA COMUNIDAD INDÍGENA HUANGRAS - ACHUPALLAS- CHIMBORAZO.	1
II. INTRODUCCIÓN	1
A. JUSTIFICACIÓN	3
B. OBJETIVOS	4
1. Objetivo general	4
2. Objetivos específicos.....	4
C. HIPÓTESIS	4
1. Hipótesis Nula	4
2. Hipótesis Alternante	4
III. MARCO TEÓRICO	6
A. BOSQUE DE CEJA ANDINA	6
B. CARBONO ORGÁNICO	7
1. Ciclo global del carbono	7
C. BIOMASA	8
1. Origen de la biomasa.....	8
4. Métodos para estimar biomasa	10
5. Estimación de la biomasa a través de sensores remotos	11
6. Factor de expansión de biomasa.....	11
7. Modelos alométricas para la estimación de la biomasa	12
B. TELEDETECCIÓN	12
1. Elementos de la teledetección	13
C. IMÁGENES SATELITALES LANSAT	13
1. Lansat 7	14
D. GEODATA-BASE.....	15
E. MODELO K-nn DE INTERPOLACIÓN	16
1. Aplicación en forestal.....	17
F. PARROQUIA ACHUPALLAS	18

IV. MATERIALES Y MÉTODOS	19
A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR	19
1. Localización	19
2. Características Climáticas	19
3. Clasificación Ecológica.....	19
4. Ubicación geográfica.....	19
B. MATERIALES	21
1. Materiales de campo.....	21
2. Materiales de oficina	21
3. Materiales informáticos.....	21
C. METODOLOGÍA.....	22
1. Estimación del carbono orgánico sobre el suelo de los diferentes tipos de cobertura del bosque de ceja andina.....	22
2. Aplicar el modelo K-nn de interpolación para la modelación del contenido de carbono orgánico.....	25
3. Análisis estadístico.....	28
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
A. RESULTADOS.....	29
1. Establecimiento de parcelas	29
2. Inventario forestal.	30
3. Aplicación del modelo matemático K-nn.....	33
4. Estimación de la biomasa.....	36
5. Estimación de contenido de carbono.....	41
VI. CONCLUSIONES	47
VII. RECOMENDACIONES	48
VIII. RESUMEN	49
IX. SUMMARY	49
X. BIBLIOGRAFIA	51
XI. ANEXOS.....	55

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1.- Diámetro a la altura del pecho (DAP) registrado en bosque ceja andina de la comunidad indígena de Huangras, Alausí-Chimborazo.....	30
Cuadro 2.- Altura comercial total de árboles registrados en bosque ceja andina de la comunidad indígena de Huangras, Alausí-Chimborazo.....	32
Cuadro 3.- Resultados del indicador estadístico <i>Bias</i> , el cual selecciona el valor de k obteniendo valores cercanos a 1.	34
Cuadro 4.- Prueba de medias relacionadas para carbono sobre el suelo en diferentes coberturas de la comunidad indígena Huangras, Achupalla-Chimborazo.....	45

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.- Ilustración de la generación de biomasa dentro de un ecosistema.....	9
Gráfico 2.- Elementos del proceso de percepción remota o teledetección	13
Gráfico 3.- Ilustración grafica del funcionamiento de modelo K-nn	17
Gráfico 4.- Disposición de las parcelas dentro del conglomerado en el bosque de ceja andina.....	23
Gráfico 5.- Procedimiento para la ejecución de modelo K-nn, para la modelación de las cantidades de biomasa y carbono de la comunidad de Huangras.	26
Gráfico 6.- Clases diamétricas registradas en individuos del bosque ceja andina de la comunidad indígena de Huangras, Alausí-Chimborazo.....	31
Gráfico 7.- Número de individuos por familias encontrados dentro del bosque de la comunidad de Huangras.	33
Gráfico 8.- Mapa resultado de la interpolación de biomasa mediante el modelo K-nn.	35
Gráfico 9.- Contenido de biomasa por tipo de cobertura del suelo en la comunidad de Huangras, Achupallas-Chimborazo.....	41
Gráfico 10.- Contenido de carbono sobre el suelo en coberturas de la comunidad de Huangras	43
Gráfico 11.- Carbono aéreo capturado en los diferentes tipos de uso del suelo de la comunidad Huangras, Achupallas-Chimborazo (Duncan 5%).	44
Gráfico 12.- Estimación de carbono en las diferentes coberturas del suelo en las diferentes coberturas del suelo de la comunidad indígena Huangras (muestras de campo y modelo k-nn).....	46

TABLA DE MAPAS

Mapa 1.- Ubicación geográfica del trabajo de titulación.....	20
Mapa 2.- Ubicación de los conglomerados en la parroquia Achupallas.	29
Mapa 3.- Mapa de Biomasa de la Parroquia Achupallas.....	37
Mapa 4.- Mapa de biomasa de la comunidad de Huangras.....	39
Mapa 5.- Mapa de Carbono de la Comunidad de Huangras.....	42

I. ESTIMACIÓN DEL CARBONO ORGANICO SOBRE EL SUELO, A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 7 ETM+, EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA DE LA COMUNIDAD INDÍGENA HUANGRAS - ACHUPALLAS- CHIMBORAZO.

II. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que enfrenta la sociedad a nivel mundial es la pérdida progresiva de la cobertura arbórea originada por el avance de la frontera agrícola, industrial y poblacional tiene influencia local, regional y nacional, ocasionando la pérdida gradual de biomasa y en consecuencia la disminución de la captura de carbono (Gasparri, Parmuchi, & Bono, 2007). El estudio de la cantidad de carbono capturada y retenida por los bosques se ha convertido en un tema de extrema importancia y de debate para la gestión forestal organismos gubernamentales y sobre todo los comités de cambio climático, se han enfocado en la investigación de un resultado que permita atenuar las emisiones de gases de efecto invernadero (Domínguez, Cabrera, Aguirre & Calderón, 2009)

Los bosques juegan un papel muy importante en la absorción del carbono, a través del proceso biológico de fotosíntesis, desgraciadamente estos ecosistemas se han visto amenazados de una forma alarmante. Esto se puede mitigar con la inserción de sumideros de carbono, los cuales absorben el CO₂ concentrado en la atmosfera a través de plantaciones forestales con especies nativas y exóticas (Alvarez, 2008); para ello se ha visto la necesidad de conocer con certeza las cantidades de biomasa que conforman los bosques, ya que los resultados obtenidos nos sirve para estimar la cantidad de CO₂ que están fijando.

La capacidad de los bosques de mitigar el exceso de carbono últimamente es objeto de un gran debate, sobre todo a raíz de las recomendaciones incluidas en el Protocolo de Kioto y de las sucesivas reuniones de comités de expertos sobre el cambio climático. Los planes Forestales a nivel mundial identifican como una de las principales demandas de investigación forestal el estudio del efecto atenuador (sumidero) que los bosques y sistemas afines pueden tener, al secuestrar los excedentes de los gases de efecto invernadero, de un modo temporal en la biomasa y permanentemente en el suelo (Fernández, 2015).

El programa de pago de servicios ambientales en el Ecuador ha sido una iniciativa que se viene desarrollando aproximadamente 10 años (FAO, 2011) que busca incentivar económicamente el mantenimiento de ecosistemas arbóreos y de páramo, unos de los objetivos más importantes de este programa es conservar los sumideros de carbono los cuales ayudaran a la mitigación del cambio climático. La cantidad de carbono es la principal información que se debe conocer para la vinculación a este programa (MAE, 2014).

El proyecto de “Caracterización Biogeográfica de las Subcuencas Hídricas para la Adaptación al Cambio Climático Considerando el Paisaje Cultural Andino en la Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo” (Proyecto de Caracterización Biogeográfica) vienen trabajando desde el año 2012 en temas de cuantificación de carbono propuestos por el IPCC; con esta premisa se han realizado trabajos para determinar el contenido de carbono (Cargua , Rodríguez, Recalde, & Vinueza, 2014), de manera conjunta con herramientas GIS y teledetección (Damián , 2014), para lograr un desarrollo sostenible de los bosques en especial en la Comunidad de Huangras; la propuesta actual se encamina en elaborar proyectos REDD+, el cual considera que la biomasa arriba del suelo del estrato de árboles dominantes, concentra mayor cantidad de carbono en el fuste, por lo cual el trabajo de investigación desarrollado estimó el contenido de biomasa de dicho estrato.

El bosque de ceja andina de Huangras no forma parte el programa de pagos de servicio ambientales probablemente debido a la falta de información del principal servicio ecosistémico que brinda éste, como es la cantidad de carbono secuestrado en la biomasa, el presente trabajo de investigación adicionalmente generó mapas geográficos que ilustran las cantidades de biomasa y carbono, mediante el monitoreo de parcelas permanentes de evaluación donde se recolectan datos de variables de diámetro del fuste a la altura del pecho y altura de los árboles, indicadores que nos permiten estimar la biomasa; dicha información es esencial para el empleo del modelo interpolador k-nn el cual generaliza la información de las parcelas de campo a pixeles para la producción del mapa (UNACH, 2012).

A. JUSTIFICACIÓN

La biomasa forestal se ha convertido en un importante elemento de estudio a nivel mundial, debido a que constituye un rol importante en el ciclo global de carbono. Alrededor del 50% de la biomasa es carbono, conociéndose las estimaciones sobre la cantidad de dióxido de carbono que ingresa a la atmósfera cada vez que tenemos la pérdida en el ecosistema bosque, la falta de información que permita conocer el Stock de carbono del bosque Ceja Andina en la comunidad Huangras ha provocado que en dicha área no esté vinculada con programas de incentivos o Pago_ por servicios Ambientales (PSA).

Para la estimación de las cantidades de biomasa se realiza procedimientos de muestreo muchas veces costosos, además ocasionan una destrucción considerable del área de estudio, por este motivo frecuentemente se estima a partir de inventarios forestales empleando fórmulas de volumen. Al mismo tiempo la cantidad de biomasa podrá variar debido a factores climáticos, edáficos incluyendo actividades antrópicas. Por lo cual la utilización de imágenes satelitales es una alternativa apropiada para la estimación de biomasa aérea. La finalidad del presente trabajo es proporcionar información confiable y actualizada, a través de mapas geográficos del contenido de carbono en la biomasa área arbórea, dicha información servirá de apoyo para las entidades encargadas de la conservación de este tipo de ecosistemas, reduciendo el trabajo en campo y costos de los mismos,

B. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Estimar la captura de carbono orgánico sobre el suelo del bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras, a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+ y datos registrados en campo.

2. Objetivos específicos

Estimar la biomasa aérea en los diferentes tipos de cobertura del bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras, a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+, y datos registrados en campo.

Estimar el carbono orgánico sobre el suelo de los diferentes tipos de cobertura del bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras, a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+, y datos registrados en campo.

Aplicar el modelo K-nn de interpolación para la modelación del contenido de carbono orgánico sobre el suelo en el bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras.

C. HIPÓTESIS

1. Hipótesis Nula

El contenido de carbono orgánico sobre el suelo del bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras no varía entre sus diferentes tipos de cobertura.

El modelo de interpolación K-nn no presenta un buen ajuste para modelación del contenido de carbono orgánico sobre el suelo del bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras.

2. Hipótesis Alternante

El contenido de carbono orgánico sobre el suelo del bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras varía entre sus diferentes tipos de cobertura.

El modelo de interpolación K- nn presenta un buen ajuste para modelación del contenido de carbono orgánico sobre el suelo del bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras.

III. MARCO TEÓRICO

A. BOSQUE DE CEJA ANDINA

El bosque de ceja andina corresponde técnicamente al *Bosque Siempreverde Montano Alto*, se encuentra desde aproximadamente los 2900 a los 3400 m de altitud (Valencia et al., 1999). En el pasado, los bosques alto-andinos se extendían ininterrumpidamente desde Venezuela hasta Perú y Bolivia, separando el páramo de los bosques montanos bajos. Actualmente se estima que queda solamente el 5% de la distribución original de este tipo de bosque en Ecuador, Perú y Bolivia (Young & León, 2000).

En el Ecuador quedan muy pocos fragmentos de bosque inalterados de este tipo. En vista de las condiciones climáticas extremas encontradas a estas altitudes (baja temperatura, alta radiación, fuertes vientos), los bosques alto-andinos constituyen un hábitat de protección para especies de plantas y animales muy especializados como orquídeas, aves, y mamíferos pequeños (ECOPAR-IDRC, 2006).

El mismo autor indica que en el bosque ceja andina las especies no están distribuidas regularmente y difieren entre las regiones norte y sur del país, debido a la presencia de barreras físicas de migración, a las diferencias de los depósitos geológicos y al clima. Al analizar en detalle la composición Florística de este cinturón de vegetación encontramos que entre los 2500 y 3000 m existen 3911 especies y entre los 3000 y 3500 hay 2729 especies, y que la similitud florística entre estos dos rangos altitudinales es de 2103, es decir el 63% de especies.

Baquero et al., (2004) manifiesta que las especies vegetales típicas del “Bosque Siempreverde Montano Alto” son: *Siphocampylus giganteus*, *Croton elegans*, *Freziera verrucosa* y *Gynoxys chigualensis*. Por su parte, Valencia et al (1999) indica que las especies vegetales que se pueden encontrar en este bosque son: *Ilex* spp. (Aquifoliaceae), *Oreopanax* spp. (Araliaceae), *Gynoxys chigualensis*, *G. fuliginosa* y *G. spp.* (Asteraceae), *Berberis* sp. (Berberidaceae), *Tournefortia fuliginosa*, *T. scabrida* (Boraginaceae), *Buddleja incana*, *B. multiceps*, *B. pichinchensis* (Buddlejaceae), *Sipho campylus giganteus* (Campanulaceae), *Hedyosmum luteynii* y *H. spp.* (Chloranthaceae), *Dixonia* sp. (Dixoniaceae), *Vallea stipularis* (Elaeocarpaceae), *Axinaea quitensis*, *Brachyotum gracilescens*, *B. ledifolium* y *B. spp.*, *Miconia barclayana* y *M. spp.*

(Melastomataceae), *Piper* spp. (Piperaceae), *Hesperomeles lanuginosa* (Rosaceae). A mayor altitud, en ceja andina, son más frecuentes los arbustos entre ellos (*Hypericum laricifolium*, *Brachyotum* spp. y *Lupinus* spp.).

B. CARBONO ORGÁNICO

1. Ciclo global del carbono

Los ecosistemas forestales son un reservorio considerable de carbono y contienen más del 80% del carbono global de la superficie, sin embargo, cuando los bosques están maduros no ocurre asimilación neta de carbono, debido a que se encuentran saturados (González, 2008).

El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos interconectados: la atmósfera, la biosfera terrestre incluyendo los sistemas de aguas frescas, los océanos y los sedimentos, estos depósitos son fuentes que pueden liberar el carbono, o sumideros que son los que absorben carbono de otra parte del ciclo; los mecanismos principales del intercambio del carbono son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Alvarez, 2008).

En general, las plantas absorben el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis y este compone las materias primas como la glucosa, que participa en procesos fenológicos para la formación de componentes del árbol. Estos a su vez proporcionan elementos necesarios para su desarrollo y el crecimiento en altura, diámetro, área basal y diámetro de copa principalmente. El carbono se deposita en follaje, tallos, y sistemas radiculares y, principalmente, en el tejido leñoso de los troncos y ramas principales de los árboles, estos componentes aportan materia orgánica al suelo y al degradarse dan origen al humus, que a su vez contiene CO₂, por esta razón los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico (González, 2008).

Los árboles actúan como sumideros de carbono y liberan oxígeno O₂, reteniendo el carbono en la biomasa, principalmente en la madera que contiene un 48% de lignina y celulosa; para almacenar una tonelada de carbono es necesario producir 2.2 toneladas de madera, al quemarse la madera el proceso se revierte, usando el O₂ del aire y el carbono almacenado en la madera para liberar al final CO₂ (Sinfuentes, 2015), el mismo autor indica que los bosques pueden ser sumideros pero también fuentes de carbono, esto dependerá de cómo y con qué propósito sean manejados y cómo sean utilizados sus productos.

2. Cuantificación de biomasa y carbono en bosques naturales

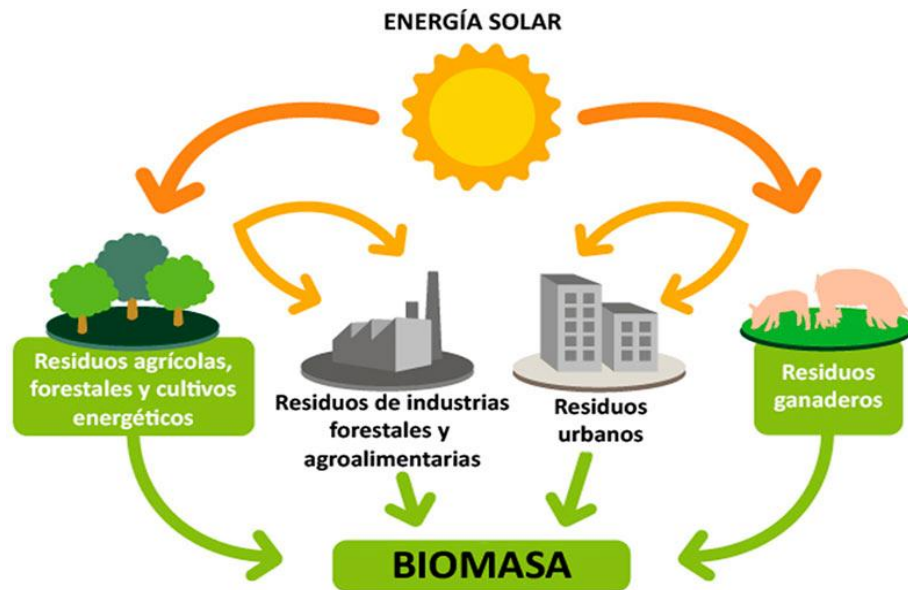
La estimación de la biomasa en los bosques es un tema relevante en relación con el problema del calentamiento global del planeta, en el ámbito internacional se han iniciado estrategias para la mitigación del calentamiento global como las negociaciones de créditos de carbono (González, 2008). Para hacer realidad estas estrategias en proyectos forestales es necesario medir y monitorear el carbono almacenado, especialmente en el compartimiento de biomasa arriba del suelo donde las ecuaciones de biomasa son las más utilizadas para estimar la captura de carbono en bosques, y como consecuencia se adoptan en la mayoría de las investigaciones relacionadas con cuantificación de biomasa en los bosques naturales (Agudelo, 2010). En investigaciones realizadas por Brown (1997) se estimó que la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, secundarios y plantaciones forestales, casi en su totalidad asume el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% para todas las especies en general.

C. BIOMASA

1. Origen de la biomasa

Biomasa es un conjunto heterogéneo de materia orgánica que se produce en las plantas verdes a través de un proceso biológico llamado fotosíntesis gracias a este producen moléculas de alto contenido energético bajo la forma de energía química (Menéndez, 1997). En la fotosíntesis, las plantas verdes transforman productos minerales, como son el dióxido de carbono y el agua, en sustancias orgánicas y oxígeno por acción de la radiación solar (gráfico 1), la materia orgánica obtenida posee un alto valor energético asociado a su estructura interna y se denomina biomasa vegetal (Fernández, 2015).

Gráfico 1.- Ilustración de la generación de biomasa dentro de un ecosistema.



Nota: (Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central, 2002)

FOCER, (2012) indica que la clorofila presente en las plantas verdes es la sustancia responsable de la absorción de la luz que se necesita en la fotosíntesis pero no toda la radiación solar que incide sobre la planta es absorbida por ésta, ya que aproximadamente el 30% es reflejada. El rendimiento en el proceso de generación de biomasa a partir de la energía solar es muy bajo, entre 3 y el 5% sin embargo, a pesar del bajo rendimiento, la cantidad de plantas terrestres y acuáticas repartidas por la tierra, junto con la de CO₂ en la atmósfera y la radiación solar que llega a estas plantas, permiten una producción anual de biomasa vegetal cifrada en $1,7 \times 10^{11}$ toneladas (Fernández, 2015).

2. Biomasa forestal

Las plantas verdes foto sintetizan para obtener los elementos nutritivos existentes en el medio, utilizando la energía solar, el resultado de la fotosíntesis es la producción primaria, la cual es incorporada a los tejidos (Fernández, 2015). La biomasa forestal se define como el peso de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo misma que es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco, a partir de la biomasa forestal se puede calcular la concentración de carbono en la vegetación aproximadamente el 50% de la biomasa está formada por carbono (FOCER, 2002).

En términos porcentuales, el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, representando entre 55 y 77% del total: luego están las ramas con 5 a 37%; y por último las hojas y la corteza del fuste entre 1 y 15% y 4 a 16% respectivamente, la biomasa de la mayoría de los componentes de los árboles aumenta con la edad del rodal (Castro, 2009). Una mayor productividad en un sitio generará una mayor producción de biomasa: esta biomasa vegetal contiene cantidades variables de los elementos nutritivos que son utilizados para el crecimiento de los árboles (Agudelo, 2010).

4. Métodos para estimar biomasa

a. Método directo o destructivo

Afirma que el método destructivo y consiste en medir los parámetros básicos de un árbol entre los más importantes el diámetro a la altura del pecho DAP, altura total, diámetro de copa y longitud de copa; derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes tales como el fuste, ramas y follaje (González, 2008). Adicionalmente, el método permite formular relaciones funcionales entre la biomasa y las variables del rodal de fácil medición como el diámetro a la altura del pecho, altura comercial, altura total y otras, este método proporciona un valor exacto de la biomasa ya que consiste en destruir los árboles, para calcular su peso seco o biomasa (López, 2010).

b. Método indirecto

Este método es utilizado cuando existen árboles de grandes dimensiones y en casos en los que se requiere conocer el carbono de un bosque sin necesidad de derribar los árboles. En éste método se cubica y estima el volumen de las trozas con fórmulas dendrométricas; el volumen total del fuste o de las ramas gruesas se obtiene con la suma de estos volúmenes parciales (López, 2010). Se toman muestras de madera del componente del árbol y se pesan en el campo, luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad específica verde y la gravedad específica seca o densidad básica en gramos por centímetro cúbico (González, 2008).

c. Método tradicional

Este método, se basa en los datos del volumen comercial (a partir de información básica de inventarios), la densidad básica de la madera y el factor de expansión de la biomasa (FEB) y puede aplicarse en los bosques densos, secundarios o maduros correspondiente a climas

húmedos y semiáridos (Brown, 1997). La biomasa se estima a través de siguiente ecuación general reportada por Álvarez (2008).

$$BA = VC * D * FEB$$

Donde:

BA = Biomasa aérea ($t \text{ ha}^{-1}$)

VC = Volumen comercial (m^3)

D = Densidad básica de la madera (t/m^3)

FEB = Factor de expansión de la biomasa.

5. Estimación de la biomasa a través de sensores remotos

Las imágenes satelitales registran el comportamiento de la superficie terrestre a través de diferentes regiones del espectro electromagnético, proporcionando una gran cantidad de 15 datos espacialmente contiguos entre si y distribuidos a lo largo de extensas áreas geográficas. Estas propiedades les confieren la capacidad de detectar, reconocer e identificar coberturas de suelo, así como medir numerosas propiedades biofísicas y bioquímicas asociadas a ellas. Los sensores remotos pueden proveer de datos que permitan responder a las interrogantes e incertidumbres respecto al ciclo dinámico de la biomasa, ya que posibilitan la evaluación frecuente de cambios de cobertura boscosa en grandes extensiones (Alva & Huarez, 2012). Mediante el uso de sensores remotos es posible obtener información de las propiedades del bosque y hasta cierto nivel es posible separar bosque en regeneración de bosques maduros (Alvarez, 2008).

6. Factor de expansión de biomasa

El factor de expansión de biomasa (FEB) expande el volumen venable a volumen total de biomasa aérea para justificar los componentes no venables del árbol (IPCC, 2006). El FEB es la relación que existe entre la biomasa del fuste y la biomasa total y se lo utiliza cuando no existe la información detallada de un inventario forestal con las distintas variables que caracterizan a cada árbol. La biomasa húmeda total se obtiene multiplicando este cociente por el volumen del fuste, y esta biomasa se multiplica por la densidad específica promedio de las especies para obtener la biomasa seca (Domínguez et al., 2009).

Diversos estudios han generado relaciones alométricas con FEB que varían de 1.3 hasta 2.8 dependiendo de la especie, la edad y el DAP promedio del rodal, estas diferencias en valores

promedios pueden estar relacionadas con la variabilidad de las especies, densidad de las masas arboladas, o bien calculadas en plantaciones forestales (Alvarez, 2008). Estos resultados pueden variar según el grado de intervención del bosque; existe un menor FEB en bosques cerrados y menos alterados y mayor en bosques abiertos y con mayor alteración (González, 2008).

7. Modelos alométricas para la estimación de la biomasa

Según Álvarez, (2008) la medición de la cantidad de biomasa aérea en cualquier componente de un ecosistema requiere un análisis destructivo directo o estimaciones indirectas del material vegetal para hacer las inferencias respectivas; el segundo caso es más práctico cuando se desea estimar la biomasa aérea de los árboles, para ello, se debe contar con modelos que estimen la biomasa total con base en el tamaño y dimensiones de los arboles; es decir, modelos matemáticos basados en las relaciones alométricas que ocurren entre los órganos de un individuo. Estos modelos tienen mucha aplicación en el campo forestal, porque presentan mucha flexibilidad en su uso; las variables más usadas son: el diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro a la altura del tocón (DAT), altura comercial (hc), altura total (ht) y combinaciones de ellas (Fernández, 2015).

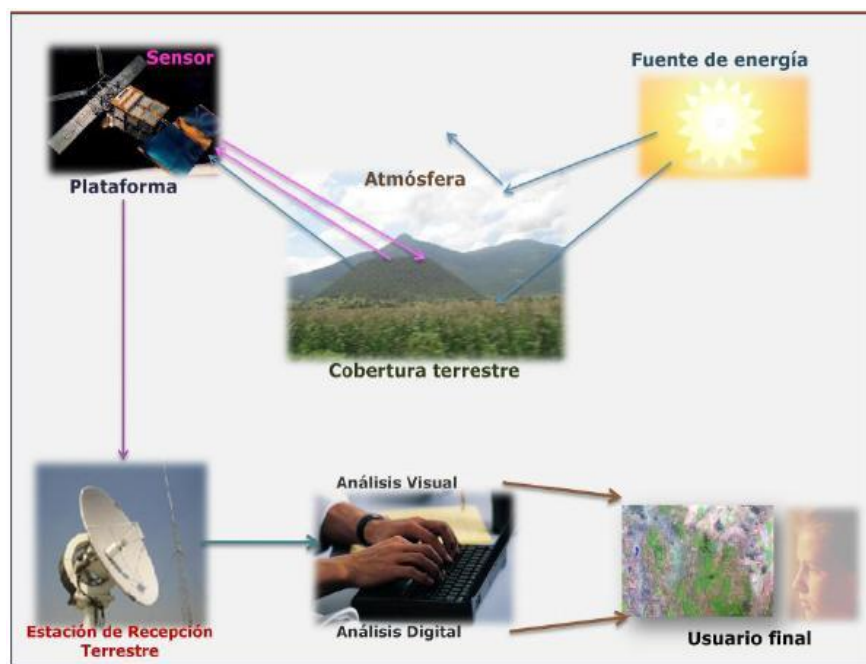
B. TELEDETECCIÓN

Se define como el conjunto de conocimientos y técnicas utilizados para determinar características físicas y biológicas de objetos mediante mediciones a distancia, sin el contacto material con los mismos (Alva & Huarez, 2012). La percepción remota no engloba sólo los procesos que permiten obtener una imaginación desde el aire o el espacio, sino también su posterior tratamiento en el contexto de una determinada aplicación, y se refiere no sólo a la captación de datos desde el aire o desde el espacio sino también a su posterior tratamiento. la teledetección se describe como la técnica de adquisición y tratamiento de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, en virtud de la interacción electromagnética existente entre la tierra y el sensor, siendo la fuente de radiación ya sea proveniente del sol (teledetección pasiva) o del propio sensor es decir teledetección activa (INEGI, 2015).

1. Elementos de la teledetección

La percepción remota o teledetección involucra varios elementos como la fuente de energía o iluminación que provea energía electromagnética al objeto de interés, la atmósfera, ya que la energía interactúa con este elemento al viajar del sensor al objeto y viceversa, objetos, dependiendo de sus propiedades es la interacción o respuesta a la energía recibida y reflejada (gráfico 2. Sensor remoto, que recoge y graba la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objeto y la atmósfera (INEGI, 2014). Este instrumento se monta en una plataforma llamada satélite. Por otro lado (Alva & Huarez, 2012) indica que la energía grabada por el sensor se transmite a una estación receptora, en donde los datos se procesan y son convertidos a imágenes digitales. Interpretación y análisis, consiste en interpretar la imagen para extraer la información de los objetos captados, el usuario final que le da una aplicación a la información extraída de las imágenes para un mejor conocimiento de los objetos de interés (Monterroso, 2015).

Gráfico 2.- Elementos del proceso de percepción remota o teledetección



Nota: (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014)

C. IMÁGENES SATELITALES LANSAT

Gracias a los brillantes resultados que proporcionaron las primeras fotografías espaciales, la agencia espacial norteamericana (NASA) diseñó a finales de los años 60 el primer proyecto

dedicado exclusivamente a la observación de los recursos terrestres, de hecho, fueron las misiones con destino a la luna Apolo quien inspiró creación. Fruto de estos trabajos fue la puesta en órbita del primer satélite de la serie ERTS (Earth Resource Technology Satellite) el 23 de Julio de 1972. Esta familia de satélites fue rebautizada como Landsat a partir del segundo lanzamiento en 1975 (Varela, 2015).

Las primeras misiones de satélite en la serie Landsat duraron períodos relativamente cortos de tiempo. Ellos eran seguramente cortos al ser comparado con el satélite de observación de Tierra más largo de operaciones Landsat 5, de hecho, esta misión duró tanto tiempo que llegó al Libro Guinness de Récords al estar en operación durante 28 años y 10 meses (Universidad Nacional de la Pampa, 2013).

Entre los satélites de recursos, el programa Landsat puede considerarse el más fructífero puesto que ha proporcionado datos multiespectrales de alta resolución a una amplia gama de usuarios durante más de 25 años, lo que representa el registro más largo de información sobre la superficie terrestre obtenido de forma global y repetitiva desde el espacio (Varela, 2015).

Los satélites LANDSAT llevan a bordo diferentes instrumentos, su evolución buscó siempre captar más información de la superficie terrestre, con mayor precisión y detalle, de ahí las mejoras radiométricas, geométricas y espaciales que se incorporaron a los sensores pasivos; el primero, conocido como Multispectral Scanner Sensor (MSS), seguido de Thematic Mapper (TM) que tiene mayor sensibilidad radiométrica que su antecesor y por último, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) que entre sus mejoras técnicas enfatiza una banda espectral (pancromática) con resolución de 15 metros (INEGI, 2015).

1. Lansat 7

Según Varela (2015), se inició el proyecto Landsat 7 bajo un programa en el que participan 3 agencias: la NASA es responsable del desarrollo y lanzamiento del satélite y del sector de tierra, la NOAA (La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de E.U.A) se encarga de su operación y mantenimiento durante todo el tiempo de vida del satélite, y la USGS recoge, procesa y distribuye los datos y se encarga de mantener el archivo de datos. Acotando a los antecedentes (Universidad Nacional de la Pampa, 2013) indica que Landsat 7 fue lanzado por el estado con éxito el 15 de abril de 1999, desde California. El instrumento de observación de la Tierra Landsat 7, el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), reproduce las capacidades de los instrumentos Thematic Mapper con gran éxito sobre los del Landsat 4 y 5. La ETM+

también incluye características adicionales que lo convierten en un instrumento más versátil y eficiente para estudios del cambio global, el seguimiento y evaluación de cobertura del suelo y la cartografía aérea que sus antepasados de diseño (INEGI, 2015).

Landsat 7 es el más calibrado con respecto a la precisión de observación terrestre de satélite, es decir, sus mediciones son extremadamente precisas en comparación con las mismas mediciones efectuadas sobre el terreno, el sensor del Landsat 7 ha sido llamado "el más estable, mejor instrumento de observación de la Tierra siempre colocado en órbita". Los datos se adquieren de forma sistemática para construir y actualizar periódicamente un archivo global, prácticamente imágenes de la superficie terrestre de la Tierra sin nubes (INEGI, 2015). Aproximadamente una cuarta parte de la superficie terrestre de la Tierra se crea una imagen cada 16 días, utilizando un escenario de planificación que hace hincapié en los cambios estacionales en la vegetación. Además, como los cambios ambientales se producen en la superficie de la Tierra, es muy probable que los últimos datos anteriores ya existan y puedan ser rápidamente recuperados para comparar con los datos nuevamente adquiridos (Universidad Nacional de la Pampa, 2013).

Datos LANDSAT ha sido utilizada por el gobierno, comercial, industrial, civil y comunidades educativas en todo el mundo, los datos se utilizan para soportar una amplia gama de aplicaciones en áreas tales como la investigación mundial sobre el cambio climático, la agricultura, la silvicultura, la minería, la cubierta vegetal y la detección de cambios (Alva & Huaréz, 2012). Las imágenes se pueden utilizar para trazar los cambios antropogénicos y naturales en la Tierra durante periodos de varios meses a dos décadas (INEGI, 2015).

D. GEODATA-BASE

La geodatabase es una colección de datasets (conjuntos de elementos donde se almacenen grupos de datos correspondientes a un mismo tema) 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 ArcGIS. Las geodatabases constituyen un formato propio de ArcGIS de gran utilidad, al poder aglutinar dentro de un mismo archivo elementos de todo tipo: puntos, líneas, polígonos y elementos raster (Raster Catalog y Raster Dataset). La finalidad principal, es la de almacenar la información de una forma ordenada, por su tipología y por la temática que alberga (ISRE, 2015).

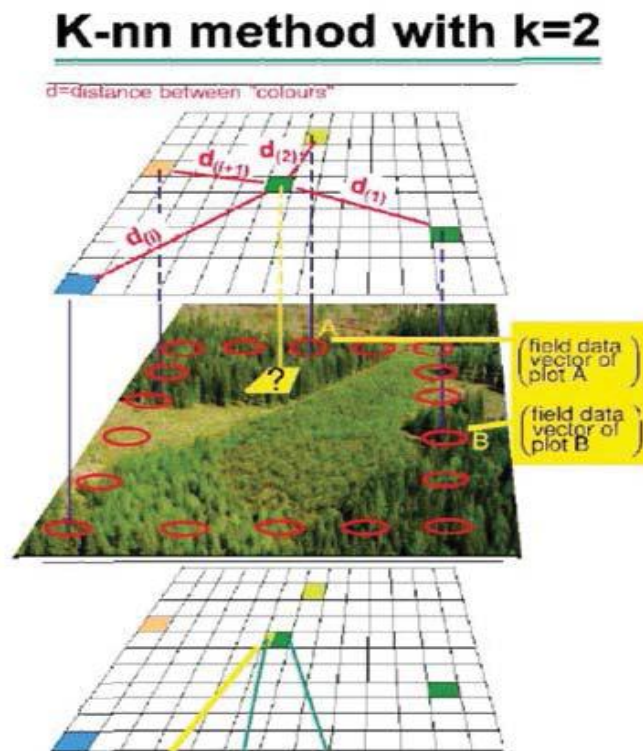
E. MODELO K-nn DE INTERPOLACIÓN

El modelo de interpolación tiene como función el Análisis de vecino más próximo, es un método de clasificación de casos basado en su similitud con otros casos. En aprendizaje de máquinas, se ha desarrollado como una forma de reconocer patrones de datos sin requerir una coincidencia exacta con patrones o casos almacenados, los casos parecidos están próximos y los que no lo son están alejados entre sí, además, la distancia entre dos casos es una medida de sus diferencias los casos próximos entre sí se denominan “vecinos” (UNACH, 2012). Cuando se presenta un nuevo caso (reserva), se calcula su distancia desde cada caso del modelo. Las clasificaciones de los casos más parecidos, los vecinos más próximos, se cuadran y el nuevo caso se incluye en la categoría que contiene el mayor número de vecinos más próximos (Netezza, 2015).

Para correr el algoritmo de K-nn se necesita como insumos: el mosaico de la imagen satelital con sus respectivas 7 bandas, las coordenadas de las parcelas y su respectivo valor de carbono en toneladas por hectárea, el funcionamiento del algoritmo k-nn combina los datos de campo con los niveles digitales de una imagen, al ejecutar el algoritmo primero se calcula la distancia euclidiana desde el píxel objetivo a todas las parcelas de la muestra utilizando los datos espectrales (gráfico 4); luego ordena las distancias de manera ascendente, selecciona las k primeras muestras de la lista, y por último estima las variables desconocidas como un promedio ponderado inversamente al cuadrado de la distancia espectral de las k muestras seleccionadas (Cisneros , Moncayo, Veas, Lima, & Carrión, FAO, 2014).

El éxito del método K-nn se basa en el hecho de que hace que sea posible predecir simultáneamente todas las variables (parámetros) del inventario para cada píxel o para cada unidad del área de interés. El método también conserva mejor la estructura de covarianza de las variables de campo que los métodos en que se realiza la predicción por separado para cada variable, el método produce por tanto estadísticas de unidades arbitrarias y mapas píxel a píxel (UNACH, 2012).

Gráfico 3.- Ilustración grafica del funcionamiento de modelo K-nn



Nota: (Cisneros et al., 2014).

1. Aplicación en forestal

Señala que el método K-nn se emplea comúnmente en los inventarios forestales que utilizan imágenes de satélite e información de campo. Este método, se utiliza para generalizar la información de las parcelas de campo a píxeles para la producción de mapas y estimación de área local. El método supone que en bosque similar existe dentro de un área de referencia una grande cubierta por una imagen de satélite y que las respuestas radiométricas espectrales de los píxeles son sólo dependientes del estado del bosque (Cisneros et al., 2014). El éxito del método K-nn se basa en el hecho de que hace que sea posible predecir simultáneamente todas las variables (parámetros) del inventario para cada píxel o para cada unidad del área de interés. El método también conserva mejor la estructura de covarianza de las variables de campo que los métodos en que se realiza la predicción por separado para cada variable. El método produce por tanto estadísticas de unidades arbitrarias y mapas píxel a píxel (UNACH, 2012).

F. PARROQUIA ACHUPALLAS

La parroquia Achupallas tiene Su origen “AHU” era el nombre del príncipe consorte de una agrupación incásica y “Palla”, la compañera o princesa de este sector, de este manera queda establecido el nombre de *Achupallas*. Está ubicada en el cantón Alausí provincia de Chimborazo, la extensión de Norte a Sur posee una longitud de 70 Km. y de Este a Oeste 150 Km aproximadamente, con una población de 12.861 habitantes. Su principal actividad económica es la agricultura, cultivando productos como papas, habas, mellocos, cebada, trigo entre otros. La Parroquia cuenta con algunas comunidades: Shumyd, Letrapungo, Collaloma, Pucará, San Antonio, Shanglay, San Francisco de Shangay, Huangras, Jubal y Pomacocha. El 90% de su población está constituida por raza indígena, la misma que habita en las montañas y páramos, mientras que el 10% restante se ubica en los centros poblados (ISRASOL, 2011)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

1. Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en la Comunidad de Huangras que tiene una superficie de 11753,371 ha.

2. Características Climáticas

- Temperatura promedio anual: 8.3 °C
- Humedad relativa: 83.6 % promedio anual.
- Precipitación promedio anual: 700-1800 mm

Nota: Estación Meteorológica Jubal de la UNACH 2013 (Promedios de 4 años).

3. Clasificación Ecológica

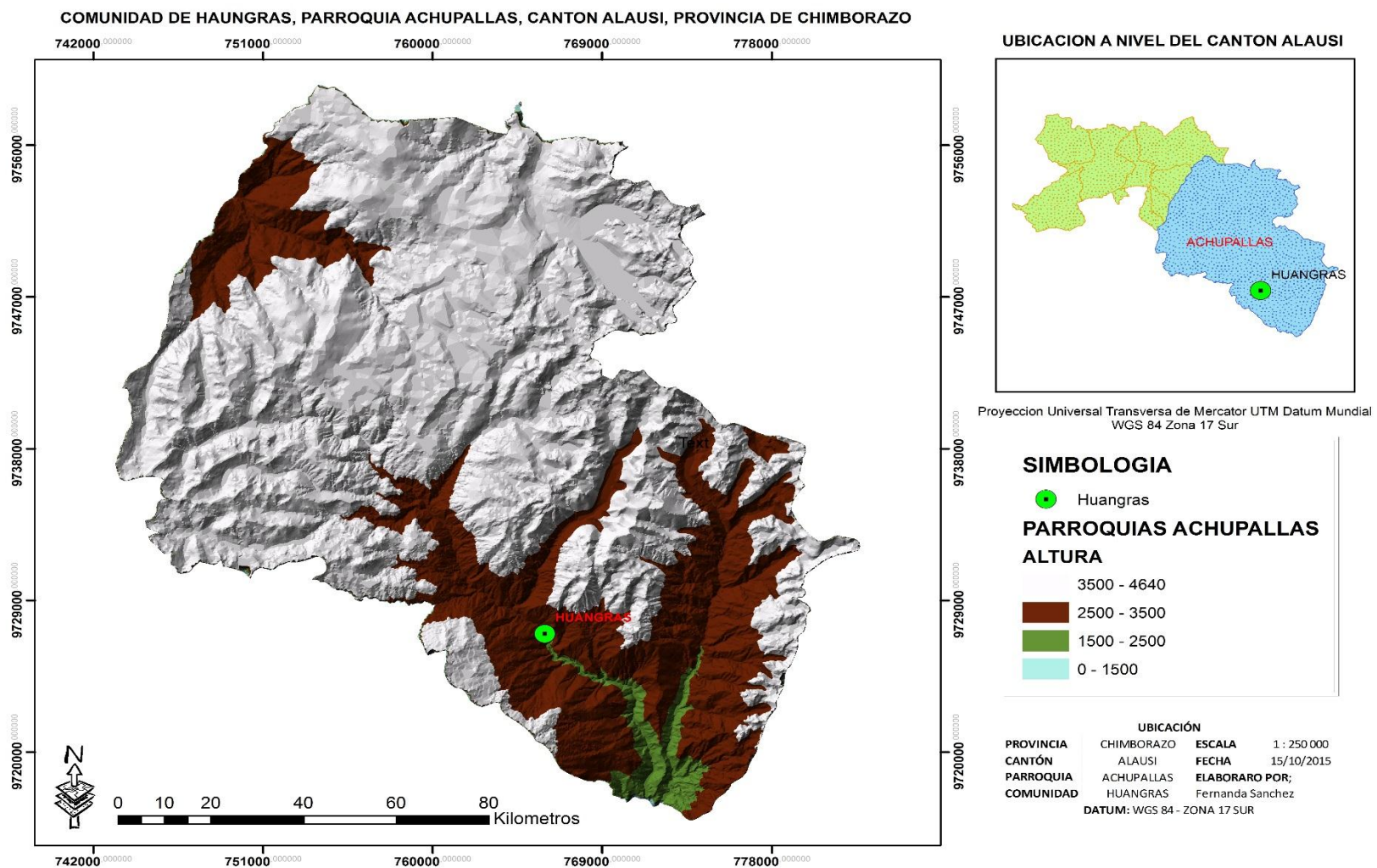
Según el Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2012) la parroquia Achupallas tiene la siguiente clasificación ecológica: Bosque siempre verde montano alto y montano alto superior de páramo con altitudes que van de 3200 hasta 3900-4100 m (N) 2900-3300 m (S).

4. Ubicación geográfica

Coordenadas Proyectadas: UTM ZONA 17 Sur / Datum WGS 84

X: 748063 E - **Y:** 9746940 N

Mapa 1.- Ubicación geográfica del trabajo de titulación



Fuente: Sánchez F.

B. MATERIALES

1. Materiales de campo

GPS, balizas, cinta métrica, cinta diamétrica, clinómetro, libreta de campo, lápiz, formulario de campo, machete, cámara fotográfica, brújula.

2. Materiales de oficina

Computador, calculadora, lápiz, imágenes Lansat 7.

3. Materiales informáticos

Arcgis, Ubuntu, Excel, InfoStat, Word, R, Power point.

C. METODOLOGÍA

La metodología para el proceso de trabajo de titulación se subdividió en cinco grandes fases: trabajo en campo que consiste en la determinación de parcelas permanentes de monitoreo, cálculo de la cantidad de biomasa en base a los datos recolectados en campo, pre-procesamiento de la imagen de satélite Landsat 7, análisis de correlación de datos de campo vs datos espectrales, estimación de la cantidad de biomasa mediante el modelo de interpolación K-nn, y la validación de los resultados obtenidos a través de un método estadístico. Para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación se procedió a realizar la siguiente metodología:

1. Estimación del carbono orgánico sobre el suelo de los diferentes tipos de cobertura del bosque de ceja andina.

a. Selección del lugar de las parcelas.

En el software Arcgis se visualizaron las parcelas de monitoreo ya existentes, para seleccionar el área de estudio de las parcelas, las cuales se obtuvieron en una selección al azar mediante una grilla. Mediante un shape de puntos se ilustró las tres parcelas que formaron parte del conglomerado de complementación. Una vez obtenidas las coordenadas de ubicación de las parcelas se transportaron los datos a un GPS, el cual nos ayudó a llegar al lugar de estudio.

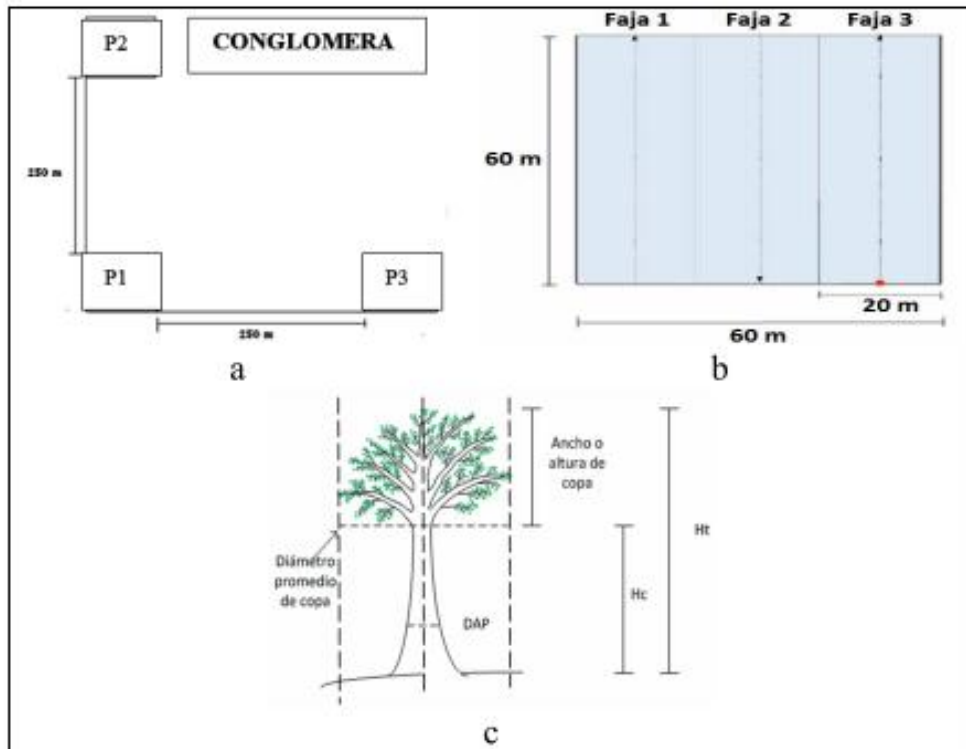
b. Establecimiento de las parcelas

La metodología que se aplicó en esta investigación fue la publicada en el Manual de campo para la Evaluación Nacional Forestal (ENF), documento preparado por el Ministerio de Ambiente de Ecuador y, el programa nacional conjunto ONU-REDD+ bajo la cooperación del programa “Manejo Forestal ante el cambio climático” FAO y el componente ONU-REDD FAO (MAE, 2011).

- 1) En el campo se ubicaron las 3 parcelas en el bosque. Estas parcelas se georreferenciaron con un receptor GPS, para propiciar la correspondencia espacial de la información obtenida del sitio de muestro y la reflectancia de la imagen del satélite.
- 2) Con la ayuda de una brújula se ubicó el norte, sur, este y oeste del punto de referencia del conglomerado.
- 3) Las parcelas fueron ubicadas dentro del conglomerado en forma de L, se inició del lado derecho después en el izquierdo para terminar con el superior, con una medida de 60 x 60 m

de las cuales se dividió en 3 fajas de 20 x 60 m (gráfico 5), la distancia entre parcelas fue de 250m (Cueva, 2011).

Gráfico 4.- Disposición de las parcelas dentro del conglomerado en el bosque de ceja andina.



Nota: (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2011)

4) Se realizó la delimitación de cada parcela mediante equipos de medición, GPS y cintas métricas, las cuales se definieron con una baliza que se colocó cada 10 m (MAE, 2011)

c. Toma de datos de campo

Ya realizadas las parcelas se identificaron los árboles que están dentro de ella, tomando en cuenta los árboles con un DAP mayor a 10cm en la primera faja (Cueva, 2011).

1) Para medir el diámetro del árbol se utilizó una cinta diamétrica la cual se colocó a una altura de 1,3m desde el piso, el registro se lo tomó en centímetros con un solo decimal, además se registró características del árbol como la bifurcación de los mismos, nombre común y científico de cada uno.

2) Las alturas del árbol (total y comercial) en metros, se estimó por el método del clinómetro de lectura directa. Considerando una distancia de 20 m de la base del árbol, se realizaron lecturas a la bifurcación y al ápice del árbol (MAE, 2011).

d. Estimación de biomasa

La metodología que se realizó para la estimación de la biomasa fue la propuesta por Álvarez, (2008) y UNACH (2011) en el Proyecto “Caracterización Biogeográfica”. Una vez obtenidos los datos de biomasa de cada árbol se sumó para obtener estimaciones a nivel de parcela y finalmente mediante extrapolaciones se estimó por unidad de superficie.

1) Se creó un registro en el software Office Excel con los siguientes datos: número de parcela, faja y árbol, presencia o ausencia de bifurcaciones, nombre común, nombre científico, DAP, altura comercial, altura total y densidad básica de la madera.

2) Con los datos anteriores se realizó el cálculo de: el DAP transformado a metros, área basal, volumen total, volumen comercial, densidad y la biomasa aérea que se obtuvo de la multiplicación del volumen comercial y densidad.

3) Una vez obtenidos todos estos datos, se utilizó factores de expansión, para fuste + copa 2,8, este factor definido por Cargua & Rodríguez (2013) el estudio titulado: “Elaboración de un inventario forestal multipropósito con énfasis en el contenido de carbono de las diferentes clases de uso de tierra.”

e. Estimación de carbono

Una vez obtenidos los valores de biomasa aérea de las 9 parcelas de estudio, cada valor se lo multiplico por el factor 0,5 en razón a que estudios realizados por Brown (1997), determinó que la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, secundarios y plantaciones forestales, casi en su totalidad asume el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% para todas las especies en general.

f. Construcción de una geodatabase.

En el programa Arcgis se construyó una geodatabase en la cual se recopilieron todos los datos e imágenes requeridas para generar el mapa, Se creó una geodata base a partir de los puntos tomados en el campo y los datos de las parcelas.

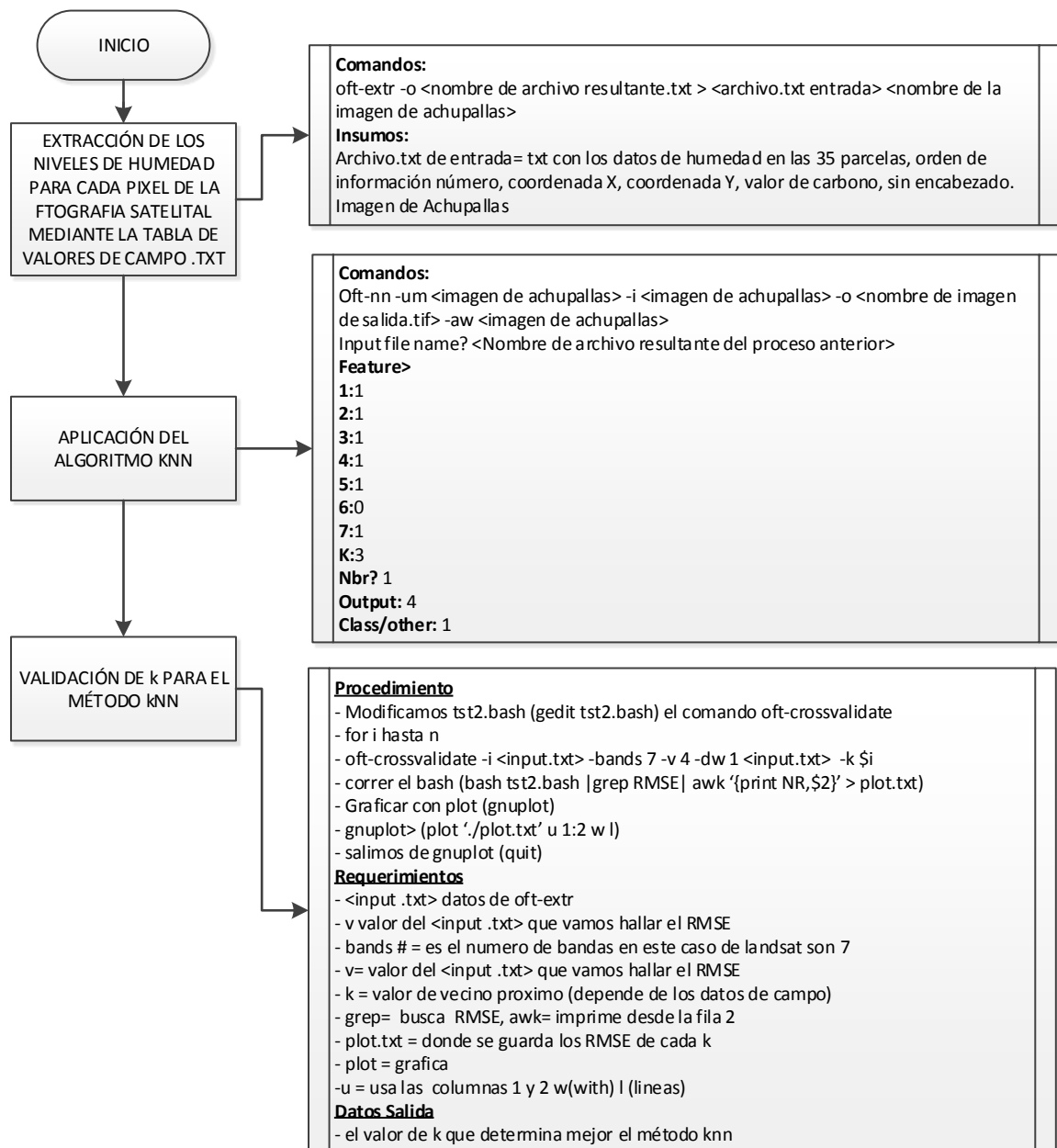
2. Aplicar el modelo K-nn de interpolación para la modelación del contenido de carbono orgánico.

a. Aplicación del modelo KNN de interpolación.

La metodología utilizada para modelar el carbono sobre el suelo de bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras fue la propuesta por MAE (2013) y que la UNACH utilizó en el Proyecto Caracterización Biogeográfica y se detalla a continuación:

- 1) Se utilizó el algoritmo K-nearest neighbors (K-nn) implementado en Open Foris.
 - 2) Para correr el algoritmo de K-nn se requirió como insumos: el mosaico de la imagen LANSAT con sus respectivas bandas, las coordenadas de las parcelas y su respectivo valor de biomasa en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$).
 - 3) Se generó un archivo en formato txt con la información: coordenada sur y norte y el valor de biomasa de las 35 parcelas para correlacionar con los píxeles de las imágenes satelitales.
 - 4) Se utilizó el comando *oft-extr* que extrae los valores de los píxeles en una imagen.
- A continuación los comandos que se ejecutaron son:

Gráfico 5.- Procedimiento para la ejecución de modelo K-nn, para la modelación de las cantidades de biomasa y carbono de la comunidad de Huangras.



Nota: (Universidad Nacional de Chimborazo, 2012)

Donde:

nn -um = extrae las imágenes de entrada

-o output = Nombre del archivo de salida .txt

Aw = los pesos se asignan a las bandas de la imagen de entrada.

Una vez que damos intro el comando pide la siguiente información:

Nombre del archivo de salida del proceso oft-extr, a continuación se asigna un valor a cada banda en el cual pondremos 1 excepto en la banda 6 que le asignamos un valor de 0.

Number of k? = Se debe hacer un análisis para determinar el mejor valor para cada caso. En este trabajo se realizó pruebas con k2, k3 y k4

- *Nbr of output variables?* = Número de variables de salida. Para este caso se utilizó solo una variable que corresponde al valor de carbono.

- Número de la columna en donde se encuentran los valores de la variable.

- *Output var type* = Tipo de variable de salida 0 para indicar que es una variable discreta y 1 que es una variable contigua. En este caso se escoge 1 porque cada píxel contiguo puede tener un valor distinto.

b. Selección del valor k

Se determina el valor de k, es decir, se establece si se va a comparar con el primer vecino más cercano, 1-nn, o con los dos vecinos más cercanos, 2-nn; en fin, se le da un valor a k.

Para la validación del k que brindo los mejores resultados se utilizó la validación cruzada. Los comandos a utilizarse fueron:

Donde:

I = Nombre del archivo de salida del proceso oft-crossvalidate (formato .txt).

V = Número de columna donde se encuentra la variable en el archivo de salida del proceso oftextr.

bands val = Número de bandas a usar.

dw 2 = Utiliza el método de inverso a la distancia.

Posteriormente se generó un script llamado bash tst.bash para correr la validación cruzada con diferentes valores de k y obtener el valor de RMSE (error medio) para cada k.

c. Elaboración del mapa final.

Con la ayuda del software Arcgis se realizó el mapa final.

1) Una vez obtenido el mapa en el modelo K-nn se transfirió al programa Arcgis para la elaboración del mapa final.

2) Mediante la herramienta resample se realizó un cambio en la resolución espacial de su dataset ráster, a continuación se hizo un corte del shape de la parroquia con relación a la imagen satelital de la misma mediante clip raster.

3) Se generó el mapa ilustrando las cantidades de biomasa contenidas en 2 coberturas las cuales se definieron según mapas ya realizados en el proyecto (UNACH) en ellos se identificó de la siguiente manera:

Cultivos y pasturas = área dominada por plantas arbustivas, área intervenida.

Páramo = ecosistema en el cual predomina pajonales y especies arbustivas pequeñas

Bosque intervenido = ecosistema arbóreo el cual ha tenido intervención antrópica

Bosque = Es un ecosistema arbóreo, caracterizado por la presencia de árboles y arbustos de múltiples especies.

3. Análisis estadístico.

Una vez obtenidos los valores en toneladas de carbono aéreo, se procedió a realizar el análisis estadístico mediante la utilización del software R e InfoStat, para probar la hipótesis de dos medias relacionadas, para lo cual se evaluó los datos de campo para el análisis de varianza entre las cuatro coberturas, mediante una ADEVA, y comparación de medias mediante la prueba de Duncan (5%). Para valorar la eficiencia del modelo se realizó un análisis de prueba de t con la ayuda del software R, donde se evaluó las medias de datos de campo comparadas con los datos del modelo, finalmente se realizaron los gráficos correspondientes para cada cobertura.

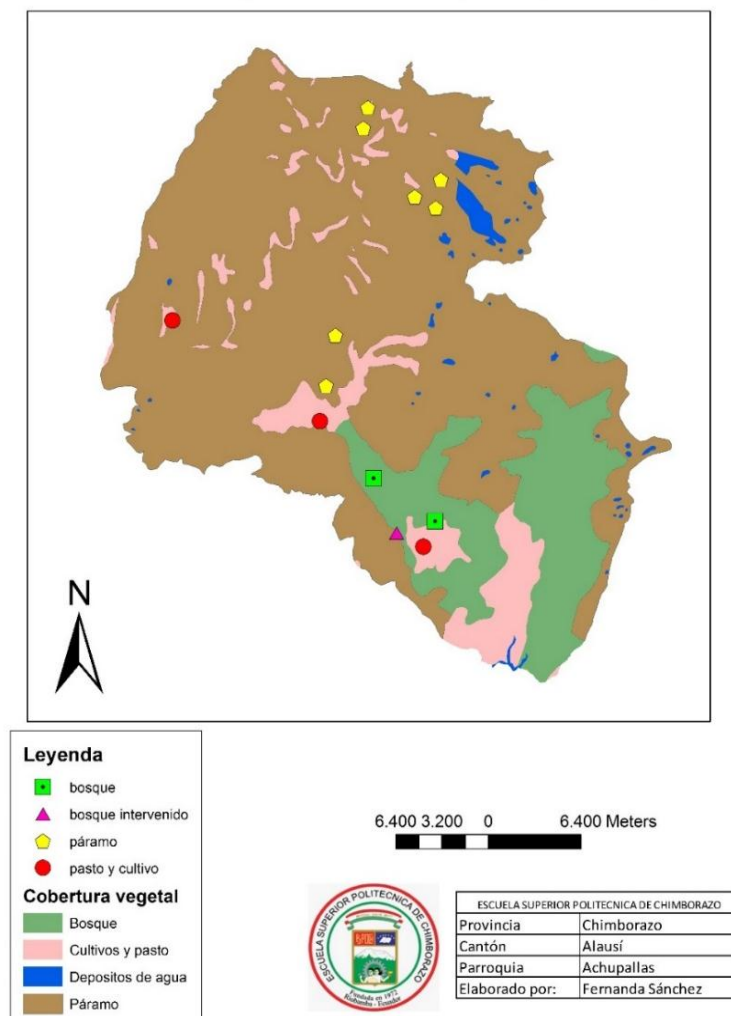
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. RESULTADOS

1. Establecimiento de parcelas

En el área del sitio de investigación, Bosque de Ceja Andina de Huangras, para complementar la información, se anexaron 3 Parcelas Permanentes de Monitoreo (PPM), mismas que se instalaron siguiendo la metodología propuesta por el MAE (2011), además el proyecto de Caracterización Biogeográfica dispone de información de biomasa y carbono de 12 conglomerados distribuidos en sus coberturas de la siguiente manera: 7 ubicados en páramo (área de color café, mapa 2), 3 en cultivo y pasturas área color rosado, 1 en bosque intervenido y 2 en el bosque áreas de color verde (mapa 2).

Mapa 2.- Ubicación de los conglomerados en la parroquia Achupallas.



Elaborado por: Sánchez F.

2. Inventario forestal.

Para estimar la biomasa aérea en bosques se realizó un inventario de árboles (individuos mayores a 10 cm de DAP) en las unidades de muestreo, mismo que nos permite conocer información de las variables dasométricas, y su distribución diamétrica por especie, datos requeridos para la estimación de biomasa.

a. Diámetro a la altura del pecho

El promedio de la variable DAP, de los árboles mayores a 10 cm presentes, del bosque ceja andina de la parroquia Huangras fue de 26.36 cm, se encontraron individuos que presentaron diámetros máximos de 48 cm (Cuadro 1). En el mismo cuadro se puede observar también cierta homogeneidad en ésta variable entre las parcelas evaluadas.

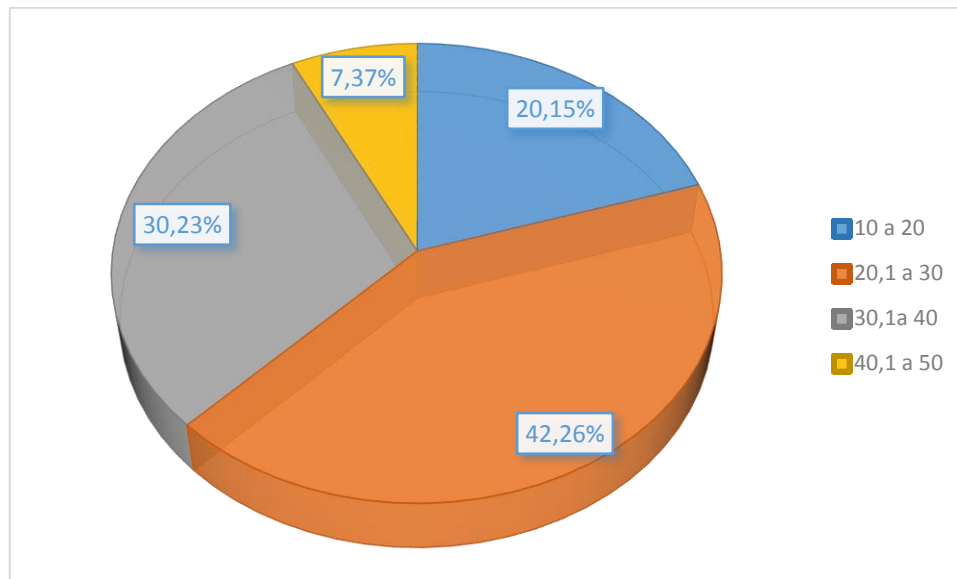
Cuadro 1.- Diámetro a la altura del pecho (DAP) registrado en bosque ceja andina de la comunidad indígena de Huangras, Alausí-Chimborazo

PARCELA	DAP (cm)		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMO
1	25,22	46	10
2	28,97	48	11
3	26,65	46	10
4	28,92	47	10
5	26,08	43	11
6	27,98	48	10
Promedio	26,36		

Elaborado por: Sánchez F.

El promedio del DAP encontrado en la presente investigación es menor al promedio reportado por Caranqui (2013) para la misma variable, en su “Informe sobre el estado del bosque Montano "Casha Totoras"”, quien reporta que los diámetros promedios no superan los 50 cm de DAP, esto probablemente se deba a que el bosque en estudio presente un mayor grado de intervención y desde el punto de vista de secuestro de carbono, como un servicio ambiental de los bosques, este aprovechamiento selectivo disminuye el potencial que tienen los bosques en dicho servicio ecosistémico.

Gráfico 6.- Clases diamétricas registradas en individuos del bosque ceja andina de la comunidad indígena de Huangras, Alausí-Chimborazo



Elaborado por: Sánchez F.

La distribución diamétrica de las especies encontradas en el bosque ceja andina de la comunidad de Huangras indica que son áreas sometidas a un aprovechamiento selectivo, en razón de que el 70 % de individuos poseen diámetros menores a 30 cm (Gráfico 6), es decir son árboles jóvenes con diámetros pequeños en proceso de sucesión. Esta distribución diamétrica es similar a la reportada por ECOPAR – IDRC, (2016) en una investigación titulada “Bosque de Ceja Andina de la provincia del Carchi-Ecuador” donde el 66% de los individuos pertenecen a la clase diamétrica de 10,1 a 20. Desde el punto de secuestro de carbono, como un servicio ambiental de los bosques, esta intervención selectiva disminuye el potencial de dicho servicio ecosistémico.

b. Altura comercial

La variable altura promedio de los árboles del bosque ceja andina de la comunidad indígena Huangras es de 8,29m (Cuadro 2), registrándose valores máximos de 20.7m y mínimo de 3. Estos resultados difieren relativamente de los reportados por (Lars , Aguirre, & Sánchez, 2013), con la investigación “Bosques montanos bajos occidentales en Ecuador y sus plantas útiles”, quienes indican que en el bosque Montano alto existen especies de hasta 25m de altura. Por otra parte en una investigación realizada por (Herbario ESPOCH, 2011) se manifiesta que el bosque montano alto, comprende árboles bajos con troncos gruesos. Estos datos son similares a los

encontrados en bosque ceja andina de la comunidad indígena Huangras donde su promedio de altura es de 8 metros dato que corrobora Caranqui (2013), en el estudio “Informe sobre el estado del bosque Montano Casha Totoras” al reportar que la altura que se encuentra en el dosel no supera los 8 metros.

Cuadro 2.- Altura comercial total de árboles registrados en bosque ceja andina de la comunidad indígena de Huangras, Alausí-Chimborazo.

PARCELAS	ALTURA	
	MEDIA	MAXIMO
1	6,87	16,1
2	7,71	17,7
3	8,16	17,7
4	7,75	16,6
5	7,53	20,7
6	9,01	18,7
PROMEDIO	7,84	

Elaborado por: Sánchez F

c. Área basal

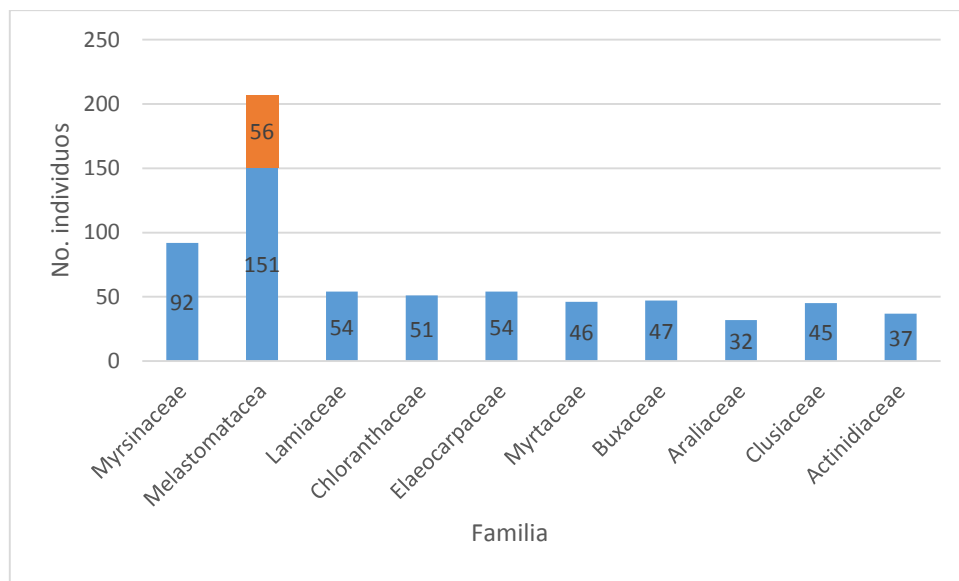
El bosque ceja andina de Huangras sin intervención presentó $20,19 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, valor similar al reportado por Gálvez, et al 2015 quienes reportaron $22,32$ y $7,59 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en bosques montanos sin intervenir e intervenido, respectivamente; por otra parte, éste valor difiere al registrado por Herbario ESPOCH (2011) en el “Inventario florístico Bosque montano alto” donde se reporta una área basal promedio de $7.36 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$.

d. Estructura arbórea

En 6 parcelas Permanentes de Monitoreo ($60 \times 60 \text{ m}^2$) se encontraron un total de 665 individuos arbóreos pertenecientes a 11 especies, 10 géneros y 10 familias. En el gráfico 10 se observa la dominancia de la familia melastomatácea, que registró 1 género y 2 especies con un total de 207 individuos dentro que representan el 31,11% (Gráfico 8), este resultado coincide con los resultados reportados en el libro “Árboles y arbustos andinos del Ecuador” por Ulloa y Jorgensen (2000) quien afirma que el género *Miconia* es el más abundante de los Andes del Ecuador siendo el mayor número, seguido por la familia Mirsinácea representado con el género *Myrsine*, con una cantidad de 92 individuos, que corresponde al 13,83%, representados por la

especie *Myrsine andine*. Las familias restantes fueron Lamiaceae, Chloranthaceae, Elaeocarpaceae, Myrtaceae, Buxaceae, Araliaceae, Clusiaceae y Actinidiaceae representadas por las siguientes especies (*Miconia bracteolata*, *Aegiphila sp.*, *Hediosmun sp.*, *Vallea stipularis*, *Myrcianthes sp.*, *Styloceras laurifolium*, *Clusia sp* y *Saurauia tomentosa*), las cuales fueron medianamente frecuentes.

Gráfico 7.- Número de individuos por familias encontrados dentro del bosque de la comunidad de Huangras.



Elaborado por: Sánchez F.

3. Aplicación del modelo matemático K-nn

El modelo matemático es una herramienta para la interpolación de datos, K-nn es uno de los métodos de clasificación más fundamentales y simples para un estudio de clasificación cuando existe poco o ningún conocimiento anterior sobre la distribución de la información. Una vez recopilado los datos totales de biomasa y carbono aéreo de los 13 conglomerados se procedió a analizarlo en el modelo posteriormente se ejecutó los comandos propuestos en la metodología de (UNACH, 2012).

Para escoger el valor de k que brinda mejores resultados y para validar el Modelo ejecutado con K-nn, se utilizó la validación cruzada (cross-validation) que es una técnica para evaluar los resultados de un análisis estadístico, consiste en repetir y calcular la media aritmética obtenida

de las medidas de evaluación sobre diferentes particiones, donde el objetivo principal es la predicción y se quiere estimar la precisión de un modelo (Cisneros et al., 2014).

Mediante este cálculo arroja 3 elementos estadísticos, la varianza, el error y *Bias*, este último fue el analizado para el presente trabajo. *Bias* consiste en determinar el valor más cercano a 1, el cual será el más idóneo para la selección de k.

a. Cálculo para la selección del k

El cuadro 4 muestra el resultado del cálculo estadístico, mediante el cual se decide utilizar el k4 ya que fue el valor que más se acercó a 1 por lo tanto fue el k utilizado para la realización del mapa de biomasa. Este valor coincide con los resultados obtenidos en la investigación “Estudio de interpretación de imágenes satelitales para la determinación de las características de los humedales del proyecto Caracterización Biogeográfico”, realizado por la UNACH, donde se analizó el contenido de humedad del suelo, y el valor de k4 fue el seleccionado para la obtención del mapa.

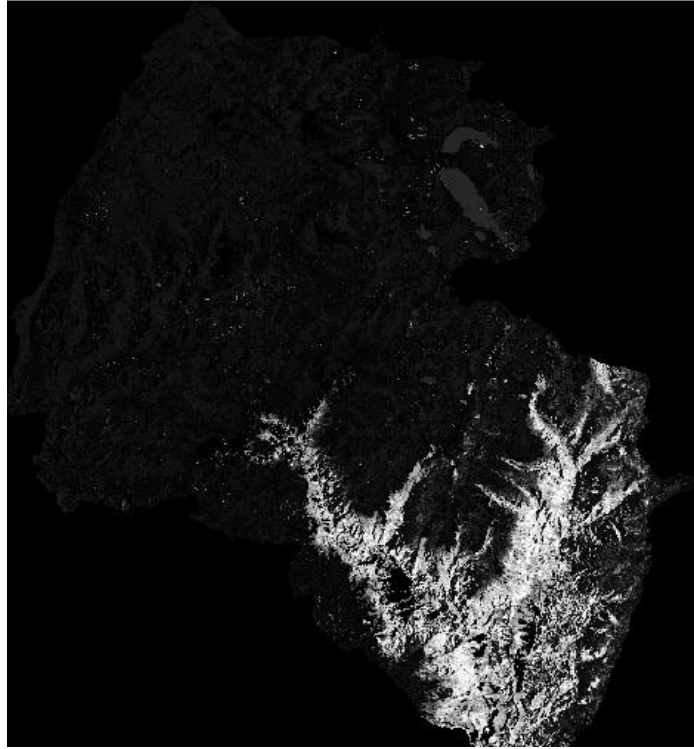
Cuadro 3.- Resultados del indicador estadístico *Bias*, el cual selecciona el valor de k obteniendo valores cercanos a 1.

K	<i>Bias</i>
2	-1,314
3	0,732
4	0,933

Elaborado por: Sánchez F

En el gráfico 8 se muestra el mapa de biomasa obtenido mediante la utilización del modelo K-nn, con la aplicación de k4, en el cual se muestra de color blanco en los sitios con mayor cantidad de biomasa, y de negro donde existe menor cantidad.

Gráfico 8.- Mapa resultado de la interpolación de biomasa mediante el modelo K-nn.



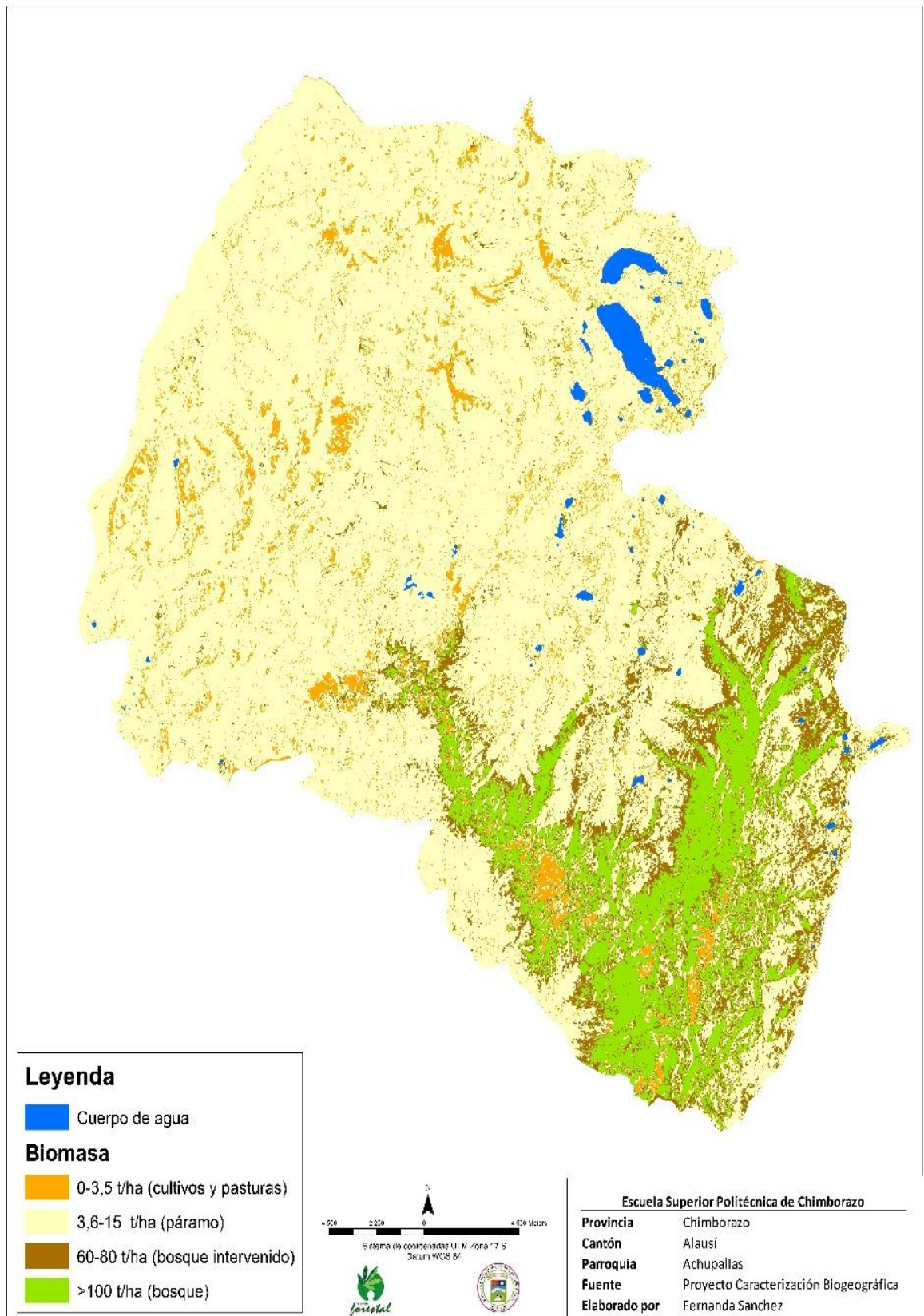
Elaborado por: Sánchez F

4. Estimación de la biomasa

La información sobre la biomasa de los bosques es importante para estimar la retención de carbono, el potencial ambiental y económico de los bosques. A partir de los datos obtenidos en campo se estimó la cantidad de biomasa y carbono secuestrado en las diferentes coberturas de suelo: cultivos, páramos y bosques ceja andina con intervención y sin intervención de la comunidad Huangras.

En el Mapa 3 se puede observar las tonalidades que representan la cantidad de biomasa presente en la parroquia Achupallas. Se le categorizó en cuatro diferentes contenidos de biomasa los cuales comprenden: áreas de color naranja corresponde al menor contenido que va de 0 a 3,5 t ha⁻¹ y corresponde a sistemas de uso del suelo con cultivos y pasturas, áreas color beige corresponde al ecosistema páramo con cantidades de 3,6 a 15 t ha⁻¹. Áreas de color café marrón presentan una biomasa entre 60 a 100 t ha⁻¹ y corresponde a sitios con cobertura de bosque intervenido, finalmente áreas de color verde constituye el bosque natural y presenta valores de biomasa mayores a 100 t ha⁻¹. Cabe recalcar que la estimación de biomasa es sobre el suelo, ahí la explicación de la variación de biomasa en los diferentes tipos de uso de suelo, ya que en el páramo existe muy poca cobertura de vegetación a diferencia del bosque montano ubicado en la comunidad de Huangras.

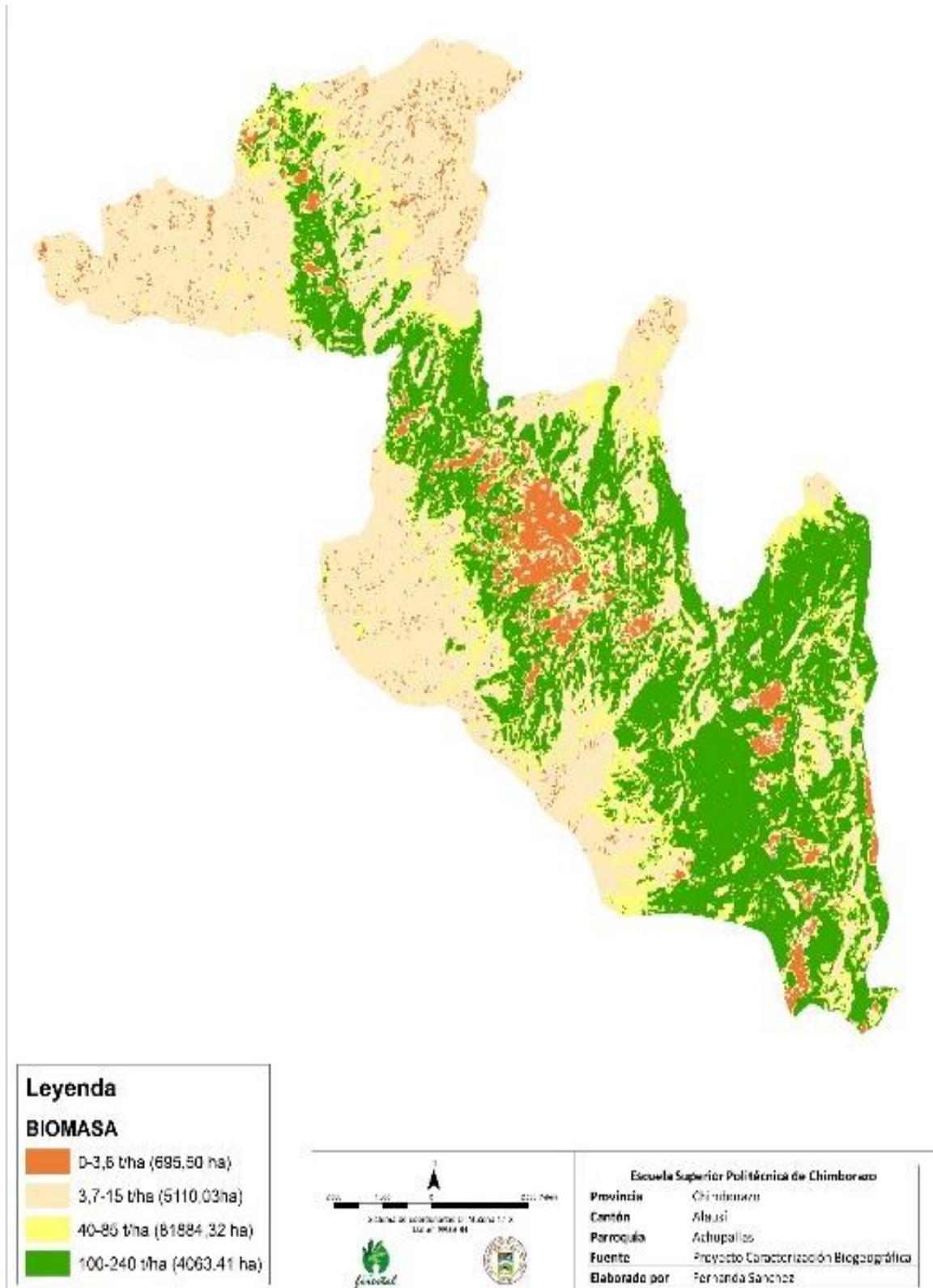
Mapa 3.- Mapa de Biomasa de la Parroquia Achupallas



Elaborado por: Sánchez F.

En el mapa 4 podemos observar los diferentes contenidos de biomasa de la Comunidad de Huangras que tienen una extensión de 11.753,371 ha de las cuales existe una superficie de bosque de 4063,41 ha que representan el 34,57% del área total, esta área posee 816.033,45 toneladas de biomasa. En cuanto al bosque intervenido se estimó un total de biomasa de 129.311,001 t, páramo 41.996,01 t, y cultivos 1025,8301 t. Obteniéndose un total de 988.366,29 t de biomasa aérea en todas las coberturas vegetales que forman parte de la comunidad.

Mapa 4.- Mapa de biomasa de la comunidad de Huangras



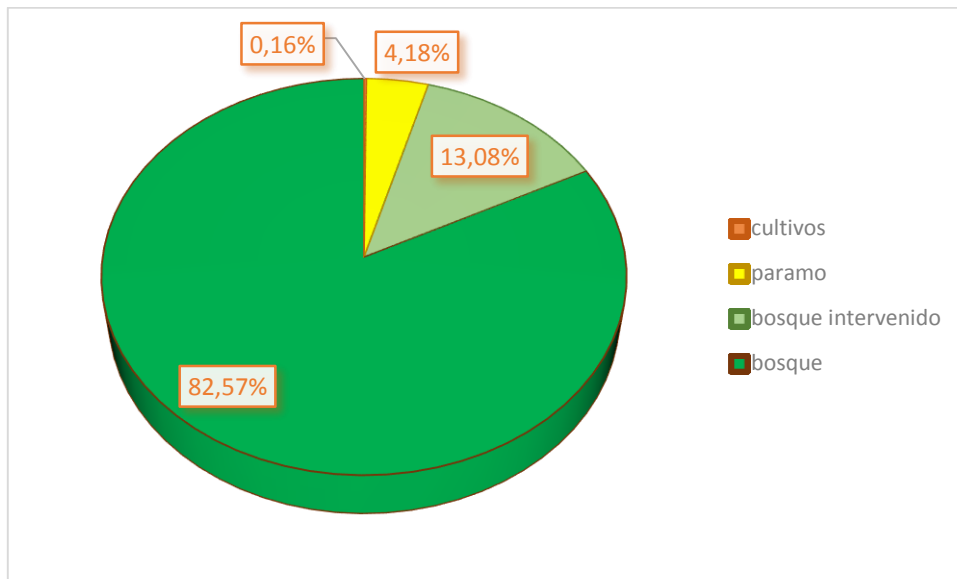
Elaborado por: Sánchez F.

El gráfico 4 muestra que el 82% de la biomasa total de la comunidad se encuentra en el bosque, con un promedio por hectárea de 200,58 t, este promedio es cercano a lo reportado por Mojica C (2013) en un estudio “Caracterización, almacenamiento de carbono y emisiones evitadas en bosques nativos en áreas de influencia del páramo de Tolima, Colombia” quien reporta 242 t ha⁻¹ para bosque sin intervención, así como Gasparri & Manghi (2004) en su estudio titulado “Estimación de volumen y biomasa de las regiones forestales Argentina” en el cual se reportó una cantidad de 236,34 t ha⁻¹ de biomasa en bosque andino.

El bosque de ceja andina intervenido de la comunidad de Huangras registró un promedio de 70,50 t ha⁻¹ de biomasa aérea, mismo que almacena el 13,08% de la biomasa total de la comunidad en estudio, valor que difiere en gran magnitud por lo estimado por Gasparri & Manghi (2004) y Mojica (2013) cuyos valores superan los 200 t ha⁻¹, por lo cual, la gran pérdida de biomasa hacia la atmosfera por causa de la intervención del hombre en el bosque. Como se puede observar, entre los contenidos de biomasa aérea del bosque ceja andina intervenida y sin intervención existe una diferencia de 130 t ha⁻¹, esto probablemente se debe a la intervención antrópica que reduce el potencial de dicho bosque en la captura de carbono.

En el estudio se identificó que el ecosistema páramo en esta comunidad almacena el 4,08%, de la biomasa aérea total, con un promedio de 8,08 t ha⁻¹, este promedio, cercano a lo reportado por Albán, (2013) en el trabajo de investigación “Determinación del contenido de carbono en la biomasa aérea del páramo de la Reserva Ecológica Yanococha”, donde encontró una cantidad de 6,55 t ha⁻¹. Mientras que el tipo de uso del suelo con menor contenido de biomasa fueron cultivos y pastizales que presento un promedio de 2,02 t ha⁻¹ en este tipo de cobertura se estima un 0,16% de la biomasa aérea total de la comunidad.

Gráfico 9.- Contenido de biomasa por tipo de cobertura del suelo en la comunidad de Huangras, Achupallas-Chimborazo



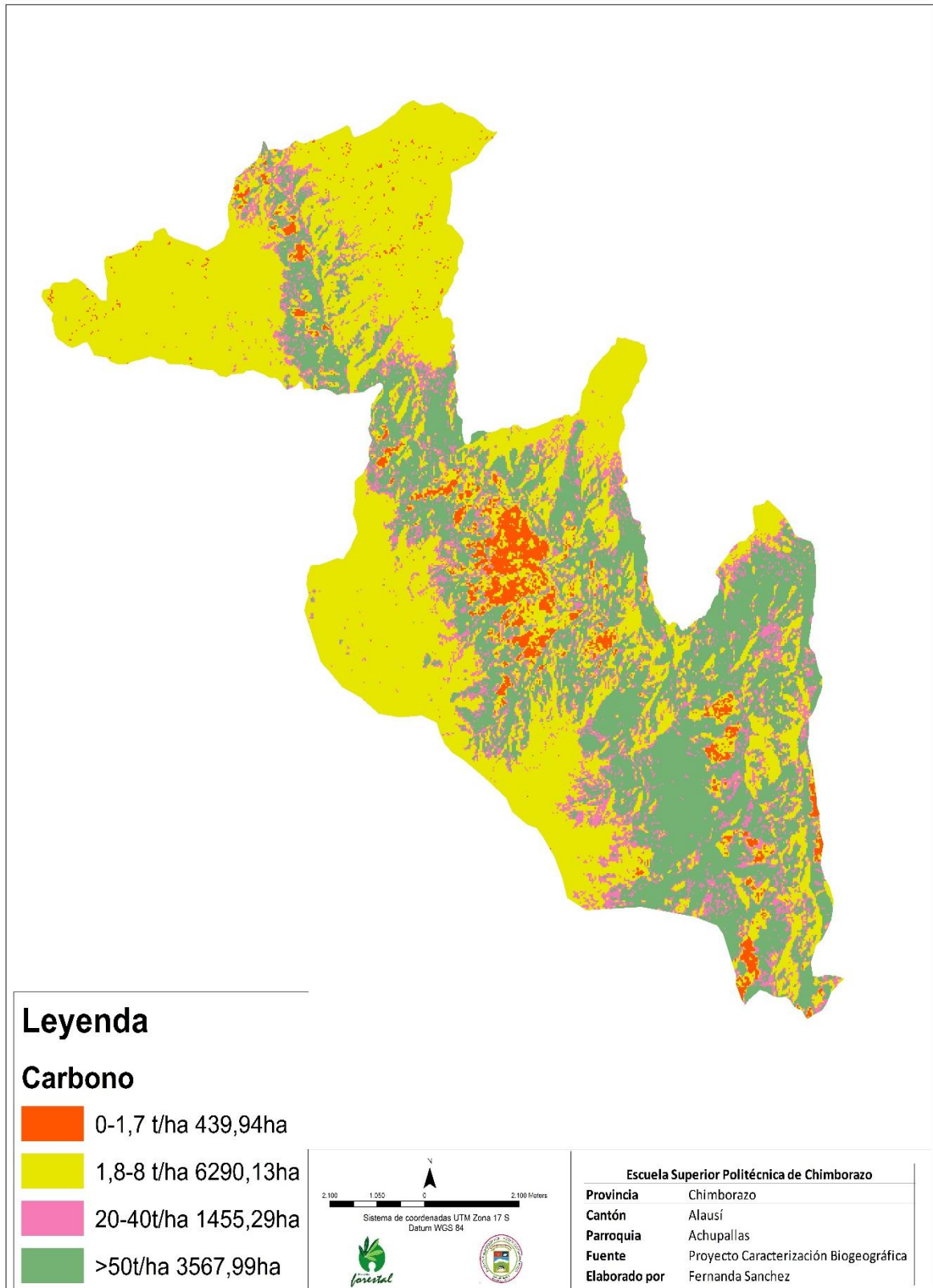
Elaborado por: Sánchez F.

5. Estimación de contenido de carbono.

En el mismo sentido que la estimación de biomasa aérea, indicada anteriormente, el carbono aéreo en la comunidad de Huangras se encuentra en las mismas tendencias, en 5.341,83 ha de bosque sin intervenir, superficie que se encuentra representada en el mapa con un color verde (mapa 5), lo que equivale a un promedio de $100,41 \text{ t ha}^{-1}$, dato similar a lo reportado por Mojica (2013) en el estudio “Caracterización, almacenamiento de carbono y emisiones evitadas en bosques nativos en áreas de influencia del páramo de Tolima, Colombia” en el cual se estimó una cantidad de 121 t ha^{-1} .

Seguido por bosque intervenido que tiene un promedio de ($35,25 \text{ t ha}^{-1}$), páramo con ($4,04 \text{ t ha}^{-1}$), dicho dato difiere a lo reportado por Cargua et al., (2013) en el trabajo titulado “Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador” en el cual se estimó una cantidad de $6,55 \text{ t ha}^{-1}$ para páramo. Finalmente la cobertura con menor contenido de carbono fue los cultivos y pasturas con un promedio de ($1,16 \text{ t ha}^{-1}$).

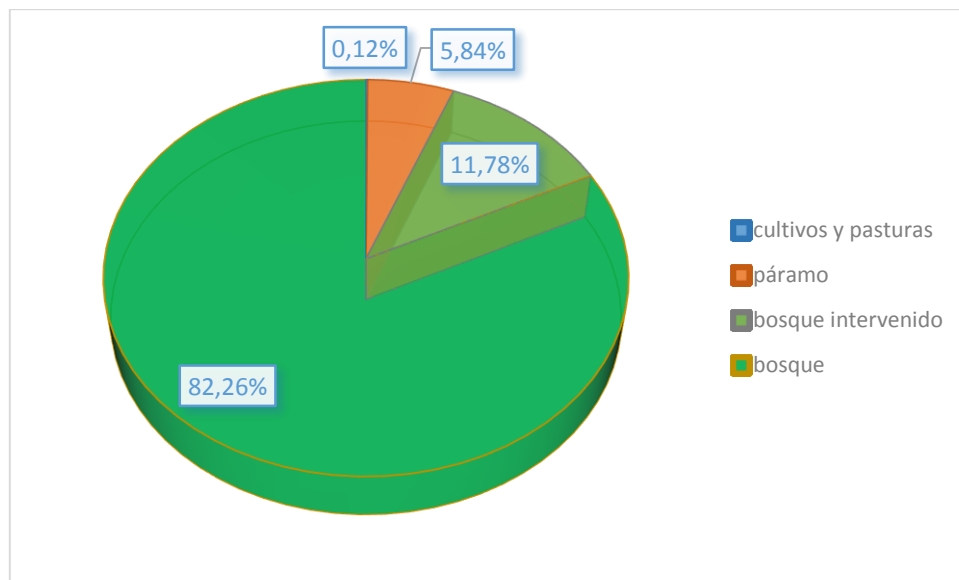
Mapa 5.- Mapa de Carbono de la Comunidad de Huangras.



Elaborado por: Sánchez F.

La comunidad de Huangras posee un total de 408405,51 toneladas de carbono orgánico sobre el suelo, contenido en todas sus coberturas. El bosque contiene 356555,2 t que constituye el 82% (gráfico 17), bosque intervenido 48955,96 t constituye 11,78%, el páramo secuestra 23353,16 t de carbono que equivale al 5,84% del carbono total, por último la cobertura de cultivos y pasturas siendo las de menor contenido de carbono almacena 512,91 t y compone el 0,12% del carbono total sobre el suelo estimado en la comunidad. Con ésta información la comunidad Huangras probablemente podría tener posibilidades para gestionar a programas nacionales de pago de servicios ambientales, como es el caso de Socio Bosque, implementado actualmente en el país.

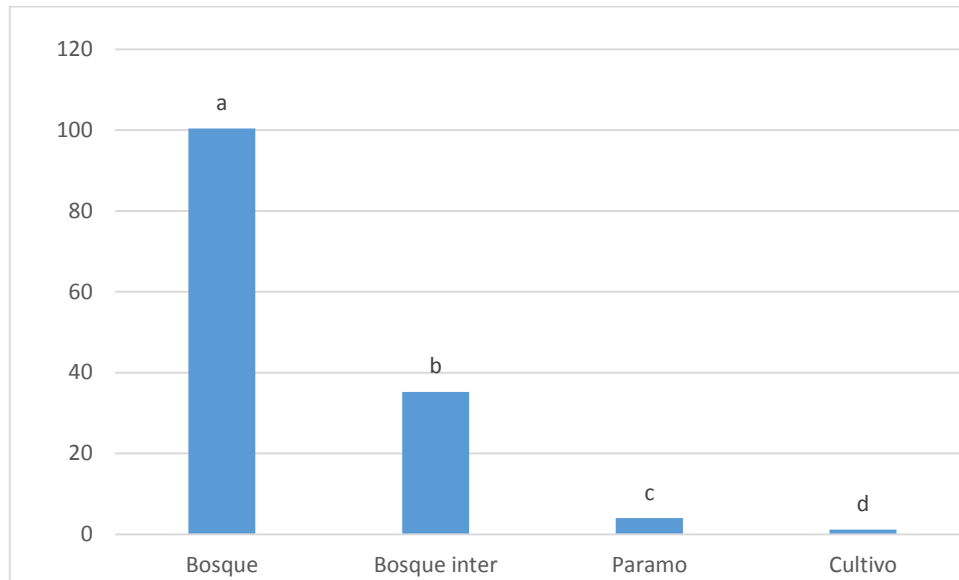
Gráfico 10.- Contenido de carbono sobre el suelo en coberturas de la comunidad de Huangras



Elaborado por: Sánchez F.

El análisis estadístico realizado para el contenido de carbono en los diferentes tipos de uso del suelo de la comunidad Huangras, identificó diferencias estadísticas altamente significativas (pv- 0.0001), y la prueba de separación de medias Duncan al 5% identificó cuatro rangos de significancia, ubicándolo en el primer rango con el mejor promedio (100 t ha^{-1}) al bosque no intervenido, en un segundo rango al carbono secuestrado en el bosque intervenido con ($35,5 \text{ t ha}^{-1}$); seguido del carbono secuestrado en páramo con ($4,04 \text{ t ha}^{-1}$) de carbono y finalmente el carbono en cultivos y pasturas con ($1,16 \text{ t ha}^{-1}$) de carbono secuestrado (Gráfico 10).

Gráfico 11.- Carbono aéreo capturado en los diferentes tipos de uso del suelo de la comunidad Huangras, Achupallas-Chimborazo (Duncan 5%).



Elaborado por: Sánchez F.

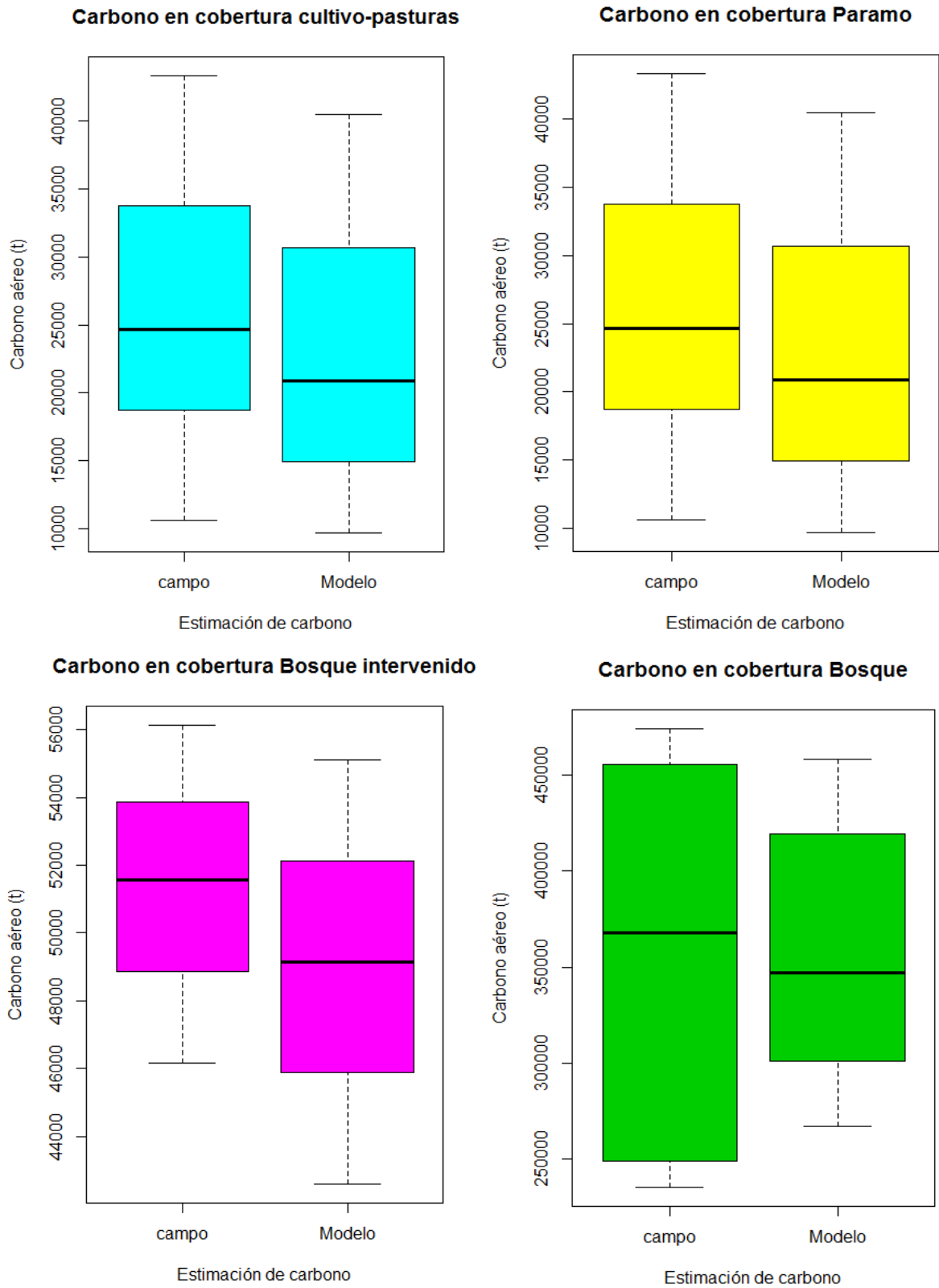
El análisis estadístico realizado para determinar si el carbono sobre el suelo estimado con los datos levantados en campo, y la cantidad de carbono estimado por el modelo K-nn son estadísticamente diferentes, en el Cuadro 5 se presentan los promedios de carbono total de la comunidad Huangras por cada tipo de cobertura y su respectivo p-valor; donde se puede observar que ninguna de las coberturas fueron diferentes estadísticamente (Gráficos 11), lo que indica que el modelo K-nn presenta una buena estimación de la cantidad de carbono en las coberturas estudiadas. Datos reportados por Aguirre et al., (2009) en un estudio “Mapeo de carbono arbóreo aéreo en bosques manejados de pino *Patula* en Hidalgo, México” en el cual se obtuvo ($p = 0.01$), mostrando su potencial para predecir el carbono arbóreo aéreo. Por otra parte el estudio realizados por UNACH, (2011) en el “Estudio de interpretación de imágenes satelitales para la determinación de las características de los humedales del proyecto Caracterización Biogeográfico” que obtuvo una aceptación del 88% de confiabilidad para la estimación de humedad del suelo.

Cuadro 4.- Prueba de medias relacionadas para carbono sobre el suelo en diferentes coberturas de la comunidad indígena Huangras, Achupalla-Chimborazo

COBERTURA	CARBONO (t)		P-VALOR
	CAMPO	MODELO	
Cultivos y pasturas	512,91	519,17	0,7103
Páramo	23353,1	25441,16	0,5099
Bosque intervenido	48955,96	51295,58	0,6450
Bosque	356555,2	358270,42	0,9747
TOTAL	408405,51	435526,31	

Elaborado por: Sánchez F.

Gráfico 12.- Estimación de carbono en las diferentes coberturas del suelo en las diferentes coberturas del suelo de la comunidad indígena Huangras (muestras de campo y modelo k-nn).



Elaborado por: Sánchez F.

VI. CONCLUSIONES

La comunidad Huangras posee una cantidad de 988.366,30 toneladas de biomasa de las cuales 82,57% se encuentra contenido en el bosque sin intervención, el 13,08% se encuentra capturado en el bosque intervenido, 4,18% en páramo y 0,16% en pastos y cultivos

El contenido del carbono orgánico sobre el suelo depende del tipo de cobertura es así que cultivos y pasturas capturan un promedio de $1,17 \text{ t ha}^{-1}$, con relación a este tipo de suelo, el páramo captura 3,5 veces más carbono, bosque intervenido 30,1 veces más y el bosque sin intervención 85,8 veces mayor siendo esta última la cobertura que almacena mayor cantidad de carbono (35.8270,4 t).

El modelo de interpolación k-nn utilizado en la estimación de carbono aéreo en diferentes tipos de uso de suelo de la comunidad de Huangras presentó una buena estimación (pv-0,9747) con relación a la estimación con datos de campo

La utilización de imágenes satelitales nos permiten realizar estimaciones de variables ecológicas con un alto grado de precisión para el monitoreo de grandes extensiones de ecosistemas, a partir de un muestreo pequeño en campo, permitiéndose tomar mejores decisiones a futuro, buscando optimizar tiempo y recursos.

VII. RECOMENDACIONES

Instalar un mayor número de parcelas de evaluación para mapear la exactitud en las estimaciones de carbono con cada tipo de cobertura.

Validar en campo los resultados obtenidos por el modelo de interpolación k-nn, información que le dará fortaleza y confianza para el uso de dicho modelo en estudios similares.

VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: estimar la captura de carbono orgánico sobre el suelo del bosque Ceja Andina de la comunidad indígena Huangras, a partir de imágenes satelitales LANDSAT 7 ETM+ y datos registrados en campo; se utilizó información dasométrica registrada en parcelas permanentes de muestreo instaladas por el proyecto “Caracterización Biogeográfica de las Subcuencas Hídricas para la Adaptación al Cambio Climático Considerando el Paisaje Cultural Andino en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo”, adicionalmente se instalaron tres parcelas de 3600m² (60x60 m) en bosque no intervenido, siguiendo la metodología del Inventario Forestal (MAE, 2011); por otro lado se aplicó el modelo matemático K-nn para delimitar a escala de paisaje las diferentes coberturas, ilustrando la información en la imagen satelital Lansat 7 etm+ y con la ayuda de herramientas de Arcgis se clasificaron cuatro tipos de uso del suelo (Bosque intervenido, bosque no intervenido de ceja andina, páramo y cultivos). El componente forestal del bosque Ceja andina está compuesto por 11 especies, 10 géneros y 10 familias, y presentó un diámetro promedio a la altura del pecho de 26,36 cm, altura total promedio de 7,84 m y un área basal de 20,19 m² ha⁻¹. El bosque de ceja andina presentó la mayor cantidad de biomasa y carbono sobre el suelo, 200,58 y 100,41 t ha⁻¹, respectivamente, en comparación con el bosque intervenido que presentó 70,50 t ha⁻¹ de biomasa. El modelo de interpolación k-nn con relación a los datos de campo, realizó una buena estimación del carbono aéreo en los diferentes tipos de uso de suelo estudiados en la comunidad de Huangras, al presentar un pv-0,9747 del análisis de medias relacionadas.

Palabras claves:

Carbono orgánico, imagen satelital, bosque ceja andina, inventario forestal.



IX. SUMMARY

The present investigation proposes calculating the organic carbon on the soil of the Ceja Andina forest of the Huangras indigenous community from satellite images LANDSAT 7 ETM+ and field data; the dasometric information recorded in permanent sampling installed by the project “Biogeographic Characterization of the Hydric Sub-basins ,for the Adaptation to the Climatic Change Considering The Andean Cultural Landscape in the Achupallas parish , Alausi canton ,Chimborazo province” was used. Additionally, three plots of 3,600m² (60x60m) in the not intervened forest were installed , following the Forest Inventory methodology (MAE, 2011); on the other hand , the mathematical K-nn model was applied to delimit at landscape scale the different coverages , illustrating the information in the satellite image Landsat 7 etm+ and with the help of Arcgis tools four types of soil use were classified (intervened forest of not intervened forest of the Andean Ceja, paramo and cultures). The forest component of the Andean Ceja is composed by 11 species, 10 genera and 10 families and presented an average diameter at the chest height of 26.38cm, an average total height of 7.84m and a basal area of 20.19 m² ha⁻¹. The Andean Ceja forest presented the highest biomass quantity and soil carbon, 2.58 and 1.41t ha⁻¹ respectively, as compared to the intervened forest which presented 70.50 t ha⁻¹ of biomass. The K-nn interpolation model as related to the field data carried out a good aerial carbon calculus in the different types of the soil use studied in the Huangras community , upon presenting pv-0,9747 of the analysis of related means.

Key words:

Organic carbon, satellite image, Andean Ceja forest, forest inventory



X. BIBLIOGRAFIA

- Agudelo, C. (2010). Energía de la Biomasa. Consultado el: 10-11-2015. Obtenido de energiasalternativas: <http://energialternativaitm.blogspot.com/2010/11/referencias-bibliograficas.html>
- Aguirre, C., Valdez, J., & Lazalde, G. (2009). Mapeo de carbono arbóreo en bosques manejados de pino Patula en Hidalgo, México. Consultado el 10-11-2015. Obtenido de scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000200011
- Albán, E. (2013). Determinación del contenido de carbono en la biomasa aérea del páramo de la Reserva Ecológica Yanococha. Consultado el: 10-11-2015. Obtenido de biddigital: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6171/1/CD-4825.pdf>
- Alva, M., & Huarez, C. (2012). Teledeteccion, principios y aplicaciones. Consultado el: 04-12-2015. Obtenido de scribd: <http://es.scribd.com/doc/86702306/1-Teledeteccion-Principios-y-Aplicaciones#scribd>
- Alvarez, G. (2008). Modelos alométricos para la estimación de biomasa. Consultado el: 04-12-2015. Obtenido de CATIE: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Baquero F., R. Sierra, L. Ordoñez, M. Tipán, L. Espinosa, M. Rivera., & P. Soria. (2004). La Vegetación de los Andes del Ecuador. Memoria Explicativa de los Mapas de Vegetación Potencial y Remanente de los Andes del Ecuador, a Escala 1:250.000 y del Modelamiento Predictivo con Especies Indicadoras. Consultado el: 15-01-2016. Obtenido de: E conciencia/CESLA/Ecopar/MAG SIGAGRO/Alianza Jatun Sacha CDC/División Geográfica – IGM. Quito.
- Caranqui, J. (2013). Informe sobre el estado del bosque Montano "Casha Totoras". Consultado el: 04-12-2015. Obtenido de: Academia.edu del: https://www.academia.edu/11534030/INFORME_SOBRE_EL_ESTADO_DEL_BOSQUE_MONTANO_CASHCA_TOTORAS_
- Cargua, F., Rodríguez, M., Recalde, C., & Vinueza, L. (2014). Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoche Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. Consultado el: 15-01-2016. Obtenido de scielo: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000300011&script=sci_arttext
- Cargua, F., & Rodríguez, M. (2013). Elaboración de un inventario forestal multipropósito con énfasis en el contenido de carbono de las diferentes clases de uso de tierra,. (Tesis de grado. Ingeniero Forestal). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Consultado el: 15-01-2016. Obtenido de scielo: http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UMSEF/file/Biomasa/biomasa_texto_2007.pdf
- Castro, R. (2009). Sistema para el Seguimiento y Análisis de Tierras. Chile: FAO.

- Cisneros, C., Moncayo, P., Veas, N., Lima, P., & Carrión, J. (s.f.). Evaluacion Forestal Nacional. Consultado el: 15-01-2016. Obtenido de protocolo para el procesamiento del mapa de carbono ara estratos boscosos del Ecuador con imágenes Lansat.
- Corrales, R. (2011). Catalogo de firmas espectrales de especies florales, en la Ciudad Universitaria, Tegucigalpa, Fase 1. Ciencias Especiales, 1-12.
- Cueva, K. (2011). Evaluacion Nacional Forestal. Consultado el: 15-01-2016. Obtenido de MAE: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Manual-2012-Bosques-liviano-9.pdf>
- Damián, D. (2014). Comparación de variables edáficoclimáticas, en zonas de bosque y páramo utilizando modelo de interpolación kriging en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo. Riobamba.
- Domínguez, G., Cabrera, O., Aguirre, A., & Calderón, J. (2009). Biomasa Aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 3(2), 23-30
- ECODESARROLLO. (2014). Origen de la Biomasa. Consultado el: 15-01-2016.. Obtenido de ecodesarrollo: http://ecodesarrollo.cl/portal1/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=54
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. (2011). Pago por servicios ambientales en el Chaco. Consultado el: 15-01-2016. Obtenido de FAO.
- Fernández, J. (2015). Energía de la biomasa. Consultado el: 15-01-2016. Obtenido de fenercom: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-biomasa.pdf>
- Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central. (2002). Biomasa. Consultado el: 17-01-2016. Obtenido de nica-bio: <http://www.bionica.info/biblioteca/BUNCA2002Biomasa.pdf>
- Garcia, A., Pérez, F., & De la Riva , J. (2006). GEO-FOCUS. Consultado el: 17-01-2016. Evaluación de los recursos de biomasa residual forestal mediante imágenes del satélite landsat y SIG Obtenido de: http://geofocus.rediris.es/2006/Articulo9_2006.pdf
- Gasparri, I., & Manghi, E. (2004). Consultado el: 10-11-2015. Estimacion de volumen y biomasa de las regiones forestales Argentina. Obtenido de foroiberoamericano: http://www.foroiberoamericano.ambiente.gov.ar/archivos/web/UMSEF/File/volumen_biomasa_carbono.pdf
- Gasparri, N., Parmuchi, M., & Bono, J. (2007). Utilidad de imágenes Landsat 7 ETM+ para la estimacion de biomasa aérea. Congreso de la Asociacion Española de teledeteccion, 3.
- González, M. (2008). Estimacion de biosmasa aérea. Consultado el: 10-11-2015. Obtenido de CATIE: <http://orton.catie.ac.cr/REPDO/A2922E/A2922E.PDF>
- Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Herbario. (2011). Inventario floristico Bosque montano alto. Consultado el: 10-11-2015. Obtenido de lyonia: http://www.lyonia.org/articles/rbusmann/article_398/html/article.html

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Percepcion remota. Consultado el: 10-11-201. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/elementos.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Imagenes de satelite LANSAT. Consultado el: 10-11-201. Obtenido de inegi: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/landsat.aspx>
- Intergovernmental Panel on Climate Change, (2006). Tierras forestales. Consultado el: 10-11-201. Obtenido de ipcc-nggip: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf
- ISRASOL. (2011). Lugares turisticos Alausí. Consultado el: 17-01-2016. Obtenido de majoisrasol: <http://majoisrasol.blogspot.com/>
- ISRE. (2015). Almacenamiento de datos. Consultado el: 17-01-2016. Obtenido de IDS: <http://idsecuador.com/software/arcgis/geodatabase/almacenamiento-de-datos/>
- Lars, P., Aguirre, Z., & Sánchez, O. (2013). Bosques montanos bajos occidentales en Ecuador y sus plantas útiles. Consultado el: 10-11-201. Obtenido de beisa: <http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2013.pdf>
- López, F. (2010). biomasa. Consultado el: 10-11-201. Obtenido de economiadelenergia: <http://www.economiadelenergia.com/2010/11/biomasa-que-es-la-biomasa/>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2011). Manual de campo. Quito: MAE
- Martinez, L. (2014). Diseño de un corredor ecológico en la parroquia Achupallas. Consultado el: 17-01-2016. Obtenido de dspace.espoche: <http://dspace.espoche.edu.ec/bitstream/123456789/3745/1/33T0132%20MARTINEZ%20LUIS.pdf>
- Martínez, V. (2009). Planificacion de inventarios forestales. Consultado el: 17-01-2016. Obtenido de masangni: http://www.masangni.org/doc/manuales/m_inventario_forestal.pdf
- Menéndez, E. (1997). Las energias renovables. Consultado el: 17-01-2016. Obtenido de books.google: https://books.google.com.ec/books?id=baWhCNDu_pQC&pg=PA123&lpg=PA123&dq=,+la++fotos%C3%ADntesis++gracias+al+que+se+producen+mol%C3%A9culas+de+alto+contenido+energ%C3%A9tico+bajo+la+forma+de+energ%C3%ADa+qu%C3%ADmica&source=bl&ots=ZSIMSkRriV&sig=1I_bx4Of4m
- Ministerio del Ambiente. (2014). Evaluacion Nacional Forestal. Consultado el 10-11-2015. Obtenido de FAO: www.fao.org/3/a-i4406s.pdf
- Mojica, C. (2013). Caracterización, almacenamiento de carbono y emisiones evitadas en bosques nativos en áreas de influencia del páramo de Tolima, Colombia. Consultado el: 10-11-2015. Obtenido de repositorio institucional: <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1099>
- Monterroso, M. (2015). Guía Práctica: Clasificación de imagenes satelitales. Consultado el: 10-11-2015. Obtenido de Geoportal : geoportal.inigem.gob.ec/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r

- Muñoz, J., & Ponce, A. (2015). Percepción Remota "Fundamentos de Teledetección". Consultado el: 10-11-2015. Obtenido de CONAGUA Mexico: <http://siga.conagua.gob.mx/SIGA/Percepcion/Fundamentos%20de%20teledetecci%C3%B3n%20espacial.PDF>
- Netezza. (2015). K-nn de Netezza. Consultado el: 10-11-2015. Obtenido de ibm: http://www-01.ibm.com/support/knowledgecenter/SS3RA7_17.0.0/clementine/netezza_knn.dita?lang=es
- Ramos, R. (2003). Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos uso de la tierra. Obtenido de Catie.
- Richter, M., & Muñoz, A. (2005). Heterogeneidad climática y diversidad de la vegetación en el sur de Ecuador: un método de fitoindicación. Scielo - Revista Peruana de biología, 2(4), 217 - 238.
- Sinfuentes, V. (2015). Carbono almacenado y capturado en la biomasa aérea. Consultado el: 10-11-2015. Obtenido de UNAS: http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/CARBONO%20FINAL.pdf
- Suárez D, A. (2013). Ecología Aplicada. Formación de un corredor de hábitat de un bosque montano alto en un mosaico de páramo en el norte del Ecuador. 2008, 9-15.
- Universidad Nacional de Chimborazo. (2012). ESTUDIO DE INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES. Geografic center. 45(6), 71-76.
- Universidad Nacional de la Pampa. (2013). Historia de la serie Lansat. Consultado el: 23-04-2016. Obtenido de scrib: <https://es.scribd.com/doc/130458116/Historia-de-la-Serie-Landsat-Apuntes-de-Catedra>
- Varela, R. (2015). LANSAT. Consultado el: 23-04-2016.. Obtenido de INEGI: www.inegi.org.mx
- Valencia R., C. Cerón, W. Palacios & R. Sierra (1999.) Las Formaciones Naturales de la Sierra del Ecuador. En: Sierra R. (Ed.). Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Consultado el: 23-04-2016. Obtenido en: https://www.academia.edu/6592249/CLASIFICACION%20DIGITAL_DE_IMAGENES_POR_SATELITE_3o_ITT.SE_Sistemas_de_Telemedida
- Yébenes, Á., & Gines, Á. (2015). Clasificación Digital de Imágenes por Satélite. Colsultado el: 12-04-2016. Obtenido de Sistemas de Telemedia: https://www.academia.edu/6592249/CLASIFICACION%20DIGITAL_DE_IMAGENES_POR_SATELITE_3o_ITT.SE_Sistemas_de_Telemedida

XI. ANEXOS

A. ANEXOS 1. ZONA DE ESTUDIO.



1. Bosque de ceja andina en el comunidad de Hungras.



2. Zona de transición; páramo y bosque

B. ANEXO 2.- UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



2. Ubicación del punto de referencia del conglomerado con la ayuda de un GPS.



3. Ubicación del norte de la parcela

C. ANEXO 3. INVENTARIO FORESTAL



Delimitación de la parcela



2. Medición de la parcela



3. Toma de datos



4. Medición de la altura



5. . Reconocimiento de la especie.



6. Toma del diámetro a la altura del pecho

D. ANEXOS 4. RESULTADOS ESTADÍSTICOS QUE ARROJA EL MÉTODO MATEMÁTICO DE K-NN

```
gis1@gis1-HP-Compaq-6200-Pro-MT-PC:/media/PCB/CARACTERIZACION/knn_GUANGRA$ of
gra.txt -k 2
Using 7 bands
Checking data file properties...
Cols 14 Rows 38
Reading data:
Signature data read.
Using col 5 as input variable
Using last 7 cols as input bands
Reading of data ok
Using all plots to compute the statistics:
Infile=knn_input_biomasa_guangra.txt
k=2
normalize=0
RMSE= 8.615
Bias= -0.657
Avg = 6.089
gis1@gis1-HP-Compaq-6200-Pro-MT-PC:/media/PCB/CARACTERIZACION/knn_GUANGRA$
```

1. Resultado del indicador estadístico Bias, para el k-2

```
gis1@gis1-HP-Compaq-6200-Pro-MT-PC:/media/PCB/CARACTERIZACION/knn_GUANGRA$ oft-
gra.txt -k 3
Using 7 bands
Checking data file properties...
Cols 14 Rows 38
Reading data:
Signature data read.
Using col 5 as input variable
Using last 7 cols as input bands
Reading of data ok
Using all plots to compute the statistics:
Infile=knn_input_biomasa_guangra.txt
k=3
normalize=0
RMSE= 8.354
Bias= 0.366
Avg = 6.089
gis1@gis1-HP-Compaq-6200-Pro-MT-PC:/media/PCB/CARACTERIZACION/knn_GUANGRA$
```

2. Resultado del indicador estadístico Bias, para el k-3


```
gis1@gis1-HP-Compaq-6200-Pro-MT-PC:/media/PCB/CARACTERIZACION/knn_GUANGRAS$ rft-crossvalidate -i knn_input_biomasa_guangra.txt -bands 7 -v 4 -de 2 knn_input_biomasa_guangra.txt -k 4
Using 7 bands
Checking data file properties...
Cols 14 Rows 38
Reading data:
Signature data read.
Using col 4 as input variable
Using last 7 cols as input bands
Reading of data ok
Using all plots to compute the statistics:
Infile=knn_input_biomasa_guangra.txt
k=4
normalize=0
RMSE= 15.277
Bias= 0.933
Avg = 13.276
gis1@gis1-HP-Compaq-6200-Pro-MT-PC:/media/PCB/CARACTERIZACION/knn_GUANGRAS$
```

3. Resultado del indicador estadístico *Bias*, para el k4, (el cual fue elegido para la realización del mapa)