



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

DETERMINACIÓN DE LA FIRMA ESPECTRAL DEL ESTRATO HERBAZAL
- ARBUSTAL DEL PÁRAMO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO,
PROVINCIA DE CHIMBORAZO

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

MARLON DAVID CÓRDOVA REGALADO

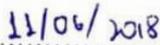
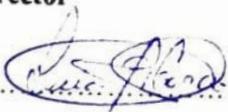
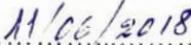
RIOBAMBA – ECUADOR

2018

HOJA DE CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA, que el trabajo de investigación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA FIRMA ESPECTRAL DEL ESTRATO HERBAZAL – ARBUSTAL DEL PÁRAMO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO** de responsabilidad del señor Marlon David Córdova Regalado ha sido prolijamente revisado, quedando autorizada su presentación.

TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN

	
Ing. Carlos Arturo Jara Santillán	Fecha
Director	
	
Ing. Lucía Mercedes Abarca Villalba	Fecha
Asesora	

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Marlon David Córdova Regalado, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en 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.



Marlon David Córdova Regalado

172345618-0

AUTORÍA

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual del autor y del proyecto “Soil Organic Carbon Evaluation and Secuestration in Ecuadorian Paramo Ecosystem” de la UNACH conjuntamente con la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH.

DEDICATORIA

A mi hermana Andrea por su apoyo incondicional y ser el ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí perseverancia y constancia que la caracterizan y que me ha infundado siempre el valor mostrado para salir adelante.

A mi hijo Samuel posiblemente no entiendes mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí. Eres la razón de que me levante cada día esforzarme por el presente y el mañana, eres mi principal motivación, por cada momento junto a ti sacrificado en el desarrollo de esta investigación y por entender que el éxito demanda sacrificios.

Como en todos mis logros, en este has estado presente.

Te amo hijo.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mi hermano Carlos, por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mis amigos, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos.

A mis maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a la Escuela de Ingeniería Forestal por su aporte durante mi formación académica.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por abrirme las puertas y poner su confianza en mí para la realización de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido	Página
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE MAPAS	xi
LISTA DE GRÁFICOS	xiii
I. DETERMINAR LA FIRMA ESPECTRAL DEL ESTRATO HERBAZAL-ARBUSTAL DEL PÁRAMO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO	1
II. INTRODUCCIÓN	2
A. JUSTIFICACIÓN	2
B. OBJETIVOS	3
1. General	4
2. Específicos	4
III. MARCO TEÓRICO	4
A. TELEDETECCIÓN	4
1. Naturaleza de las radiaciones electromagnéticas	5
2. El espectro electromagnético	7
3. Interacción de la radiación con los objetos	9
4. Interacción de la atmosfera con la radiación electromagnética	10
a. Absorción	11
b. Dispersión	11
c. Emisión	12
B. FIRMAS ESPECTRALES	12
1. Tipos de firmas espectrales	12

2. Accesibilidad de las firmas espectrales	12
3. Respuestas espectrales	13
a. Respuesta espectral del agua	15
b. Respuesta espectral del suelo	14
c. Respuesta espectral de los minerales	15
d. Respuesta espectral de los elementos urbanos	16
e. Respuesta espectral de la vegetación	17
C. PÁRAMOS	19
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	21
A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR	21
1. Localización	21
a. Superficie	21
2. Características climáticas	21
3. Clasificación ecológica	21
4. Ubicación geográfica	22
B. MATERIALES Y EQUIPOS	22
1. Materiales de campo	22
2. Materiales de oficina	23
3. Materiales informáticos	23
C. METODOLOGÍA	23
1. Delimitar el estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la subcuenca del río Chambo	23
a. Búsqueda y recopilación de la información	24
b. Selección de la información	24
c. Procesamiento de la información	25

d. Delimitación de áreas	25
e. Composición florística	25
1) Estrato herbazal	26
2) Estrato arbustal	29
3) Índices de diversidad	29
2. Elaborar una base de datos de firmas espectrales para el estrato herbazal - arbustal	32
a. Distribución y tamaño de los transectos	32
b. Captura de firmas espectrales	34
1) Comprobar conexión	35
2) Configuración del Spectrum Save	36
3) Optimización y configuración para el muestreo de espectros	37
4) Captura de espectros	38
3. Comparar las firmas espectrales en función del rango altitudinal del estrato herbazal - arbustal	41
V. RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSIÓN	43
1. Delimitar el estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la subcuenca del río Chambo	43
a. Composición florística	49
2. Elaborar una base de datos de firmas espectrales para el estrato herbazal - arbustal	66
3. Comparar las firmas espectrales en función del rango altitudinal del estrato herbazal - arbustal	69
VI. CONCLUSIONES	72
VII. RECOMENDACIONES	73

VIII. RESUMEN	74
IX BIBLIOGRAFÍA	75
X. ANEXOS	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.-	Clasificación del espectro electromagnético	7
Tabla 2.-	Estrato del ecosistema páramo destinado al estudio	24
Tabla 3.-	Tabla de clasificación NDVI	26
Tabla 4.-	Tablas de interpretación de valores de Simpson	29
Tabla 5.-	Escala de calificación de diversidad	31
Tabla 6.-	Escala de calificación de similitud	31
Tabla 7.-	Tabla de intensidad de muestreo	33
Tabla 8.-	Tabla de dimensiones de transectos	33
Tabla 9.-	Inventario florístico del área herbazal	53
Tabla 10.-	Índice de Simpson del área herbazal.	54
Tabla 11.-	Índice de Simpson para la localidad 1 del área herbazal	55
Tabla 12.-	Índice de Simpson para la localidad 2 del área herbazal	55
Tabla 13.-	Índice de Simpson para la localidad 3 del área herbazal	56
Tabla 14.-	Índice de Simpson para la localidad 4 del área herbazal	57
Tabla 15.-	Índice de Shannon del área herbazal.	57
Tabla 16.-	Índice de Shannon para la localidad 1 del área herbazal	58
Tabla 17.-	Índice de Shannon para la localidad 2 del área herbazal	58
Tabla 18.-	Índice de Shannon para la localidad 3 del área herbazal	59
Tabla 19.-	Índice de Shannon para la localidad 4 del área herbazal	59
Tabla 20.-	Índice de similitud de Sorensen del área herbazal	60
Tabla 21.-	Inventario florístico del área arbustal	61
Tabla 22.-	Índice de Simpson del área arbustal	61
Tabla 23.-	Índice de Simpson para la localidad 1 del área arbustal	62
Tabla 24.-	Índice de Simpson para la localidad 2 del área arbustal	62

Tabla 25.-	Índice de Simpson para la localidad 3 del área arbustal	62
Tabla 26.-	Índice de Simpson para la localidad 4 del área arbustal	63
Tabla 27.-	Índice de Shannon del área arbustal	63
Tabla 28.-	Índice de Shannon para la localidad 1 del área arbustal	64
Tabla 29.-	Índice de Shannon para la localidad 2 del área arbustal	64
Tabla 30.-	Índice de Shannon para la localidad 3 del área arbustal	65
Tabla 31.-	Índice de Shannon para la localidad 4 del área arbustal	65
Tabla 32.-	Índice de similitud de Sorensen del área arbustal	65
Tabla 33.-	Estadística descriptiva de la altura 1	70
Tabla 34.-	Estadística descriptiva de la altura 2	71
Tabla 35.-	Correlación entre NDVI de la altura 1 con NDVI de la altura 2	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.-	Parámetros de una onda	8
Figura 2.-	Tipos de interacción de la radiación con la materia	10
Figura 3.-	Clorofila en el agua	14
Figura 4.-	Comportamiento espectral de algunos tipos de suelo	15
Figura 5.-	Niveles de reflectividad para los diferentes tipos de minerales a distintas longitudes de onda	16
Figura 6.-	Niveles de reflectancia para los diferentes materiales de construcción a distintas longitudes de onda	17
Figura 7.-	Niveles de reflectancia para los diferentes tipos de vegetación a distintas longitudes de onda	18
Figura 8.-	Análisis de la respuesta espectral de la vegetación sana	18
Figura 9.-	Ubicación del área de estudio	22
Figura 10.-	Diseño de parcela según GLORIA	27
Figura 11.-	Diseño de la subparcela de 1m x 1m	28
Figura 12.-	Diseño de la parcela circular para el estrato arbustal	29
Figura 13.-	Iluminación adecuada para la medición	35
Figura 14.-	Comprobar la conexión del equipo Rs3	35
Figura 15.-	Estado de la batería del equipo	36
Figura 16.-	Configuración del Spectrum Save	37
Figura 17.-	Configuración para el muestreo de espectros	38
Figura 18.-	Plant Probe	39
Figura 19.-	Visualización y procesamiento de las firmas espectrales en ViewSpecPro	40
Figura 20.-	Firmas transformadas y exportadas en reflectancia	40

Figura 21.-	Corrección de las frimas del salto de la lente a los 1000nm	41
Figura 22.-	"Average" de las firmas espectrales	41
Figura 23.-	Mapa del estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo	43
Figura 24.-	Mapa de alturas del estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la subcuenca del río Chambo	44
Figura 25.-	Mapa de rangos altitudinales comprendidos en el estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo	45
Figura 26.-	Mapa de las localidades establecidas	46
Figura 27.-	Mapa de los transectos en la localidad 1	47
Figura 28.-	Mapa de los transectos en la localidad 2	47
Figura 29.-	Mapa de los transectos en la localidad 3	48
Figura 30.-	Mapa de los transectos en la localidad 4	49
Figura 31.-	Mapa NDVI localidad 1	50
Figura 32.-	Mapa NDVI localidad 2	51
Figura 33.-	Mapa NDVI localidad 3	52
Figura 34.-	Mapa NDVI localidad 4	53
Figura 35.-	Medias generales por cada altura de cada localidad	66
Figura 36.-	Media general del estrato	67
Figura 37.-	Rango de clorofila de la media general (550nm - 680nm)	68
Figura 38.-	Rango de NDVI de la media final (500nm - 900nm)	68
Figura 39.-	Tabla de valores en Minitab	69

DETERMINACIÓN DE LA FIRMA ESPECTRAL DEL ESTRATO HERBAZAL - ARBUSTAL DEL PÁRAMO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

I. INTRODUCCIÓN

La radiometría es una rama de la ciencia y la ingeniería la cual tiene la finalidad de medir la radiación electromagnética emitida por todos los medios materiales, así aplicada a la teledetección dispone de una serie de ventajas como es la fotografía aérea o la observación directa a través de trabajos de campo mediante el uso de sensores. La firma espectral no es más que la reflectancia de la luz visible según una combinación característica de radiaciones de distintas longitudes de onda, donde se incluye la variabilidad temporal de las firmas espectrales debido a cambios estacionarios, condiciones climáticas y niveles de iluminación.

Cada tipo de objeto reflejará una radiación incidente diferente lo cual nos permitirá distinguirlos unos de otros midiendo su nivel de reflectancia, gracias a trabajos de laboratorio se ha logrado obtener los niveles de reflectancia para distintas cubiertas en diferentes longitudes de onda, así el gráfico para cada longitud de onda, nos da los niveles de reflectancia que constituye una marca de identidad de los objetos.

El estudio del comportamiento espectral en la vegetación es muy complejo debido a que la cubierta vegetal no es un medio homogéneo ya que está constituido por hojas, troncos, suelo, agua los cuales emiten sus propias firmas espectrales característico de cada objeto, además se debe considerar que las plantas como entes vivos están sujetos a cambios estacionales y enfermedades que influyen en el nivel de reflectancia.

De la presente investigación obtendremos las firmas espectrales del estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo en dos rangos altitudinales mediante el uso

de un espectro-radiómetro las cuales usaremos para comparar las firmas obtenidas de cada una de las alturas y concluir si incide o no el rango altitudinal en los niveles de reflectancia del área de estudio.

A. JUSTIFICACIÓN

El páramo al ser un ecosistema frágil ha sufrido varias intervenciones antropológicas que han modificado su estructura y diversidad, esto se ha venido practicando desde tiempos pasados sin ningún tipo de control o monitoreo y es en las últimas décadas que se habla de un interés en su conservación debido a la importancia ecológica que cumple este tipo de ecosistemas.

El avance en investigación de nuevas metodologías y tecnologías ha facilitado el desarrollo de información más precisa para el manejo y control de los recursos naturales u observar los comportamientos climáticos con herramientas que van desde fotografías aéreas hasta los actualmente conocidos satélites o sensores espaciales como Landsat, Quickbird, entre otros. En el Ecuador existen investigaciones usando tecnologías para obtener firmas espectrales por parte del Instituto Geográfico Militar, pero se han limitado únicamente a cultivos anuales como son la papa y el maíz, o recientemente a especies forestales específicas es así que no existe información o datos sobre firmas espectrales obtenidas en ecosistemas de páramo esto mayormente restringido por las condiciones climáticas y la difícil accesibilidad a este tipo de ecosistemas. Conjuntamente con el proyecto “Soil Organic Carbon Evaluation and Sequestration in Ecuadorian Paramo Ecosystem” en la Universidad Nacional de Chimborazo se realizará la obtención de las firmas espectrales del estrato herbazal arbustal del páramo mediante el uso de un espectro-radiómetro, imágenes satelitales y complementando con el uso de SIG y teledetección, con lo cual se tendrá información digital que ayudará a monitorear la

vegetación su estado, control e intervención de las mismas, al mismo tiempo contar con una base de datos de firmas espectrales y una metodología para su obtención sobre este tipo de ecosistemas que puedan favorecer a futuras investigaciones en el mismo o diferente tipo de ecosistemas.

B. OBJETIVOS

1. General

a. Determinar la firma espectral del estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo en la subcuenca del río Chambo, provincia de Chimborazo.

2. Específicos

a. Delimitar el estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la subcuenca del río Chambo.

b. Elaborar una base de datos de firmas espectrales para el estrato herbazal - arbustal.

c. Comparar las firmas espectrales en función del rango altitudinal del estrato herbazal - arbustal.

II. MARCO TEÓRICO

A. TELEDETECCIÓN

La teledetección no es más que una técnica que nos permite obtener imágenes de la superficie terrestre a través de sensores mediante una interacción energética entre la Tierra y el sensor que puede ser por la reflexión de la energía solar o por un haz energético artificial y mediante el uso de una aplicación específica se logra interpretar esta interacción para su análisis, a esta interacción se la conoce como radiación electromagnética que es mayormente emitida por el sol y es reflejada por los objetos presentes en la superficie terrestre. (Chuvieco, 2000).

El flujo de radiación o la interacción energética entre los objetos y el sensor puede ser de tres tipos según su origen.

- Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado).
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico).
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar).

A las dos primeras técnicas de teledetección se las conoce mejormente como teledetección pasiva, y a la última también se la conoce como teledetección activa. Esta radiación emitida o reflejada por los objetos hacia el sensor se guarda en un formato digital el cual nos permite realizar un análisis de esta información y con esto el reconocimiento de las características de los objetos observados. (Chuvieco, 2000)

Un sistema de teledetección está compuesto por los siguientes elementos:

Fuente de Energía: Es el emisor de la radiación electromagnética que llegará a la superficie terrestre y que será captada por el sensor, esta puede ser: el sol (fuente natural) o el mismo sensor (fuente artificial). (Chuvieco, 2000)

Cubierta Terrestre: Conformada por distintas cubiertas de vegetación, suelo, agua o infraestructura, que al momento de recibir la radiación electromagnética proveniente de la fuente de energía esta será reflejada o emitida de acuerdo a las características físicas de cada una de ellas. (Chuvieco, 2000)

Sistema Sensor o Equipo: Constituido por el sensor y la plataforma que lo sustenta, tienen como función captar la energía emitida por la cubierta terrestre, codificarla y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción para su tratamiento. (Chuvieco, 2000)

Sistema de recepción y comercialización: este sistema recibe la información transmitida por la plataforma y guardarla en un formato específico y apropiado para posteriormente realizar las correcciones necesarias. (Chuvieco, 2008)

Intérprete o Analista: Es la persona encargada de realizar el análisis y la clasificación de la información contenida en la imagen para generar información requerida por la investigación, instituciones, usuario final, etc. (Chuvieco, 2000)

Usuario Final: Es quien finalmente recibirá y utilizará la información ya procesada por el analista para fines específicos. (Chuvieco, 2008)

1. Naturaleza de las radiaciones electromagnéticas

La radiación electromagnética es una energía que solo puede ser percibida únicamente por su interacción con la materia, esta radiación electromagnética está formada por

componentes eléctricos y magnéticos y es afectada por las mismas propiedades eléctricas y magnéticas de la materia con la que interactúa (Reuter, 2009)

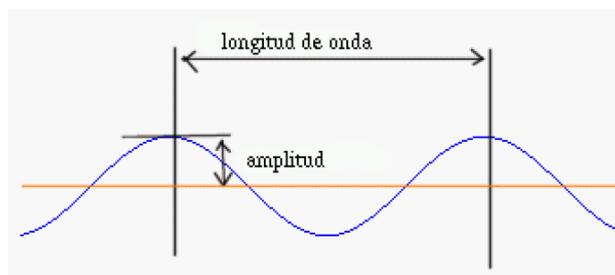
La energía electromagnética es un ente que se manifiesta de acuerdo a características complementarias entre sí conocidas como: ondulatorio, que permite revelar ciertos fenómenos como los de difracción e interferencia, así mismo explica la radiación como un campo eléctrico y uno magnético oscilando en planos perpendiculares. Este fenómeno ondulatorio posee una doble periodicidad que es en tiempo y espacio la cual determina la longitud de onda que no es más que la distancia entre dos puntos consecutivos de igual amplitud del campo magnético. Este intervalo de tiempo transcurrido entre dos instantes consecutivos se denomina período y se expresa en ciclos por segundo. La concepción corpuscular permite explicar fenómenos como el efecto fotoeléctrico y la absorción de radiación por las moléculas y consiste en idear la radiación como un haz de corpúsculos llamados cuantos de radiación o mejormente conocidos como fotones que se desplazan en la dirección del haz con la velocidad de la luz. (Bense, 2007)

Como ya sabemos la radiación electromagnética puede ser descrita como una onda y los parámetros que la definen son su frecuencia, longitud de onda y amplitud.

La longitud de onda se define como la distancia entre dos máximos consecutivos de la onda se mide en unidades de distancia.

La frecuencia es el número de máximos que pasan por un punto en un tiempo determinado su unidad de medida es el hercio (Hz) donde 1 Hz corresponde a un ciclo por segundo.

La amplitud es la distancia que hay entre un punto de inflexión de la onda y el máximo. (Reuter, 2009)

FIGURA 1: Parámetros de una onda.

Fuente: Reuter F.

2. El espectro electromagnético

Según, Leonberger (2002), el espectro electromagnético es la radiación electromagnética que emite o absorbe un objeto cualquiera ya sea en la tierra o en el espacio estelar. Estas ondas electromagnéticas abarcan una amplia escala de longitudes y ondas y se las puede clasificar según su principal fuente de producción. La energía electromagnética en una particular longitud de onda λ (en el vacío) tiene una frecuencia f asociada y una energía de fotón E . Por tanto, el espectro electromagnético puede ser expresado igualmente en cualquiera de esos términos.

Tabla 1: Clasificación del espectro electromagnético

Región del espectro	Intervalo de frecuencias (Hz)
Radio-microondas	$0-3.0 \cdot 10^{12}$
Infrarrojo	$3.0 \cdot 10^{12}-4.6 \cdot 10^{14}$
Luz visible	$4.6 \cdot 10^{14}-7.5 \cdot 10^{14}$
Ultravioleta	$7.5 \cdot 10^{14}-6.0 \cdot 10^{16}$

Rayos X	$6.0 \cdot 10^{16} - 1.0 \cdot 10^{20}$
Radiación gamma	$1.0 \cdot 10^{20} - \dots$

Fuente: (Leonberger, 2002)

La energía que es transportada por las ondas electromagnéticas se llama energía radiante, y el proceso físico productor de energía radiante es la radiación. La radiación electromagnética se forma por la transformación de energía, inicialmente en otras formas como cinética, química, eléctrica, térmica, etc. (Reuter, 2009)

Para entender mejor sobre el espectro electromagnético y la obtención de firmas espectrales se procede a enumerar algunos aspectos importantes dentro del proceso de teledetección.

- **Energía radiante:** Se mide en Julios (J) y nos indica el total de energía radiada en todas las direcciones.
- **Densidad radiante:** Se mide en (J/m^3) , muestra el total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de volumen.
- **Flujo radiante:** Total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo y se mide en vatios (W).
- **Emitancia radiante.** Nos indica el total de energía radiada en todas las direcciones proveniente de una unidad de área y por unidad de tiempo, se mide en (W/m^2) .
- **Irradiancia radiante:** total de energía radiada sobre una unidad de área por unidad de tiempo, es parecida a la emitancia pero la irradiancia se refiere a la incidencia. También se mide en (W/m^2) .
- **Intensidad radiante:** Es el total de energía radiada por unidad de tiempo y ángulo sólido, se mide en vatios por estéreo-radian (W/sr) .

- Radiancia: Total de energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida. Se mide en ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ sr}$).
- Emisividad: Es la relación entre la emitancia de una superficie y la que ofrecería un emisor perfecto.
- Reflectividad: Es la relación entre el flujo incidente y el reflejado por una superficie.
- Absortividad: relación entre el flujo incidente y el que absorbe una superficie.
- Transmisividad: relación entre el flujo incidente y el transmitido por una superficie.

Estas últimas son adimensionales generalmente suelen ser expresadas en porcentajes, además de que estas magnitudes son dependientes de la longitud de onda. (Chuvieco, 2000).

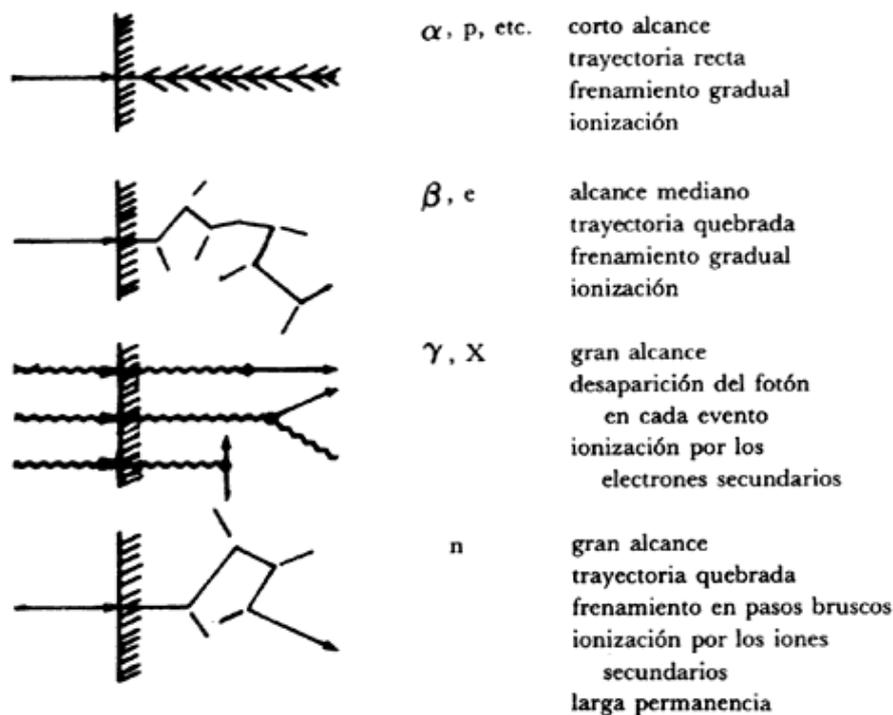
3. Interacción de la radiación con los objetos.

Para cualquier tipo de empleo de la radiación esta debe basarse en dos principios fundamentales que es la penetración de la energía y depósito de energía, como ya sabemos el origen de las radiaciones son atómicos o nucleares y es por tanto también de esperarse que sus efectos se produzcan a nivel atómico o nuclear. Al momento de una radiación penetrar en un material lo que va a encontrar a su paso son electrones y núcleos pero la interacción se dará mayormente en con los electrones debido a que existe un número Z de electrones por cada núcleo. Es así que los efectos más comunes son el de ionización y el de excitación atómica. (Campbell, 1995)

Según su interacción con la materia podemos separar a la radiación en 4 grupos: 1) Las partículas pesadas cargadas positivamente, que incluyen partículas alfa, protones e iones pesados energéticos; 2) Las partículas ligeras cargadas, como electrones, betas y

positrones; 3) Las radiaciones electromagnéticas, incluyendo rayos X y gamma; 4) los neutrones. (Campbell, 1995)

FIGURA 2: Tipos de interacción de la radiación con la materia.



Fuente: Campbell J.

4. Interacción de la atmosfera con la radiación electromagnética.

Según Reuter (2009), al momento de considerar la radiación que existe entre el sol. La superficie y los satélites la atmosfera juega un papel muy importante, ya que en el espacio exterior no existe perdida de radiación debido a la obstrucción de algún tipo de material, solo existe una atenuación debido a la ley del cuadrado de la distancia, la atmosfera está compuesta de gases y aerosoles y debido a estos la atmosfera tiene un triple efecto sobre la radiación.

- Absorción de la energía.
- Dispersión de la radiación

- Emisión.

a. Absorción

Los gases que componen a la atmosfera tienen capacidad de absorber la radiación en diferentes longitudes de onda dependiendo del tipo de gas, es así que:

- Ozono (O_3): Responsable de absorber la radiación ultravioleta.
- Dióxido de carbono (CO_2): Absorbe radiación en 13 – 17.5 μ ;
- Vapor de agua (H_2O): Absorbe radiación en 5.5 - 7 μ y por encima de 27 μ ;

Debido a esto la atmosfera no produce absorción en ciertas regiones del espectro a lo que se denomina ventanas atmosféricas las cuales son las que utiliza la teledetección y las principales son: Visible e infrarrojo cercano, infrarrojo cercano de onda corta, infrarrojo medio, infrarrojo térmico, microondas por encima de 20 μ la atmósfera es prácticamente transparente. (Reuter, 2009).

b. Dispersión

La dispersión no es más que la reflectancia de la radiación electromagnética debido a partículas y/o gases presentes en la atmosfera. Existen tres tipos de dispersión:

- **Dispersión de Rayleigh**, ocurre cuando la longitud de onda es mucho menor que el tamaño de los objetos responsables de la dispersión. Afecta por tanto a las longitudes de onda más cortas y causa el color azul del cielo.
- **Dispersión de Mie**, cuando la longitud de onda es del mismo orden de magnitud que los objetos dispersores (vapor de agua, polvo y aerosoles). Afecta a todas las longitudes de onda del visible.
- **Dispersión no selectiva**, cuando la longitud de onda es mucho menor que los objetos, la producen gotas de agua en la atmósfera (niebla o nubes). (Reuter, 2009)

c. **Emisión**

No es más que la refracción de la energía electromagnética por medio de los gases y partículas que componen las atmósferas las cuales ocasionan que esta emisión se realice en forma recta en su lugar se da a manera de ondas. (Reuter, 2009).

B. **FIRMAS ESPECTRALES**

La firma espectral no es más que la cualidad de los objetos de absorber, reflejar o emitir la energía electromagnética la misma que es distinta y única para cada elemento de la naturaleza el cual nos permite identificarlos mediante capturas de las diferentes porciones del espectro con el uso de sensores remotos. (Haydee, 2001)

1. **Tipos de firmas espectrales**

De acuerdo a las características de captura de la información por parte del sensor podemos clasificarlos en los siguientes tipos de firmas espectrales:

- Firmas monobandas: La firma espectral del elemento únicamente es la respuesta espectral dentro de un solo canal disponible.
- Firmas multibandas: Las firmas están contenidas en varios canales caracterizados individualmente por el intervalo del ancho de onda total. Otros satélites pueden ofrecer más canales incluso casos extremos que son alguna toma en hiperfrecuencias activas alcanzando más de cien canales.
- Firmas de origen opcional: La toma de algunos factores fijados previamente por el usuario para un posterior tratamiento de la información en función de los mismos factores. (Abreu, 2017).

2. **Accesibilidad de las firmas espectrales.**

Existen dos maneras de poder acceder a estas firmas.

- La primera consiste en dejar los valores digitales tal como están en el soporte en que se adquirió la imagen.
- La segunda es usarla en estudios del medio natural, esta posibilidad consta en la conversión de los valores de los píxeles de origen en valores porcentuales de reflectancia para poder comparar las respuestas espectrales en una escala espacial, temporal y de distintas fuentes. (Abreu, 2017)

3. Respuestas Espectrales

Una firma espectral está compuesta por señales registradas por los sensores remotos en diferentes porciones del espectro electromagnético, es así que cada elemento dentro de la naturaleza emite una energía electromagnética característico de ese elemento lo que permite diferenciarlos unos de los otros.

a. Respuesta espectral del agua

La reflectividad que presenta el agua es bastante baja y con una tendencia descendente a medida que aumenta la longitud de onda. Se ve afectada por factores como el contenido de Clorofila, materiales en suspensión, rugosidad superficial y profundidad.

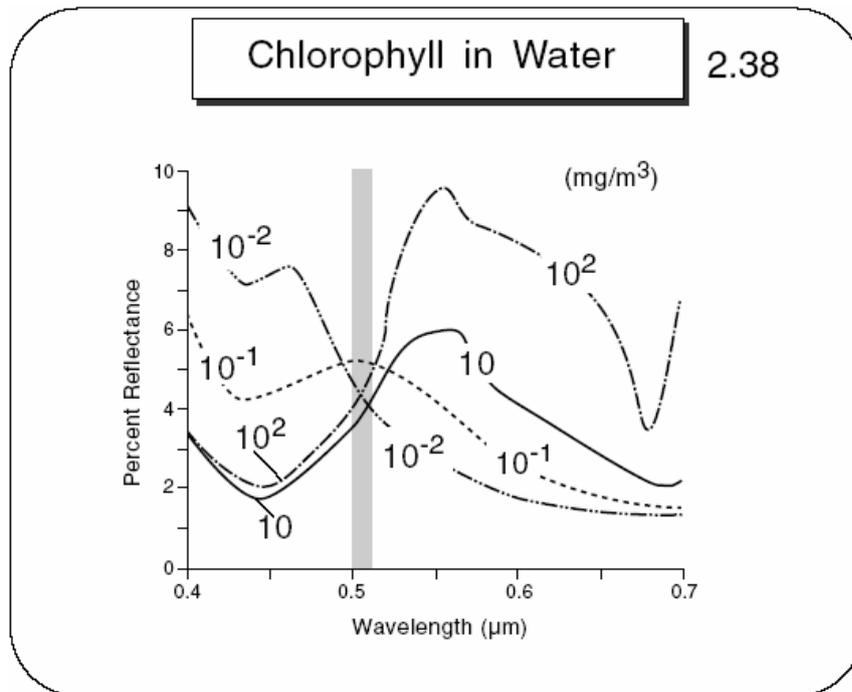
El agua clara tiene excelentes propiedades en cuanto a transmisión de la energía electromagnética en el espectro visible y absorción en el infrarrojo. Gracias a su reflectancia que se muestra como un pico en el verde y va reduciéndose hasta el infrarrojo lo cual nos ayuda para distinguir entre áreas de tierra y agua tanto en costas como lagos incluso ríos. (Haydee, 2001).

La profundidad a la que la luz puede penetrar en el agua depende de la longitud de onda del espectro, en agua clara la profundidad de penetración es de 10m entre 0.5 y 0.6 pudiendo caer hasta los 80cm en 0.8 y 1.1.

En aguas no claras, es decir, que contienen elementos en suspensión o aguas turbias, la reflectancia va a depender del tipo de turbidez. Es así que si en el agua encontramos

fitoplancton se encontrara variaciones en el verde el cual aumenta debido a la presencia de clorofila y el azul disminuye, y si se trata de sedimentos inorgánicos la reflectividad aumenta especialmente en el rojo (Abreu, 2017).

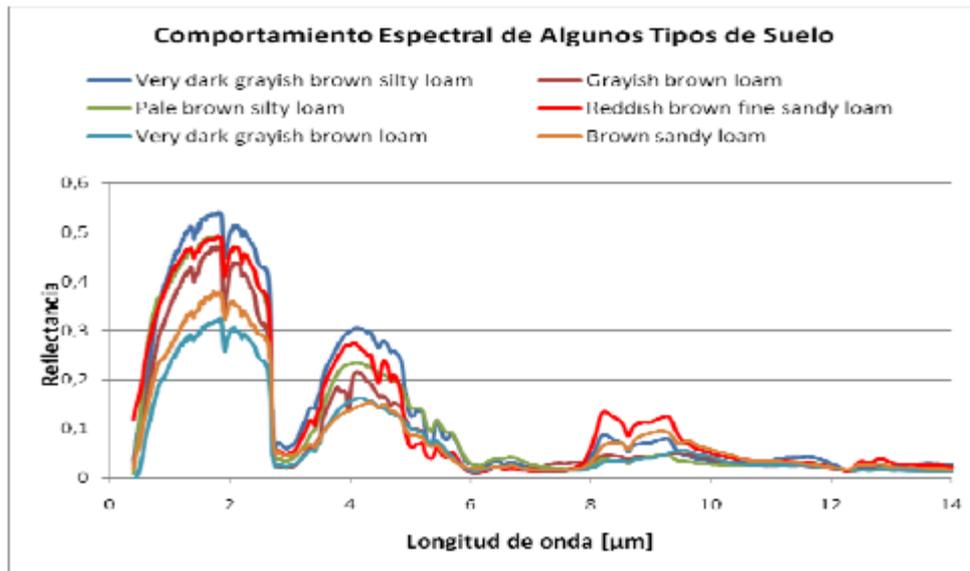
FIGURA 3: Clorofila en el agua.



Fuente: Haydee K. 2001

b. Respuesta espectral del suelo

La respuesta espectral del suelo depende de algunos factores como: contenido de humedad, contenido de materia orgánica, Tamaño de las partículas, contenido de óxido de hierro, mineralogía y su estructura, por ejemplo en suelos secos con tierra ennegrecidas la reflectancia será mayor lo cual no ocurre con suelos con alto contenido de humedad el cual la reflectancia será dos veces menor registrando las mayores diferencia en la zona de infrarrojo cercano (Hernandez, 2009).

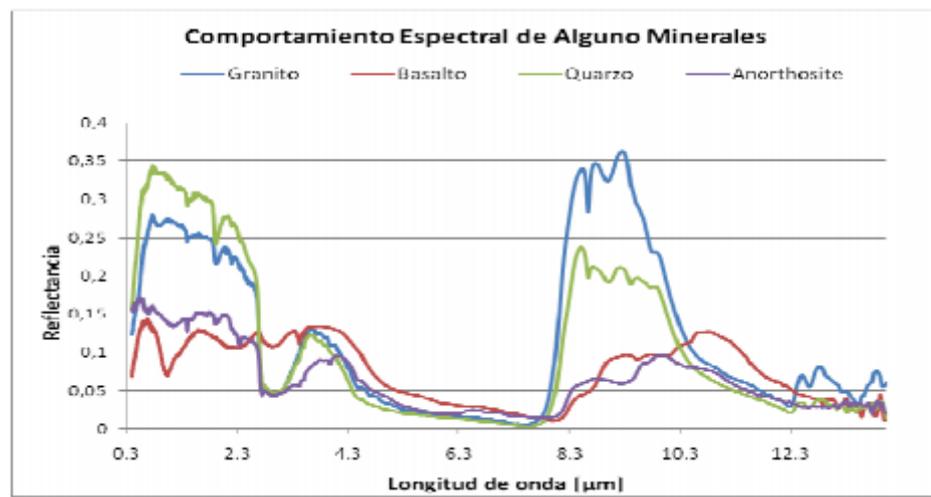
FIGURA 4: Comportamiento espectral de algunos tipos de suelo.

Fuente: Hernández, J.

c. Respuesta espectral de los minerales.

Por lo general la conducta de los minerales depende del color de cada mineral, los minerales de color blanco presentan una reflectancia intensa contrario a los minerales de colores oscuros los cuales son más absorbentes y por ende reflejan poca luz en el espectro electromagnético. Al momento de estudiar la respuesta espectral de los minerales se tiene la posibilidad de, mediante técnicas geomáticas, la detección de minerales de alteración que son de alto interés a la hora de ubicar algunos yacimientos, acumulaciones de minerales y/o zonas de alteración hidrotermal. (Scanvic, 1989).

FIGURA 5: Niveles de reflectividad para los diferentes tipos de minerales a distintas longitudes de onda.

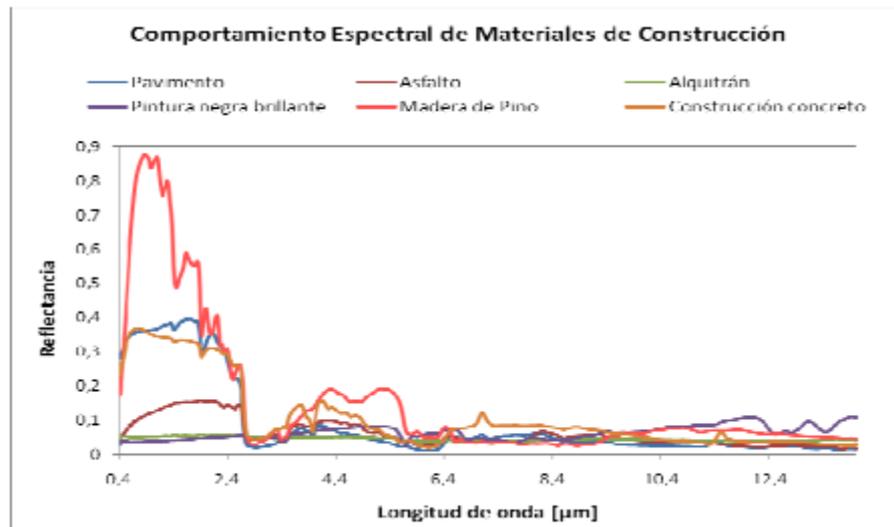


Fuente: Hernández, J.

d. Respuesta espectral de los elementos urbanos.

Dentro del ambiente urbano tenemos una gran cantidad de elementos con respuestas espectrales distintas dependiendo de la naturaleza y el color, es así que a los distintos tipos de asfaltos y cementos se los conoce como elementos “calientes” debido a su gran absorción en la sección térmica, lo que no sucede igual con la madera ya que esta depende de su color y la intensidad con la que fue secada. (Hernandez, 2009).

FIGURA 6: Niveles de reflectancia para los diferentes materiales de construcción a distintas longitudes de onda.

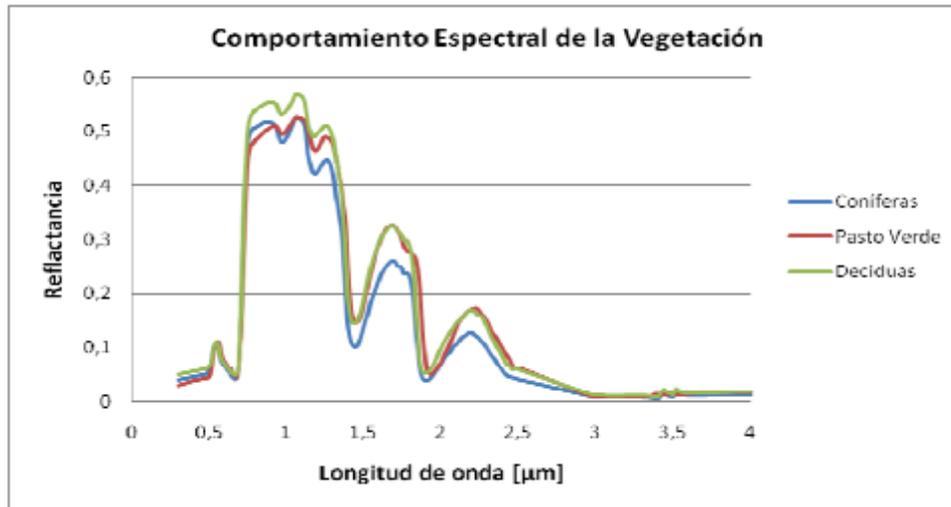


Fuente: Hernández, J.

e. Respuesta espectral de la vegetación.

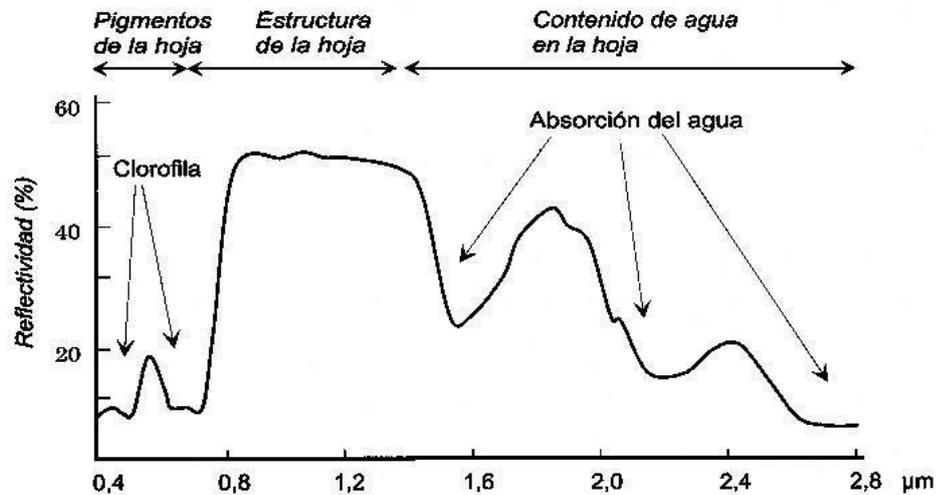
Los niveles de reflectancia en la vegetación van a depender principalmente de factores como: estructura de las hojas, contenido de humedad y tipos de pigmentos, La estructura de las hojas (capa esponjosa del mesofilo) aumenta la reflectividad en la zona del infrarrojo cercano (0,8-1,1 m)., entre los rangos 1,4 m-1,8 m (infrarrojo medio) la reflectividad depende del contenido de agua entre y dentro de las células, en condiciones de hidratación normales ambos valles son profundos y marcados, en condiciones de estrés hídrico estos son menos marcados aumentando su reflectividad. Dependiendo de los pigmentos estos afectan a las longitudes de ondas del espectro visible (0,4- 0,7 m) donde el 65% es absorbido por la Clorofila, el 29% por la Xantófila y el 6% por Carotenos. (Hernandez, 2009).

FIGURA 7. Niveles de reflectancia para los diferentes tipos de vegetación a distintas longitudes de onda.



Fuente: Hernández, J.

FIGURA 8: Análisis de la respuesta espectral de la vegetación sana.



Fuente: Hernández, J.

C. PÁRAMOS

Se considera páramo como un ecosistema neotropical cuya ubicación se encuentra entre el bosque montano y el límite superior de la nieve perpetua con un rango altitudinal que va desde los 3000 y 5000msnm. (Sklenar, 2005). Su característica ambiental resulta ser un ecosistema frío y húmedo cuyas temperaturas diaras varían entre -3°C y $+20^{\circ}\text{C}$ y con precipitaciones anuales que van desde los 500 hasta los 3000 milímetros. (Luteyn, 1999). Comprende una gran variedad geográfica, y climática lo que favorece con la fisonomía y crecimiento y establecimiento de una gran diversidad de formas de vida tanto en flora como de fauna (Ramsay, 1992)

Dentro del territorio ecuatoriano los páramos ocupan una extensión de 1'337.119 hectáreas las cuales corresponden al 5% del territorio. 246.000 hectáreas corresponden a los páramos de la provincia de Chimborazo que conforman el 38% de la superficie de la provincia y el 8% que corresponde a bosques andinos y altoandinos con un total de 49571.16 hectáreas. (Beltran, 2009).

Según Podwojewski (2002) el páramo corresponde a un ecosistema sensible y vulnerable frente a las actividades antrópicas los cuales provocan cambios en la cobertura del suelo, los páramos de la provincia de Chimborazo han sido ocupados como territorio para las actividades de agricultura, ganadería y forestación con especies introducidas. Así como también una práctica tradicional y muy agresiva con este ecosistema como son las quemadas para rebrotar la paja tierna para el ganado con el fin de aumentar la productividad ganadera.

Este tipo de actividad ganadera y quema de pajonal modifican la composición y estructura florística así como también la estructura del suelo que causa serios daños a largo plazo en este tipo de ecosistemas donde la recuperación de la vegetación tarda

mucho tiempo en el cual los servicios ecológicos que brinda el páramo se ven afectados (Salgado, 2010).

Los recursos naturales en los páramos de la provincia de Chimborazo se encuentran dentro de un proceso de intervención antrópica esto mayormente debido al alto nivel de pobreza existente en la provincia lo cual “obliga” a presionar este tipo de ecosistemas y destinarlos a producción introduciendo especies ajenas a este tipo de ecosistemas. Es por esto que es necesario conocer el estado del ecosistema y los beneficios que nos brinda, así como también la intensidad de intervención que sufre este tipo de ecosistema las cuales podrían ser irreversibles. (Molano, 2002)

III. MATERIALES Y METODOS

A. CARACTERISTICAS DEL LUGAR

1. Localización

El presente estudio se realizó en la subcuenca del río Chambo en el estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la provincia de Chimborazo.

a. Superficie

El estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la sub-cuenca del río Chambo comprende una superficie de 21226.55 Hectáreas.

2. Características Climáticas

PARAMETRO	VALOR MEDIO
TEMPERATURA	14 °C
ALTITUD	2652 msnm
PRESIPITACIÓN	500 mm
HUMEDAD RELATIVA	67%

Fuente: Colegio Nacional Chambo (2005).

3. Clasificación Ecológica

La sub-cuenca del río Chambo está compuesta por los siguientes ecosistemas: Bosque siempre verde montano del norte de la cordillera oriental de los Andes, Bosque siempre verde montano alto de la cordillera oriental de los Andes, Herbazal húmedo montano alto superior del páramo, Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes, Herbazal ultrahúmedo subnival del páramo, Herbazal húmedo subnival del páramo, Bosque siempre verde montano alto del norte de la cordillera oriental de los Andes. Arbustal siempreverde y herbazal del páramo, Herbazal - arbustal siempreverde subnival del

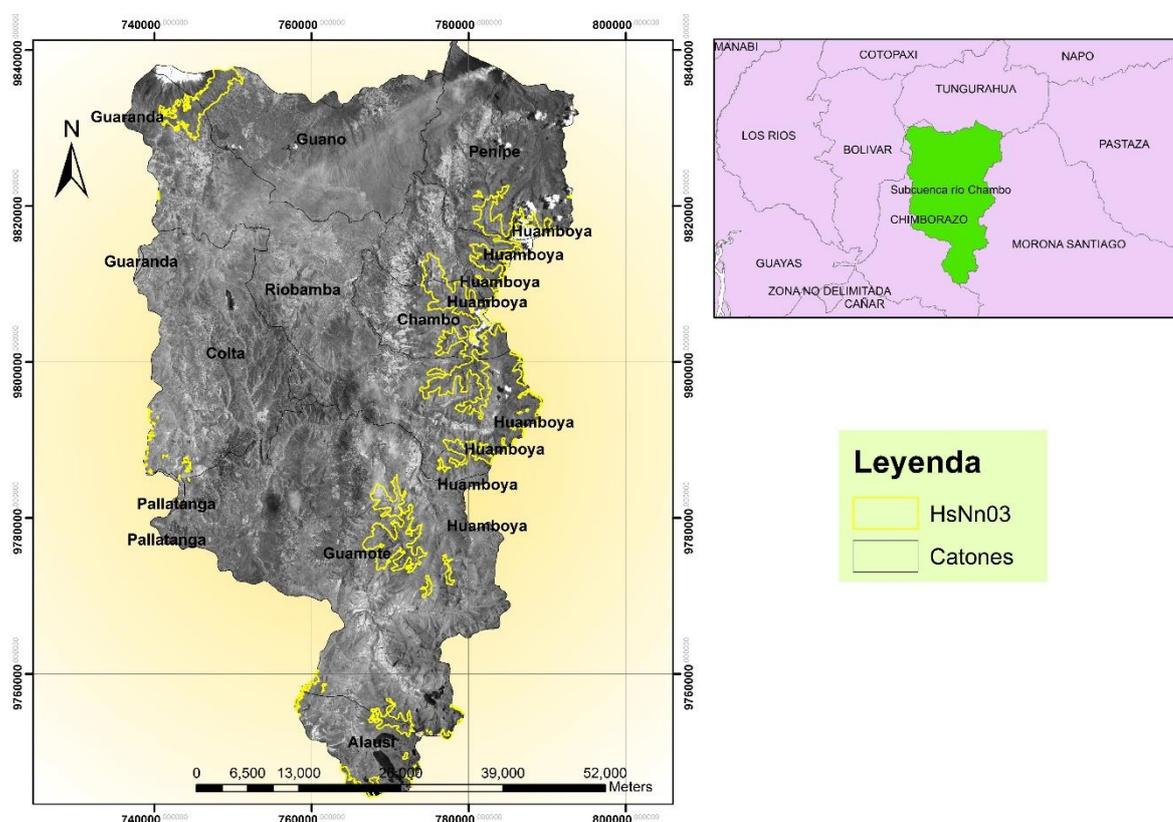
páramo, Herbazal de páramo. En una altura que comprende desde los 3200msnm hasta los 5400msnm. (MAE, 2012)

4. Ubicación Geográfica

Coordenadas proyectadas: UTM Zona 17 sur/ Datum WGS 84

X: 783487 **Y:** 9817400 **Altura:** 3600msnm – 4600msnm.

FIGURA 9: Ubicación del área de estudio



Fuente: Córdova M.

B. MATERIALES Y EQUIPOS

1) Materiales de campo

Espectro-radiómetro de firmas espectrales Field Spec 4 Widerange: 350 – 2500 nm, Plant Probe ASD, GPS Juno de precisión, Libreta para Campo, Cámara Fotográfica y Equipo de acampar, Cinta métrica de 30m, Piola.

2) **Materiales de oficina**

Manual de uso del espectro radiómetro, Computador portátil, Impresora y Calculadora.

3) **Programas informáticos**

GRASS, RS3 Spectral Acquisition de ASD, ViewSpec Pro de ASD, Arc Gis 10.3.1, Microsoft Office Word, Microsoft Office Excel y ENVI 5.0.

C. **METODOLOGIA**

1. **Delimitación del estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la subcuenca del río Chambo.**

a. **Búsqueda y recopilación de la información.**

Para la estratificación del área de estudio se utilizó una metodología basada en la interpretación de imágenes satelitales de Landsat y mapas creados a partir de la herramienta ArcGis, con lo cual se procedió a la elaboración de la estratificación del ecosistema páramo, la estratificación del ecosistema páramo de la subcuenca del río Chambo está basada en estudios realizados en el área de investigación por la Universidad Nacional de Chimborazo, respecto a la estratificación del ecosistema páramo de la subcuenca del río Chambo correspondientes al año 2016. A partir de esta información se obtuvo datos de diferentes estratos de este tipo de ecosistema los cuales fueron:

- Bosque siempre verde montano del norte de la cordillera oriental de los Andes.
- Bosque siempre verde montano alto de la cordillera oriental de los Andes.
- Herbazal húmedo montano alto superior del páramo.
- Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes.
- Herbazal ultrahúmedo subnival del páramo.
- Herbazal húmedo subnival del páramo.

- Otras áreas.
- Bosque siempre verde montano alto del norte de la cordillera oriental de los Andes.
- Arbustal siempreverde y herbazal del páramo.
- Herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo.
- Herbazal de páramo.

b. Selección de la información

La selección de la información se basó en su distribución y tamaño, es así, que se tomó en cuenta 1 estrato de este ecosistema para el estudio que corresponde al siguiente:

Tabla 2.- Estrato del ecosistema páramo destinado al estudio.

ESTRATO	AREA (Ha)
Herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo.	21226.55

Fuente: UNACH 2016

Seleccionados los estratos a evaluar se recolectó datos de imágenes satelitales para una mejor representación del área de estudio y analizar la distribución del estrato ya seleccionado dentro de la subcuenca del río Chambo.

c. Procesamiento de la información.

Para procesar la información se utilizó la herramienta ArcGis donde todos los archivos fueron trabajados en proyección UTM, Zona 17s Datum WGS84, para ello se creó un archivo shapefile el cual contiene el estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la subcuenca del río Chambo, el área de este estrato, su ubicación dentro del cantón Chambo.

d. Delimitación de áreas

Usando las herramientas de teledetección y SIG se extrajo información sobre áreas, ubicación, relieve de los estratos a ser evaluados, desde aquí se realizó un shape sobre el estrato y un TIN para conocer su altura, a partir de esto se elaboró un DEM para observar los niveles de altura que tiene el estrato a ser evaluado

Se unió el shape del estrato solo representando el perímetro sobrepuesto sobre el DEM clasificado para observar la diferencia en rangos altitudinales dentro del estrato y poder dar una clasificación de acuerdo a una gradiente altitudinal.

Obtenidos los rangos altitudinales en los que se encuentra el estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo se dividió en 4 localidades de acuerdo a su distribución geográfica dentro del mapa.

Se analizó los rangos altitudinales de cada localidad individual para la distribución de los transectos y su tamaño según el área de cada una de las localidades para los rangos altitudinales a evaluar.

Se precedió a marcar los puntos donde se ubicaran los transectos a ser evaluados para la obtención de las firmas espectrales, usando la herramienta ArcGis se creó shapes con puntos para cada localidad los cuales denotan la ubicación de los transectos dentro de cada localidad y en ambos rangos altitudinales los cuales fueron 6 transectos por cada localidad y 3 transectos por cada rango altitudinal.

e. Composición florística

➤ Se realizó un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) como primer paso esto para identificar la presencia de vegetación en la superficie y observar su distribución espacial donde el índice NDVI nos das valores de -1 a 1 en donde tenemos la siguiente tabla de clasificación:

TABLA 3: Tabla de clasificación NDVI

NDVI Value Based Category	NDVI Value
No vegetación	-0.104 – 0.088
Less vegetación	0.088 – 0.210
Less Moderate Vegetación	0.210 – 0.276
Moderate Vegetación	0.276 – 0.333
Dense Vegetación	0.333 – 0.432
Highly Dense Vegetación	0.435 – 0.609

Fuente: NASA – GLCF LandsatTMImagery (2001 & 2010), ERDAS Image10 & ArcGis10.

Basados en esta tabla de clasificación NDVI se clasificó el estrato Herbazal – arbustal que es el correspondiente al área de estudio.

➤ **Ubicación de parcelas:** Se utilizaran 8 parcelas distribuidas 2 por cada localidad y 1 por cada rango altitudinal las cuales representan una intensidad de muestreo del 50% en el mismo transecto que se instalara para la obtención de la firma espectral en cualquiera de las repeticiones dependiendo de las características ambientales donde se ubiquen los transectos, es decir, que exista vegetación propia de la zona y que no exista intervención antrópica.

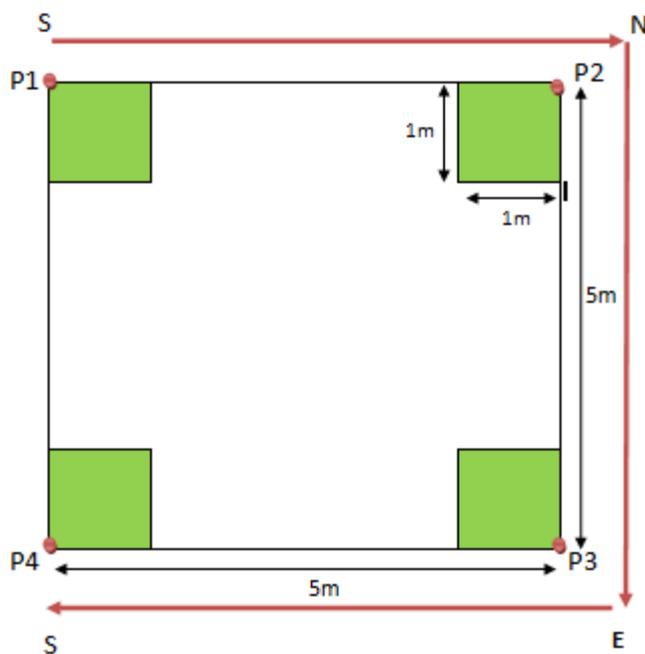
1) Estrato herbazal

➤ **Diseño de las parcelas:** Para el diseño de las parcelas nos basamos en la metodología GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments), Iniciativa para la Investigación y el Seguimiento Global de los Ambientes Alpinos. (Pauli, y otros, 2015)

La superficie de cada parcela fue de 25m², es decir 5m x 5m. Para trazar la parcela nos ubicamos en el punto medio dentro del transecto en el cual obtuvimos la firma espectral y donde se realizó también la instalación de la parcela para el inventario de acuerdo a sus características, obteniendo el punto de inicio de campo (P1), al que se lo oriento rumbo

0° (norte franco), a partir de este se midió 5 m. horizontales con el mismo rumbo anterior ubicando el punto 2 (P2), a 5 m. con un rumbo de 90° (este franco) se instaló el punto 3 (P3), finalmente a 5 metros y un rumbo de 180° (sur franco) se instaló el punto 4 (P4).

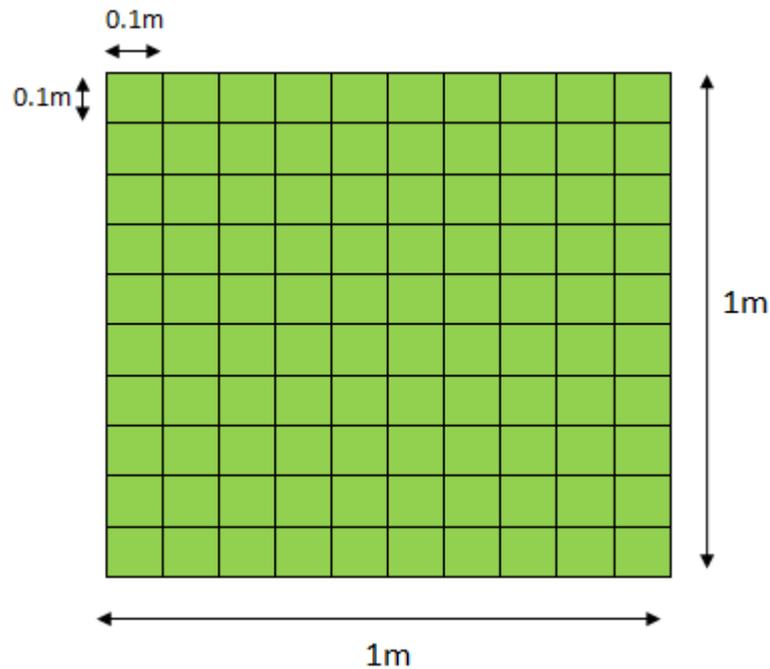
FIGURA 10: Diseño de parcela según GLORIA



Fuente: Córdoba M.

Instalada y levantada la parcela se procedió a ubicar los vértices de las subparcelas de 1m x 1m dividida en celdas de 0.10m x 0.10m con lo que se obtiene un total de 100 celdas que corresponde al 1% del cuadrante. Esta subparcela se ubicó directamente en el suelo dividiendo a la vegetación baja.

FIGURA 11: Diseño de la subparcela de 1m x 1m.



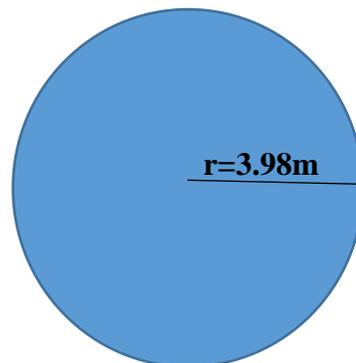
Fuente: Córdova M.

Para el registro de especies vegetales de la subparcela se realizó observando de forma perpendicular al terreno donde se le dio un porcentaje según el número de celdas que ocupó la vegetación presente y se registró el número de individuos de cada especie.

2) Estrato arbustal

Para el inventario florístico del estrato arbustal se utilizó parcelas de 3,98m de radio según indica (MAE, Sistema Nacional e Monitoreo Forestal. Evaluación Nacional Forestal. Manual de campo , 2012), Se consideró aquellas especies con una altura superior a los 30cm e inferiores a 1.3m y $DAP < 10\text{cm}$. El centro de esta parcela estuvo ubicada dentro del transecto del cual se obtuvieron las firmas espectrales del estrato.

Para trazar la parcela primero se ubicó el centro de dicha parcela, usando el gps se tomó dirección hacia el norte, y mediante el uso de una cinta medida con 3.98m se direcciono en forma horaria contando todos los árboles dentro de la parcela.

FIGURA 12: Diseño de la parcela circular para el estrato arbustal

Fuente: Córdova M.

3) Índices de diversidad

El índice de dominancia de Simpson nos da la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Esta frecuentemente influido por la importancia de las especies dominantes. (Moreno, 2001)

$$\sigma = \sum (P_i)^2$$

Entonces el índice de diversidad de Simpson es:

$$\lambda = 1 - \delta$$

Los resultados fueron interpretados de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA 4: Tabla de interpretación de valores de Simpson.

Valor cuantitativo	Interpretación
0 – 0,35	Diversidad baja
0,36 – 0,75	Diversidad media
0,76 – 1	Diversidad alta

Fuente: Moreno C.

Los índices de diversidad incorporan en un solo valor a la riqueza específica y a la equidad las cuales pueden provenir de distintas combinaciones entre riqueza específica y equidad, el índice q se utilizó fue el Índice de Shannon; el cual se basa en la teoría de la información (mide el contenido de información por símbolo de un mensaje compuesto por S clases de símbolos discretos cuyas probabilidades de ocurrencia son $p_1 \dots p_S$) y es probablemente el de empleo más frecuente en ecología de comunidades. (Shannon, 1949).

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \log_2 p_i)$$

H' = índice de Shannon-Wiener que en un contexto ecológico, como índice de diversidad, mide el contenido de información por individuo en muestras obtenidas al azar provenientes de una comunidad 'extensa' de la que se conoce el número total de especies S.

La precisión en la estimación del índice de Shannon-Wiener puede calcularse mediante la aproximación siguiente:

$$SD_{H'} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^S n_i \log_2 n_i - \left(\sum_{i=1}^S n_i \log_2 n_i \right)^2}{n^2}}$$

$SD_{H'}$ = desviación estándar del índice de Shannon-Wiener. La ecuación de H' se aplica para comunidades extensas donde se conocen todas las especies S y las abundancias proporcionales p_i de todas ellas. En la práctica los parámetros son estimados como:

$$\hat{H}' = - \sum_{i=1}^S \left[\left(\frac{n_i}{n} \right) \times \log_2 \left(\frac{n_i}{n} \right) \right] \quad (\text{Shannon, 1949}).$$

Para la calificación de la diversidad se utilizó la siguiente tabla:

TABLA 5: Escala de calificación de diversidad.

RANGOS	SIGNIFICADO
0 – 1,35	Diversidad Baja
1,36 – 3,5	Diversidad media
> 3,6	Diversidad alta

Fuente: Moreno C.

Al reflejar diferencias en la composición de las especies, la beta-diversidad se calculó a partir de coeficientes de similitud o disimilitud o a partir de distancias. Los coeficientes de similitud (o disimilitud) entre comunidades se emplean cuando solo consideramos la presencia o ausencia de especies y no sus proporciones. (Terradas, 2001)

$$\beta = \frac{2c}{S_1 + S_2}$$

Índice de similitud de Sorensen. S1 es el número de especies de la comunidad 1, S2 es el número de especies de la comunidad 2, y c el número de especies comunes a ambas comunidades. Oscila entre 0, cuando no existen especies comunes, y 1, cuando ambas comunidades son idénticas. (Farinós, 2002).

TABLA 6: Escala de calificación de similitud.

No parecidos	0 – 0,33	Disímiles
Medianamente parecidos	0,34 – 0,66	Medianamente similares
Muy parecidos	0,67 – 1	Similares

Elaborado por: Moreno C.

2. Elaboración de una base de datos de firmas espectrales para el estrato herbazal - arbustal.

a. Distribución y Tamaño de los transectos

Con el fin de elaborar un sistema de muestreo que abarque la mayor cantidad de área posible nos basamos en el uso de transectos que son una banda de muestreo sobre la que se toman los datos definidos previamente. Este método de inventario ha sido utilizado para la estimación de la cobertura de especies de carácter arbustivo, la abundancia de especies de flora o fauna, ya que este método se ajusta bien a su movilidad. En la gestión forestal destaca la evaluación de madera muerta del suelo (Marshall, Dabis, & Lemay, 2000), de huecos en la cubierta forestal (Battles, Dushof, & Fahey, 1996), y otros casos más relevantes como el Inventario Forestal Nacional Francés (Chevrou, 1973) y el inventario en Kansas de derribos por viento. (Castonguay, 1984)

La metodología que se usó para el establecimiento de los transectos fue tomado de acuerdo a (Saldise, 2009) en su trabajo TEORÍA Y PRÁCTICA DEL TRANSECTO COMO MÉTODO DE INVENTARIO PARA EL SABINAR (*Juniperus thurifera*) en el cual se señalan las siguientes fases:

1. Dividir el territorio en unidades homogéneas: Este paso se lo realizó con anterioridad en el momento que se delimitaron las áreas es aquí donde se separó al estrato de acuerdo a localidades y según su rango altitudinal.
2. Decidir la intensidad de muestreo: La intensidad de muestreo que se usó fue de 0.8% para cada localidad debido que el estudio está orientado a la obtención de firmas espectrales de todo un estrato y no de una especie en específica con lo cual el tamaño de cada transecto dependió del área de cada una de las localidades.

TABLA 7: Tabla de intensidad de muestreo.

Alturas	Localidad 1	Localidad 2	Localidad 3	Localidad 4	Intensidad (%)
3600 – 4100	1354.31	3393.24	1355.62	453.31	0.8
4100 – 4600	1530.59	8441.31	2879.49	1464.51	
Tamaño del transecto	10.83	27.15	10.84	3.63	
	12.24	67.53	23.04	11.72	

Fuente: Córdoba M.

3. Diseñar las Dimensiones de los transectos: Obtenida la intensidad de muestreo de cada localidad y altura en el que se llevó a cabo el estudio, se procedió a realizar el cálculo de las dimensiones que tendrán cada transecto en las localidades ya establecidas.

TABLA 8: Tabla de dimensiones de transectos.

	Localidad 1		Localidad 2		Localidad 3		Localidad 4	
	Altura 1	Altura 2	Altura 1	Altura 2	Altura 1	Altura 2	Altura 1	Altura 2
	10.83	12.24	27.14	67.53	10.84	23.03	3.63	11.71
m2	108300	122400	271400	675300	108400	230300	36300	117100
Rep (3)	36100.00	40800.00	90466.67	225100.00	36133.33	76766.67	12100.00	39033.33
Base (m)	134.35	142.83	212.68	335.48	134.41	195.92	77.78	139.70
Altura (m)	268.70	285.66	425.36	670.97	268.82	391.83	155.56	279.40

Fuente: Córdoba M.

4. Decidir el emplazamiento de los transectos: Para la ubicación de los transectos nos basamos en el área y distribución de cada altura delimitada del estrato en cada una de las localidades es así, usando la herramienta ArcGis las fuimos ubicando al azar las 3 repeticiones en cada localidad y por cada altura.
5. Definición de parámetros que se van a seguir: Ubicados los transectos al momento de la toma de datos o de las firmas espectrales se procedió de la siguiente manera, dentro de cada transectos se tomaron 5 firmas espectrales a manera de zigzag tratando de abarcar la mayor área del transecto posible evitando tomar los bordes del transecto.

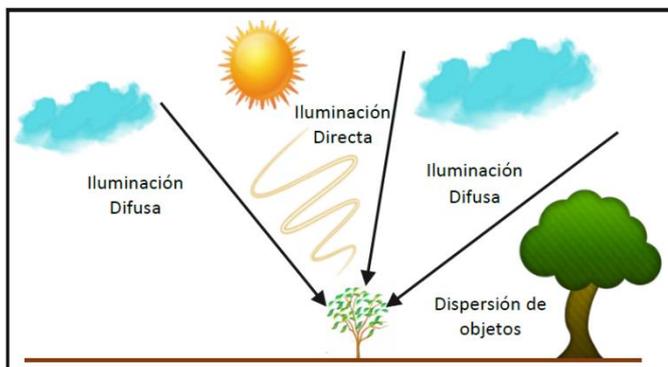
b. Captura de firmas espectrales

Para la metodología de captura de firmas espectrales nos basamos en la metodología para determinar firmas espectrales en bosque de ceja andina elaborado por (Carrillo, 2016). En donde sus resultados dieron a conocer que no existe significancia en las horas de captura de firmas espectrales por tanto, tomando en cuenta esta información tenemos que como primer paso la selección de la época para la captura de las firmas espectrales para obtener la máxima radiación solar posible considerando los siguientes aspectos:

Nubosidad: Se refiere a la fracción de cielo que aparece recubierto por nubes impidiendo el paso libre de la luz solar, cabe recordar que dichas nubes están formadas por gotas de agua o cristales de nieve. Esta característica altera el espectro resultante al momento de obtener la firma espectral.

Viento: El viento puede ser un factor de error si al momento de realizar la captura de la firma espectral mueve el material que se está midiendo produciendo un cambio en la cantidad de sombra en el campo visual del instrumento lo cual producirá un error en el espectro.

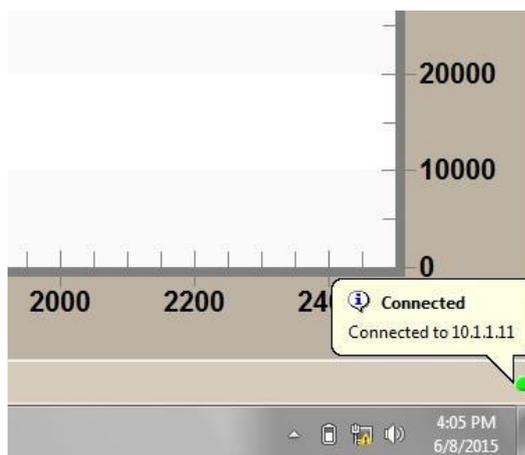
Una vez definido la época para la recolección de las firmas espectrales se debe tomar en cuenta las características del lugar donde se van a instalar los transectos que van a ser evaluados los cuales deben ser vastos y abiertos, con una buena iluminación solar, evitando la presencia de nubes y cualquier otro tipo de fuente que pueda producir sombra sobre el área. En caso de que no se pueda tener estas características, al momento de realizar las capturas de las firmas espectrales se debe evaluar una forma de reducir los efectos que puedan ser una fuente de error al momento de realizar la medición. (Carrillo, 2016)

FIGURA 13: Iluminación adecuada para la medición.

Fuente: Carrillo L.

1) Comprobar conexión

Montado el equipo se realizó la comprobación de conexión en la parte inferior derecha del equipo Rs3 High Contrast mediante el icono Connection Status (Estado de Conexión) que tiene un indicador de color verde el cual mediante un mensaje nos indicara que se ha realizado la conexión del equipo con Rs3 High Contrast correctamente. (Carrillo, 2016)

FIGURA 14: Comprobar la conexión del equipo Rs3

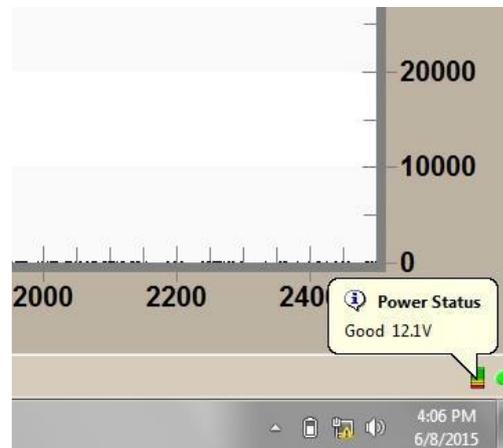
Fuente: Carrillo L.

Luego de haber comprobado la conexión del equipo verificamos el Power Status (Estado de Energía), el mismo que está ubicado junto al indicador de Connection Status el cual nos indicara el nivel de carga de la batería:

- d. 11 - 12 voltios considerados como bueno.

e. < 11 voltios el programa emite una advertencia

FIGURA 15: Estado de la batería del equipo.



Fuente: Carrillo L.

2) Configuración de Spectrum Save

Abierta la ventana del software Rs3 nos dirigimos a la barra de menú y nos ubicamos en “control” para dirigirnos a la opción de “Spectrum save” la cual nos llevara a una nueva ventana que nos dara las siguientes opciones:

Path Name: Ubicación donde se almacenará los espectros.

Base Name: Nombre que se le asignara a los espectros.

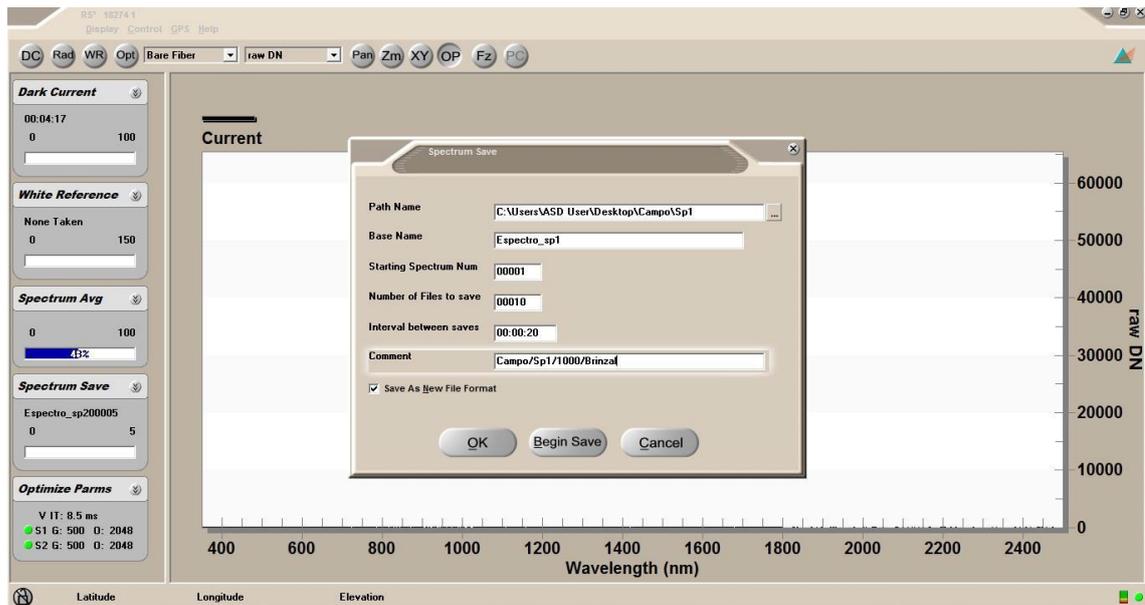
Starting spectrum Num: El número donde comenzara el conteo de los espectros que se van a tomar.

Number of files to save: El número de espectros que se van a tomar.

Interval between saves: El intervalo de tiempo en el que se irán almacenando las muestras. Se recomienda un intervalo de 10 segundos por cada muestra.

Coments: Se colocó información adicional de la muestra como: nombre de la especie, ciclo fenológico, hora, etc. (Carrillo, 2016)

FIGURA 16: Configuración del Spectrum Save.



Fuente: Carrillo L.

3) Optimización y configuración para el muestreo de espectros

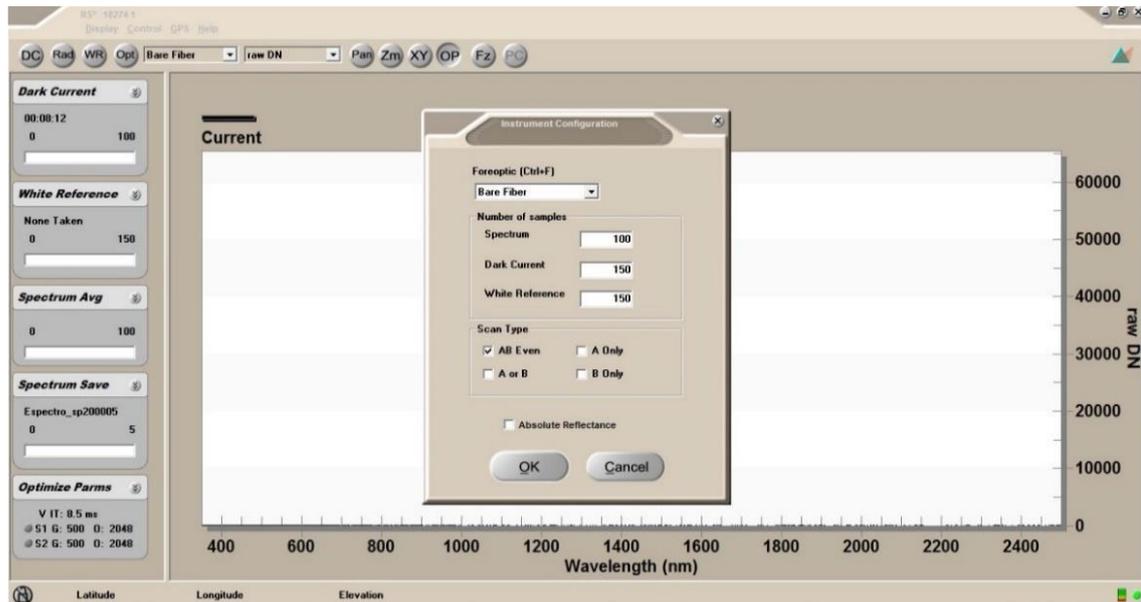
Para lo siguiente nos dirigimos a al botón “OP” que se encuentra en la barra de herramientas, a continuación nos dirigimos a la barra de menú y nos ubicamos en “control” desde ahí nos dirigimos a “configuration” donde se procedió a configurar de la siguiente manera:

Foreoptic: Seleccionar con qué tipo de lente se está trabajando.

Number of Samples: Se escribe el número de muestras que se van a tomar para la calibración del equipo en el caso del Dark current (Corriente oscura) y White reference (Blanco de Referencia), y las muestras que se van a promediar para la obtención de la firma espectral para Spectrum (Espectro), para el caso de muestras en campo se colocara de la siguiente manera:

- Spectrum: 100
- Dark current: 150
- White reference: 150

FIGURA 17: Configuración para el muestreo de espectros



Fuente: Carrillo L.

Al momento de aceptar esta configuración el equipo comenzó con el calibrado por lo tanto nos solicitó tomar el blanco de referencia, para lo cual usaremos el plant prob cerrando el lente con el blanco de referencia y esperando que se realice este procedimiento.

4) Captura de espectros

Con el equipo calibrado se procedió a la captura de las firmas espectrales en los transectos ya establecidos según el diseño elaborado en oficina y tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- La obtención de las firmas se realizó utilizando el instrumento “Plant Probe” con el bulbo de baja intensidad para estudio de la vegetación debido a que esta nueva sonda permite un análisis más preciso del material en menor tiempo, su diseño permite minimizar los errores en cuanto a medición asociados a luz dispersa y se evitan problemas en cuanto a viento ya que es un instrumento de contacto.

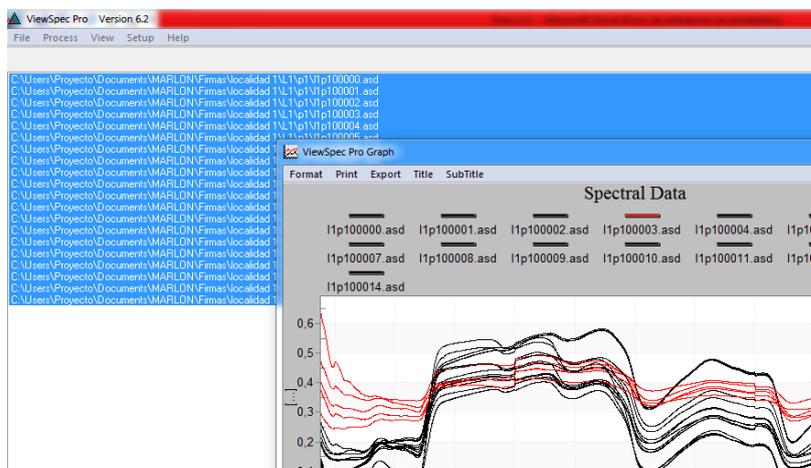
FIGURA 18: Plant Probe

Fuente: Córdova M.

- Al momento en que se realizó la captura el haz de la hoja debe orientarse hacia la parte del sensor con mayor razón en especies que tienen distintos su haz y envés, se realizó un poco de presión para mantener firme la muestra con el segmento del blanco de referencia que viene adquirido en el mismo instrumento.
- Mientras se lleva a cabo el muestreo el operador debe estar atento cada momento a la respuesta obtenida ya que su puede dar la ocasión en que se presenten cambios en la información por lo que se deberá eliminar ese dato, volver a calibrar el equipo y tomar nuevamente la muestra.
- Se recomienda realizar las capturas de las firmas con un equipo de trabajo para evitar un erróneo uso del equipo y poder trasladarse con mayor facilidad y cuidado de los instrumentos.

Obtenidas las firmas espectrales de los transectos establecidos se procedió a realizar las correcciones de las mismas para esto nos ayudamos de los programas ViewSpecPro con el cual visualizamos las firmas y filtramos las que usamos de las que no están en buenas condiciones.

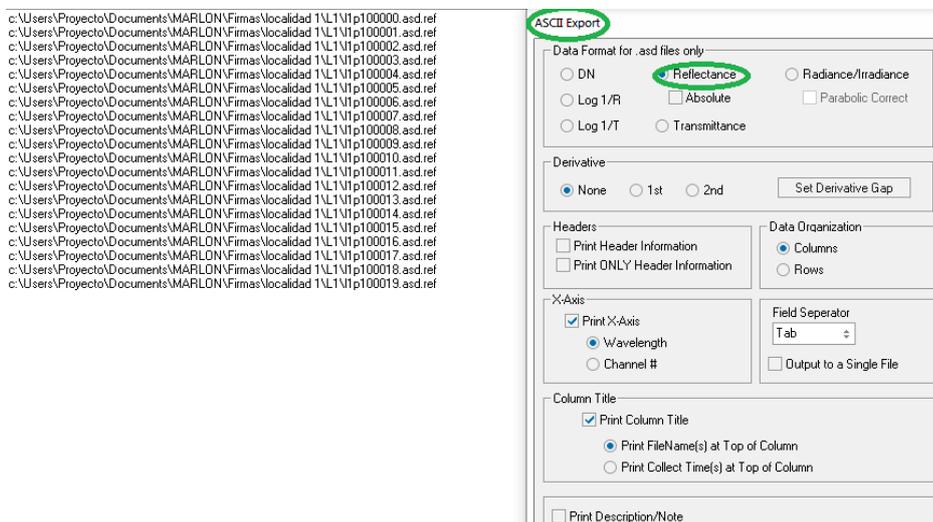
FIGURA 19: Visualización y procesamiento de las firmas espectrales en ViewSpecPro.



Fuente: Córdova M.

Procesadas y establecidas las firmas que usamos para la investigación las transformamos a reflectancia para su exportación ya que es así que utilizamos las firmas para su corrección.

FIGURA 20: Firmas transformadas y exportadas en reflectancia.

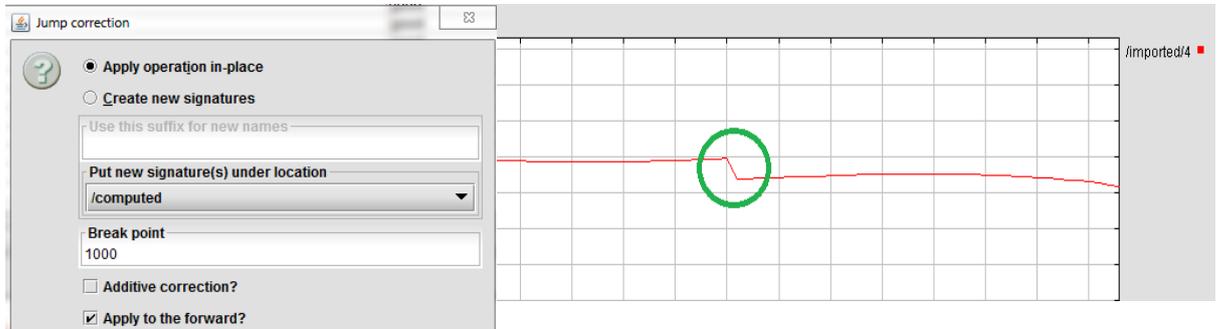


Fuente: Córdova M.

Las firmas ya transformadas en reflectancia y exportadas continuamos con las correcciones debidas a estas usando el programa SAMS (Spectral Analysis and

Management System) para corregir los saltos del lente en cada una de las firmas y proceder a sacar las medias de las firmas de cada localidad y altura.

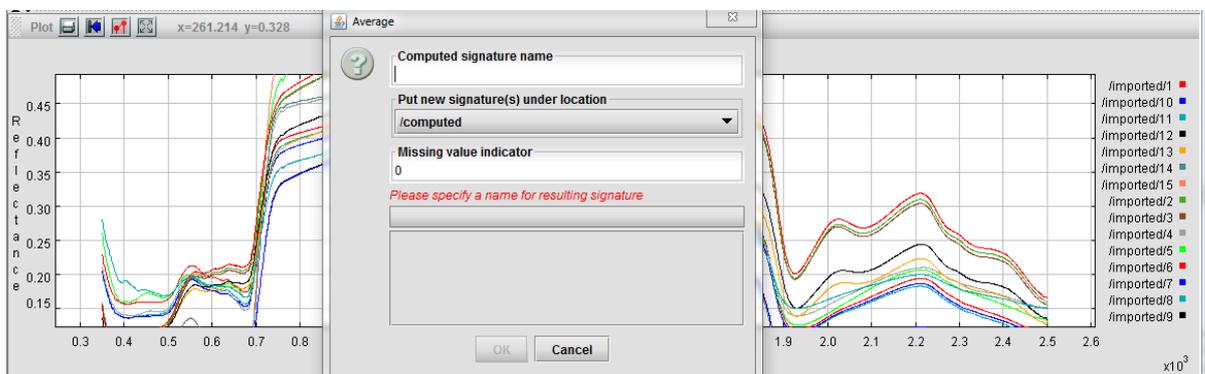
FIGURA 21: Corrección de las firmas del salto de la lente a los 1000nm



Fuente: Córdoba M.

Para sacar la media las firmas ya corregidas el salto de lente utilizamos la opción de "Average" que se usó para cada transecto de cada altura y de cada localidad es así que se obtuvieron 3 medias por cada altura y 6 por cada localidad.

FIGURA 22: "Average" de las firmas espectrales.



Fuente: Córdoba M.

3. Comparación de las firmas espectrales en función del rango altitudinal del estrato herbazal - arbustal.

Obtenidas las firmas espectrales de las localidades y de cada rango altitudinal se procedió a realizar el análisis de varianza entre los niveles de reflectancia en cada altura de cada localidad para verificar si existe o no una variabilidad en cuanto a la captura de firmas

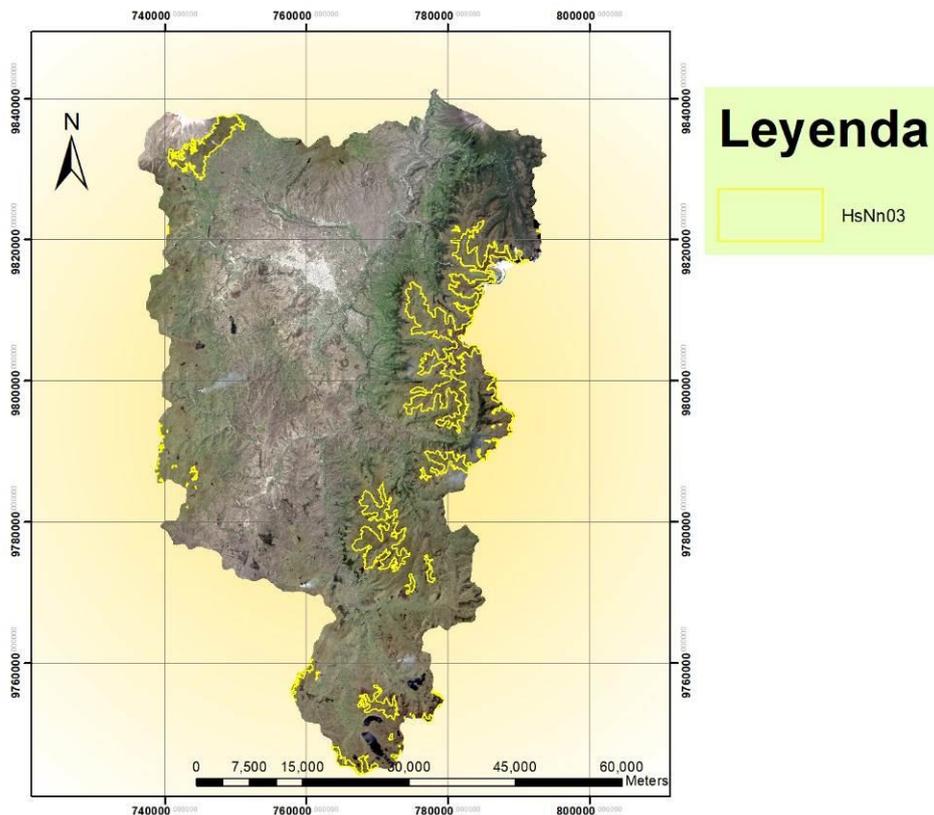
espectrales en función de la altura para el estrato herbazal – arbustal siempreverde subnival del páramo.

IV. RESULTADOS, ANALISIS, Y DISCUSIÓN

1. Delimitación del estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la subcuenca del río Chambo.

Al estrato herbazal – arbustal se lo delimitó usando la herramienta ArcGis, basado en un estudio realizado por la Universidad Nacional de Chimborazo que corresponden al año 2016, donde se obtuvieron datos de diferentes estratos de este tipo de ecosistemas.

FIGURA 23: Mapa del estrato Herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo.

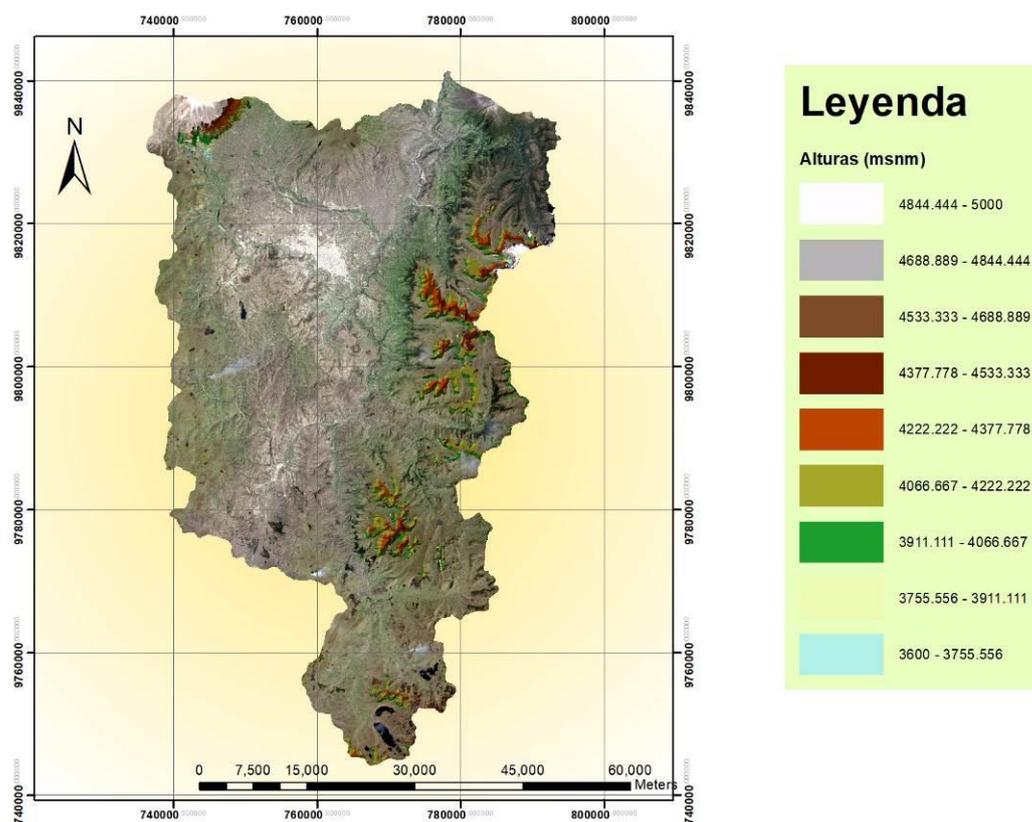


Fuente: Córdova M.

Obtenido el shape del estrato se determinó que comprende una superficie de 21226.55 Ha. Distribuido a lo largo de la subcuenca del río Chambo.

Obtenido el shape del estrato se procede a realizar un TIN y un DEM para observar los niveles de altura que corresponden a este estrato.

FIGURA 24: Mapa de alturas del estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo de la subcuenca del río Chambo.

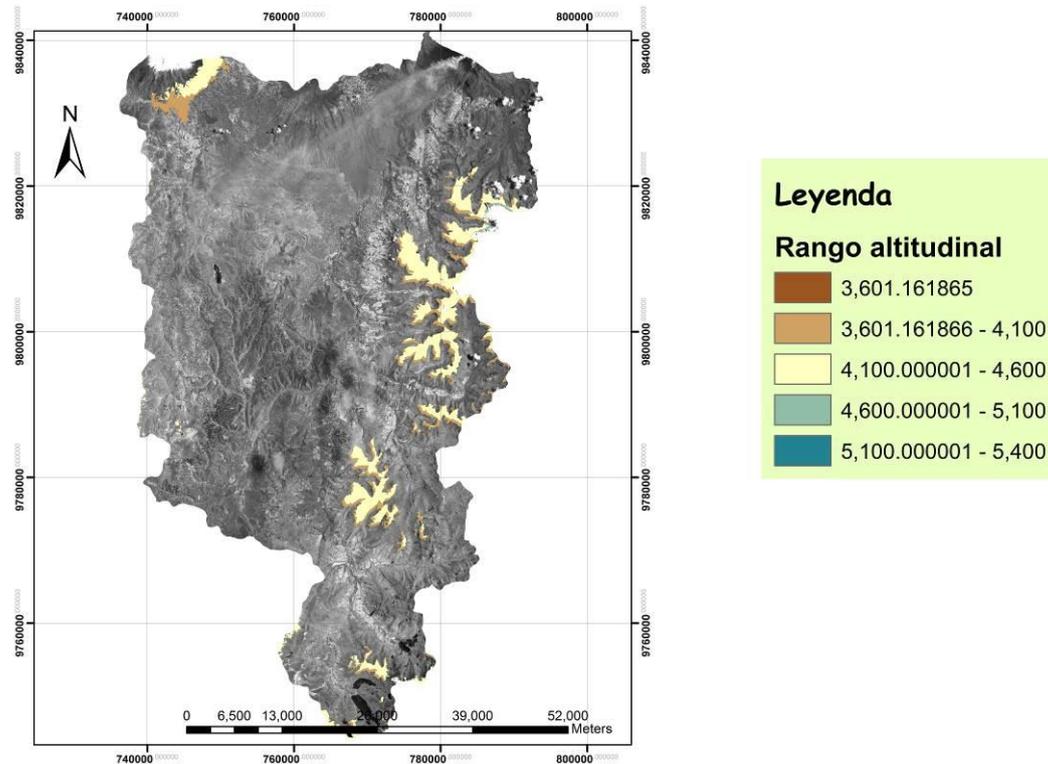


Fuente: Córdova M.

El TIN del estrato nos muestra que el estrato objeto de estudio tiene un rango altitudinal que va desde los 3600 msnm hasta 5000msnm.

Se procedió a unir el shape del estrato solo representando el perímetro sobrepuesto sobre el DEM clasificado en rango de 500m.

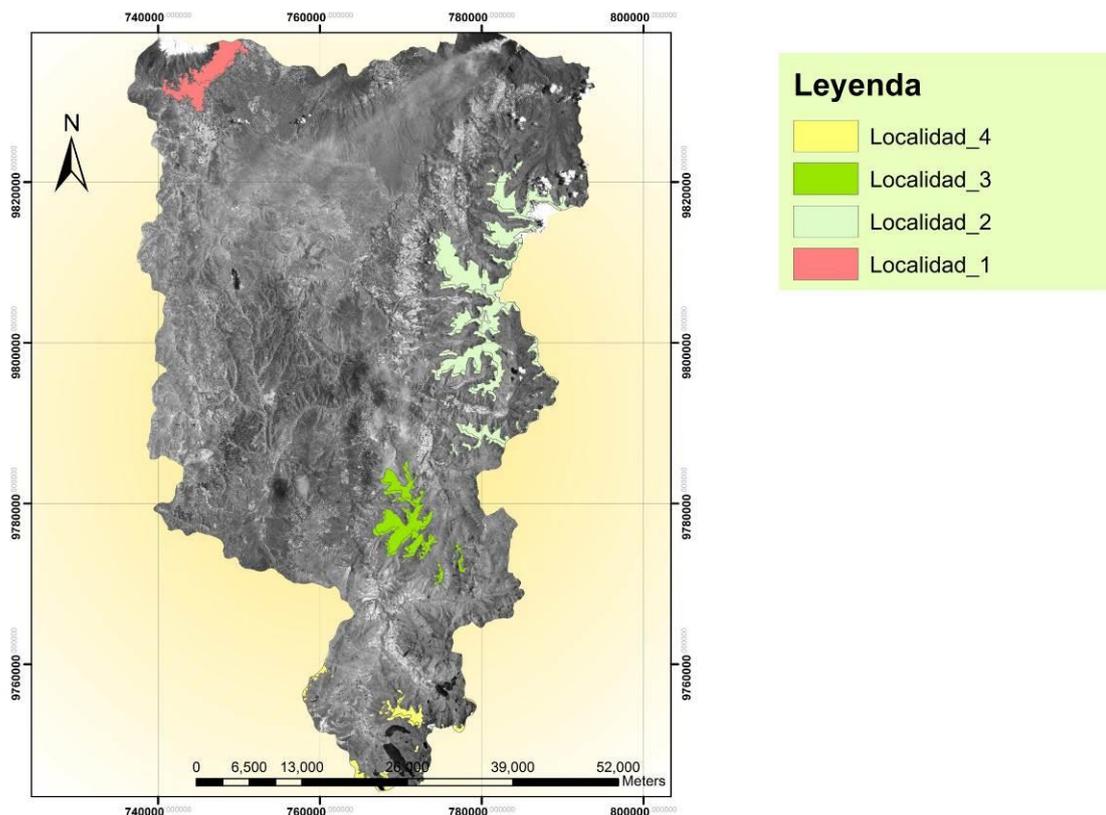
FIGURA 25: Mapa de rangos altitudinales dentro del estrato herbazal - arbustal siempreverde subnival del páramo.



Fuente: Córdova M.

Realizado el DEM con la gradiente de 500m que corresponde a 3600 – 4100 msnm, 4100 – 4600msnm, 4600 – 5100msnm y 5100 – 5400msnm donde se puede observar la diferencia en rangos altitudinales dentro del estrato, se observa que en su mayoría comprende los rangos altitudinales de 3600msnm – 4100msnm y 4100msnm – 4600msnm.

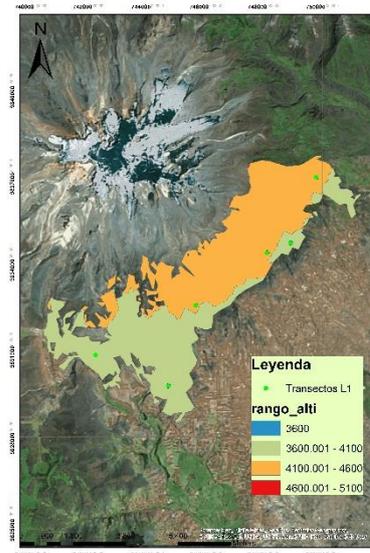
Ya obtenida la estratificación se procedió a clasificarlo en 4 localidades.

FIGURA 26: Mapa de localidades establecidas.

Fuente: Córdova M.

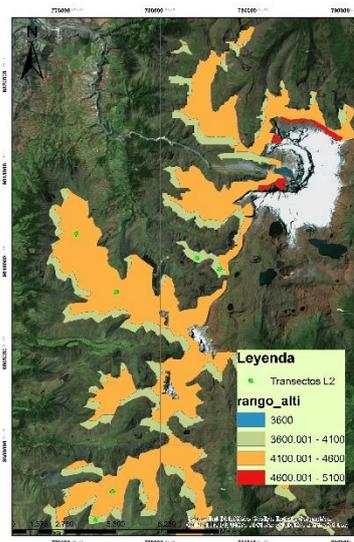
Al estrato se lo clasificó en 4 localidades establecidas según su distribución espacial dentro de la subcuenca del río Chambo donde a la localidad 1 le corresponde 2888.4064 Ha, a la localidad 2 le corresponde 11971.2019 Ha, a la localidad 3 le corresponde 4235.1196 Ha y a la localidad 4 le corresponde 1919.9986 Ha.

Distribuidas las localidades se analizó cada una de estas según su rango altitudinal y a ubicar los puntos donde se establecerán los transectos.

FIGURA 27: Mapa de transectos en la localidad 1

Fuente: Córdoba M.

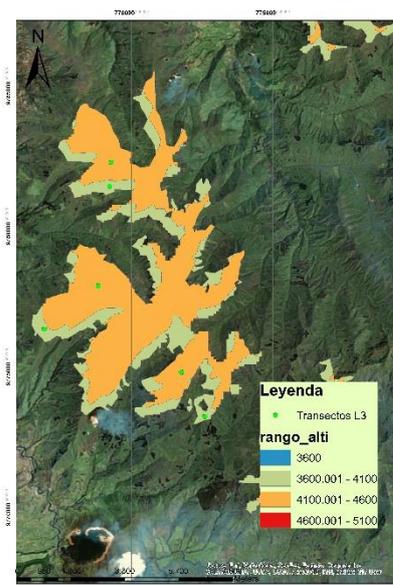
La localidad 1 se instaló 3 transectos por cada rango altitudinal que se destinó para el estudio, nos basamos en 2 de estos 3600msnm – 4100msnm con una superficie de 1354.3081Ha y 4100msnm – 4600mnsnm con una superficie de 1530.5916Ha.

FIGURA 28: Mapa de transectos en la localidad 2

Fuente: Córdoba M.

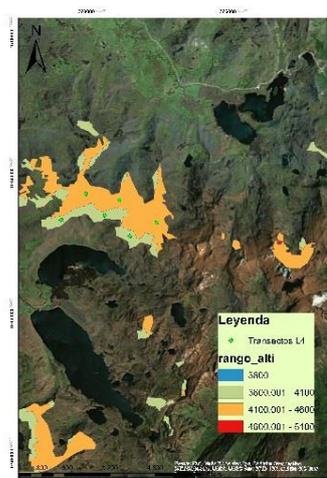
En la localidad 2 se distribuyó 3 transectos de forma aleatoria en cada rango altitudinal, nos basaremos en el mismo rango altitudinal de 3600msnm – 4100msnm con una extensión de 3393.2404 y el rango de 4100msnm – 4600msnm con una extensión de 8441.3115Ha.

FIGURA 29: Mapa de transectos en la localidad 3



Fuente: Córdova M.

En la localidad 3 se instalaron 3 transectos de forma aleatoria por cada rango altitudinal los cuales estuvieron comprendidos en 2 que fueron objeto de estudio el rango 3600msnm – 4100msnm con una extensión de 1355.6254Ha y 4100msnm – 4600msnm con una extensión de 2879.4942Ha.

FIGURA 30: Mapa de transectos en la localidad 4

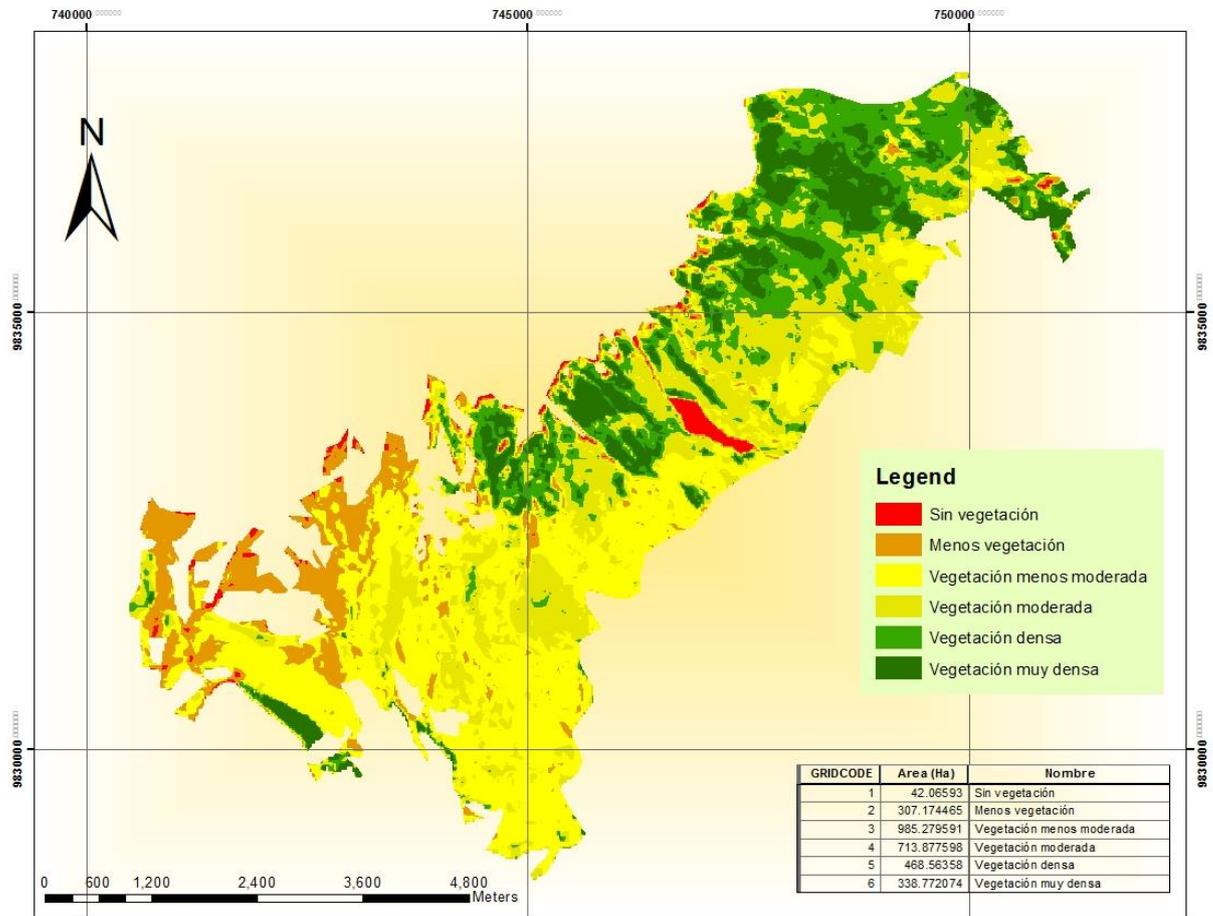
Fuente: Córdova M.

En la localidad 4 tenemos 3 transectos para cada rango altitudinal distribuidos aleatoriamente nos basamos en los rangos de las anteriores localidades 3600msnm – 4100msnm con una extensión de 453.3150Ha y de 4100msnm – 4600msnm con una extensión de 1464.5073Ha.

➤ **Composición florística**

Se realizó un análisis NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) para identificar la presencia de vegetación dentro del área de estudio por cada una de las localidades.

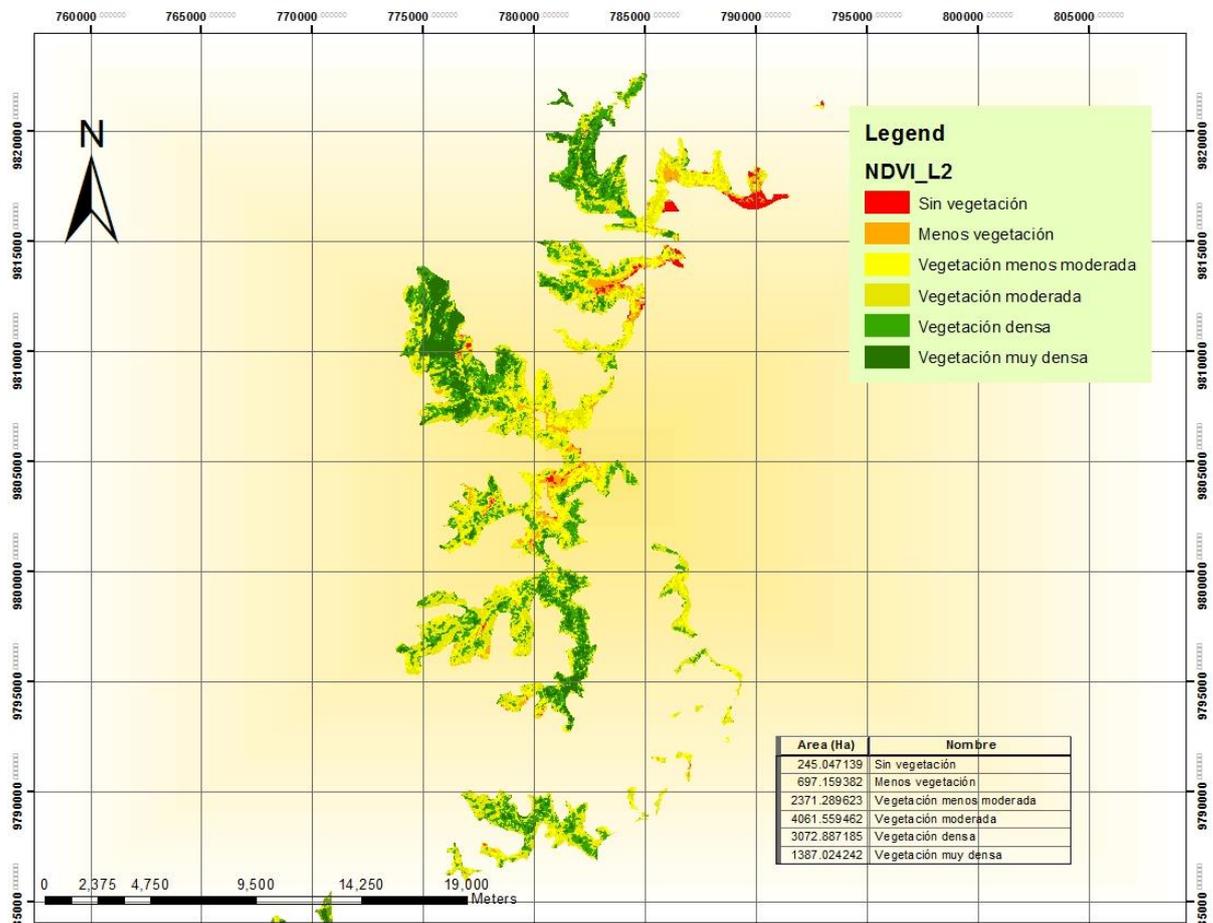
FIGURA 31: Mapa NDVI localidad 1



Fuente: Córdova M.

En la localidad 1 predomina la vegetación menos moderada con porcentaje de 34.11%, la zona sin vegetación representa solamente un 1.45% del área y la zona con vegetación muy densa representa el 11.72% de área.

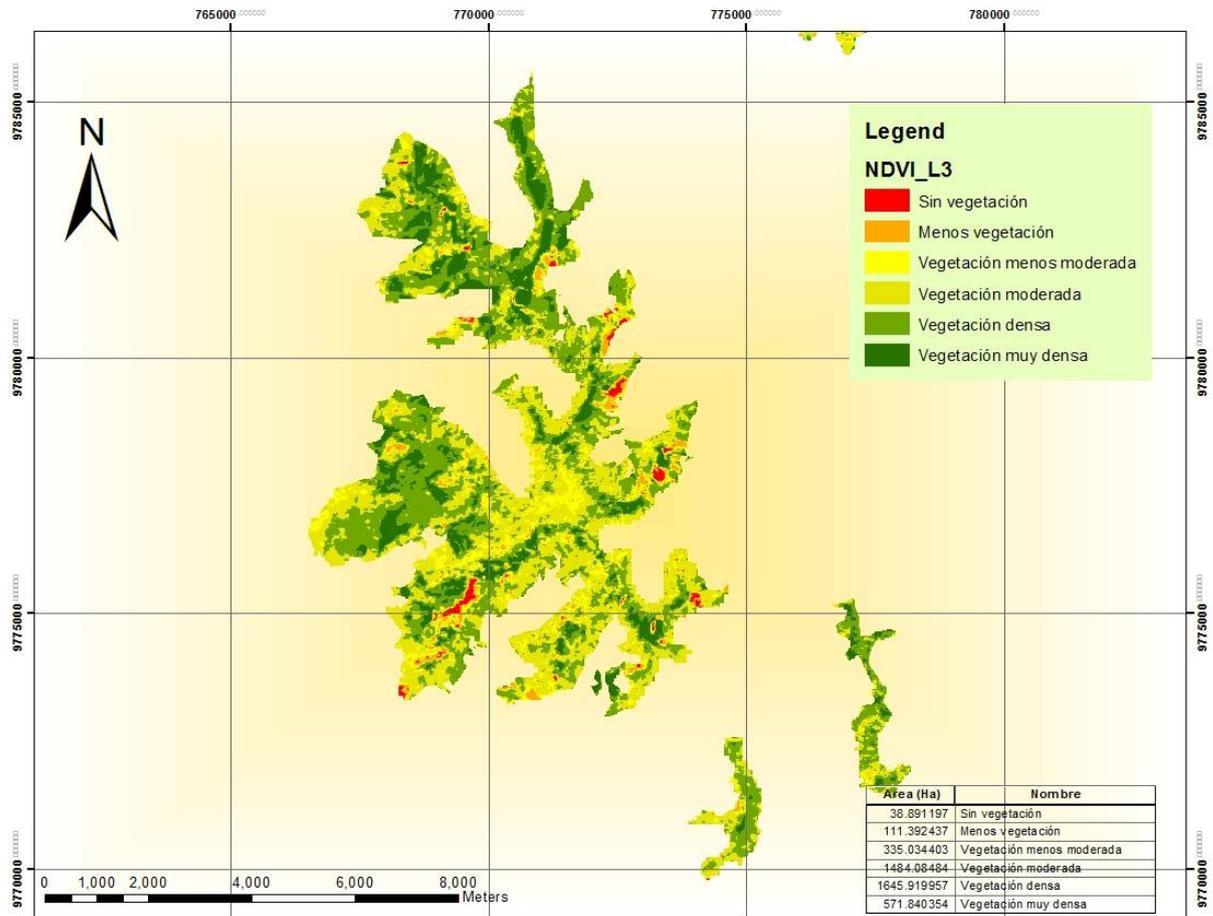
FIGURA 32: Mapa NDVI localidad 2



Fuente: Córdoba M.

En la localidad 2 el área predominante es la vegetación moderada con un 33.93%, la zona sin vegetación representa el 2.05% del área mientras que la zona con vegetación muy densa representa el 11.58% del área.

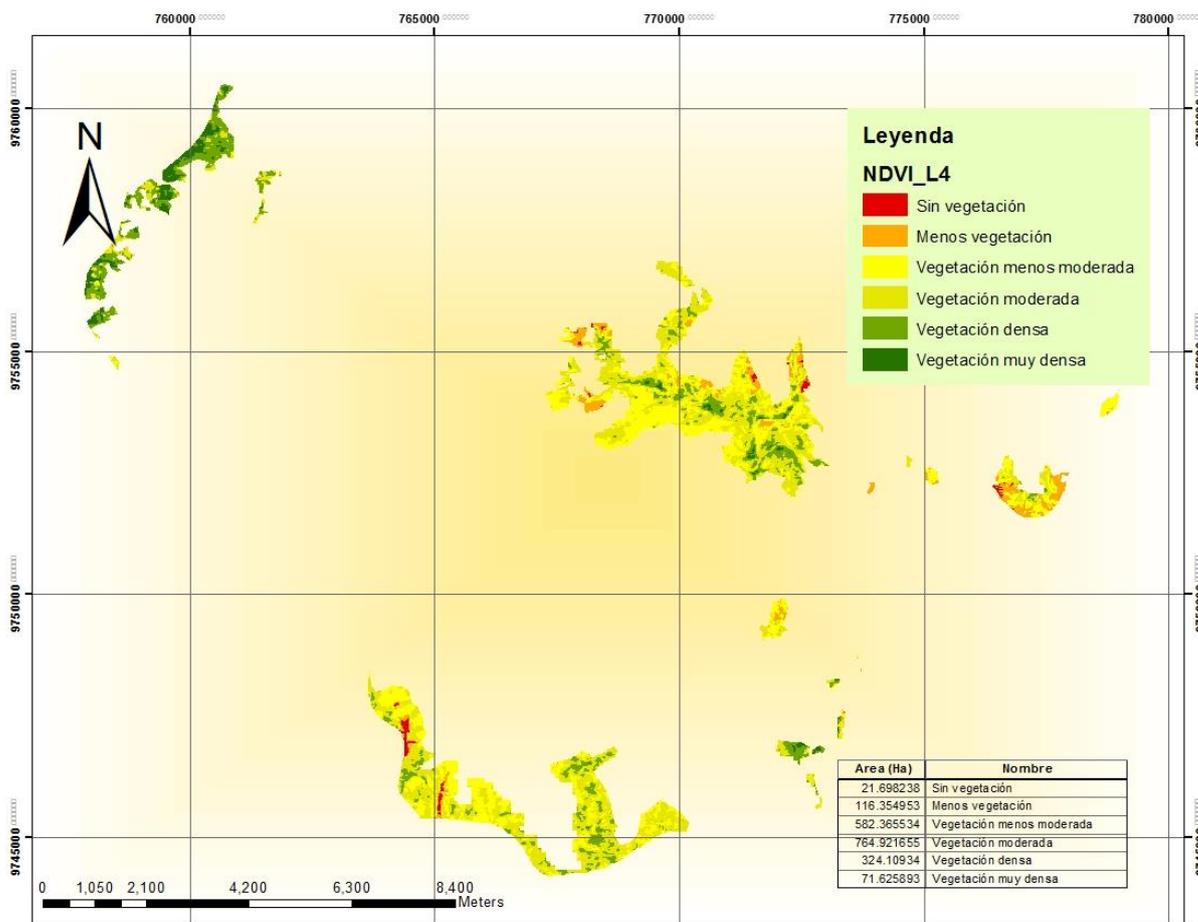
FIGURA 33: Mapa NDVI localidad 3



Fuente: Córdova M.

Dentro de la localidad 3 tenemos que el área predominante corresponde a la vegetación densa con el 38.86%, la zona sin vegetación representa el 0.91% del área mientras que la zona de vegetación muy densa representa el 13.50% del área.

FIGURA 34: Mapa NDVI localidad 4



Fuente: Córdoba M.

En la localidad 4 tenemos que el área con mayor extensión corresponde a la de vegetación moderada con 39.84%, la zona sin vegetación representa el 1.13% del área mientras que la zona con vegetación muy densa representa el 3.73% del área.

1) **Inventario florístico del herbazal**

TABLA 9: Inventario florístico del área herbazal.

ESPECIE	L 1	L 2	L 3	L4	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	11	17	6	18	52
<i>Gentiana sedifolia</i>	4	4	1		9
<i>Draba jaegeri</i>	2		6		8
<i>Plantago rigida</i>	16		3		19
<i>Azorella aretioides</i>	6	16	8		30

<i>Azorella crenata</i>	7	3		5	15
<i>Lachemilla nivlalis</i>	4	1		4	9
<i>Luzula racemosa</i>	3		2	3	8
<i>Diplostephium rupestre</i>		1			1
<i>Poa cucullata</i>		2	3	4	9
<i>Xenophyllum rigidu</i>				3	3
<i>Xenophyllum humile</i>				1	1
SUMATORIA	53	44	29	38	164
Número de especies	8	7	7	7	

Fuente: Córdova M.

En el inventario florístico encontramos 12 especies distribuidas en las 4 localidades siendo la localidad 1 la que presento 8 de las 12 especies con de 164 individuos contabilizados en las 4 localidades de estudio.

Según Zacarias (2009) la presencia de especies en determinada localidad pero en otra no indica que aquellas especies están restringidas a un gradiente altitudinal presumiendo que posiblemente no dependen de un solo factor sino de la combinación de otros factores como luz, pendiente, suelo. Esto se aplica en el inventario realizado en la presente investigación ya que hay especies que se encuentran en una localidad pero no en otra aun siendo del mismo rango altitudinal.

Obtenido el inventario florístico herbazal se determinó los índices de diversidad de Simpson, Shannon por cada localidad y de todo el estrato así también se realizó el índice de similitud de Sorensen.

TABLA 10: Índice de Simpson del área herbazal.

Especie	Número	abundancia (pi)	relativa	pi ²
<i>Calamagrostis intermedia</i>	52	0.317073171		0.1005354
<i>Gentiana sedifolia</i>	9	0.054878049		0.0030116
<i>Draba jaegeri</i>	8	0.048780488		0.00237954
<i>Plantago rigida</i>	19	0.115853659		0.01342207
<i>Azorella aretioides</i>	30	0.182926829		0.03346222
<i>Azorella crenata</i>	15	0.091463415		0.00836556

<i>Lachemilla nivlais</i>	9	0.054878049	0.0030116
<i>Luzula racemosa</i>	8	0.048780488	0.00237954
<i>Diplostephium rupestre</i>	1	0.006097561	3.718E-05
<i>Poa cucullata</i>	9	0.054878049	0.0030116
<i>Xenophyllum rigidu</i>	3	0.018292683	0.00033462
<i>Xenophyllum humile</i>	1	0.006097561	3.718E-05
SUMATORIA	164	D	0.1699881
		1-D	0.8300119

Fuente: Córdova M,

El índice de Simpson en el área herbazal registró una diversidad alta con un valor de 0.83 como manifiesta (Salgado, 2010) constituye una diversidad alta de acuerdo como una comunidad heterogénea.

TABLA 11: Índice de Simpson para la localidad 1 del área herbazal.

SIMPSON						
	Número de individuos	de abundancia (pi)	relativa	pi ²	Interpretación	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	11		0.20754717	0.04307583		
<i>Gentiana sedifolia</i>	4		0.075471698	0.00569598		
<i>Draba jaegeri</i>	2		0.037735849	0.00142399		
<i>Plantago rigida</i>	16		0.301886792	0.09113564		
<i>Azorella aretioides</i>	6		0.113207547	0.01281595		
<i>Azorella crenata</i>	7		0.132075472	0.01744393		
<i>Lachemilla nivlais</i>	4		0.075471698	0.00569598		
<i>Luzula racemosa</i>	3		0.056603774	0.00320399		
SUMATORIA	53	D		0.18049128		
		1-D		0.81950872	DIVERSIDAD ALTA	

Fuente: Córdova M.

En la localidad 1 tenemos un índice de Simpson con diversidad alta que corresponde al rango de 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 12: Índice de Simpson para la localidad 2 del área herbazal.

SIMPSON						
	Número de individuos	abundancia (pi)	relativa	pi ²	Interpretación	
<i>Azorella crenata</i>	3		0.068181818	0.00464876		

<i>Calamagrostis intermedia</i>	17	0.386363636	0.14927686
<i>Azorella aretioides</i>	16	0.363636364	0.1322314
<i>Lachemilla nivlais</i>	1	0.022727273	0.00051653
<i>Gentiana sedifolia</i>	4	0.090909091	0.00826446
<i>Diplostephium rupestre</i>	1	0.022727273	0.00051653
<i>Poa cucullata</i>	2	0.045454545	0.00206612
SUMATORIA	44	D	0.29752066
		1-D	0.70247934 DIVERSIDAD MEDIA

Fuente: Córdoba M.

Para la localidad 2 el índice de Simpson se registró una diversidad media correspondiente a los rangos altitudinales de 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 13: Índice de Simpson para la localidad 3 del área herbazal.

SIMPSON						
	Número individuos	de	abundancia	relativa	π^2	Interpretación
<i>Calamagrostis intermedia</i>	6		(π)			
<i>Azorella aretioides</i>	8				0.04280618	
<i>Draba jaegeri</i>	6				0.20689652	
<i>Plantago rigida</i>	3				0.07609988	
<i>Gentiana sedifolia</i>	1				0.20689652	
<i>Luzula racemosa</i>	2				0.103448276	
<i>Poa cucullata</i>	3				0.01070155	
SUMATORIA	29				0.034482759	
					0.068965517	
					0.103448276	
					0.01070155	
					0.18906064	
					1-D	0.81093936 DIVERSIDAD ALTA

Fuente: Córdoba M.

El índice de diversidad de Simpson en la localidad 3 se registró una diversidad alta en los rangos altitudinales de 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm

TABLA 14: Índice de Simpson para la localidad 4 del área herbazal.

SIMPSON						
	Numero individuos	de abundancia (pi)	relativa	pi ²	Interpretación	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	18		0.473684211	0.22437673		
<i>Lachemilla nivlais</i>	4		0.105263158	0.01108033		
<i>Xenophyllum rigidu</i>	3		0.078947368	0.00623269		
<i>Xenophyllum humile</i>	1		0.026315789	0.00069252		
<i>Poa cucullata</i>	4		0.105263158	0.01108033		
<i>Luzula racemosa</i>	3		0.078947368	0.00623269		
<i>Azorella crenata</i>	5		0.131578947	0.01731302		
SUMATORIA	38	D		0.27700831		
		1-D		0.72299169	DIVERSIDAD MEDIA	

Fuente: Córdova M.

En la localidad 4 el índice de diversidad de Simpson se registró con una diversidad media para los rangos altitudinales de 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm

TABLA 15: Índice de Shannon del área herbazal.

Especie	Número	abundancia (pi)	relativa	Log pi	pi* log pi
<i>Calamagrostis intermedia</i>	52	0.317073171		-0.4988405	- 0.15816894
<i>Gentiana sedifolia</i>	9	0.054878049		- 1.26060134	- 0.06917934
<i>Draba jaegeri</i>	8	0.048780488		- 1.31175386	- 0.06398799
<i>Plantago rigida</i>	19	0.115853659		- 0.93609025	- 0.10844948
<i>Azorella aretioides</i>	30	0.182926829		- 0.73772259	- 0.13494925
<i>Azorella crenata</i>	15	0.091463415		- 1.03875259	- 0.09500786
<i>Lachemilla nivlais</i>	9	0.054878049		- 1.26060134	- 0.06917934
<i>Luzula racemosa</i>	8	0.048780488		- 1.31175386	- 0.06398799
<i>Diplostephium rupestre</i>	1	0.006097561		- 2.21484385	- 0.01350515
<i>Poa cucullata</i>	9	0.054878049		- 1.26060134	- 0.06917934
<i>Xenophyllum rigidu</i>	3	0.018292683		- 1.73772259	- 0.03178761

<i>Xenophyllum humile</i>	1	0.006097561	-	-
			2.21484385	0.01350515
SUMATORIA	164			0.89088744

Fuente: Córdoba M.

Según el índice de Shannon se registró una diversidad baja con un valor calculado de 0.89 según (Cuvi, 2010) la cobertura vegetal del área de estudio al tener poca diversidad es homogénea, este valor concuerda con lo calculado para el índice de Shannon.

TABLA 16: Índice de Shannon para la localidad 1 del área herbazal.

SHANNON					
	Número de individuos	abundancia relativa (pi)	Log pi	pi* log pi	Interpretación
<i>Calamagrostis intermedia</i>	11	0.207547170	-1.5723966	-0.32634647	
<i>Gentiana sedifolia</i>	4	0.075471698	-2.5839976	-0.19501868	
<i>Draba jaegeri</i>	2	0.037735849	-3.2771447	-0.12366584	
<i>Plantago rigida</i>	16	0.301886792	-1.1977032	-0.36157077	
<i>Azorella aretioides</i>	6	0.113207547	-2.1785324	-0.24662631	
<i>Azorella crenata</i>	7	0.132075472	-2.0243818	-0.26737118	
<i>Lachemilla nivlais</i>	4	0.075471698	-2.5839976	-0.19501868	
<i>Luzula racemosa</i>	3	0.056603774	-2.8716796	-0.1625479	
SUMATORIA	53			1.87816585	DIVERSIDAD MEDIA

Fuente: Córdoba M.

Para la localidad 1 el índice de Shannon obtuvimos un resultado de diversidad media para el rango altitudinal 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 17: Índice de Shannon para la localidad 2 del área herbazal.

SHANNON					
	Número de individuos	abundancia relativa (pi)	Log pi	pi* log pi	Interpretación
<i>Azorella crenata</i>	3	0.068181818	-2.68557735	-0.18310755	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	17	0.386363636	-0.95097629	-0.36742266	
<i>Azorella aretioides</i>	16	0.363636364	-1.01160091	-0.36785488	
<i>Lachemilla nivlais</i>	1	0.022727273	-3.78418963	-0.08600431	
<i>Gentiana sedifolia</i>	4	0.090909091	-2.39789527	-0.21799048	

<i>Diplostephium rupestre</i>	1	0.022727273	-3.78418963	-0.08600431	
<i>Poa cucullata</i>	2	0.045454545	-3.09104245	-0.14050193	
SUMATORIA	44			1.44888611	DIVERSIDAD MEDIA

Fuente: Córdoba M.

La localidad 2 el índice de Shannon registró una diversidad media para los rangos altitudinales 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 18: Índice de Shannon para la localidad 3 del área herbazal.

SHANNON						
	Número de individuos	de abundancia relativa (pi)	Log pi	pi* log pi	Interpretación	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	6	0.206896552	-1.57553636	-0.32597304		
<i>Azorella aretioides</i>	8	0.275862069	-1.28785429	-0.35527015		
<i>Draba jaegeri</i>	6	0.206896552	-1.57553636	-0.32597304		
<i>Plantago rigida</i>	3	0.103448276	-2.26868354	-0.2346914		
<i>Gentiana sedifolia</i>	1	0.034482759	-3.36729583	-0.11611365		
<i>Luzula racemosa</i>	2	0.068965517	-2.67414865	-0.18442404		
<i>Poa cucullata</i>	3	0.103448276	-2.26868354	-0.2346914		
SUMATORIA	29			1.77713672	DIVERSIDAD MEDIA	

Fuente: Córdoba M.

El índice de diversidad de Shannon en la localidad 3 se registró una diversidad media para los rangos altitudinales 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm

TABLA 19: Índice de Shannon para la localidad 4 del área herbazal.

SHANNON						
	Número de individuos	de abundancia relativa (pi)	Log pi	pi* log pi	Interpretación	
<i>Calamagrostis intermedia</i>	18	0.473684211	-0.7472144	-0.35394366		
<i>Lachemilla nivlalis</i>	4	0.105263158	-2.2512918	-0.23697808		
<i>Xenophyllum rigidu</i>	3	0.078947368	-	-0.20044531		
<i>Xenophyllum humile</i>	1	0.026315789	2.53897387	-	-0.09572595	
<i>Poa cucullata</i>	4	0.105263158	3.63758616	-2.2512918	-0.23697808	

<i>Luzula racemosa</i>	3	0.078947368	-	-0.20044531
			2.53897387	
<i>Azorella crenata</i>	5	0.131578947	-	-0.26686161
			2.02814825	
SUMATORIA	38			1.59137801
				DIVERSIDAD MEDIA

Fuente: Córdova M.

En la localidad 4 el índice de Shannon se registró una diversidad media para los rangos altitudinales 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 20: Índice de similitud de Sorensen del área herbazal.

INDICE DE SIMILITUD DE SORENSEN		
Combinaciones	Índice	Interpretación
L1*L2	0.666666667	Medianamente similares
L1*L3	0.8	Similares
L1*L4	0.533333333	Medianamente similares
L2*L3	0.571428571	Medianamente similares
L2*L4	0.571428571	Medianamente similares
L3*L4	0.428571429	Medianamente similares

Fuente: Córdova M.

El índice similitud de Sorensen se realizó las combinaciones de las localidad en pares la cual dio un resultado de similares para la combinación L1 * L3 con 0.8 el dato más cercano a 1, mientras que el resto de combinaciones dio un resultado de medianamente similares siendo la combinación L3 * L4 la más baja con 0.42

Según Mostacedo (2000) se atribuye a que o existe diferencia significativa entre los rangos altitudinales, los valores difieren debido a intervenciones antrópicas lo cual incidió para que los valores sean menores.

2) Inventario florístico del área arbustal.

TABLA 21: Inventario florístico del área arbustal

ESPECIE	L 1	L 2	L 3	L4	
<i>Diplostephium rupestre</i>	5	4	1		10
<i>Gynoxys sp</i>	4	5	3	3	15
<i>Valeriana microphylla</i>	1	4	1	17	23
<i>Loricaria sp</i>		2	2	5	9
SUMATORIA	10	15	7	25	57
Número de especies	3	4	4	3	

Fuente: Córdova M.

El inventario florístico del estrato arbustal dio como resultado un total de 4 especies con un total de 57 individuos contabilizados en las 4 localidades de estudio. (Bhattarrai, 2006) Menciona que existe una disminución del número de especies a medida que aumenta la altitud, esto se corrobora debido a que el número de especies entre los rangos altitudinales del estudio variaron a diferente altura.

TABLA 22: Índice de Simpson del área arbustal

Especie	Número	abundancia (pi)	relativa pi ²
<i>Diplostephium rupestre</i>	10	0.175438596	0.030778701
<i>Gynoxys sp</i>	15	0.263157895	0.069252078
<i>Valeriana microphylla</i>	23	0.403508772	0.162819329
<i>Loricaria sp</i>	9	0.157894737	0.024930748
SUMATORIA	57	D	0.287780856
		1-D	0.712219144

Fuente: Córdova M.

El índice de Simpson registró una diversidad media con un valor calculado de 0.71, según (Cuvi, 2010) la cobertura vegetal del área al tener poca diversidad es homogénea, en nuestro inventario el índice se acerca a 1 con lo que se obtuvo una diversidad heterogénea.

TABLA 23: Índice de Simpson de la localidad 1 del área arbustal.

SIMPSON				
	Número de individuos	de abundancia relativa (pi)	pi ²	Interpretación
<i>Diplostephium rupestre</i>	5	0.5	0.25	
<i>Gynoxys sp</i>	4	0.4	0.16	
<i>Valeriana microphylla</i>	1	0.1	0.01	
SUMATORIA	10	D	0.42	
		1-D	0.58	DIVERSIDAD MEDIA

Fuente: Córdova M.

La localidad 1 el índice de diversidad de Simpson se registró una diversidad media para los rangos altitudinales de 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm

TABLA 24: Índice de Simpson de la localidad 2 del área arbustal.

SIMPSON				
	Número de individuos	de abundancia relativa (pi)	pi ²	Interpretación
<i>Diplostephium rupestre</i>	4	0.266666667	0.071111111	
<i>Valeriana microphylla</i>	4	0.266666667	0.071111111	
<i>Gynoxys sp</i>	5	0.333333333	0.111111111	
<i>Loricaria sp</i>	2	0.133333333	0.017777778	
SUMATORIA	15	D	0.271111111	
		1-D	0.72888889	DIVERSIDAD MEDIA

Fuente: Córdova M.

La localidad 2 el índice de diversidad de Simpson se registró un resultado de diversidad media para las alturas 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm

TABLA 25: Índice de Simpson de la localidad 3 del área arbustal.

SIMPSON				
	Número de individuos	de abundancia relativa (pi)	pi ²	Interpretación
<i>Valeriana microphylla</i>	1	0.142857143	0.02040816	
<i>Gynoxys sp</i>	3	0.428571429	0.18367347	
<i>Loricaria sp</i>	2	0.285714286	0.08163265	

<i>Diplostephium rupestre</i>	1	0.142857143	0.02040816	
SUMATORIA	7	D	0.30612245	
		1-D	0.69387755	DIVERSIDAD MEDIA

Fuente: Córdoba M.

La localidad 3 el índice de diversidad de Simpson se registró una diversidad media para las alturas 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 26: Índice de Simpson de la localidad 4 del área arbustal.

SIMPSON				
	Número de individuos	abundancia relativa (pi)	pi ²	Interpretación
<i>Valeriana microphylla</i>	17	0.68	0.4624	
<i>Loricaria sp</i>	5	0.2	0.04	
<i>Gynoxys sp</i>	3	0.12	0.0144	
SUMATORIA	25	D	0.5168	
		1-D	0.4832	DIVERSIDAD MEDIA

Fuente: Córdoba M

En la localidad 4 el índice de diversidad de Simpson se registró una diversidad media para las alturas 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 27: Índice de Shannon del área arbustal.

Especie	Número	abundancia relativa (pi)	Log pi	pi* log pi
<i>Diplostephium rupestre</i>	10	0.175438596	-	-
<i>Gynoxys sp</i>	15	0.263157895	-0.5797836	-
				0.15257463
<i>Valeriana microphylla</i>	23	0.403508772	-	-
			0.39414702	0.15904178
<i>Loricaria sp</i>	9	0.157894737	-	-
			0.80163235	0.12657353
SUMATORIA	57			-
				0.57079956

Fuente: Córdoba M

El índice de Shannon en el área arbustal registró una diversidad baja con un valor de 0.57, según (Cuvi, 2010) El índice de diversidad baja demuestra que se trata de una cobertura vegetal homogénea.

TABLA 28: Índice de Shannon de la localidad 1 del área arbustal.

SHANNON					
	Número de individuos	abundancia relativa (pi)	Log pi	pi* log pi	Interpretación
<i>Diplostephium rupestre</i>	5	0.5	-0.69314718	-0.34657359	
<i>Gynoxys sp</i>	4	0.4	-0.91629073	-0.36651629	
<i>Valeriana microphylla</i>	1	0.1	-2.30258509	-0.23025851	
SUMATORIA	10			0.94334839	DIVERSIDAD BAJA

Fuente: Córdoba M

En la localidad 1 el índice de diversidad de Shannon se obtuvo el resultado de diversidad baja para las alturas 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 29: Índice de Shannon de la localidad 2 del área arbustal.

SHANNON					
	Número de individuos	abundancia relativa (pi)	Log pi	pi* log pi	Interpretación
<i>Diplostephium rupestre</i>	4	0.266666667	-1.32175584	-0.35246822	
<i>Valeriana microphylla</i>	4	0.266666667	-1.32175584	-0.35246822	
<i>Gynoxys sp</i>	5	0.333333333	-1.09861229	-0.3662041	
<i>Loricaria sp</i>	2	0.133333333	-2.01490302	-0.26865374	
SUMATORIA	15			1.33979428	DIVERSIDAD BAJA

Fuente: Córdoba M

En la localidad 2 el índice de Shannon se registró un resultado de diversidad baja en los rangos altitudinales 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 30: Índice de Shannon de la localidad 3 del área arbustal.

SHANNON					
	Número de individuos	abundancia relativa (pi)	Log pi	pi* log pi	Interpretación
<i>Valeriana microphylla</i>	1	0.142857143	-1.94591015	-0.27798716	
<i>Gynoxys sp</i>	3	0.428571429	-0.84729786	-0.36312765	
<i>Loricaria sp</i>	2	0.285714286	-1.25276297	-0.35793228	
<i>Diplostephium rupestre</i>	1	0.142857143	-1.94591015	-0.27798716	
SUMATORIA	7			1.27703426	DENSIDAD BAJA

Fuente: Córdoba M

En la localidad 3 el índice de diversidad de Shannon se registró una densidad baja en el rango altitudinal de 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 31: Índice de Shannon de la localidad 4 del área arbustal.

SHANNON					
	Número de individuos	abundancia relativa (pi)	Log pi	pi* log pi	Interpretación
<i>Valeriana microphylla</i>	17	0.68	-0.38566248	-0.26225049	
<i>Loricaria sp</i>	5	0.2	-1.60943791	-0.32188758	
<i>Gynoxys sp</i>	3	0.12	-2.12026354	-0.25443162	
SUMATORIA	25			0.83856969	DIVERSIDAD BAJA

Fuente: Córdoba M

Para la localidad 4 el índice de diversidad de Shannon se registró una densidad baja para los rangos altitudinales 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm.

TABLA 32: Índice de similitud de Sorensen del área arbustal.

INDICE DE SIMILITUD DE SORENSEN		
Combinaciones	Índice	Interpretación
L1*L2	0.85714286	Similares
L1*L3	0.85714286	Similares
L1*L4	0.66666667	Similares
L2*L3	1	Similares

L2*L4	0.85714286	Similares
L3*L4	0.85714286	Similares

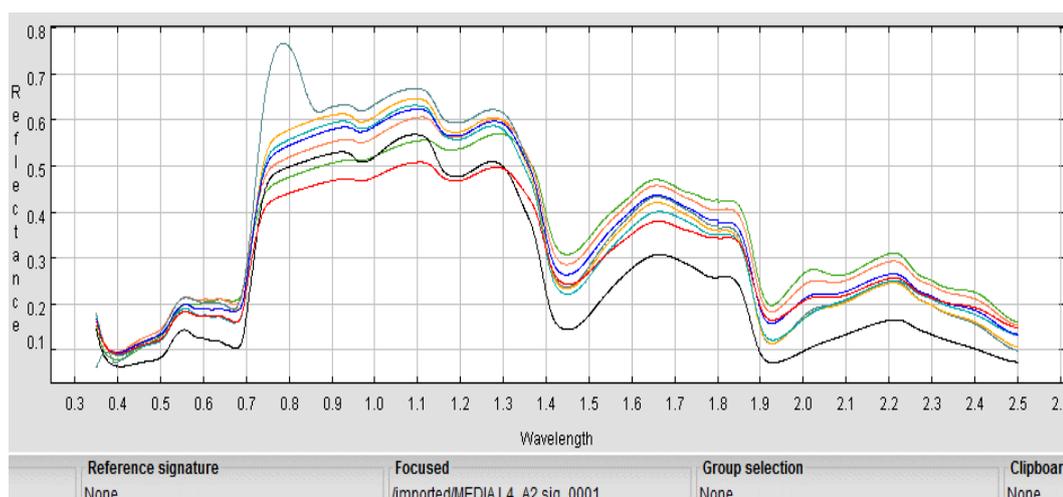
Fuente: Córdoba M.

Para el índice de similitud de Sorensen se realizó combinaciones en pares de las localidades estudiadas obteniendo a la combinación L2 * L3 similares con un valor de 1 y la combinación L1 * L4 similares con un valor de 0.66 siendo el más bajo, en los rangos altitudinales de 3600 – 4100msnm y 4100 – 4600msnm correspondientes al área de estudio. Según (Mostacedo, 2000) la variación de números de individuos se atribuye a que existe diferencia significativa entre los rangos altitudinales.

2. Elaboración de una Base de datos de firmas espectrales para el estrato herbazal - arbustal.

Al momento de obtener las medias de las firmas espectrales de cada altura de cada estrato ya se cuenta con una base de datos de firmas espectrales para el estrato herbazal-arbustal y de igual manera se saca un "Average" (promedio) de las medias para obtener una media general, es decir; una firma única para el estrato:

FIGURA 35: Medias generales de firmas espectrales por cada altura de cada localidad.

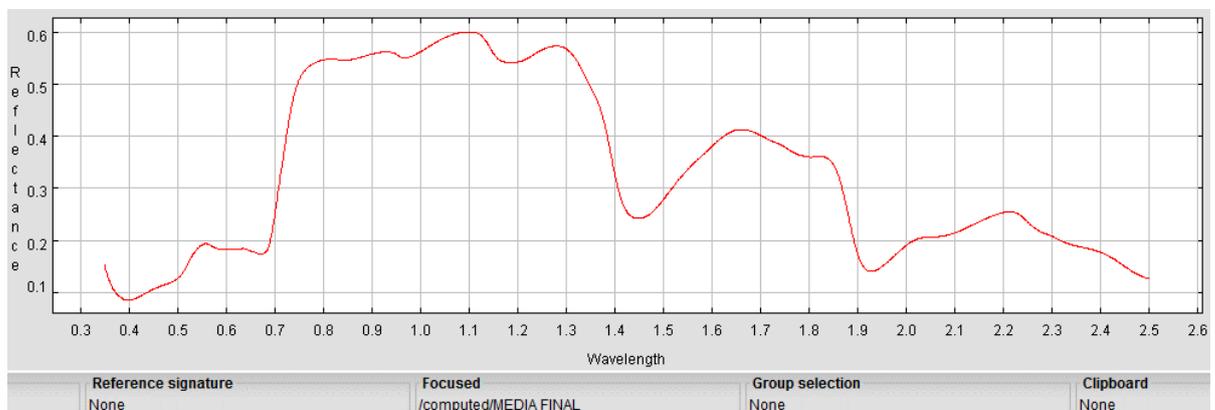


Fuente: Córdoba M.

Las medias generales correspondientes a cada altura y por cada localidad presentan la forma general de una firma de vegetación en este caso existe variabilidad debido a que las firmas espectrales han sido tomadas de heterogéneas especies vegetales presentes en los transectos establecidos y descritos en el inventario realizado.

De acuerdo a Haydee (2001), el contenido de agua puede indicar diferencia de especies o niveles distintos de estrés hídrico en una misma planta.

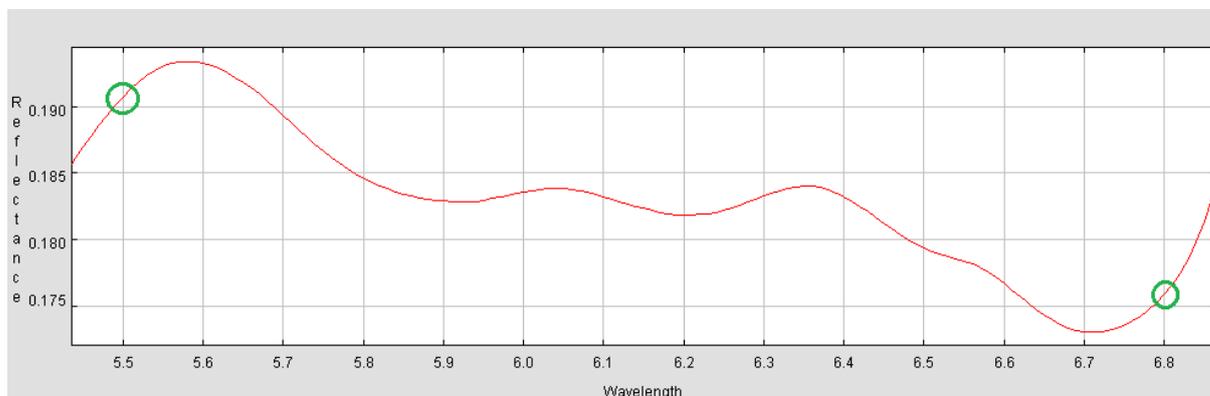
FIGURA 36: Media final de firmas espectrales del estrato.



Fuente: Córdova M.

La media final del estrato herbazal arbustal presenta responde al promedio general de las medias de las firmas de cada localidad y cada altura en donde se obtiene el rango de clorofila que corresponde 550 – 680 nm los cuales presenta los siguientes valores: 550.0 - 0.1907053499127582, 680.0 - 0.17585118565813268

FIGURA 37: Rango de clorofila de la media final de firmas espectrales (550nm – 680nm)

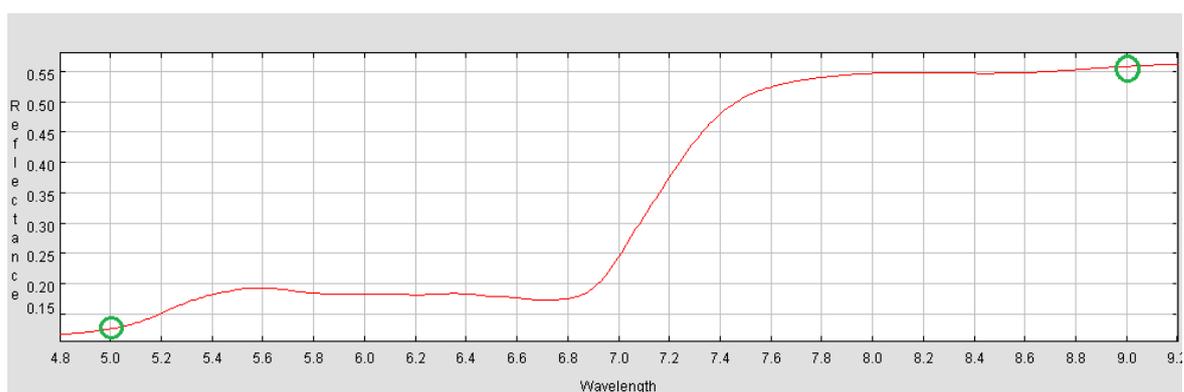


Fuente: Córdoba M.

Según Ormeño (1991), La reflectancia en las hojas no supera el 15% y la transmitancia igualmente es baja por motivo a que los pigmentos fotosintéticos tienen fuertes bandas de absorción en este intervalo espectral.

El rango NDVI de las firmas está comprendido entre 500 – 900nm el cual presenta los siguientes datos: 500.0 - 0.12600883766843649 900.0 - 0.5580268003850956

FIGURA 38: Rango de NDVI de la media final de las firmas espectrales (500nm – 900nm)



Fuente: Córdoba M.

De acuerdo con Rouse (1974), los índices de vegetación de diferencia normalizada asumen rangos de -1 a 1 los cuales representan los niveles de reflectancia en las bandas visibles debido al efecto absorbente de los pigmentos.

3. Comparación de las firmas espectrales en función del rango altitudinal del estrato herbazal - arbustal.

Para la comparación de las firmas nos basamos en los rangos NDVI que se obtuvieron de las medias de cada localidad y de cada altura, el rango NDVI utilizado fue de los 900nm, es así que se creó una tabla en el programa Minitab.

FIGURA 39: Tabla de valores en Minitab

	C1-T	C2	C3	C4	C5	C6-T	C7	C8	C9	C10
		NDVI	SIMPSON	SHANNON			NDVI-2	SIMPSON-2	SHANNON-2	
1	L1-A1	0.46778	0.81	1.87		L1-A2	0.57912	0.81	1.87	
2	L2-A1	0.57912	0.70	1.44		L2-A2	0.52720	0.70	1.44	
3	L3-A1	0.57912	0.81	1.77		L3-A2	0.62837	0.81	1.77	
4	L4-A1	0.55202	0.72	1.55		L4-A2	0.55203	0.72	1.55	
5										
6										
7										
8										
9										

Fuente: Córdova M.

Una vez creada la tabla procedemos a realizar la estadística descriptiva entre las columnas para identificar las variables de los valores.

TABLA 33: Estadística descriptiva de la altura 1.

Descriptive Statistics: C2, C3, C4										
Variabl	N	N	Mean	SE	StDev	Minimu	Q1	Media	Q3	Maximu
e		*	Mean		m			n		m
C2	4	0	0.544	0.0264	0.052	0.4678	0.488	0.565	0.579	0.5791
		5			7		8	6	1	

C3	4	0	0.76	0.0292	0.058	0.7	0.705	0.765	0.81	0.81
C4	4	0	1.657	0.0986	0.197	1.44	1.467	1.66	1.845	1.87
			5		2		5			

Fuente: Córdoba M.

Para la altura 1 la media del NDVI corresponde a 0.5656 con un máximo de 0.5791 y un mínimo de 0.4678. Para el índice de Simpson tenemos una media de 0.765 que corresponde a diversidad media con un máximo de 0.81 y un mínimo de 0.7. Para el índice de Shannon tenemos una media de 1.66 que corresponde a una diversidad media, con un máximo de 1.87 y un mínimo de 1.47.

TABLA 34: Estadística descriptiva de la altura 2.

Descriptive Statistics: C7, C8, C9										
Variabl	N	N	Mean	SE	StDev	Minimu	Q1	Media	Q3	Maximu
e		*	Mean	Mean		m		n		m
C7	4	0	0.571	0.0217	0.043	0.5272	0.533	0.565	0.616	0.6284
			7		3		4	6	1	
C8	4	0	0.76	0.0292	0.058	0.7	0.705	0.765	0.81	0.81
					3					
C9	4	0	1.657	0.0986	0.197	1.44	1.467	1.66	1.845	1.87
			5		2		5			

Fuente: Córdoba M.

Para la altura 2 la media del NDVI corresponde a 0.5656 con un máximo de 0.6284 y un mínimo de 0.5272. Para el índice de Simpson tenemos la media de 0.765 correspondiente a diversidad media con un máximo de 0.81 y un mínimo de 0.7. Para el índice de Shannon tenemos una media de 1.66 correspondiente a diversidad media con un máximo de 1.87 y un mínimo de 1.44.

TABLA 35: Correlación entre NDVI de la altura 1 con NDVI de la altura 2.

Correlation: C2, C7	
Pearson correlation of C2 and C7	-0.043
P-Value	0.957

Fuente: Córdoba M.

Los valores de correlación entre los NDVI fue de 95% indicando un nivel significativo al momento de realizar las capturas de las firmas espectrales en diferente rango

altitudinal, en este caso se dio una variación del 4% por cada 500m que fueron los rangos de altura evaluados. Según Alcaraz (2008), esta diferencia podría expresarse debido al carácter regional de los cambios en el clima como temperatura, precipitación, etc. Y posiblemente por cambios en el clima (CO_2 , N_2) frente al carácter local de una protección inefectiva de algunas áreas donde la agricultura y la deforestación tenderían a bajar el NDVI.

V. CONCLUSIONES

- El área de estudio fue de 21226.5533Ha. de estas el 1.69% de la superficie se encuentra sin cobertura vegetal
- El NDVI denotó que el 33.73% corresponde a zona de vegetación moderada con el mayor porcentaje del área de estudio, mientras que la zona con vegetación muy densa representa el 11.66%
- El inventario florístico presentó 221 individuos 164 del estrato herbazal y 57 del estrato arbustal donde la especie más representativa del estrato herbazal fue *Calamagrostis intermedia* con el 31.70% y la especie más representativa del estrato arbustal fue *Valeriana microphylla* con el 40.35%.
- Según el índice de Simpson el estrato herbazal registró una diversidad alta con un valor calculado de 0.83, el estrato arbustal presentó una diversidad media con un valor calculado de 0.71. El índice de Shannon en el estrato herbazal presentó una diversidad baja con un valor calculado de 0.89, el estrato arbustal registró una diversidad baja con un valor calculado de 0.57.
- La firma espectral obtenida para el estrato herbazal-arbustal siempreverde subnival del páramo tiene un nivel de reflectancia del 60.05% a los 1100nm del espectro electromagnético que es donde la firma espectral alcanza su pico más alto.
- La variación en los niveles de reflectancia fue del 0.4% por cada 500m de altura en cuanto a la captura de firmas espectrales.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre variación del espectro electromagnético en diferentes estados fenológicos, cambios en niveles de humedad y fitopatología.
- Continuar con el seguimiento de esta investigación incorporando nuevas metodologías y tecnologías para la obtención y procesamiento de firmas espectrales.
- Realizar estudios de validación de firmas con imágenes satelitales rapideye, para determinar cuánto se puede denotar las especies vegetales debido al tamaño de sus píxeles que se obtienen de este tipo de imágenes.
- Se podría implementar de índices de vegetación para el mapeo del estado vegetativo de diferentes cultivos.
- Generar mapas georreferenciados de vigorosidad, humedad, temperatura mediante el análisis de imágenes aéreas de muy alta resolución espacial equipados con sensores de diferentes rangos espectrales.

VII. RESUMEN

La presente investigación propone: determinar la firma espectral del estrato herbazal – arbustal del páramo en la subcuenca del río Chambo, provincia de Chimborazo; utilizando el espectro radiómetro de firmas espectrales Field Spect 4 Widerenge 350 – 2500nm, utilizando una metodología nueva para la obtención del espectro electromagnético de un estrato completo en donde se separó dicho estrato en 4 localidades y se dividió a cada una en dos alturas que corresponde a los rangos altitudinales de 3600msnm - 4100msnm y 4100 – 4600msnm, en cada una de estas localidades y rangos se establecieron 3 transectos por cada altura y cada localidad donde se obtuvieron las firmas espectrales en 5 puntos dentro del transecto a manera de zig zag y se realizó el inventario florístico del estrato herbazal y el estrato arbustal, con la ayuda de imágenes satelitales landsat 7 se obtuvo el NDVI del estrato que se usó para la clasificación de la presencia de vegetación en el estrato y comparar el NDVI de las firmas espectrales con el NDVI de la imagen satelital. Una vez obtenidas las firmas espectrales se las corrigió y se obtuvo una media general que representa la firma espectral correspondiente para el estrato herbazal – arbustal del páramo, la misma tiene un nivel de reflectancia del 60,05% a los 1100nm del espectro electromagnético que es donde la firma alcanza su pico más alto, así mismo se obtuvo una media general de la firma espectral para el rango altitudinal de 3600msnm – 4100msnm y una media general de la firma espectral para el rango 4100msnm – 4600msnm las cuales fueron comparadas para determinar que existe una variación en los niveles de reflectancia del 0.4% por cada 500m de altura al momento de realizar la captura de las firmas espectrales.

Palabras clave: FIRMA ESPECTRAL - ESPECTRO RADIÓMETRO - IMAGEN SATELITAL.

Por: Marlon Córdova



Summary

The present investigation proposes: to determine the spectral signature of the stratum herbazal arbustal of the paramo in the sub-basin of the river chambo, province of Chimborazo; using the spectrum spectrograph radiometer Field Spect 4 Widerenge 350-2500nm, using a new methodology for obtaining the electromagnetic spectrum of a complete stratum where said stratum was separated into 4 localities and divided into two heights corresponding to the altitudinal ranges of 3600msnm - 4100msnm and 4100 - 4600msnm, in each of these localities and ranges 3 transects were established for each height and each locality where the spectral signatures were obtained in 5 points within the transect as a zigzag and the floristic inventory of the stratum herbazal and the stratum arbustal, with the help of satellite images landsat 7 the NDVI of the stratum was obtained that was used for the classification of the presence of vegetation in the stratum and to compare the NDVI of the spectral signatures with the NDVI of the satellite image. Once the spectral signatures were obtained, they were corrected and a general average was obtained. represents the corresponding spectral signature for the herbaceous - arbustal stratum of the paramo, it has a reflectance level of 60.05% at 1100nm of the electromagnetic spectrum, which is where the firm reaches its highest peak, and a general average was obtained. of the spectral signature for the altitudinal range of 3600msnm - 4100msnm and a general average of the spectral signature for the range 4100msnm - 4600msnm which were compared to determine that there is a variation in the reflectance levels of 0.4% for each 500m of height when making the capture of the spectral signatures.

Keywords: SIGNATURE SPECTRAL - SPECTRUM RADIOAMETER - SATELLITE IMAGE.

Done By : Profesor Jaime Tapia



VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, C. C. (2017). Firmas espectrales y características de coberturas fundamentales. En C. C. Abreu, *Firmas espectrales y características de coberturas fundamentales*. (págs. 6-14). Uruguay Universidad de la República Uruguay.
- Alcaraz Segura, G. B. (2008). Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *ECOSISTEMAS: revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 114-115.
- Battles, J., Dushof, J., & Fahey, T. (1996). Line intersect sampling of forest canopy gaps. *Forest Science*, 42, 131-8.
- Beltran, K. S.-Y. (2009). *Distribución espacial; sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador. Memoria técnica*. Quito: Ecociencia/Proyecto.
- Bense, T. (2007). *Introducción a la percepción remota*. Uruguay, SELPER.
- Bhattarai, K. (2006). Can Repoport's rule explain tree species richness along the Himalayan elevation gradient. En B. k, *Can Repoport's rule explain tree species richness along the Himalayan elevation gradient*. (págs. 12, 373, 378). Nepal.
- Campbell, J. R. (1995). *Las Radiaciones II. El manejo de las radiaciones nucleares*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Carrillo, L. (2016). *Determinación de la firma espectral de Gynoxis sp. para la clasificación de imágenes satelitales en el bosque de ceja andina en la parroquia Achupallas, cantón Alausi, provincia de Chimborazo*. Riobamba.

- Castonguay, T. L. (1984). Wooded Strips and Windbreaks in Kansas 1981. Research Note NC-313. *St. Paul, MN: US. Dep of Agriculture, Forest Service.*
- Chevrou, R. (1973). Inventaires des haies. *Revue forestiere francaise*, 25: 47-53.
- Chuvieco, E. (2000). *Fundamentos de teledetección*. Madrid: Rialp.
- Cuvi, M. (2010). Estudio de la diversidad florística a diferente gradiente altitudinal en el bosque montano alto Llucud, canton Chambo, provincia de Chimborazo. En M. Cuvi, *Estudio de la diversidad florística a diferente gradiente altitudinal en el bosque montano alto Llucud, canton Chambo. Provincia de Chimborazo*. Riobamba.
- Farinós, M. F. (2002). *Los componentes alfa, beta y gamma de la diversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Haydee, K. V. (2001). Introducción a la teledetección cuantitativa. En K. V. Haydee, *Introducción a la teledetección cuantitativa*. España pp. 6, 11-14, 27-34.
- Hernandez, J. (2009). Patrones de respuesta espectral. En J. & Hernandez, *Patrones de respuesta espectral*. Chile: Facultad de Ciencias Forestales. pp. 7-12
- Isabel, J. M. (2010). *Guía didáctica de teledetección y medio ambiente*. Madrid.
- Leonberger. (2002). *Revealing the small range of radio-microwave frequencies*. Physics Education, Volume 37, Number 5. USA
- Luteyn, J. L. (1999). *Páramos: a checklist of plant diversity, geographical distribution, and geobotanical literature*. New York: Botanical Garden.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). *Sistema Nacional e Monitoreo Forestal. Evaluación Nacional Forestal. Manual de campo* . Quito. Ecuador
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (2012). *Sistemas de clasificación de los ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: MAE
- Marshall, P., Dabis, G., & Lemay, V. (2000). Using line intersect sampling for coarse woody debris. Technical Report TR-003. *Vancouver Forest Region, British Columbia Ministry of Forest*.
- Molano, J. (2002). *El páramo: producción social del espacio en las altas montañas ecuatoriales*. Bogotá. Primer congreso mundial de páramo.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol 1. En C. E. Moreno. *Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA*. Zaragoza. vol 1. p. 84.
- Mostacedo, B. F. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. En B. F. Mostacedo. *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa Cruz : Editorial de País.
- Ormeño, S. (1991). *Fundamentos físicos de la teledetección*. Madrid: E.U.I.T. Topografía.
- Pauli, H., Gottfried, M., Lamprecht, A., Niessner, S., Rumpf, S., Winkler, M., & Steinbauer, K. (2015). *Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Aproximación al estudio de las cimas. Métodos básico, complementarios y adicionales. (5ª. ed.)*. España: Edición en español a cargo de Benito, J. L. & Villar, L.

- Podwojewski, P. P. (2002). Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). Soil use and Management. En P. P. Podwojewski, *Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador). Soil use and Management. Tungurahua*. pp. 18, 45-55.
- Ramsay, P. M. (1992). *The páramo vegetation of Ecuador: the community ecology, dynamics and productivity of tropical grasslands in the Andes*. Ecuador.
- Reuter, F. (2009). *Principios de teledetección*. Argentina
- Rouse, J. H. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proc. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symp., Goddard Space Flight Center, NASA SP-351*. Washington, D. C.: Science and Technical Information Office, NASA.
- Saldise, G. (2009). *Teoría y práctica del transecto como método de inventario para el sabinar (Juniperus thurifera)*.
- Salgado, S. C. (2010). *Estado de conservación del páramo de pajonal de la provincia de Chimborazo. Documento no publicado*. . Quito: GCPC/Ecociencia/CONDESAN.
- Scanvic, J.-Y. (1989). Teledetección aplicada. J.-Y. Scanvic, *Teledetección aplicada*. España, Paraninfo . pp. 45-55
- Shannon, C. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL. : University Illinois Press. Illinois
- Sklenar, P. J. (2005). *Flora genérica de los páramos. Guía ilustrada de las plantas vasculares*. New York: Botanical Garden.

Terradas, J. (2001). *Ecología de la vegetación*. Barcelona: Omega.

Zacarias, Y. (2009). Composición y estructura del bosque templado de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, a lo largo de un gradiente altitudinal. En Z. Y, *Composición y estructura del bosque templado de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca, a lo largo de un gradiente altitudinal*. Oaxaca - México.

IX. ANEXOS

		
<p>FieldSpec Widerange:350 – 2500nm</p>	<p>4 Armado del espectro radiómetro</p>	<p>PlantProbe ASD</p>
		
<p>Llegada al transecto</p>	<p>Establecimiento del transecto</p>	<p>Obtención de la firma espectral</p>
		
<p>Inventario según GLORIA del estrato herbazal</p>	<p>Establecimiento de la parcela de 3,98m para inventario arbustal</p>	<p><i>Calamagrostis intermedia</i></p>
		
<p><i>Gentiana sedifolia</i></p>	<p><i>Draba jaegeri</i></p>	<p><i>Plantago rigida</i></p>

		
<i>Azorella aretioides</i>	<i>Azorella crenata</i>	<i>Lachemilla nivlalis</i>
		
<i>Luzula racemosa</i>	<i>Diplostegium rupestre</i>	<i>Poa cucullata</i>
		
<i>Xenophyllum rigidum</i>	<i>Xenophyllum humile</i>	<i>Diplostegium rupestre</i>
		
<i>Gynoxys sp</i>	<i>Valeriana microphylla</i>	<i>Loricaria sp</i>