

60421 TRABAJO FIN DE MASTER

**CONSTRUCCIÓN DE UNA BIBLIOTECA ESPECTRAL DE LAS
ESPECIES VEGETALES DE LA MICROCUENCA DEL RÍO
POMACOCHO (ECUADOR)**

Autor: Mauro José Jiménez Granizo

***Profesor: Celso Recalde (UNACH- ICIT)
Raquel Montorio Lloveria***

Máster Universitario en

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

27 de Noviembre de 2015



Universidad
Zaragoza

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



Resumen

Los recientes avances en Teledetección han permitido adquirir información detallada para gestionar el territorio de manera más eficiente. Este documento presenta el trabajo realizado con el fin de obtener datos de reflectividad espectral de cinco especies vegetales ubicadas en la Microcuenca del Río Pomacocha, localizado en Chimborazo – Ecuador. Un equipo radiométrico fue utilizado para obtener medidas de reflectividad y mediante la interacción electromagnética entre la luz solar y la materia, se obtuvieron las firmas espectrales de cada una de las especies. Uno de los principales aportes de este estudio es proveer a la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO de una Biblioteca de Firmas Espectrales de la vegetación producto de la catalogación de las mismas. En este trabajo también se muestra la propuesta para el desarrollo de un sistema web innovador que integre múltiples servicios, entre los cuales tendremos el almacenamiento y consulta de firmas espectrales. Esta herramienta informática busca proveer a los usuarios una fuente de información y monitoreo de los recursos almacenados y catalogados en el repositorio desarrollado. El trabajo futuro de este estudio se enfoca en el uso de imágenes satelitales de alta resolución para la clasificación digital de coberturas vegetales a gran escala.

Palabras Clave: Teledetección, firmas espectrales, biblioteca espectral, páramos, especies vegetales.

The recent advances in Remote Sensing have allowed acquiring detailed information in order to manage the territory in a more efficient way. This document presents work performed in order to obtain spectral reflectance of five vegetal species located in the Río Pomacocha microbasin of the Chimborazo province in Ecuador. A radiometric equipment was used with the goal of getting reflectance measures, and through the interaction between solar light and the matter, the spectral signatures of each specie was obtained. One of the main contributions of this work is to provide to UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, a library of spectral signatures for vegetable species obtained through their cataloging. This work also presents the proposal for the development of an innovative web system that integrates multiple services such as the storage and retrieval of spectral signatures. This informatics tool looking for to provide to users an information source for monitoring the catalogued resources contained into the developed repository. The future work is focused on the use of satellite high definition images for digital classification of land coverage to big scale.

Keywords: Remote Sensing, spectral signatures, spectral library, moors, vegetal species

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen	i
Índice de contenidos	ii
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	vii
Preámbulo	vii
Agradecimientos	viii
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. PERCEPCIÓN REMOTA.....	4
3.1. El espectro electro-magnético	5
3.2. RADIOMETRIA DE CAMPO.....	6
3.2.1. Radiómetro.	6
3.2.2. Firmas espectrales	7
3.2.3. Firmas espectrales en La vegetación	8
3.2.4. Biblioteca de firmas espectrales	10
4. Los páramos del Ecuador.....	12
4.1. El clima del páramo	12
4.2. El suelo del páramo	12
4.3. La vegetación del páramo.....	13
5. Metodología.....	15
5.1. Área de Estudio	15
5.1.1. Caracterización del área de estudio.....	16
5.2. Metodología de la investigación	16
5.2.1. Selección de especies	16
5.2.1.1. Intensidad de muestreo y parcela temporal de muestreo (PTM) 16	
5.2.2. Recopilación de medidas espectrales.....	17
5.2.2.1. Equipo empleado	17
5.2.2.2. Toma de datos.....	18
5.2.3. Post-procesamiento y Catalogación.....	20
5.2.4. Metadatos.....	21
6. Resultados	23
6.1. Identificación taxonómica de las especies	23

6.1.1. <i>Calamagrostis intermedia</i> (j. presl)	23
6.1.2. <i>Diplostephium sp arbustiva</i>	23
6.1.3. <i>Baccharis odorata</i>	24
6.1.4. <i>Azorella pedunculata</i>	25
6.1.5. <i>Lachemilla orbiculata</i>	26
6.2. Caracterización espectral de las especies	26
6.3. Construcción de la biblioteca espectral	30
6.3.1. Biblioteca espectral	30
6.4. Catalogación	30
6.4.1. Identificación, objetivo y alcance de la implementación del Sistema	31
6.4.1.1. Objetivo General.....	31
6.4.1.2. Objetivos Específicos.	31
6.4.1.3. Identificación del equipo que realizara la fase de diseño e implementación.....	31
6.4.1.4. Usuarios del sistema.....	32
6.4.1.5. Requisitos	32
a) Requisitos funcionales.....	32
b) Requisitos no funcionales	32
6.4.1.6. Metodología propuesta para el desarrollo del sistema web. .	33
6.4.1.7. Diseño, Arquitectura y aspectos técnicos del sistema.....	33
a) Diseño de Interfaz gráfica de usuario inicial	33
b) Diseño de Arquitectura	34
a) Capa de Negocio (Servidor)	34
b) Capa de presentación (Cliente)	35
7. Conclusiones	36
8. Bibliografía.....	38
Anexos	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías de agrupación de la vegetación de Ecuador según categorías Gómez (2010)	16
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la especie <i>Calamagrostis intermedia</i> (j. <i>presl</i>)	23
Tabla 3. Clasificación taxonómica de la especie <i>Diplostephium sp</i>	24
Tabla 4. Clasificación taxonómica de la especie <i>Baccharis odorata</i>	24
Tabla 5. Clasificación taxonómica de la especie <i>Azorella pedunculata</i>	25
Tabla 6. Clasificación taxonómica de la especie <i>Lachemilla orbiculata</i>	26
Tabla 7. Propuesta inicial de requisitos funcionales	32
Tabla 8. Requisitos tecnológicos indispensables para el funcionamiento de la aplicación.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección espacial (Murillo Sandoval & Carbonell González, 2012).	4
Figura 2. Espectro electromagnético (Tassile, 2013)	5
Figura 3. Descomposición del flujo solar incidente (adaptado de (Chuvieco, 2010)).	7
Figura 4. Firmas espectrales típicas para distintas cubiertas (Tassile, 2013) ..	8
Figura 5. Comportamiento espectral característico de la vegetación (Davis et al., 1978).	9
Figura 6. Librería de Firmas Espectrales ASTER (http://speclib.jpl.nasa.gov/)	10
Figura 7. Firmas espectrales de diferentes tipos de tipos de materiales (Hernández & Montaner, 2009)	11
Figura 8. Los suelos del páramo del Ecuador (Mena et al., 2000)	13
Figura 9. Especies vegetales que forman parte de la vegetación del páramo (elaboración propia).	13
Figura 10. Microcuenca del Río Pomacocho.	14
Figura 11. Ubicación de la Microcuenca del Río Pomacocho (elaboración propia)	15
Figura 12. Esquema de la Parcela Temporal de Muestreo.	17
Figura 13. Espectro-radiómetro FieldSpec 4 de ASD.	18
Figura 14. Panel de referencia.	18
Figura 15. Geometría del campo de visión (FOV). El diámetro de la base del cono a la distancia, debe ser calculado.	19
Figura 16. Espectros de referencia (Murillo Sandoval & Carbonell González, 2012).	20
Figura 17. Ficha de campo para la elaboración del Metadato espectral	22
Figura 18. Fotografía de la especie <i>Calamagrostis intermedia</i> (j. presl) tomada en la zona de estudio	23
Figura 19. Fotografía de la especie <i>Diplostephium sp</i> tomada en la zona de estudio	24
Figura 20. Fotografía de la especie <i>Baccharis odorata</i> tomada en la zona de estudio	25
Figura 21. Fotografía de la especie <i>Azorella pedunculata</i> tomada en la zona de estudio.	25
Figura 22. Fotografía de la especie <i>Lachemilla orbiculata</i> tomada en la zona de estudio.	26
Figura 23. Firma espectral de la especie <i>Calamagrostis intermedia</i> (j. presl) antes de aplicar el filtro	27
Figura 24. Firma espectral de la especie <i>Calamagrostis intermedia</i> (j. presl) despues de aplicar el filtro	27
Figura 25. Firmas Espectrales cateréticas de las cinco especies vegetales ..	29

Figura 26. Biblioteca de Firmas espectrales construidas en el software ENVI 30
Figura 27. Diseño de interfaz de usuario 34
Figura 28. Arquitectura de la Biblioteca de Firmas Espectrales (Elaboración propia). 34

PREÁMBULO

La presente memoria corresponde al Trabajo Fin de Máster en Tecnologías de la Información Geográfica para la Ordenación del Territorio: Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, impartido en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Zaragoza.

El estudio se ha desarrollado bajo la dirección y supervisión del Dr. Celso Recalde, Director del Proyecto “*CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA DE LAS SUBCUENCAS HÍDRICAS PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO CONSIDERANDO EL PAISAJE CULTURAL ANDINO DE LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*”.

AGRADECIMIENTOS

A quienes conforman el Proyecto “*Caracterización Biogeográfica De Las Subcuencas Hídricas Para La Adaptación Al Cambio Climático Considerando El Paisaje Cultural Andino De La Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia De Chimborazo*” de la Universidad Nacional de Chimborazo, por facilitar los equipos para el levantamiento de información y datos importantes para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco también a Raquel Montorio por su valiosa ayuda en orientar y encauzar mi trabajo, y por sus conocimientos impartidos que sin ellos no hubiera sido posible la elaboración del mismo.

A Olga Rosero, Doctorante de la Universidad de Zaragoza, por la ayuda prestada en el manejo del equipo radiométrico.

Gracias a Juan de la Riva, Coordinador del Máster en Tecnologías de la Información Geográfica para la Ordenación del Territorio, SIG y Teledetección, quien antes y durante el programa estuvo presto a resolver todas mis inquietudes.

A todos los docentes que formaron parte del Master en TIG de la Universidad de Zaragoza por el gran esfuerzo, paciencia y dedicación en impartir sus conocimientos con pasión y entrega.

A mi esposa e hijos, razón de mi vida y motivo por el cual emprendí esta aventura.

A mis padres por su apoyo incondicional, y a todos quienes de una u otra manera formaron parte en esta etapa de mi vida.

Como no podría ser de otra manera, quiero agradecer a Marielita Rendón y a toda su familia por hacer que mi estancia en Zaragoza sea insuperable.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático que afecta a todo el mundo es el responsable principal de variaciones adversas en los diferentes ecosistemas. Ecuador no elude esta realidad, pues son evidentes las alteraciones que se perciben en el deshielo de los glaciares, alteraciones hidrológicas, la presencia cada vez más fuerte y devastadora de la corriente del niño, las sequías que se presentan en épocas del año, y por qué no las reactivaciones eruptivas de los volcanes que pertenecen al cinturón de fuego del pacífico y que atraviesa por nuestro país. Estas alteraciones del clima que se experimentan en estos últimos años inciden de una u otra forma en todas las actividades que se realizan sobre la superficie de la tierra, razón por la cual ha despertado un elevado interés de la sociedad e instituciones gubernamentales, de tal forma que, en el Ecuador se han creado políticas de estado encaminadas a la conservación y manejo sustentable de los recursos naturales, y al estudio e investigación de los posibles impactos que estas alteraciones presentarían, tomando en cuenta la vulnerabilidad que las diversas regiones presentan a cambios extremos del clima y las potenciales formas de adaptación.

En este contexto la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) no es ajena a este problema, por lo tanto ha promovido investigaciones en áreas vulnerables y de gran importancia que, sin embargo, no están siendo tomadas en cuenta y que tienen un gran potencial ecológico, turístico y principalmente para la conservación. Se trata de los páramos del sector de Achupallas, provincia de Chimborazo, en el cual se ejecutó el presente trabajo de investigación. Si bien es cierto, el páramo Ecuatoriano es un ecosistema natural de un alto valor ecológico, *hotspot* de la biodiversidad mundial, en donde existe una excepcional concentración de diferentes especies vegetales con un alto grado de endemismo, pero al mismo tiempo con una alta fragilidad debido a los cambios en el uso del suelo y que simultáneamente están sufriendo una inusual regresión por causas diversas aunque normalmente lo es por la destrucción de sus condiciones naturales (Gómez, 2010).

El ecosistema páramo posee condiciones muy particulares en donde la vegetación está adaptada a condiciones extremas y donde se piensa además que el cambio climático tiene una alta influencia ya que en los últimos años la flora y fauna han presentado reducciones considerables en este medio ambiente (Llosa, Pajares, & Toro, 2009). Debido a esto, y teniendo en cuenta que los páramos son ecosistemas estratégicos porque representan una fuente innumerable de recursos ambientales y tienen un gran valor científico por los endemismos y biota única que poseen (Vanegas & Rivera, 2000), se viene desarrollando el proyecto “CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA DE LAS SUBCUENCAS HÍDRICAS PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO CONSIDERANDO EL PAISAJE CULTURAL ANDINO...”, del cual deriva el presente trabajo que marcará un precedente dentro de la Institución y del conjunto del país porque busca desarrollar, dentro del campo de la teledetección, metodologías geoespaciales para la caracterización de especies vegetales que permitan evaluar el estado de los ecosistemas. Se considera así que conocer los cambios a nivel de poblaciones vegetales es fundamental para la implementación de acciones de restauración y conservación de los recursos.

En la actualidad los avances de teledetección han mostrado en numerosos campos de aplicación las posibilidades para obtener información detallada a gran escala y de excelente calidad, para la mejor gestión del medio ambiente y los recursos naturales (Vaughan, 2001). Uno de los potenciales más importantes es el estudio de las cubiertas vegetales utilizando técnicas de espectro-radiometría de campo, una técnica que, gracias a la interacción electromagnética existente entre el sol y las cubiertas terrestres en las distintas longitudes de onda, permite obtener *in situ* firmas espectrales de reflectividad que permiten conocer y entender el comportamiento y estado de las plantas.

Un elemento imprescindible en las aplicaciones de espectro-radiometría de campo son las bibliotecas espectrales. Se trata de colecciones de firmas espectrales que recogen el comportamiento espectral de una amplia variedad de cubiertas o materiales de la superficie terrestre en un amplio rango de longitudes de onda y un elevado número de bandas.

Varias organizaciones e instituciones han desarrollado Bibliotecas de Firmas Espectrales a nivel organizativo para una serie de materiales naturales y artificiales tales como: la biblioteca espectral ASTER, Global Soil spectral library, MINEO spectral Library, las mismas que contienen mayor número de espectros de reflectividad referente a minerales, suelos y especies vegetales y que están disponibles para acceso público (Nidamanuri & Zbell, 2011). En Ecuador no se puede hablar de Bibliotecas Espectrales disponibles, es por ello que mediante el proyecto que maneja la Universidad Nacional de Chimborazo, se pretende construir una aplicación web que albergue la base de datos de firmas espectrales tomadas como punto de partida en el presente trabajo de investigación.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo principal construir una biblioteca espectral de las especies vegetales de la Microcuenca del Rio Pomacocho – Ecuador, mediante datos procesados de reflectividad espectral procedentes de muestreos realizados en campo a partir de técnicas de espectro-radiometría y disposición de los resultados generados en una aplicación Web desarrollada dentro del Proyecto “CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA DE LAS SUBCUENCAS HÍDRICAS PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO CONSIDERANDO EL PAISAJE CULTURAL ANDINO DE LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTON ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

3. PERCEPCIÓN REMOTA

Para la obtención de datos de la superficie es necesaria la utilización de sensores remotos capaces de captar y de identificar las relaciones espectrales de los objetos y materiales que se encuentran sobre la superficie terrestre. Una adecuada definición de sensor remoto es la establecida por Ritchie & Rango (1996), en la cual señala que “*los sensores remotos han sido definidos como la ciencia y el arte de obtener información acerca de un objeto, área o fenómeno a través de análisis de datos adquiridos por sensores que no están en contacto directo con el objetivo de investigación*”.

La información obtenida por estos sensores necesita un posterior tratamiento de datos en virtud de la interacción electromagnética existente entre la tierra y el sensor, siendo la fuente de radiación proveniente del sol o del propio sensor, a esta técnica se la conoce como Teledetección (Chuvieco, 2010).

Rich, Dubayah, Hetrick, & Saving (1994) señalan que la teledetección es una ciencia que engloba al conjunto de los conocimientos y técnicas utilizados para la obtención de información de objetos o fenómenos a distancia, sin entrar en contacto directo con ellos, además de su posterior análisis y tratamiento de la información adquirida.

La teledetección se ha aplicado en numerosos campos y ha demostrado sus posibilidades para obtener información de gran calidad para gestionar de mejor manera del medio ambiente y los recursos naturales. Entre sus propiedades más importantes para el estudio de las cubiertas vegetales cabe citar la observación cíclica que proporcionan, la transmisión de datos en tiempo real, la información sobre regiones no visibles del espectro, la visión sinóptica, su cobertura exhaustiva del territorio y el formato digital de los datos (Patrick, 2001).

Por lo tanto, un sistema de teledetección espacial está conformado por los siguientes elementos que se detalla en la Figura 1 (Chuvieco, 2010), mismos que se enlistan a continuación tal como:

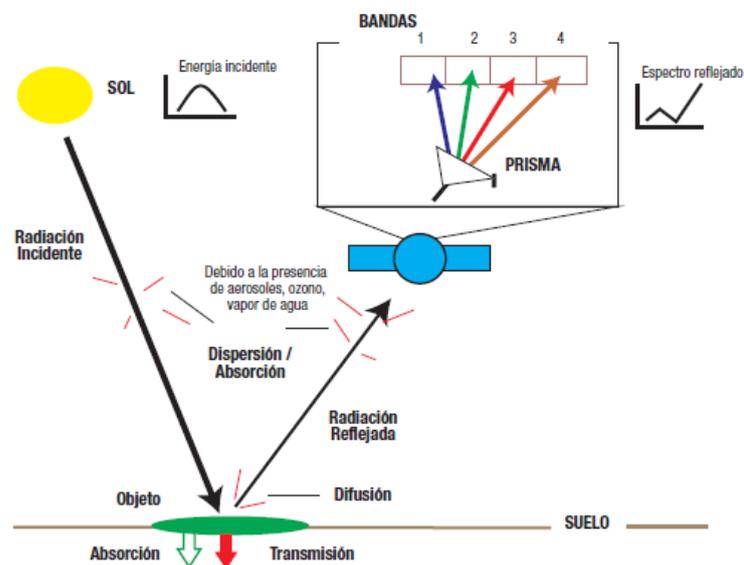


Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección espacial (Murillo Sandoval & Carbonell González, 2012).

- El sol, la fuente de energía más importante que supone el origen de la radiación electromagnética y de la interacción entre los objetos y el sensor (teledetección pasiva). También puede intervenir un foco interno al sensor y emitir un haz de energía (teledetección activa).
- Los objetos que se encuentran sobre la superficie terrestre, formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedente de la fuente de energía, y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.

- Sistema sensor, compuesto por el sensor, propiamente dicho, según Murillo Sandoval & Carbonell González (2012), estos sensores pueden ser acoplados en plataformas satelitales, ser aerotransportados o pueden ser dispositivos portátiles.
- Sistema de recepción-comercialización, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, graba en un formato apropiado y, tras las oportunas correcciones, se distribuye a los interesados.
- Intérprete, que convierte esos datos en información temática de interés, esta puede ser visual o digital, útil para facilitar el diagnóstico y la evaluación del problema en estudio.
- Usuario final, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven.

3.1. El espectro electro-magnético

Tassile (2013) define al espectro electromagnético como la distribución energética de las ondas electromagnéticas (Figura 2), las mismas que van desde los rayos gamma (menor longitud de onda) hasta las ondas de radio (mayor longitud de onda). En este espectro se clasifican las ondas electromagnéticas que se comportan de forma similar en bandas o canales espectrales.

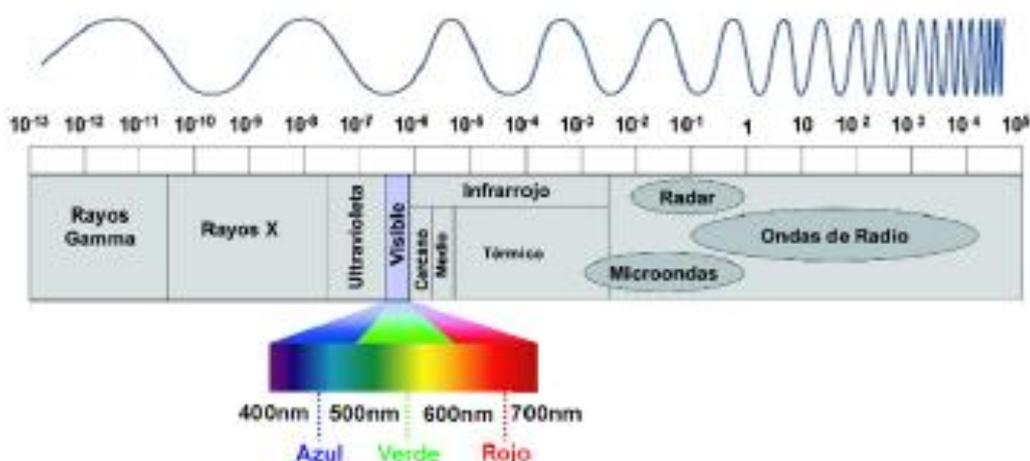


Figura 2. Espectro electromagnético (Tassile, 2013)

Por lo tanto cuando de teledetección se trate es importante destacar una serie de bandas espectrales y que son las más frecuentemente empleadas, su denominación y amplitud varían según distintos autores, la terminología más común es la siguiente (Murillo Sandoval & Carbonell González, 2012).

- Espectro visible (0,4 a 0,7 μm). Radiación electro-magnética que pueden percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es la máxima radiación solar. Suelen distinguirse tres bandas elementales: azul (0,4 a 0,5 μm); verde (0,5 a 0,6 μm) y rojo (0,6 a 0,7 μm), en razón de los colores primarios que nuestros ojos perciben a esas longitudes de onda.
- Infrarrojo cercano (IRC 0,7 a 1,3 μm). Denominada infrarrojo próximo, importante por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- Infrarrojo medio (1,3 a 8 μm). Banda donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. Importante para estimar contenido de humedad en la vegetación y detección de focos de alta temperatura.
- Infrarrojo lejano o térmico (IRT, 8 a 14 μm). Incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.

- Micro-ondas (M, a partir de 1 mm). Es de gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

3.2. RADIOMETRIA DE CAMPO

Es una técnica de teledetección con un importante auge y diversificación en los últimos años. La recolección y adquisición de firmas de reflectividad espectral en el terreno ha permitido profundizar en el conocimiento de la respuesta espectral de materiales y superficies, facilitando la calibración y validación de imágenes y productos de misiones desde satélite o aeroportadas (González et al., 2012).

Según Miralles (1991), a la medida de la reflectividad espectral de los objetos que se encuentran sobre la superficie terrestre se la conoce como radiometría de campo, llevando implícito el estudio de las interacciones entre las características espectrales de la misma y sus atributos biológicos. Con el uso de la radiometría es posible caracterizar una superficie mediante la utilización de sensores electro-ópticos capaces de identificar el flujo radiante, definido como el total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo y ángulo sólido de medida (Cano, 2009).

Como señala Cano Javier (2009), los principales ámbitos de aplicación de la radiometría de campo son:

- El diseño y la calibración de sensores remotos.
- Verificación de la información obtenida a partir de un sensor remoto.
- Ayuda en el análisis y la interpretación de datos procedentes de sensores remotos.
- Trabajo con librerías espectrales, identificación de materiales a partir de curvas espectrales.
- Identificación de longitudes de onda óptimas para la detección de materiales u objetos.
- Identificación de la variación temporal de las propiedades de una determinada cubierta.
- Creación de modelos a través de la interacción entre la energía solar y los elementos de la superficie terrestre.
- Mezclado y desmezclado espectral y caracterización espectral de rasgos biofísicos.

3.2.1. Características generales de un Radiómetro

Son instrumentos que están diseñados para medir la distribución de la radiación electromagnética en un intervalo de longitudes de onda, siendo esta una medida cuantitativa de la reflectividad (Schaepman, 1998). De acuerdo al estudio realizado por (Patrick, 2001) los radiómetros pueden ser de dos tipos, espectro-radiómetros (o espectrómetros), con sensores que miden espectros continuos y radiómetros (o radiómetros de filtro), cuyos sensores miden un número predeterminado de bandas.

La diferencia está en que la energía llega al sensor en los espectro-radiómetros a través de un prisma o rejilla difractoria, variándose la posición del prisma o la apertura de la rejilla se consigue un espectro continuo. Los radiómetros poseen filtros que permiten el paso de energía de una determinada longitud de onda, con lo que el número de bandas espectrales que diferencia el sensor está en función del número de filtros (Patrick, 2001).

Alonso, Moreno y Rodríguez (1999) señalan que la lectura del radiómetro es proporcional a la radiancia de los objetos observados, es decir a la intensidad de la radiación en la dirección de observación y por unidad de superficie aparente del objeto. Si la superficie observada por el radiómetro es homogénea, el resultado de la medida es independiente de la distancia del radiómetro a la superficie y de las dimensiones del campo de observación. Por ello, la radiancia es una magnitud fundamental en teledetección.

Según Chuvieco (2010), la radiancia es el total de energía radiada en una determinada dirección por unidad de área y por ángulo sólido de medida. Su unidad de medida es en vatios por metro cuadrado y estereoradian ($W/m^2 sr^{-1}$).

Para entender como interacciona este flujo de energía con la superficie terrestre, es necesario indicar que la radiación que esta recibe se puede descomponer en tres términos como se muestra en la Figura 3. El flujo incidente (Φ_i) que actúa sobre una superficie es reflejado (Φ_r), transmitido (Φ_t) o absorbido (Φ_a). De tal manera que este flujo reflejado dependerá de las características fisicoquímicas de los objetos observados y variará en las distintas bandas del espectro electromagnético. Esto quiere decir que cada objeto o elemento de la superficie terrestre presenta un comportamiento diferente para cada banda o longitud de onda del espectro electromagnético, y así podemos seleccionar las mejores bandas o rangos espectrales para la clasificación de los mismos (Chuvieco, 2010).

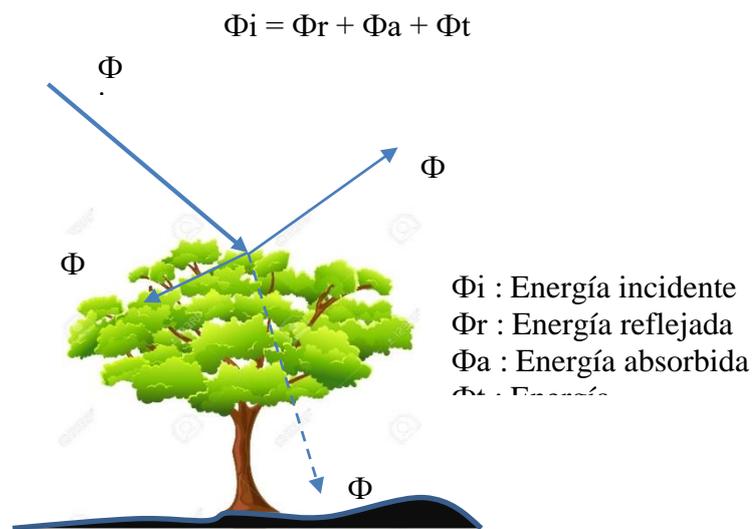


Figura 3. Descomposición del flujo solar incidente (adaptado de (Chuvieco, 2010)).

3.2.2. Firmas espectrales

Tal como se mencionó anteriormente todos los objetos sobre la superficie terrestre son capaces de reflejar, transmitir o absorber la energía proveniente del sol o del propio sensor, lo que genera una reflectividad propia del objeto en función longitud de onda; a esta distribución se la denomina signatura o firma espectral. Así se puede definir a la firma espectral como la relación entre la energía reflejada y la energía incidente en función de la longitud de onda (Gómez, 2010).

Hernández & Montaner (2009) en su investigación “Patrones de respuesta espectral” aseguran que la energía electromagnética, una vez que llega a la superficie, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión, obteniendo un patrón de respuesta espectral particular diferente siendo común referirse a él como “firma espectral”.

Este comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado en áreas como: en procesos de clasificación de imágenes satelitales, censo de recursos así como el seguimiento y determinación del estado de los mismos, monitoreo del estado de cultivos, caracterización e identificación de los minerales, estudios sobre contaminación del agua, entre otros.

En conclusión, se puede decir que todos los materiales que se encuentran sobre la superficie terrestre presentan respuestas espectrales características que se pueden detectar utilizando sensores a nivel terrestre, en campo o en laboratorio, o montados en plataformas aéreas o satelitales. De este modo,

cada tipo de cubierta, suelo, vegetación, agua, infraestructura, etc. reflejará la radiación incidente de forma única y diferente, lo que permitirá distinguirlos de los demás.

Como se muestra en la Figura 4, algunas cubiertas tienden a presentar una respuesta uniforme en distintas longitudes de onda, mientras otras ofrecen un comportamiento mucho más selectivo. Por ejemplo, el hormigón presenta una reflectividad media y constante a lo largo de todas las bandas en contraste con la nieve que presenta una reflectividad alta en las bandas cortas (espectro visible) y decreciente hasta las bandas de longitud mayor (SWIR) (Tassile, 2013).

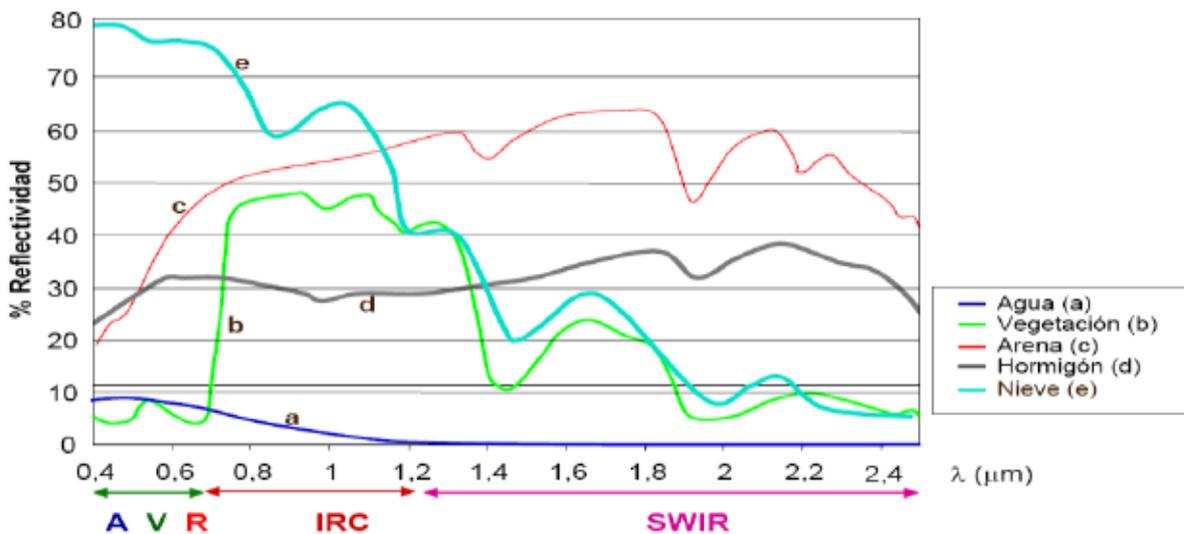


Figura 4. Firmas espectrales típicas para distintas cubiertas (Tassile, 2013)

3.2.3. Firmas espectrales de la vegetación

La caracterización espectral de los diferentes tipos de cubiertas vegetales constituye una de las tareas más interesantes dentro del campo de la teledetección, sin embargo aún se presentan varias dificultades debido a distintos factores como los relacionados con la reflectividad de la hoja, las características geométricas y aspectos derivados de la situación geográfica de la planta, mismos que inciden en la radiancia final detectada por el sensor (Chuvieco, 2010).

Se considera a la vegetación una cubierta compleja que tiene un comportamiento dinámico que varía con el tiempo debido principalmente a cambios fenológicos estacionales y variaciones en las condiciones de iluminación asociadas a la topografía del terreno.

El comportamiento espectral característico de la vegetación (Figura 5) se determina por presentar claros contrastes entre las regiones del espectro correspondientes al rojo del visible y al infrarrojo cercano. En la región visible, los pigmentos de la hoja tales como la clorofila, xantofila y caroteno ejercen un importante control sobre la reflectividad, absorbiendo un elevado porcentaje de la energía incidente. El más importante de ellos, la clorofila, es responsable de dos bandas de absorción, una en el azul (entre 400 y 500 nm) y otra en el rojo (entre 600 y 700 nm), en las que se absorbe la mayor parte de la energía incidente (Alonso et al., 1999).

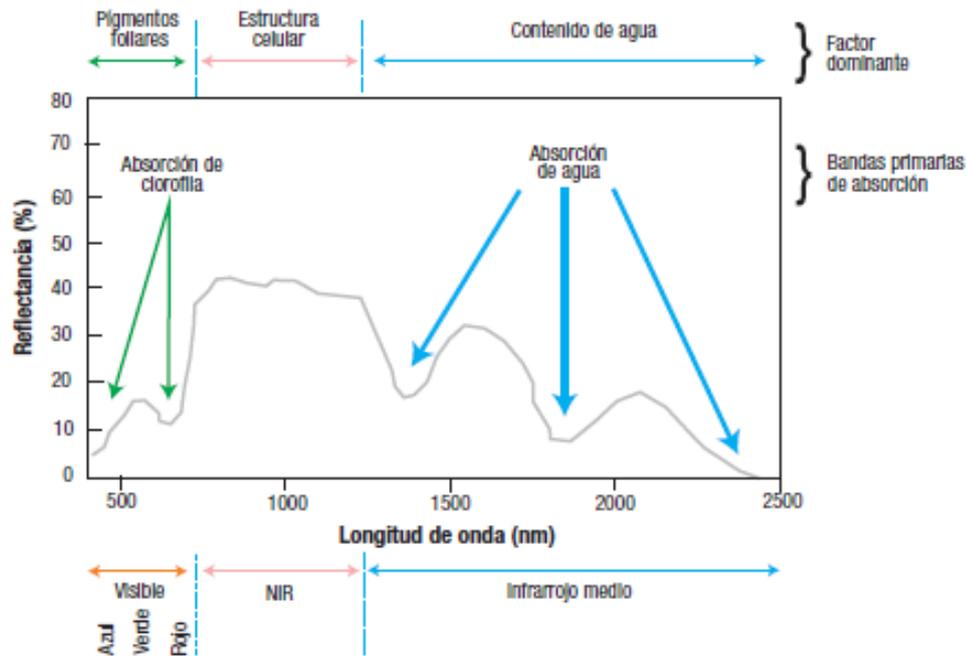


Figura 5. Comportamiento espectral característico de la vegetación (Davis et al., 1978).

Por otro lado, en la banda del verde (entre 500 y 600 nm) el nivel de absorción es menor y, por tanto, la reflectividad es algo mayor que en las regiones azul y roja adyacentes. El máximo relativo de reflectividad en esta zona es responsable del color verde con el que el ojo humano percibe la vegetación, a partir de los 700 nm y 1200 nm la naturaleza de la interacción de la energía con plantas cambia significativamente de varias maneras, lo más evidente es el cambio en el aumento de reflectividad y es aproximadamente de cuatro veces más de la reflectancia general, esto crea una superficie muy "brillante" en el infrarrojo cercano y en cuanto la absorción se convierte en un factor insignificante en la interacción de energía de la planta, por lo tanto el principal factor responsable de la reflectividad en esta región es la estructura celular de la hoja, de modo que la vegetación sana con buena estructura interna, presenta altos valores de reflectividad y una vegetación enferma presenta bajos valores de reflectividad, este aumento o disminución de en la reflectancia en el infrarrojo cercano proporciona una notable capacidad para distinguir a la vegetación de casi cualquier otra superficie material, especialmente del suelo y el agua, este contraste es la base para obtener los índices de vegetación.

No sólo la reflectancia de la vegetación es mayor en el infrarrojo cercano también lo es la variación de la respuesta espectral entre las especies vegetales especialmente entre las características fisonómicas de las plantas, permitiendo de esta manera una mayor discriminación de las especies. En el SWIR entorno a los 1450 nm y 1800 nm el contenido de humedad es el principal agente condicionador de la reflectividad, la absorción en estas longitudes de onda es causada por el agua, y la cantidad de absorción varía directamente con la cantidad de humedad en la planta de modo que la presencia de agua se traduce en una absorción de energía. El deterioro de la vegetación se debe a tres cambios principales en su firma espectral: (i) incremento de la reflectividad en el rojo por pérdida de clorofila, (ii) descenso de la reflectividad en el infrarrojo cercano por deterioro de la estructura interna y (iii) aumento de la reflectividad en el SWIR por la menor presencia de agua en la vegetación

3.2.4. Bibliotecas espectrales

En el apartado anterior se mencionó que los datos de reflectividad son característicos y diferentes de cada material y objeto observado, por lo tanto es necesario disponerlos ordenadamente y en formatos utilizables por otros potenciales usuarios, esto conlleva la creación de librerías espectrales que pueden definirse como:

Montorio (2014) señala que una biblioteca espectral son una serie espectros, procedentes normalmente de medidas de laboratorio bajo condiciones controladas, que permiten conocer la reflectividad típica de diversas cubiertas y materiales. Para obtener una biblioteca espectral óptima es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones: muestras puras, amplia gama de materiales, amplio rango de longitudes de onda, gran precisión y bien documentada. Vaughan (2001) menciona que la adquisición de medidas de campo y su articulación en librerías o bibliotecas espectrales es primordial para:

- Calibrar la reflectividad de la imagen con la reflectividad de la superficie terrestre.
- Proporcionar una base de datos para el entrenamiento y validación de las imágenes.
- Proporcionar información acerca de las firmas espectrales de las especies en el área de interés y acerca de las variaciones y cambios espectrales en las imágenes.
- Servir como base de entrada de algoritmos y redes neuronales mediante técnicas de clasificación de coberturas.

Hernández & Montaner (2009), en su investigación hace referencia a la librería espectral de ASTER (Figura 6), que contiene una compilación de cerca de 2000 firmas espectrales de materiales naturales y hechos por el hombre. Además, incluye datos de otras tres librerías espectrales publicadas por la Universidad John Hopkins (JHU), Laboratorio de propulsión a reacción de la NASA (Jet Propulsion Laboratory - JPL), y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS – Reston).

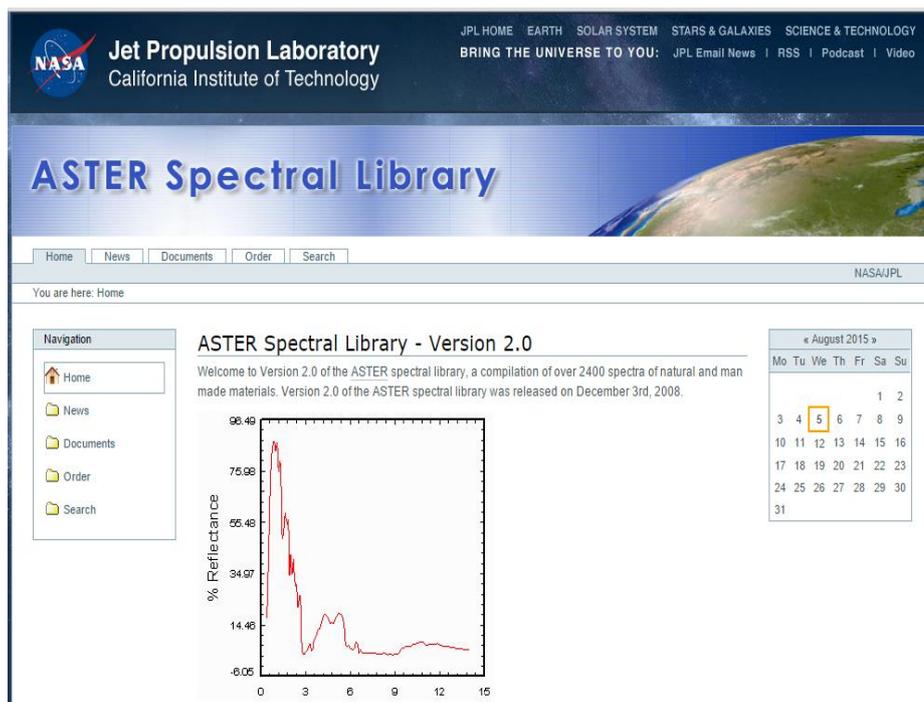


Figura 6. Librería de Firmas Espectrales ASTER (<http://speclib.jpl.nasa.gov/>)

Vaughan (2001), afirma que en la actualidad existen pocas librerías espectrales disponibles, una de ellas y de libre acceso es la del Servicio Geológico Estadounidense (USGS), que si bien cuenta con más de 500 espectros de materiales geológicos, sólo cuenta con 16 especies vegetales, que evidentemente son americanas y apenas pueden ser extrapolables a nuestro entorno. En la Figura 7 se expone un conjunto de firmas espectrales de diferentes tipos de materiales que han sido recopiladas desde distintas librerías públicas.

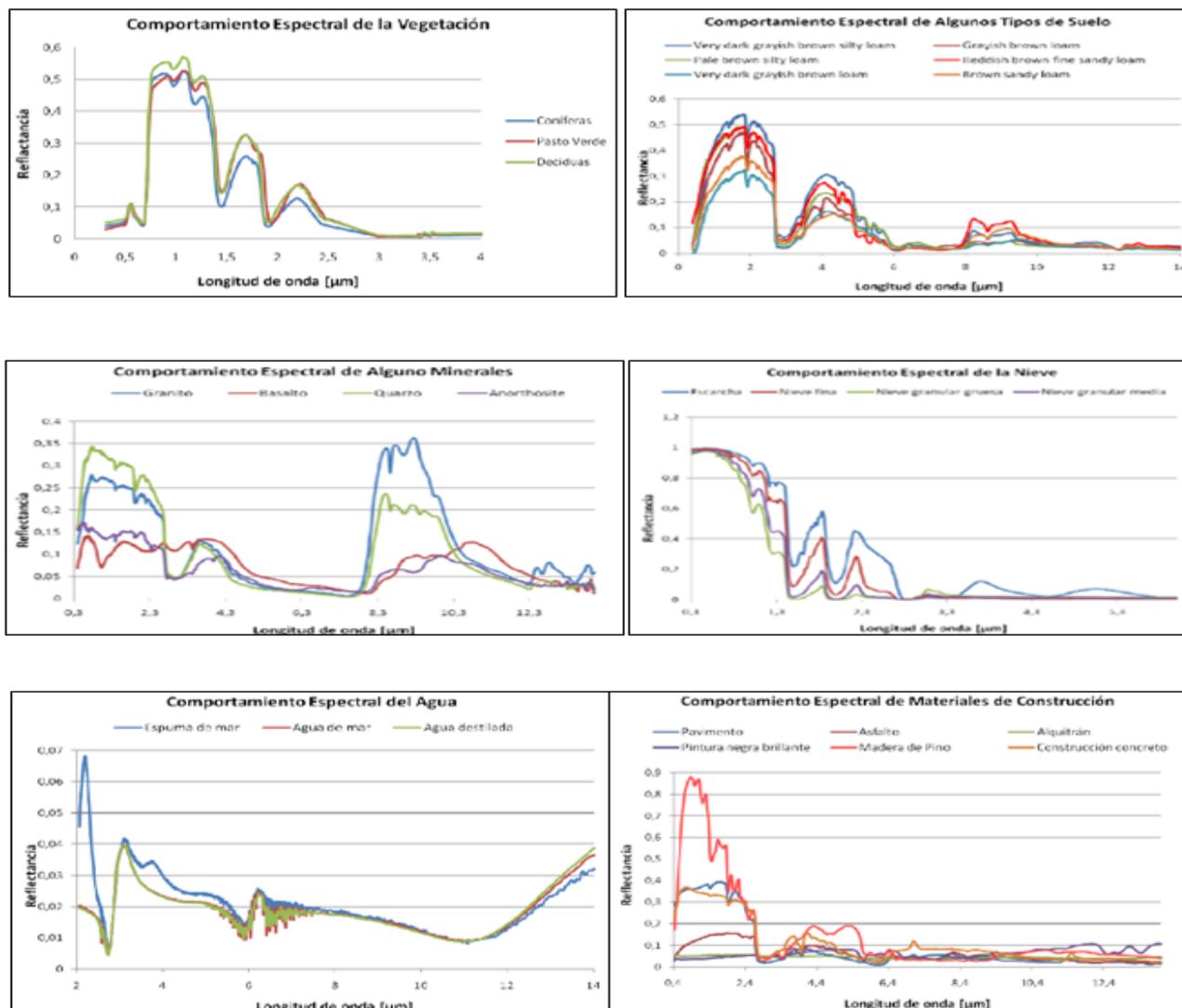


Figura 7. Firmas espectrales de diferentes tipos de tipos de materiales (Hernández & Montaner, 2009)

En Ecuador no se puede hablar de bibliotecas espectrales disponibles, pocas son las entidades o Universidades que están incursionando en este tipo de investigación, aunque hay algunos ejemplos enfocados hacia la realización de manuales de recolección de datos en campo, la creación de un sistema de lectura de espectros de reflectividad y, por último, este trabajo enfocado en la creación de una biblioteca de firmas espectrales de especies vegetales de la Microcuenca del Río Pomacocha. Por lo tanto, y en base a lo anterior el ámbito en cuanto a bibliotecas espectrales se refiere es claramente escaso en nuestro país.

4. LOS PÁRAMOS DEL ECUADOR

El páramo andino constituye uno de los ecosistemas del mundo más importantes, pero al mismo tiempo, uno de los menos conocidos (Hofstede, Segarra, & Mena, 2003). Siendo un ecosistema estratégico debido a su gran potencial de almacenamiento y regulación hídrica, el manejo inadecuado como la adaptación de cultivos agrícolas y pecuarios ajenos al entorno ha ocasionado una degradación de este medio natural. Además posee características únicas y es el hábitat de una gran diversidad de animales como lagartijas, salamandras, conejos, venados, cóndor, águila, patos, etc. y plantas como musgo, pajonales, gramíneas, especies arbóreas y arbustivas (Ortega & Saavedra, 2013).

Los páramos en el Ecuador comprenden aproximadamente el 5% del territorio ecuatoriano, es decir alrededor de 12.650 km², de acuerdo a mediciones de la superficie realizadas por el (Proyecto paramo 1999). Aunque no se tienen datos precisos, es posible que un 10% de la flora del Ecuador podría encontrarse en esa parte del territorio. Las características geográficas, edafológicas, climáticas, etc., que representan el páramo hacen de él una zona muy diversa en varios aspectos. En este estudio se hace referencia a la flora de los páramos ecuatorianos, por ello es necesario conocer algunas características básicas del clima y los suelos, ya que la vegetación guarda estrecha relación entre ellos (Mena et al., 2011).

4.1. El clima del páramo

El clima es un factor importante de los páramos ecuatorianos, es por lo general frío y húmedo, su temperatura varía a lo largo del día, a altitudes medias entre los 3400 y 4500 msnm, también podemos encontrarnos con temperaturas desde 30°C descendiendo hasta valores menores a 0°C (Léon, 1993). Es importante recalcar que por cada 200 metros de incremento en altitud, la temperatura promedio disminuye en aproximadamente 11°C, las heladas también aumentan con la altitud y es un elemento significativo que influye en la frecuencia y repartimiento de las especies vegetales a lo largo de las gradientes de elevación (Mena et al., 2011).

4.2. El suelo del páramo

Otro de los factores que guarda íntima relación con la vegetación es el suelo, puesto que cuando de la geología de los Andes se trata podemos decir que es muy compleja y de gran variabilidad. El suelo en los páramos del Ecuador tiene características únicas como: la humedad, el color (negro), el pH ácido y sobre todo con un alto contenido de materia orgánica. Los suelos en el Ecuador pueden agruparse en dos grupos o tipos de suelos, según el tipo de roca madre, este puede ser de origen volcánico reciente y los que no han sido sometidos a actividad volcánica reciente (Mena, Josse, & Medina, 2000).

En el Ecuador existen numerosos picos volcánicos ubicados en el norte y centro del país, con alturas de hasta los 6300 msnm, característicos por ser de cenizas volcánicas. En el sur de Ecuador existen montañas menores o inferiores a los 4000 msnm, no asentadas sobre depósitos volcánicos (Podwojewski & Poulenard, 2000). Por lo tanto los suelos de páramo ubicados en las zonas más altas son diferentes a los ubicados en las zonas más bajas, estos últimos tienen características como: poco espesor, poseen mucha roca y arena y son escasos cuando de materia orgánica se trata, todo esto hace que este tipo de suelo posea poca capacidad de retención de agua (Mena et al., 2011).

Como se ha mencionado antes, el clima y el suelo tienen características marcadas que lo hacen único y propicio para albergar e incidir en la vida de la vegetación determinando así su distribución a lo largo del paisaje andino ecuatoriano e influyendo en la variedad biológica de los páramos del Ecuador.

En la Figura 8 se muestra un esquema de la distribución de los páramos en el Ecuador.

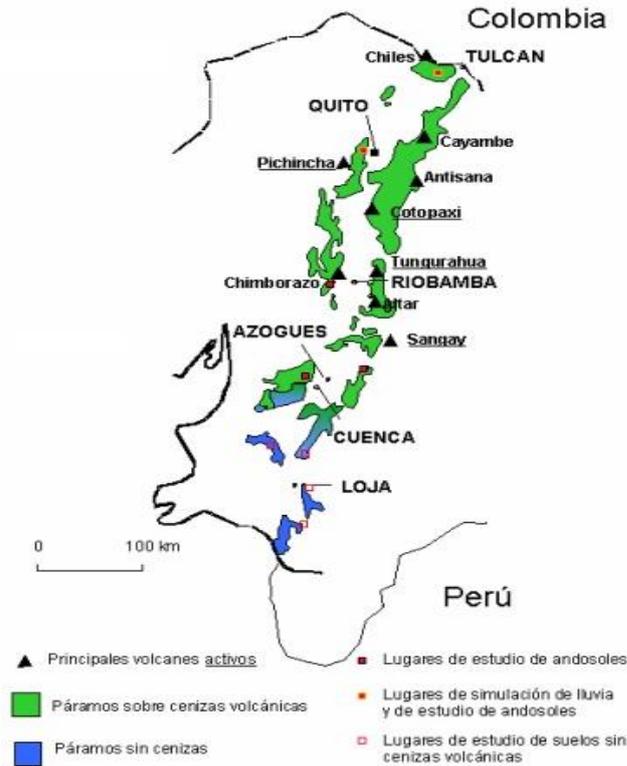


Figura 8. Los suelos del páramo del Ecuador (Mena et al., 2000)

4.3. La vegetación del páramo

La vegetación de los páramos está constituida por: rosetas gigantes y enanas, penachos de gramíneas, almohadillas, alfombras, arbustos enanos y postrados como lo muestra la Figura 9. Estas plantas tienen una morfología característica que marcan la forma de crecimiento de las especies vegetales en esa zona (Wanke, Bruckner, Dreibus, Rieder, & Ryabchikov, 2001). Esa morfología junto con otras características anatómicas y fisiológicas, en la que se denota la densa pubescencia, hojas pequeñas, fuertes y brillantes, ayuda a resistir las extremas condiciones de vida en las alturas, como la sequedad, la baja presión atmosférica, los cambios extremos de temperatura, la intensa radiación ultravioleta, los efectos del viento, el granizo y la nieve (Sklenar, 1999).



Figura 9. Especies vegetales que forman parte de la vegetación del páramo (elaboración propia).

La vegetación existente en este ecosistema no es uniforme, por ello el término páramo hace referencia a la vegetación abierta, es decir, al pajonal, ocasionalmente con espeletia y arbustos esparcidos. Sin

embargo, en el páramo se pueden encontrar una gran variedad de formaciones vegetales; estas diferentes zonas de vegetación y asociaciones vegetales de los Andes se podrían clasificar de varias maneras. Una clasificación y con énfasis bioclimático fue realizado por Cañadas Cruz et al. (1983), así como también clasificaciones con énfasis fisonómico o taxonómico como la de Acosta-Solis (1968), en su trabajo de investigación Divisiones fitogeográficas y formaciones geobotánicas del Ecuador (Léon, 1993).

Pocos son los estudios y trabajos de investigación acerca de las especies vegetales de los páramos ecuatorianos utilizando técnicas de teledetección, técnicas que nos permitirán gestionar de mejor manera este recurso y entender su comportamiento puesto que muchas especies de esta vegetación está en peligro de desaparecer, como lo afirma Léon (1993).

La Figura 10 es una fotografía tomada en la zona de estudio, la Microcuenca del Rio Pomacocho.



Figura 10. Microcuenca del Rio Pomacocho.

5. METODOLOGÍA

5.1. Área de Estudio

La investigación se llevó a cabo en la República del Ecuador, provincia de Chimborazo, cantón Alausí, dentro del cual se encuentra la Microcuenca del Río Pomacocho, con una extensión aproximada de 7500 ha. El río Pomacocho es afluente del Río Jubal y forma parte de la Cuenca del Río Paute, la misma que pertenece al gran sistema hidrográfico del Río Santiago, cuyo caudal aporta directamente al embalse del Proyecto Hidroeléctrico Paute – Molino, razón por la cual es imprescindible diseñar medidas urgentes de protección, conservación y recuperación de los recursos naturales (Ortega & Saavedra, 2013). En la Figura 11, se muestra el mapa de ubicación de la Microcuenca del Río Pomacocho.

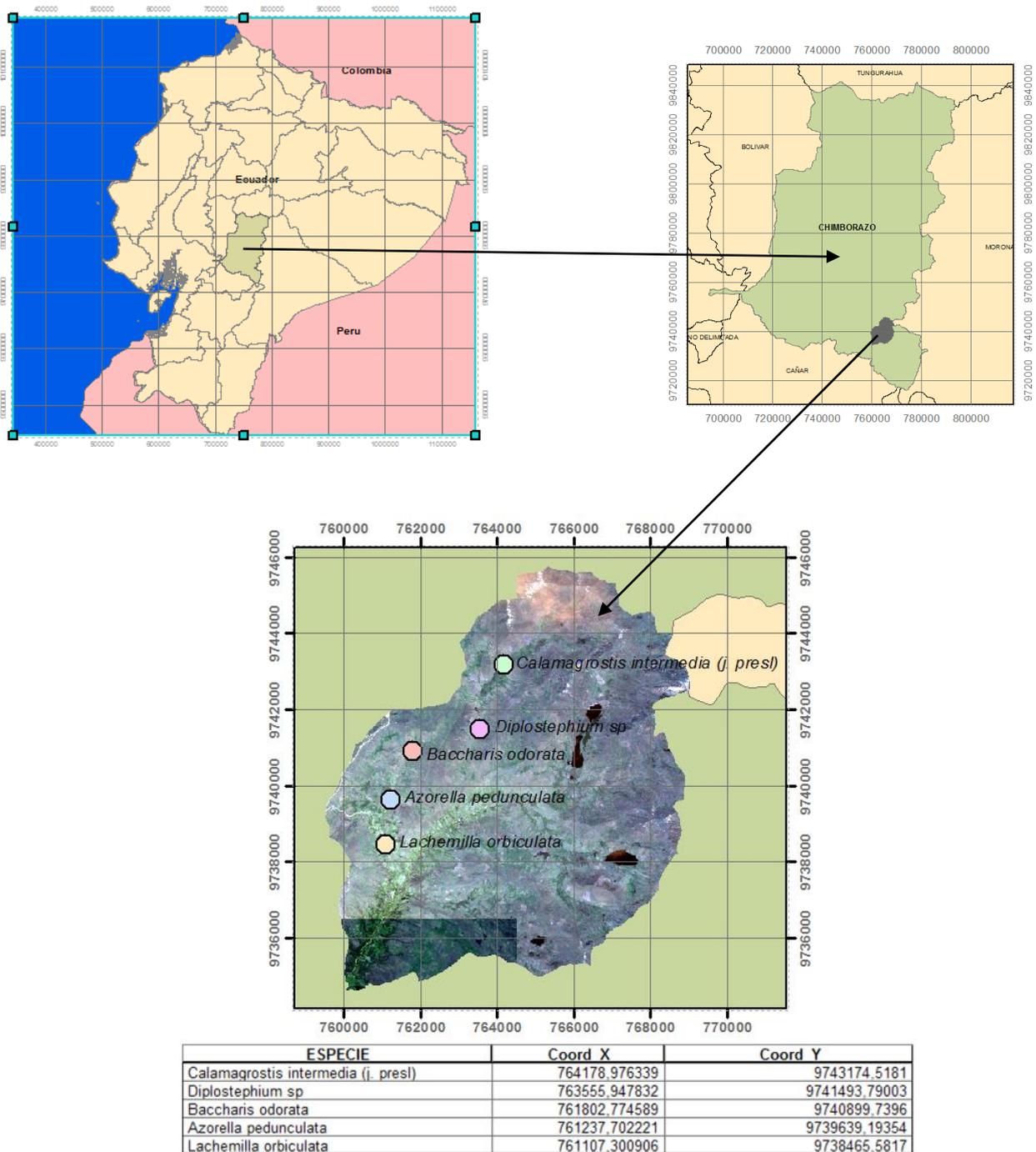


Figura 11. Ubicación de la Microcuenca del Río Pomacocho (elaboración propia)

5.1.1. Caracterización del área de estudio

La microcuenca del Río Pomacocho se extiende a lo largo de una pequeña porción de los páramos ecuatorianos, en donde se realizó el levantamiento de información. Gómez (2010), en su investigación señala que Ecuador es un *hotspot* de la biodiversidad mundial, y agrupa a la vegetación en diferentes categorías como se muestra en la **Tabla 1**, dentro de las cuales para nuestro estudio haremos referencia a las especies vegetales que se encuentran dentro de estas, como el Paramo de Pajonal que se localizan en las zonas de los Andes entre los 3400 y 4000 msn y Paramo arbustivo y de almohadillas que están a mayor altitud que el anterior, entre los 4000 y 4500 msnm aproximadamente y una temperatura media de 14°C pudiendo descender a temperaturas inferiores a 0°C.

Tabla 1. Categorías de agrupación de la vegetación de Ecuador según categorías Gómez (2010)

CATEGORIAS	CARACTERISTICAS
Manglares	Ecosistemas que aparecen en las áreas marítimas en las desembocaduras de los ríos y en las bahías de la costa.
Áreas desérticas y semidesérticas de la Costa	Estas zonas se caracterizan porque la precipitación anual es menor a 300 l/m ² , con una estación seca de nueve meses
Sabana y bosque deciduo	Que aparece en zonas extensas de las tierras bajas de la costa de Ecuador, en donde la precipitación anual está comprendida entre 800 y 1200 l/m ² con una estación seca de siete meses.
Bosque semi-deciduo	Que antiguamente cubría grandes áreas de la planicie central de la costa de Ecuador occidental pero que se ha destruido en su mayor parte para dar paso a la agricultura
Bosque lluvioso de las tierras bajas	Es el tipo de vegetación más extenso del país ya que cubre más de un tercio del Ecuador continental.
Bosque lluvioso montano bajo	que puede encontrarse en las cordilleras orientales y occidentales de los Andes entre los 700 y 2500 m de altitud
Bosque nublado, también denominado “bosque húmedo montano alto”,	que se desarrolla en la cordillera de los Andes desde los 2500 m de altitud hasta el límite superior del bosque cerrado, hacia los 3500 m.
Pastizales y vegetación de quebrada del Norte de Ecuador,	Vegetación propia de los valles interandinos densamente poblados, la vegetación original casi ha desaparecido dando lugar a campos para la agricultura y pastizales.
Vegetación arbustiva del Sur de Ecuador	Se caracteriza por una cubierta discontinua de arbustos y árboles pequeños, generalmente con suelo desnudo entre las plantas leñosas.
Matorral árido del extremo Sur de Ecuador,	Está formado por pequeños arbustos espinosos y árboles de dimensiones pequeñas.
Áreas desérticas y semidesérticas interandinas,	características de las partes inferiores de los valles interandinos donde debido al fenómeno de foehn la precipitación disminuye y la humedad es muy Baja.
Paramo de pajonal	que se encuentra en zonas de los Andes entre los 3400 y 4000 m.
Paramo arbustivo y de almohadillas	A mayor altitud que el anterior, entre los 4000 y 4500 m aproximadamente.
Paramos desérticos	Entre 4000 a 4900 m, casi el límite de las nieves perpetuas. El crecimiento de este tipo de vegetación está altamente condicionado por las grandes heladas nocturnas
Áreas estacionalmente inundadas	Como su nombre indica son zonas que se inundan en la estación de lluvias

5.2. Metodología de la investigación

5.2.1. Selección de especies

5.2.1.1. Intensidad de muestreo y parcela temporal de muestreo (PTM)

Para la determinación de las especies objeto de estudio se instalaron un total de 15 parcelas temporales de muestreo de 500 m² dispuestas aleatoriamente dentro de la microcuenca, lo que supone una intensidad de muestreo del 1% respecto a la superficie total. La ecuación para estimar el número de PTM fue tomada de Andrade & Ibrahim (2003), y se presenta a continuación:

$$n = \frac{IM \times AT}{AP \times 100}$$

donde:

n: número de PTM (parcelas temporales de muestreo)

IM: intensidad de muestreo (%)

AT: área total del sistema (m^2)

AP: área de la PTM (m^2)

La selección de especies se llevó a cabo mediante la identificación de especies dentro de la PTM, seleccionando como objetos de estudio aquellas que estuvieron presentes dentro de las 15 parcelas establecidas. En la Figura 12 se presenta el esquema de la PTM, en donde, para la identificación de las especies arbustivas, se registraron todas aquellas ubicadas dentro de la parcela circular, mientras que para las especies del estrato herbáceo se utilizaron tres subparcelas de $0,25 m^2$ distribuidas al azar dentro de la parcela circular.

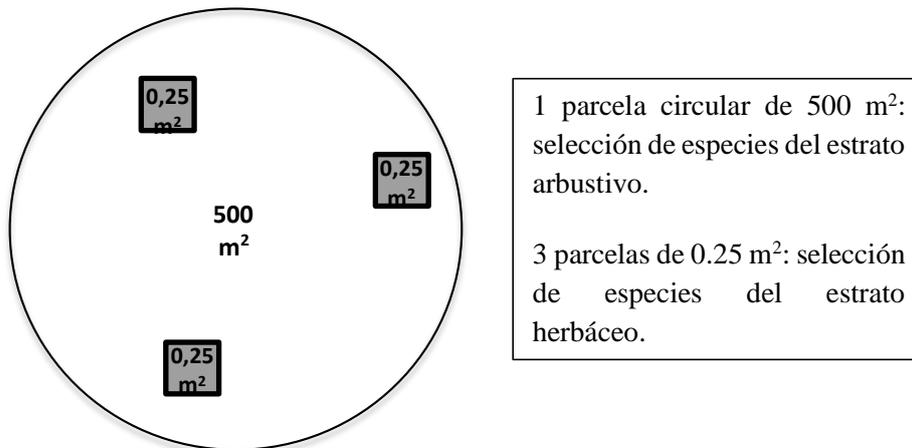


Figura 12. Esquema de la Parcela Temporal de Muestreo.

5.2.2. Recopilación de medidas espectrales

5.2.2.1. Equipo empleado

Para la recolección de las medidas de reflectividad se utilizó un espectro-radiómetro FieldSpec 4 de ASD (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder (CO), EEUU) de propiedad de la Universidad Nacional de Chimborazo. Se trata de un sensor de alta resolución espectral (3 nm a 700 nm; 10 nm a 2100 nm), y que mide con un intervalo de muestreo de 1 nm en el rango espectral desde el visible hasta el infrarrojo medio de onda corta (350 nm a 2500 nm) (Figura 13). De forma complementaria al sensor se hizo uso de una fibra óptica de 1.5 m y un panel de referencia o estándar de calibración, Blanco de 10x10 pulgadas con propiedades lambertianas y con un valor de reflectividad del 99% (Figura 14). Este panel fue utilizado como espectro de referencia para la conversión de valores de radiancia a valores de reflectividad, al proporcionar el valor de radiancia incidente sobre la superficie objetivo. La visualización de los espectros se realizó de manera simultánea en un ordenador personal y se utilizó también otro material auxiliar como una batería adicional, un trípode para colocar el panel de referencia, un cable tipo rj45 para la transición de los datos, soporte para muestras de hojas vegetales, etc., todo esto con el fin de minimizar la existencia de errores y mejorar la ratio señal/ruido de las firmas espectrales obtenidas.

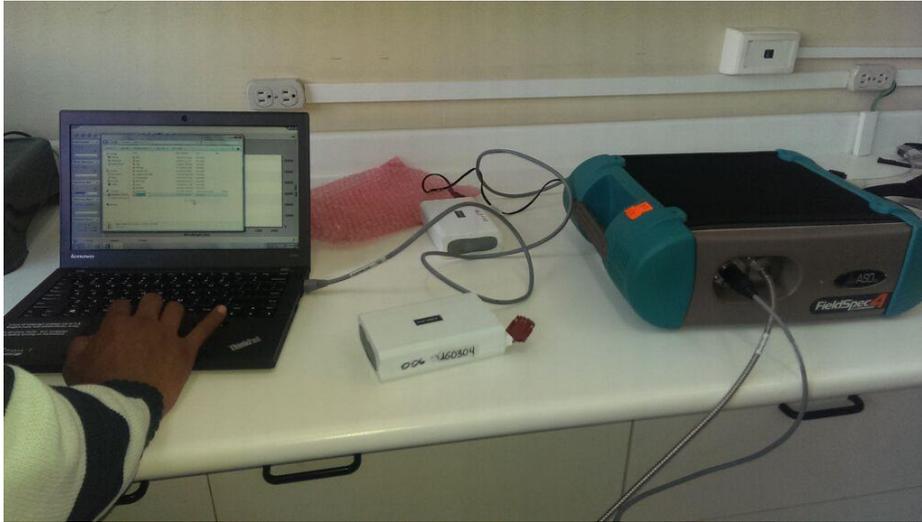


Figura 13. Espectro-radiómetro FieldSpec 4 de ASD.



Figura 14. Panel de referencia.

5.2.2.2. Toma de datos

Montorio, Perez, Garcia, & De la Riva (2006), en su investigación señalan algunas consideraciones básicas que se debe tener en cuenta para la correcta adquisición de los datos espectrales en campo como: (i) se debe mantener fija la geometría entre el sensor, el panel de referencia y el objeto observado, (ii) la distancia del sensor sobre el nadir debe estar a 1.5 m (intervalo recomendado 1-2m), (iii) las condiciones atmosféricas deben ser similares y con buena iluminación para mantener de esta manera una homogeneidad en las mediciones, (iv) para evitar efectos debido a cambios en el ángulo solar las medidas se deben tomar entre las 12 y las 14 h, horario correspondiente al máximo solar, manteniendo la misma posición relativa respecto al sol y el resto de los elementos y (v) no deben existir interferencias como sombras sobre los puntos de muestreo o saturación por el deslumbramiento de algún objeto exterior.

La correcta realización de las medidas de reflectividad requiere el ajuste de algunos parámetros que influyen en la ratio señal-ruido, como: (1) Medición con la fibra óptica no expuesta a la luz para

registrar la señal correspondiente a la corriente oscura (*dark current*), que será automáticamente sustraída a todas las medidas posteriores; (2) Ajuste del tiempo de integración, es el periodo de tiempo que el detector se expone a la luz entrante, buscando el valor más elevado posible para que la ratio señal-ruido sea elevada pero sin llegar a problemas de saturación, en la Figura 16 se muestran dos espectros tomados sobre el panel de referencia, el uno es apto para la toma de medidas, y el otro tiene problemas de saturación; (3) Promedio automático de espectros obtenidos por el sensor (50 mediciones promediadas) (Montorio et al., 2006).

Con todas estas recomendaciones y realizados los ajustes necesarios se procedió a capturar la información de los datos de reflectividad de los diferentes tipos de vegetación seleccionados para esta investigación, estas muestras están conformadas por 24 sub-muestras parciales las mismas que posteriormente serán promediadas y así obtener un solo resultado característico de cada especie.

Con el fin de entender completamente el carácter de la interacción de la radiación solar con las características de la superficie, es importante saber que la mayoría de las superficies tienen un sesgo direccional en su patrón de reflexión por ello la importancia de mantener una geometría consistente en las posiciones del sol, entre el objeto y el sensor ya que la reflexión varía con el ángulo de visión, Por lo tanto, el investigador de campo debe estar constantemente al tanto de los ángulos entre el espectrómetro, el blanco, y el sol. Al igual que con la mayoría de los sensores, el FOV del espectroradiómetro, en combinación con la distancia al objetivo determina el área que se detectará. La Figura 15 muestra el Geometría FOV por el cual se puede determinar la distancia óptima desde instrumento para apuntar. La tangente de (θ) del ángulo visión del instrumento, multiplicada por la distancia (d) calcula el radio (r) del campo de visión en el objetivo.

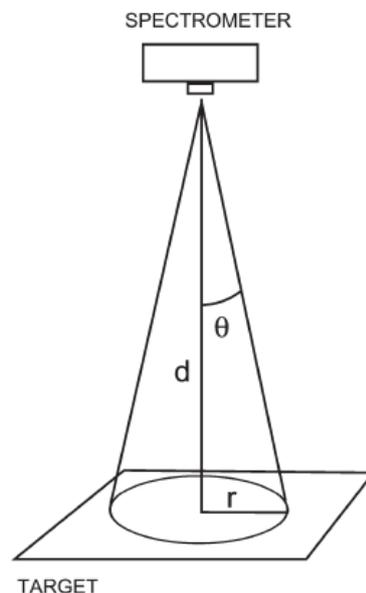


Figura 15. Geometría del campo de visión (FOV). El diámetro de la base del cono a la distancia, debe ser calculado.

Por lo anteriormente expuesto son varias las variables geométricas y ambientales presentes que podrían ocasionar error al momento de la medición, por lo tanto previamente se realizó el cálculo de la huella que proyecta la fibra de vidrio (FOV), para esto consideramos que el ángulo de la fibra es de 25° y a una altura de 1.20m proyecta en el piso una huella de 0.50 centímetros, el equipo se programó a un tiempo de integración de 100 ms obteniendo 24 submuestras en cada medida, con respecto a la calibración del blanco de referencia se sugiere que se realice esta actividad por el total de sub-muestras y muestras capturadas, considerando que si las condiciones de luz cambian drásticamente, en este caso no fue necesario dado que las condiciones de iluminación fueron óptimas (McCoy, 2005).

Las muestras fueron tomadas los días 16 , 17, 20 y 21 de julio de las sub parcelas de 0.25 m² se seleccionó la especie a muestrear cuya dominancia dentro de la subparcela supero aproximadamente el 70 % valor que fue determinado al cortar la totalidad del material vegetal dentro del cuadrante para una posterior clasificación de especies y consecuente determinación de dominancia en base a la composición botánica de la pradera a partir del peso registrado por cada especie, en el corte de todas las plantas se registró un peso de 550 gr al realizar la clasificación de las especies se separó y pesó cada especie y de tal manera que se seleccionó aquella que registro el valor más alto.

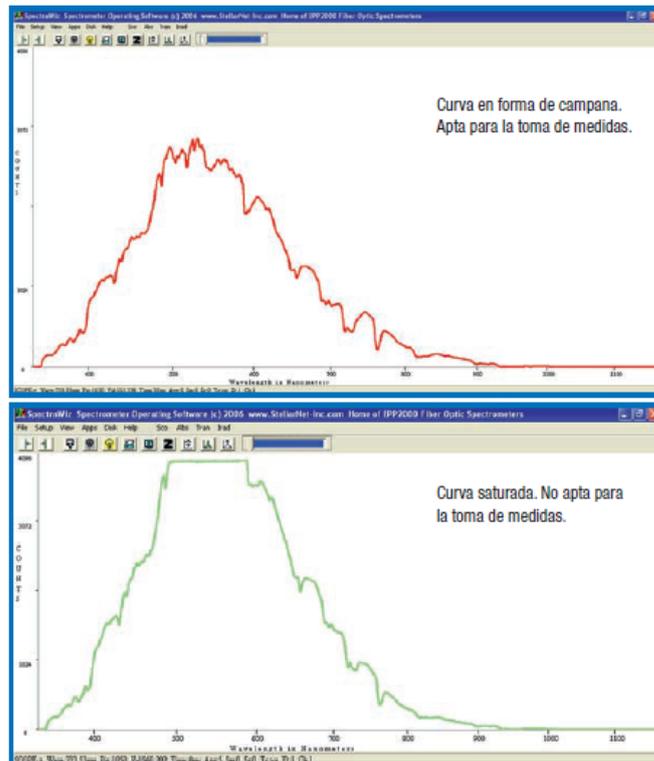


Figura 16. Espectros de referencia (Murillo Sandoval & Carbonell González, 2012)

5.2.3. Post-procesamiento y Catalogación

Las técnicas de post-procesamiento de la información recogida en campo permiten obtener una colección de datos homogénea, así como también la eliminación de ruido de las firmas espectrales manteniendo su variabilidad, para ello se utilizó un filtro de Savitzky Golay para firmas espectrales, este es un filtro unidimensional que aplica un ajuste de mínimos cuadrados a los datos recogidos en una ventana móvil que se desplaza a lo largo del espectro (Montorio et al., 2006).

Los datos de reflectividad de las especies vegetales adquiridos con el equipo radiométrico (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), fueron visualizados con el software ViewSpecPro y posteriormente fueron exportados en formato ASCII para ser incorporados al software SAMS (Spectral **A**nalysis and Management System) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); reado por el Centro de Tecnologías Espaciales y Teledetección del Departamento de Suelos, Aire y Recursos Hídricos (CSTARS) de la Universidad de Davis, California. Este software permite administrar y analizar bases de datos espectrales, SAMS puede identificar varios tipos de archivos a la hora de importar firmas dentro de una base de datos como ENVI Standard Files (Environment Visualizing Images) el cual utilizamos para la creación de nuestra biblioteca de firmas espectrales.

5.2.4. Metadatos

En el apartado 1.2.4. Bibliotecas de Firmas Espectrales, se indica que para obtener una biblioteca espectral óptima es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones, una de ellas es que ésta se encuentre bien documentada. Por lo tanto, los metadatos son parte fundamental al momento de la adquisición de información espacial que caracterice la respuesta de un material o superficies, en este caso de un conjunto de firmas de reflectividad (denominado librería o biblioteca espectral).

En el presente trabajo, cada lugar de registro dentro de la zona seleccionada se analizó detalladamente anotando los datos obtenidos en una ficha de campo (Figura 17), que se diseñó con el propósito de guardar información para que posteriormente permita comprender bajo qué condiciones fue tomado cada uno de los espectros reflectividad. La ficha de campo está compuesta por los siguientes elementos: nombre del espectro-radiómetro, fecha de muestreo, hora de la toma del dato, nombre del objeto muestreado, dentro de la localización se encuentra la ubicación, coord X y coord Y, altitud (msnm), una fotografía de la especie u objeto observado, en cuanto a las condiciones meteorológicas se anota información sobre la temperatura, humedad, nubosidad, radiación solar y heliofania. La parte final incorpora un marco para la posterior inclusión de la gráfica con la firma espectral correspondiente, en los anexos de este documento se recoge las fichas decampo utilizadas para la recolección de los datos.



METADATO ESPECTRAL

FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACION

Espectro-radiómetro	
Fecha de Muestreo	
Hora	
Objeto Muestreado	

LOCALIZACIÓN

Ubicación	Coord X	Coord Y	Altitud (msnm)

FOTOGRAFÍA



CONDICIONES METEREOLÓGICAS

Temperatura (C°)	Humedad	Nubosidad	Radiación Solar	Heliofania

RESULTADO DEL ESPECTRO-RADIÓMETRO



Figura 17. Ficha de campo para la elaboración del Metadato espectral

6. RESULTADOS

6.1. Identificación taxonómica de las especies

De acuerdo al procesamiento de muestreo empleado, se presenta a continuación la identificación taxonómica de las especies seleccionadas como objetos de estudio. En la taxonomía de las especies se incluye los principales taxones que permiten diferenciar una especie de otra.

6.1.1. *Calamagrostis intermedia* (j. presl)

La taxonomía de la especie *Calamagrostis intermedia* (j. presl), se presenta en la Tabla 2. Son hierbas compuestas por macollas densas, miden hasta 80cm de diámetro, sus hojas son lineares y miden hasta 80cm de largo, los bordes están doblados y dan una apariencia cilíndrica a las hojas. Las inflorescencias son llamativas, miden hasta 90 cm de largo, son racimos compuestos con numerosas espiguillas amarillentas. Las flores son reducidas, miden hasta 10 mm de largo (Figura 18).

Es una planta icono, representado en el Ecuador el 70% de los páramos ecuatorianos y por lo tanto de sus atractivos y servicios, la paja es usada directamente y localmente muy abundante, para construcción y artesanías. Su uso actual más importante, a pesar del impacto en el ecosistema que estas actividades representan, es como alimento directo de ganado vacuno y lanar. En ciertas zonas del país, se usan grandes cantidades de paja de páramo para cobertura y el mejoramiento del suelo en cultivos, particularmente de frutas (Vásconez & Hofstede, 2006).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la especie *Calamagrostis intermedia* (j. presl)

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Genero	Calamagrostis
Especie	intermedia (j. presl)



Figura 18. Fotografía de la especie *Calamagrostis intermedia* (j. presl) tomada en la zona de estudio

6.1.2. *Diplostephium* sp arbustiva

La especie *Diplostephium* (Figura 19), presenta la clasificación taxonómica que se indica en la Tabla 3. Se caracteriza por ser un arbusto achaparrado y frondoso muy particular, crece por toda la cordillera de los andes. Su particularidad es la de estar cubierta por unas vellosidades de color blanco de

consistencia delicada y pegajosa; sus tallos son fuertes y flexibles y crece en alturas sobre los 4000 msnm. Son aptas para cercos vivos y cortinas rompe vientos, además tiene buena energía calorífica.

Tabla 3. Clasificación taxonómica de la especie *Diplostephium sp*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Genero	<i>Diplostephium sp</i>
Especie	Arbustiva



Figura 19. Fotografía de la especie *Diplostephium sp* tomada en la zona de estudio

6.1.3. *Baccharis odorata*

La representación taxonómica de la especie *Baccharis odorata*, se presenta en la Tabla 4. Es un arbusto de mediana altura, que crece entre los 3400 hasta 4000 msnm (Figura 20); una elevada altitud que le ha supuesto una ventaja para no ser utilizado en actividades antrópicas, por lo que no tiene riesgo de extinción. La presencia de este tipo de vegetación es recomendable en áreas degradadas por lo cual es muy útil en zonas deforestadas. Esta especie se encuentra en países como Ecuador y Perú y es una planta muy común en zonas de páramo.

Tabla 4. Clasificación taxonómica de la especie *Baccharis odorata*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Genero	<i>Baccharis</i>
Especie	<i>odorata</i>



Figura 20. Fotografía de la especie *Baccharis odorata* tomada en la zona de estudio

6.1.4. *Azorella pedunculata*

La clasificación taxonómica de la *Azorella pedunculata* se presenta en la Tabla 5: La Figura 21 corresponde a una fotografía tomada en la zona de estudio de la especie en mención, permitiendo identificar que son plantas dispuestas en almohadillas muy compactas y grandes de hasta 2 m de diámetro. Las hojas están amontonadas al final de las ramas, miden hasta 1 cm de largo, son muy duras y brillantes y tienen el ápice profundamente partido en 3 a 5 lóbulos espinosos. La inflorescencia es pequeña, mide menos de 1 cm y tiene hasta 20 flores. Las flores son diminutas, miden 3 mm de largo, son de color verde amarillento, se encuentran en países como al sur de Colombia y en Ecuador. En Ecuador este tipo de especie se ha caracterizado botánicamente y su preservación es importante por el rol que desempeñan en este ecosistema, son plantas que actúan como reservorios de agua que nutren a lagos y ríos asegurando las reservas de agua para la población (Grant, 2008).

Tabla 5. Clasificación taxonómica de la especie *Azorella pedunculata*.

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Apiales
Familia	Apiaceae
Genero	Azorella
Especie	Pedunculata



Figura 21. Fotografía de la especie *Azorella pedunculata* tomada en la zona de estudio.

6.1.5. *Lachemilla orbiculata*

La especie *Lachemilla orbiculata*, presenta una clasificación taxonómica como se muestra en la Tabla 6. Como se observa en la Figura 22, son hierbas rastreras que forman alfombras al nivel del suelo. Las hojas están dispuestas en una roseta en la base, miden hasta 3,5 cm de largo, tienen forma orbicular-arrionada y la superficie con vello blanco; los bordes tienen de 9 a 11 lóbulos, son dentados y el pecíolo es alargado y rojizo. La inflorescencia es poco llamativa, mide 3 cm de largo. Las flores miden hasta 4 mm de largo, son de color verde-amarillento, se distribuye en países como: Colombia, Ecuador y Perú. Es una planta muy común especialmente en áreas alteradas y de pastoreo (Rivadeneira & Ivanova, 2011).

Tabla 6. Clasificación taxonómica de la especie *Lachemilla orbiculata*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Genero	<i>Lachemilla</i>
Especie	<i>orbiculata</i>



Figura 22. Fotografía de la especie *Lachemilla orbiculata* tomada en la zona de estudio

6.2. Caracterización espectral de las especies

Estos datos de reflectividad compuestos por 24 sub-muestras parciales fueron exportados en formato ASCII al software SAMS para ser procesados, aquí se aplicó el cómputo del promedio para obtener un único resultado, este dato obtenido reflejó problemas de ruido en la firma por lo que se empleó un filtro de Savitzky Golay para firmas espectrales, este filtro se basa en una ecuación polinomial de orden 3 tomando en cuenta la anchura espectral de rasgo más estrecho de la firma espectral este se encontró cerca de los 60 nm de anchura en el punto medio por lo tanto el filtro utilizado es el _sg3 30-30 nm teniendo en cuenta 30 puntos a cada lado, este filtro se aplicó a toda la colección de firmas espectrales dando como resultado un suavizado de la curva permitiendo una visión más real de cada muestra con ello se obtuvo la firma o signature característica de cada especie libre de ruido la misma que nos permitirá identificar su comportamiento espectral.

En la Figura 23 y la Figura 24 se muestra un ejemplo del antes y después de aplicar el filtro a la especie *Calamagrostis intermedia* (j. presl) que presenta un ruido más notorio entorno entre los 900 y 1000 nm, después de aplicar el filtro se puede apreciar la reducción del mismo manteniendo la señal original sin degradarse.

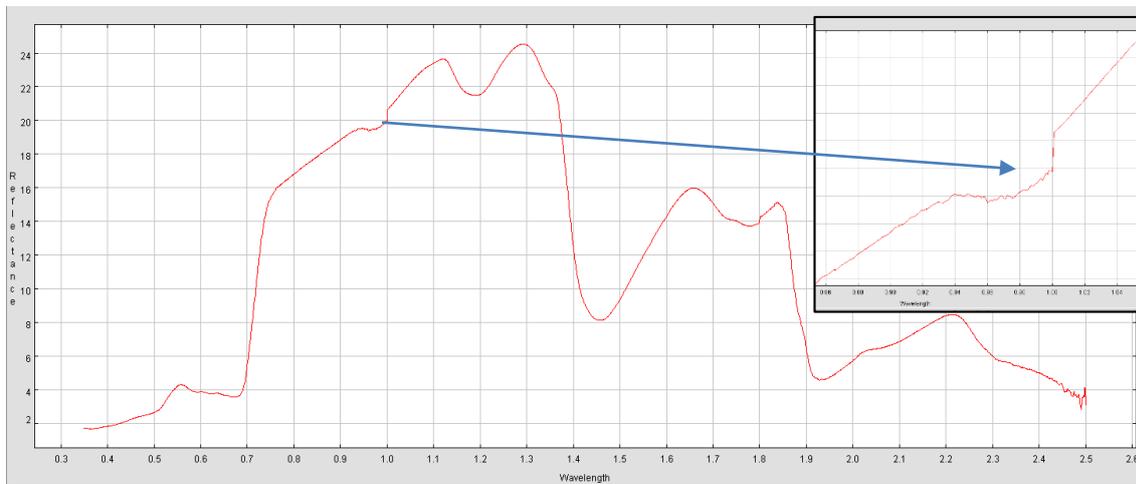


Figura 23. Firma espectral de la especie *Calamagrostis intermedia* (j. presl) antes de aplicar el filtro

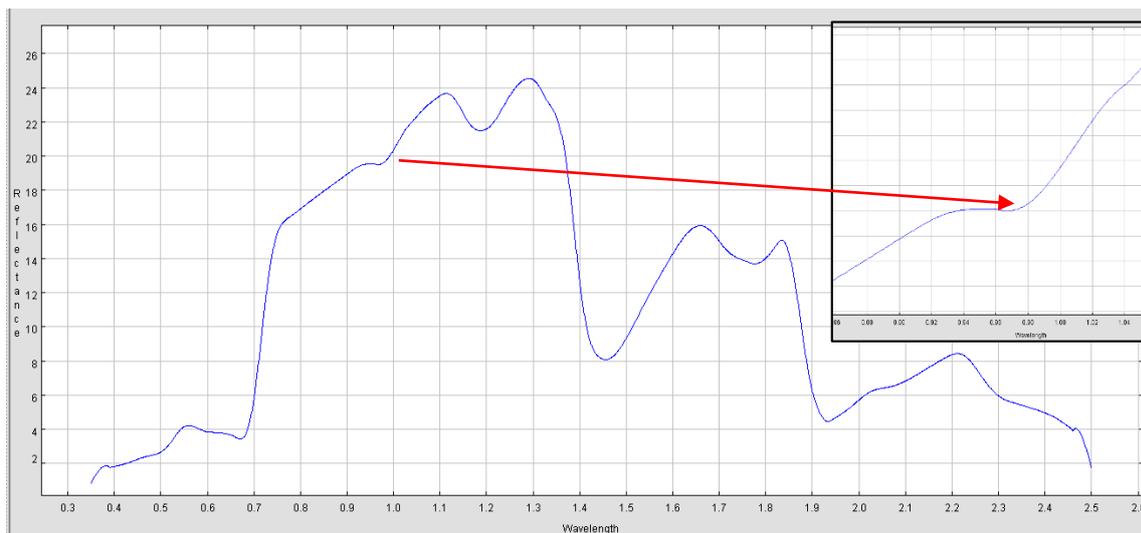


Figura 24. Firma espectral de la especie *Calamagrostis intermedia* (j. presl) después de aplicar el filtro

La Biblioteca espectral que se propone está compuesta por cinco especies vegetales que habitan en los páramos ecuatorianos. Este conjunto de espectros, resultado del promedio de los datos recogidos en campo en los diferentes sitios de muestreo (

Figura 25), responden al patrón típico de comportamiento de la vegetación.

El análisis detallado por especies refleja algunas diferencias en el comportamiento de cada una de las especies. De forma general en las regiones del rojo y el azul la reflectividad es baja debido a la

absorción de los pigmentos fotosintéticos, que resaltan el máximo relativo de la región del verde. Este máximo relativo es especialmente sobresaliente en dos de las cinco especies analizadas: *Lachemilla*

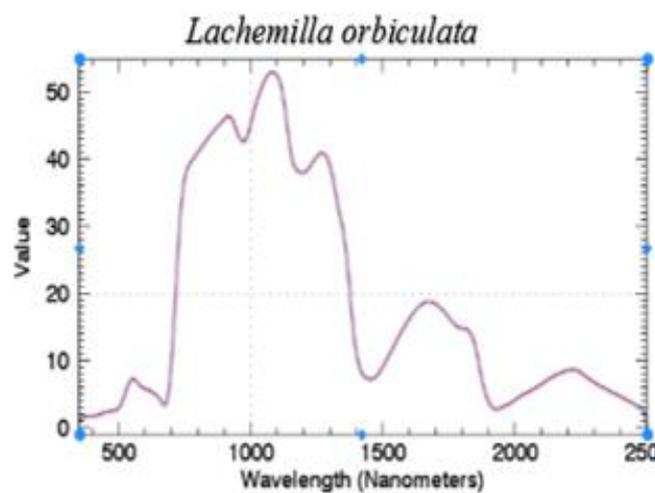
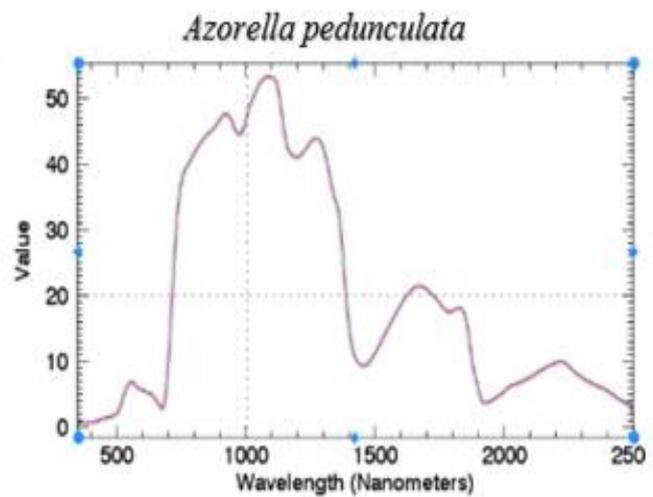
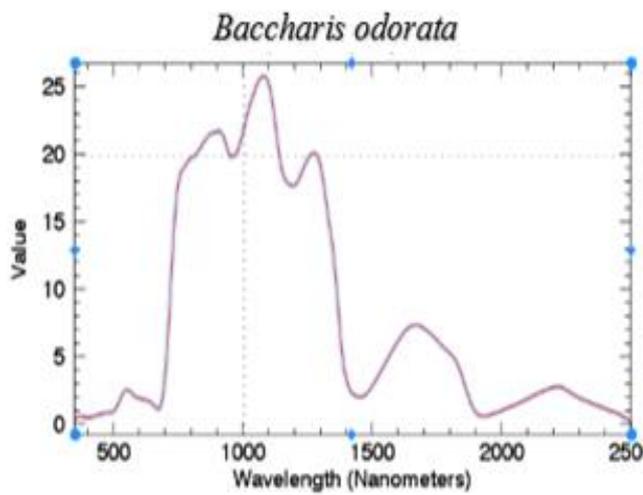
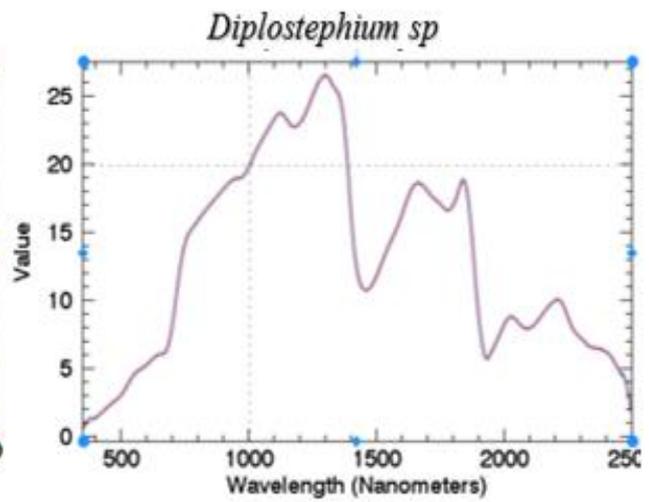
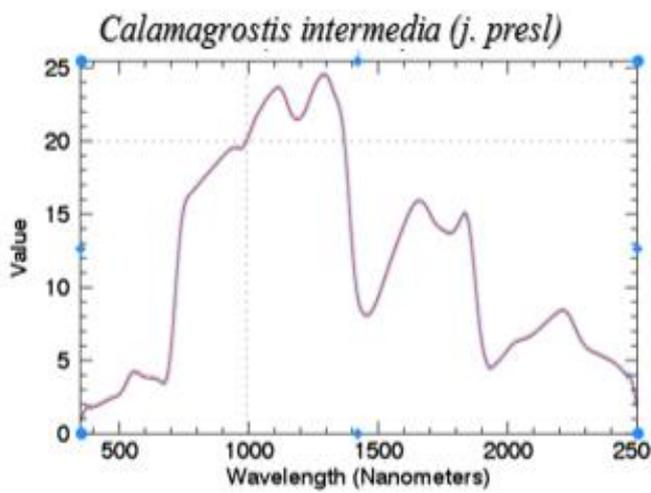


Figura 25. Firmas Espectrales cateréticas de las cinco especies vegetales

El infrarrojo cercano (700-1300 nm) presenta los mayores valores de reflectividad en todas las especies. No obstante, son de nuevo las especies *Lachemilla orbiculata* y *Azorella pedunculata* las que registran comparativamente los valores más altos (52% y 53% respectivamente).

Todas las firmas espectrales reflejan los dos rasgos de absorción vinculados a la presencia de agua en el infrarrojo medio de onda corta y cercano aproximadamente en 1450 nm y 1900 nm. Es destacable especialmente la profunda absorción (0.6%) del agua en la especie *Baccharis ordata*, causada por la presencia de agua en el dosel.

6.3. Construcción de la biblioteca espectral

6.3.1. Biblioteca espectral

Una vez obtenidos y procesados los datos de respuesta espectral de nuestras especies es necesario disponerlos ordenadamente y en formatos tales que sean manejables por otros usuarios. Por lo tanto es preciso la creación de bibliotecas espectrales que contengan los datos de firmas espectrales de las especies vegetales objeto de estudio, para lo cual empleamos el software ENVI 5.0 que es uno de los más completos y avanzados en el procesamiento digital de imágenes, además cuenta con una cadena de comandos que nos permiten determinar los perfiles espectrales de los elementos, con algoritmos matemáticos y generar bibliotecas espectrales. En la Figura 26, se muestra el resultado de la construcción de la biblioteca de firmas espectrales.

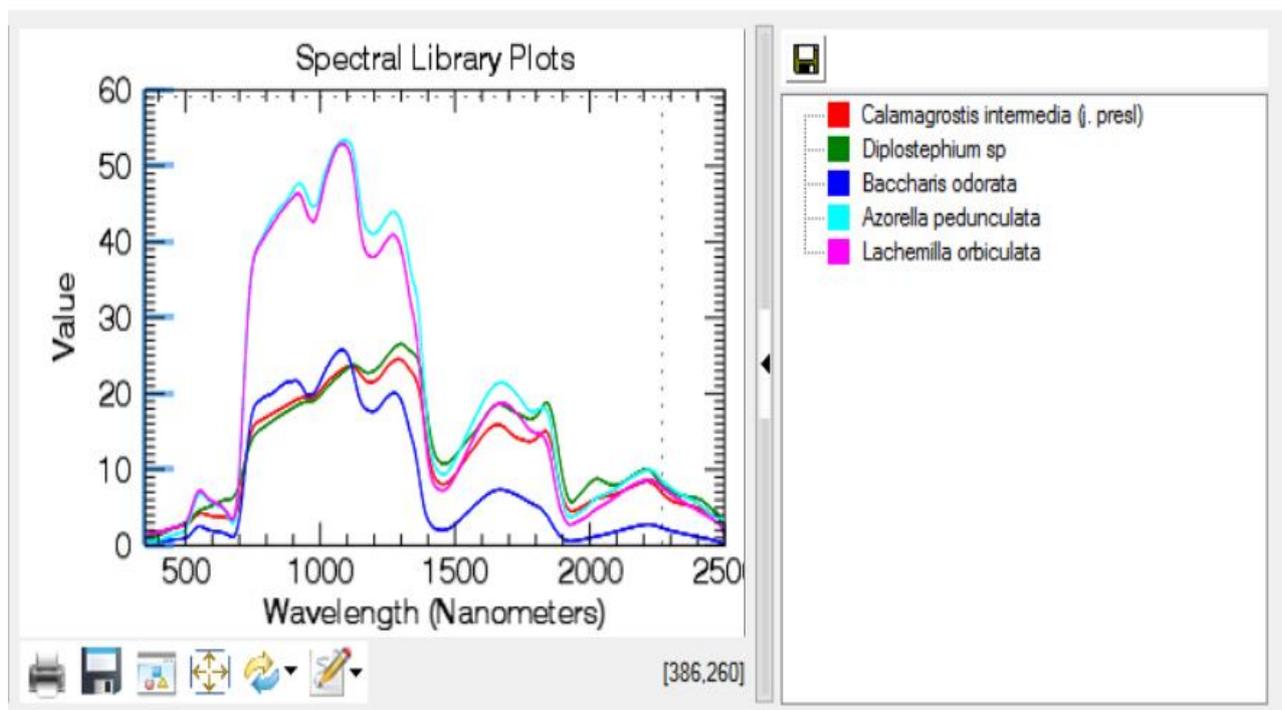


Figura 26. Biblioteca de Firmas espectrales construidas en el software ENVI

6.4. Catalogación

Como ya lo mencionamos antes, en Ecuador no se puede hablar de Bibliotecas Espectrales disponibles, la Universidad Nacional de Chimborazo, patrocinadora de este proyecto apenas está incursionando en este ámbito de estudio, por lo cual aún no cuenta con un repositorio digital para el almacenado y catalogado de las firmas espectrales. Sin embargo, con los resultados de la presente

investigación se comenzará con la creación de un repositorio digital para su publicación y disposición de las mismas.

Luego de reuniones con técnicos informáticos del proyecto “CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA” se ha propuesto el siguiente modelo para lo que sería la disposición final de las firmas espectrales resultado del presente trabajo.

6.4.1. Identificación, objetivo y alcance de la implementación del Sistema

Al no existir el repositorio digital de firmas espectrales, se desarrollará un sistema Web que integre múltiples servicios, entre los cuales tendremos el almacenamiento y consulta de firmas espectrales. Esta etapa busca proveer a los usuarios de una herramienta que servirá como fuente de información y monitoreo de los recursos almacenados y catalogados en el repositorio que se creará.

6.4.1.1. *Objetivo General*

Implementar un sistema web que administre el repositorio digital de firmas espectrales generadas dentro del proyecto “CARACTERIZACION BIOGEOGRÁFICA”, mediante la utilización de tecnologías y modelos para el desarrollo de aplicaciones web.

Este objetivo está enmarcado dentro del ámbito de desarrollo tecnológico del proyecto, y se ha propuesto considerando que la Universidad Nacional de Chimborazo se encuentra en un proceso de mejora de los recursos tecnológicos y migración de sus sistemas hacia una nueva plataforma con mejores prestaciones.

6.4.1.2. *Objetivos Específicos*

- Analizar los requisitos funcionales y no funcionales de la aplicación web con el fin de realizar un diseño óptimo, práctico y seguro.
- Integración de información de múltiples repositorios digitales.
- Realizar consultas y descargas de firmas espectrales mediante un acceso seguro.

6.4.1.3. *Identificación del equipo que realizará la fase de diseño e implementación*

Esta fase será realizada por un equipo informático perteneciente a la Universidad Nacional de Chimborazo. A continuación se muestra un breve resumen del perfil académico y profesional de cada uno de los miembros que lideran el equipo:

Franklin Cargua: graduado como Ingeniero Agrónomo (2009) en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Actualmente es Coordinador del proyecto “CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA”.

Mauro Jiménez: graduado como Ingeniero Industrial (2008) en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Actualmente se encuentra realizando el trabajo de fin de Máster en Tecnologías de la Información Geográfica para la Ordenación del Territorio, SIG y Teledetección, de la universidad de Zaragoza (España), participa como técnico en SIG en el proyecto “CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA”.

Cristian Jiménez: graduado en Ingeniería Informática (2011) en la Universidad Nacional de Chimborazo en la especialidad de Ingeniería del Software. Actualmente es jefe del departamento informático del proyecto “CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA”.

Wilson Guamán: graduado en Ingeniería de Sistemas Informáticos (2008) en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Ecuador). Actualmente realizando trabajo de fin de Máster en Ingeniería Informática de la Universidad de Zaragoza (España), participa como desarrollador de software del proyecto “CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA”.

6.4.1.4. *Usuarios del sistema*

El diseño del sistema debe contemplar la interacción de la aplicación con diferentes tipos de usuarios, a cada uno se le asignará un rol en dependencia del interés investigativo y participación dentro del proyecto. A continuación se lista a los usuarios contemplados para el uso del sistema:

- **Usuarios con interés investigativo:** todo aquel usuario que quiera acceder a la aplicación para obtener información de las firmas espectrales disponibles y realizar descargas de las mismas. Todo ello se podrá realizar luego de registrarse en el sistema y obtener sus credenciales de acceso.
- **Administradores del sistema:** aquellas cuentas oficiales de administradores del sistema que otorga un acceso de alto nivel para poder administrar los recursos sin ninguna restricción, esto implica responsabilidades como la carga y borrado de archivos del repositorio.
- **Usuarios invitados:** aquellos usuarios que tienen interés en informarse sobre la ejecución y avances del proyecto de forma general, estos usuarios no podrán realizar descargas de archivos.

6.4.1.5. *Requisitos*

En esta sección definiremos los requisitos que deben ser soportados por el sistema resultante del proyecto. Se establecen los requisitos mínimos necesarios para que el sistema desarrollado cumpla con las necesidades de los usuarios, en el transcurso del desarrollo se pueden ir incrementando o modificando los requisitos.

a) Requisitos funcionales

En la Tabla 7 se listan los requisitos funcionales iniciales que se propone para la implantación del sistema, los cuales podrán ser modificados en el transcurso del desarrollo de la aplicación.

Tabla 7. Propuesta inicial de requisitos funcionales

RF-1	El sistema debe ser capaz de permitir el alojamiento de archivos con los datos de firmas espectrales y catalogarlos de acuerdo a su naturaleza.
RF-2	El sistema debe ser capaz de permitir la descarga de archivos con los datos de firmas espectrales a usuarios autorizados.
RF-2	Debe permitir la carga de nuevos archivos de firmas espectrales por parte de usuarios administradores.
RF-3	Generar informes acerca de accesos, consultas y descargas de archivos de firmas espectrales.
RF-4	El sistema debe ser capaz de mostrar en forma gráfica los archivos de firmas espectrales que existen en el repositorio.
RF-5	El sistema permitirá el acceso a los usuarios mediante login de usuario.
RF-6	El sistema permitirá administrar información y datos relevantes sobre los avances del proyecto.
RF-7	El sistema debe integrar y agrupar información de múltiples repositorios digitales
RF-8	El sistema debe permitir realizar encuestas a los usuarios de la aplicación. (Utilidad de la aplicación e información).

b) Requisitos no funcionales

Otros requisitos indispensables para la implementación del sistema son los detallados en la Tabla 8

Tabla 8. Requisitos tecnológicos indispensables para el funcionamiento de la aplicación.

RNF-1	Realizar una implementación con tecnologías de software libre para lograr un bajo coste de la aplicación.
RNF-2	Debe ser accesible desde cualquier sistema operativo, navegador web, o dispositivo móvil.
RNF-3	Pantallas intuitivas y sencillas de usar. Información clara y ordenada. En resumen, las interfaces serán amigables y simples.

6.4.1.6. *Metodología propuesta para el desarrollo del sistema web.*

Para la implementación del presente sistema web, se utilizará un desarrollo basado en la metodología SCRUM, metodología de desarrollo tecnológico que no se basa en el seguimiento de un plan, más bien es la adaptación continua a las circunstancias de la evolución del proyecto, además se utilizarán herramientas de desarrollo que son de acceso y distribución gratuitas (Bissi, 2007).

6.4.1.7. *Diseño, Arquitectura y aspectos técnicos del sistema.*

Para iniciar el desarrollo del sistema se han propuesto diseños preliminares de la interfaz de usuario, la arquitectura del sistema y algunos aspectos técnicos como herramientas que serán usadas en la implementación del mismo.

a) Diseño de Interfaz gráfica de usuario inicial

Se ha propuesto un diseño inicial o mock-up de la página de acceso principal al sistema web. Esta página permitirá el acceso de usuarios a todos los servicios ofertados por la institución e incluirá distintos tipos de gráficas, información textual, algún mapa para mostrar información relacionada con la ubicación geográfica de los usuarios y el contenido generado. La navegación principal se hará a través de un menú lateral que permitirá a los usuarios acceder a las distintas secciones de la aplicación como se muestra en la Figura 27; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, de igual forma en los anexos del presente documento se expone las paginas principales con que contará la página web.

BIBLIOTECA DE FIRMAS ESPECTRALES

RESULTADOS

Calamagrostis intermedia (j. presi)

Diplostephium sp

Baccharis odorata

Azorella pedunculata

Lachemilla orbiculata

CONDICIONES DE MEDIDA

Radiómetro	FieldSpec 4 de ASD
Fecha de Muestreo	17 /07/ 2015
Hora	12:10
Objeto Muestreado	Esp. vegetal

Coord. X	Coord. Y	Altitud (m)
764178.98	9743174.52	3911 msnm

Descarga de datos

Campus Norte "Ms. Edison Riera R." Avda. Antonio José de Sucre, Km. 1 1/2 Vía a Guano, Teléfonos: (593) 3 3730880 Extensión 3000.
 Campus "La Dolorosa" Avda. Eloy Alfaro y 10 de Agosto, Teléfonos: (593) 3 3730910 Extensión 3001.
 Riobamba - Ecuador
 © Derechos Reservados: Centro de Cómputo y Relaciones Públicas. Webmaster: Víctor Guaraca

Figura 27. Diseño de interfaz de usuario

b) Diseño de Arquitectura

En esta propuesta se realizó un primer diseño de la arquitectura del sistema. Se trata de una aplicación web que se alojará en un servidor de la Universidad Nacional de Chimborazo, este sistema estará basado en una Arquitectura Cliente - Servidor de Tres Capas: la Capa de Presentación, la Capa de Negocio y la Capa de Base de Datos, componentes principales que interactuarán entre ellos para ofrecer la funcionalidad deseada. En la Figura 28 se muestra la Arquitectura del sistema.

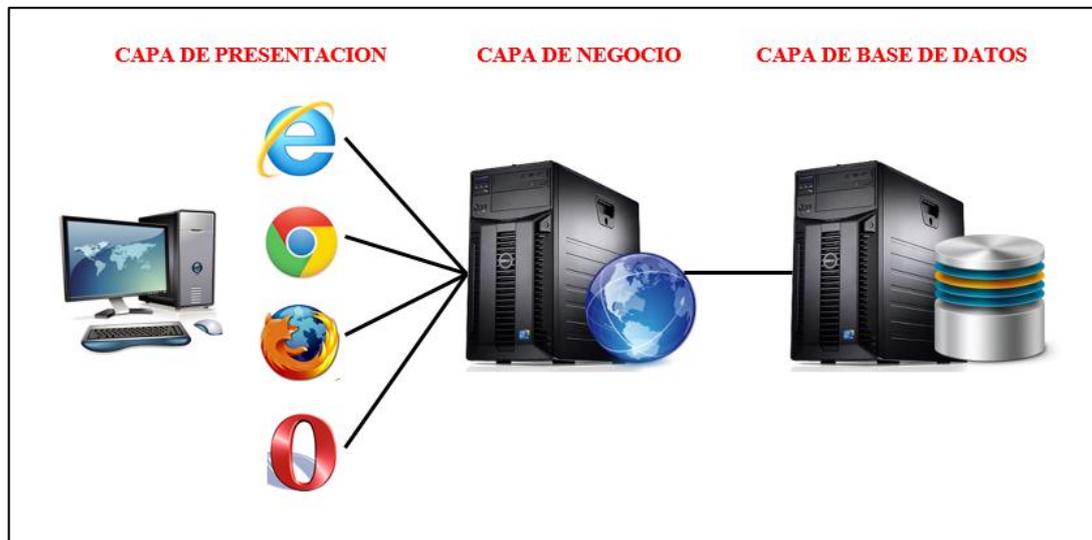


Figura 28. Arquitectura de la Biblioteca de Firmas Espectrales (Elaboración propia).

La Capa de Presentación es la que se encargará de la interacción entre el usuario y el sistema y viceversa, es decir será la interfaz gráfica que albergará al repositorio de la Biblioteca de Firmas Espectrales y que tendrá características amigables, entendibles y de fácil acceso y uso por parte del usuario. En esta capa el cliente o usuario podrá acceder a la información para poder visualizarla y descargarla según sus necesidades.

La Capa de Negocio se encargará de ejecutar todas las peticiones que reciba del usuario, aquí es donde se procesa la información y a donde se enviarán las respuestas tras el proceso. Esta capa se comunica con la de presentación, para recibir las solicitudes y presentar los resultados, y con la capa de acceso a datos, para solicitar al gestor de base de datos almacenar o recuperar datos de él.

La Capa de Base de Datos es donde se almacenarán los datos que se generarán progresivamente en el proyecto, su función será como ya lo dijimos almacenar y devolver datos a la capa de negocio, aunque para esto también es necesario, en algunos casos, que tengan procedimientos almacenados y funciones dentro de la capa. A partir de la arquitectura inicial del sistema se pueden ir realizando una serie de refinamientos hasta obtener un diseño óptimo, que satisfaga los requerimientos del sistema. Los aspectos técnicos del sistema se detallan a continuación:

a) Capa de Negocio (Servidor)

Para el desarrollo del servidor, encargado de gestionar las peticiones y respuestas del y hacia el usuario, se utilizarán las siguientes tecnologías de desarrollo:

- Lenguaje de programación: Java 8

- Entorno de desarrollo: Spring Tool Suite
- Herramienta para la automatización de la construcción del proyecto: Gradle, que permitirá establecer las dependencias con librerías necesarias para llevar a cabo el proyecto.

b) Capa de presentación (Cliente)

Para el desarrollo del cliente, encargado de mostrar de forma sencilla y gráfica la información proporcionada por el servidor, será necesario emplear las tecnologías básicas para el desarrollo de una aplicación Web como:

- HTML5
- CSS3
- JavaScript.

Para facilitar el desarrollo de la Interfaz Gráfica se emplearán estilos y plantillas proporcionadas por Bootstrap, herramienta gratuita que provee una serie de estilos atractivos para los distintos componentes y elementos de una página Web.

Para la actualización dinámica de las páginas se propone emplear librerías como jQuery en combinación con Mustache JS. Mediante Mustache JS se han definido una serie de plantillas con su sintaxis que permitirán renderizar la mayor parte de los componentes de la Interfaz gráfica de usuario que se cargan de forma dinámica.

Para la visualización de gráficas y análisis sobre las firmas espectrales se propone utilizar la librería Chart JS, que permite mostrar de forma sencilla distintos tipos de gráficas como gráficas de líneas, de áreas, de barras, etc. Además, las gráficas que produce esta librería son de tipo adaptivo (responsivo), es decir, que su visualización se adapta fácilmente a cualquier dispositivo.

7. CONCLUSIONES

Este estudio permitió por primera vez en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO generar una Biblioteca de Firmas Espectrales de la vegetación, que servirá para futuros trabajos estableciendo líneas de investigación en la percepción remota, el mismo que tiene un importante potencial para trabajos de actualización y elaboración de cartografía digital, para el control y análisis de la vegetación, aportando evaluaciones concretas de sus condiciones medioambientales y detectar cambios de mejora o degradación del ecosistema vegetal.

En la actualidad se suelen encontrar varios trabajos sobre medidas radiométricas de diferentes objetos y en diferentes condiciones sobre la superficie terrestre, sin embargo, es muy limitado su acceso para quienes empiezan a introducirse en el campo de la teledetección (Alonso et al., 1999). Este trabajo se ha centrado en la construcción de una Biblioteca de Firmas Espectrales de especies vegetales de la Microcuenca del Río Pomacocha; biblioteca que se albergará en el repositorio digital propio de la Institución y de esta manera estará al alcance de los alumnos de pregrado para entender los fundamentos de la teledetección espacial y sus aplicaciones en los campos como la agricultura y la ecología.

Además, las colecciones de las bibliotecas espectrales aportan datos útiles más allá de cartografía de la vegetación, proporciona una referencia para comparar la fisiología, la condición de la planta, estado de nutrientes, estrés hídrico, plagas, fenología de la planta, etc., a fin de proporcionar información que permita aplicar metodologías para mitigar impactos negativos en un ecosistema con el monitoreo de los mismos y de esta manera formar parte de una contribución significativa a la conservación y protección de los páramos del Ecuador y otros ecosistemas terrestres.

La implementación del sistema propuesto se constituirá en una aplicación web innovadora. El producto final es un sistema web que administrará un repositorio de Firmas Espectrales que se ubican dentro del rango del visible e infrarrojo cercano (350 nm – 2500nm), y que se articula con variables agronómicas y agroclimáticas. El sistema permitirá la consulta, despliegue y presentación de la información generada en el proyecto "CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA DE LAS SUBCUENCAS HÍDRICAS PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO CONSIDERANDO EL PAISAJE CULTURAL ANDINO DE LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO".

La radiometría de campo es una técnica de teledetección que en la actualidad posee un importante auge y diversificación en diferentes líneas de investigación. Gracias a la adquisición de firmas de reflectividad espectral tomadas de las cinco especies vegetales en campo, me ha permitido conocer más sobre el correcto manejo del equipo radiométrico y profundizar en el conocimiento del tratamiento de los datos de reflectividad y entender el comportamiento de la respuesta espectral de la vegetación en las diferentes longitudes de onda.

El avance tecnológico en el desarrollo de actividades de investigación relacionadas con el uso de técnicas de percepción remota útiles para determinar diferentes condiciones de la vegetación es fundamental para un mejor entendimiento, gestión y manejo de los recursos naturales. A pesar de estos continuos avances aún existen diversas causas y fuentes de error e incertidumbre, lo cual representa un reto para el investigador ecuatoriano en la adaptación de soluciones originales y creativas que puedan aplicarse a las condiciones particulares de nuestro país.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda replicar esta investigación, dando preferencia a aquellas especies propias de los páramos, cuya presencia ha ido disminuyendo considerablemente debido a varias causas que se han hecho presentes con el paso del tiempo como el desconocimiento, su bajo valor de importancia o su utilidad, entre otras. De tal manera que se puede valorar con exactitud su presencia en dicho ecosistema, información que permitiría tomar acciones correctivas al respecto.

La utilización de esta Biblioteca Espectral en el contexto de su aplicación en estudios de teledetección con imágenes de satélite, permitirá perfeccionar los procesos de actualización cartográfica e inventariar cualquier tipo de cubierta, así como la clasificación digital de los elementos a partir de la respuesta espectral con el fin de elevar el nivel de certeza y calidad en los procesos de actualización.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Solis, M. (1968). Divisiones fitogeográficas y formaciones geobotánicas del Ecuador. Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- Alonso, C., Moreno, V., & Rodríguez, E. (1999). Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación. una sencilla práctica de introducción a la teledetección., 429–432.
- Andrade, H., & Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles. *Agroforestería En Las Américas*, 10 N° 39-4, 109–116.
- Bissi, W. (2007). Metodología de desenvolvimiento ágil. *Campo Digital*, 2(1).
- Cano, J. (2009). **RADIOMETRÍA DE CAMPO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE VARIACIONES EDAFOLOGICAS EN ZONAS AFECTADAS POR INCEDIOS.**
- Cañadas Cruz, L., Coge, X., Lyannaz, J. P., Ammerman, C. B., Henry, P. R., Muñoz, K. A., ... Webster, C. C. (1983). El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito (Ecuador).
- Chuvieco, E. (2010). Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio.
- Davis, S. M., Landgrebe, D. A., Phillips, T. L., Swain, P. H., Hoffer, R. M., Lindenlaub, J. C., & Silva, L. F. (1978). Remote sensing: the quantitative approach. New York, McGraw-Hill International Book Co., 1978. 405 P., 1.
- Gómez, A. M. (2010). **APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS ESPACIAL, REDUCCIÓN DE DATOS Y MODELADO PREDICTIVO AL ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE ESPECIES.**
- González, M., Jiménez, M., Amaro, A., De Miguel, E., Gutiérrez, O., & Fernández-Renau, A. (2012). Metadatos para espectro-radiometría de campo utilizando normativa ISO y OGC, 19–21.
- Grant, J. (2008). Cien plantas silvestres del paramo. One hundred wild plants from the paramo, Parque Nacional Cajas, Azuay, Ecuador. *Journal of the Bromeliad Society*, 58(6), 268–269.
- Hernández, J., & Montaner, D. (2009). **PATRONES DE RESPUESTA ESPECTRAL**, 1–14.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). Los páramos del mundo. UICN.
- Léon, S. (1993). Estudio ecológico y fitogeográfico de la vegetación del páramo de Guamaní, Pichincha-Napo, Ecuador. Pontificia Universidad Católica de Ecuador.
- Llosa, J., Pajares, E., & Toro, O. (2009). Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas Reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes. Crisis. Retrieved from http://www.desco.org.pe/apc-aa-files/d38fb34df77ec8a36839f7aad10def69/Agua_final.pdf
- McCoy, R. M. (2005). *Field Method in Remote Sensing*.
- Mena, P., Castillo, A., Flores, S., Hofstede, R., Josse, C., B, S. L., ... Ortiz, D. (2011). Páramo. Quito.
- Mena, P., Josse, C., & Medina, G. (2000). Los Suelos del Páramo. Serie Páramo 5.
- Miralles, J. M. (1991). La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura. Universitat de València.
- Montorio, R. (2014). Principios, instrumentos y métodos de recogida de información espacial: Radiometría de campo.
- Montorio, R., Perez, F., Garcia, M., & De la Riva, J. (2006). Evaluación de las consecuencias del fuego en quemas controladas mediante radiometría de campo. Cuadernos de Investigación ..., 43–56. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2283760.pdf>
- Murillo Sandoval, P. J., & Carbonell González, J. A. (2012). Principios y aplicaciones de la percepción remota en el cultivo de la caña de azúcar en Colombia. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=IICACR.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mnf=034406>

- Nidamanuri, R., & Zbell, B. (2011). Transferring spectral libraries of canopy reflectance for crop classification using hyperspectral remote sensing data. *Biosystems Engineering*, 110(3), 231–246. <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.07.002>
- Ortega, F., & Saavedra, M. (2013). PROPUESTA DE UN PLAN PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HIDRICO EN LA MICROCUENCA DEL RIO POMACOCHO, CANTON ALAUSI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.
- Patrick, M. (2001). ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA VEGETACIÓN MEDIANTE ESPECTRO-RADIOMETRÍA.
- Podwojewski, P., & Poulénard, J. (2000). La degradación de los suelos de los páramos. *Los Suelos Del Páramo. Serie Páramo*, 5, 27–36.
- Rich, P. M., Dubayah, R., Hetrick, W. A., & Saving, S. C. (1994). Using viewshed models to calculate intercepted solar radiation.
- Ritchie, J. C., & Rango, a. (1996). Remote sensing applications to hydrology: introduction. *Hydrological Sciences Journal*, 41(4), 429–431. <http://doi.org/10.1080/02626669609491518>
- Rivadeneira, G., & Ivanova, T. (2011). Análisis de metabolitos secundarios de *Lachemilla orbiculata* (Ruiz & Pavón) Rydb.(Rosaceae) en dos localidades de los Andes del Ecuador.
- Schaepman, M. E. (1998). Calibration of a field spectroradiometer.
- Sklenar, P. (1999). Nodding *Capitula* in Superpáramo Asteraceae: An Adaptation to Unpredictable Environment1. *Biotropica*, 31(3), 394–402.
- Tassile, F. A. (2013). Clasificación Difusa en Imágenes de Teledetección Espacial.
- Vanegas, M. V., & Rivera, D. (2000). Estructura poblacional y fenología de *Espeletia argentea* en campos cultivados el páramo de Cruz Verde (Cundinamarca, Colombia). In *IV Simposio Internacional de Desarrollo Sostenible: Los páramos andinos: los desafíos en el siglo XXI*. Consultado el (Vol. 20).
- Vásquez, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 91–109. Retrieved from http://www.beisa.dk/Publications/BEISA_Book_pdf/Capitulo_06.pdf
- Vaughan, M. (2001). tesina alcala. Retrieved from http://www.investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/sites/investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/files/files/uploads/TESINA_VAUGHAN_P_2001_0.pdf
- Wanke, H., Bruckner, J., Dreibus, G., Rieder, R., & Ryabchikov, I. (2001). Chemical composition of rocks and soils at the Pathfinder site. *Space Science Reviews*, 96(November), 317–330. <http://doi.org/10.1023/A>

ANEXOS

Anexo 1. Metadato espectral de la especie vegetal *Calamagrostis intermedia* (j. presl)



METADATO ESPECTRAL

FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Espectro-radiómetro	FieldSpec 4 de ASD
Fecha de Muestreo	16 de Julio de 2015
Hora	12H10
Objeto Muestreado	<i>Calamagrostis intermedia</i> (j. presl)

LOCALIZACIÓN

Ubicación	Coord. X	Coord. Y	Altitud (m)
Microcuenca Río Pomacocho	764178.98	9743174.52	3911 msnm

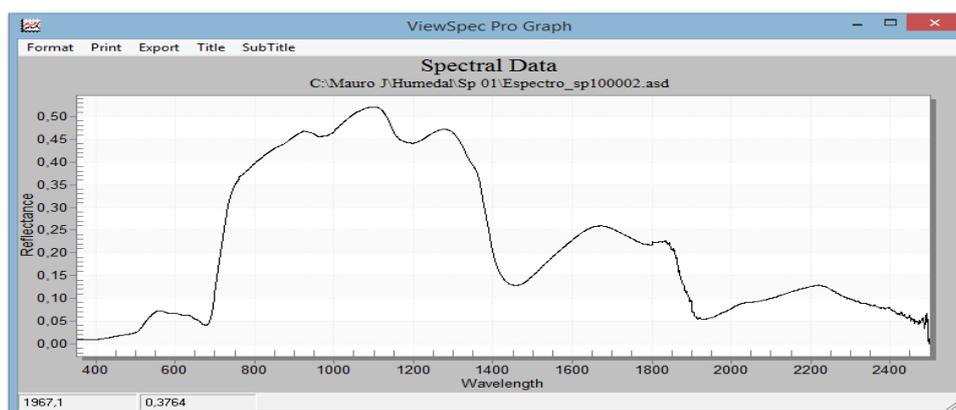
FOTOGRAFÍA



CONDICIONES METEREOLÓGICAS

Temperatura	Humedad	Nubosidad	Radiación Solar	Heliofania

RESULTADO DEL ESPECTRO-RADIÓMETRO



Anexo 2. Metadato espectral de la especie vegetal *Diplostephium sp*



METADATO ESPECTRAL

FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Espectro-radiómetro	FieldSpec 4 de ASD
Fecha de Muestreo	17 de Julio de 2015
Hora	12H25
Objeto Muestreado	<i>Diplostephium sp</i>

LOCALIZACIÓN

Ubicación	Coord. X	Coord. Y	Altitud (m)
Microcuenca Río Pomacocha	763555.95	9741493.79	3862 msnm

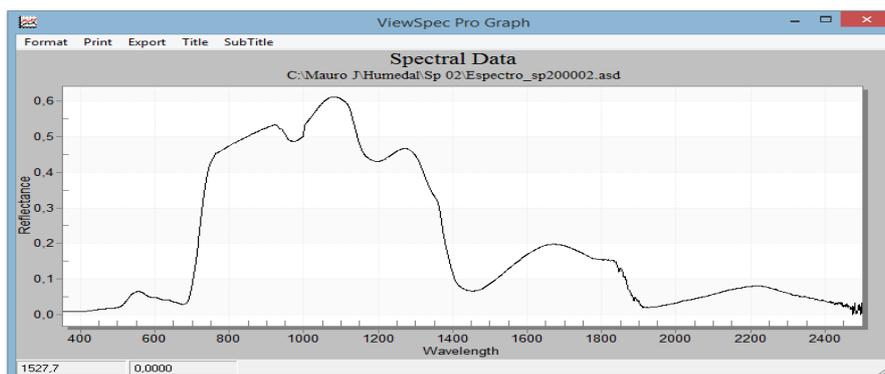
FOTOGRAFÍA



CONDICIONES METEREOLÓGICAS

Temperatura	Humedad	Nubosidad	Radiación Solar	Heliofania

RESULTADO DEL ESPECTRO-RADIÓMETRO



Anexo 3. Metadato espectral de la especie vegetal *Baccharis odorata*



METADATO ESPECTRAL

FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Espectro-radiómetro	FieldSpec 4 de ASD
Fecha de Muestreo	20 de Julio de 2015
Hora	12H10
Objeto Muestreado	<i>Baccharis odorata</i>

LOCALIZACIÓN

Ubicación	Coord. X	Coord. Y	Altitud (m)
Microcuenca Río Pomacocho	761802.77	9740899.74	3862 msnm

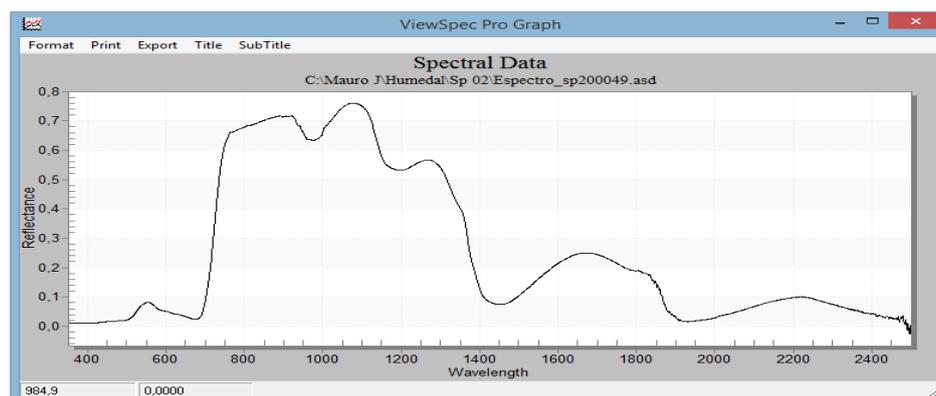
FOTOGRAFÍA



CONDICIONES METEREOLÓGICAS

Temperatura	Humedad	Nubosidad	Radiación Solar	Heliofania

RESULTADO DEL ESPECTRO-RADIÓMETRO



Anexo 4. Metadato espectral de la especie vegetal *Azorella pedunculata*



METADATO ESPECTRAL

FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Espectro-radiómetro	FieldSpec 4 de ASD
Fecha de Muestreo	20 de Julio de 2015
Hora	13H20
Objeto Muestreado	<i>Azorella pedunculata</i>

LOCALIZACIÓN

Ubicación	Coord. X	Coord. Y	Altitud (m)
Microcuenca Río Pomacocho	761237.70	9739639.19	3783 msnm

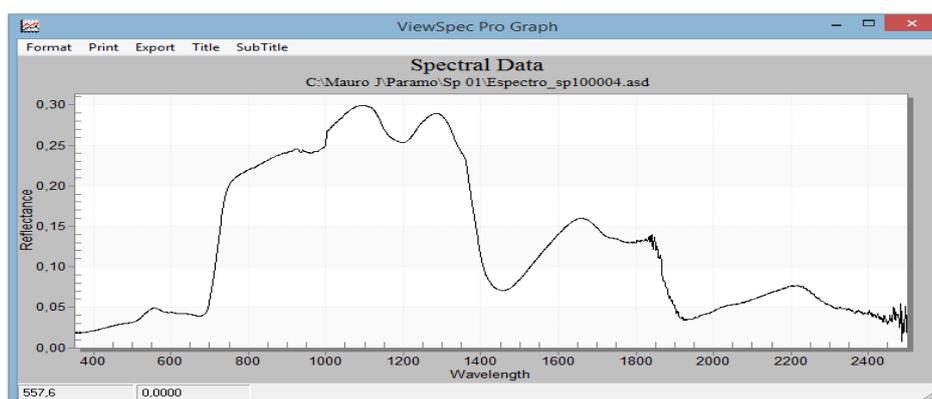
FOTOGRAFÍA



CONDICIONES METEREOLÓGICAS

Temperatura	Humedad	Nubosidad	Radiación Solar	Heliofania

RESULTADO DEL ESPECTRO-RADIÓMETRO



Anexo 5. Metadato espectral de la especie vegetal *Lachemilla orbiculata*



METADATO ESPECTRAL

FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Espectro-radiómetro	FieldSpec 4 de ASD
Fecha de Muestreo	21 de Julio de 2015
Hora	13H50
Objeto Muestreado	<i>Lachemilla orbiculata</i>

LOCALIZACIÓN

Ubicación	Coord. X	Coord. Y	Altitud (m)
Microcuenca Río Pomacocho	761107.00	738465.00	3735 msnm

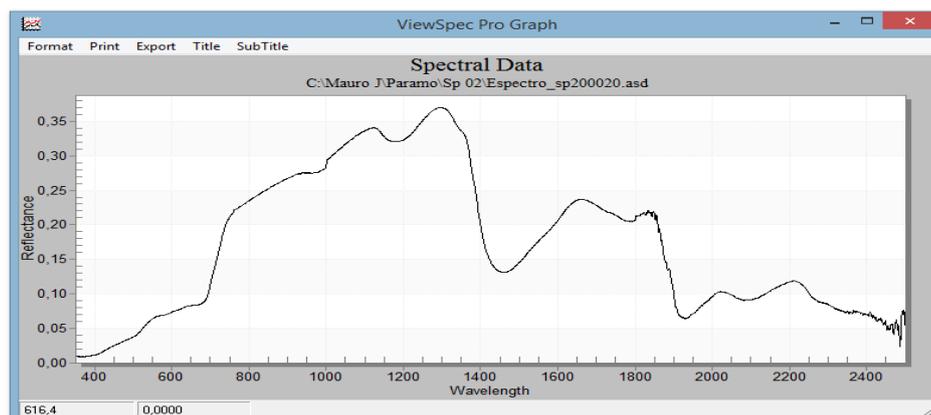
FOTOGRAFÍA



CONDICIONES METEREOLÓGICAS

Temperatura	Humedad	Nubosidad	Radiación Solar	Heliofania

RESULTADO DEL ESPECTRO-RADIÓMETRO



Anexo 6. Presentación inicial de la aplicación web de la Biblioteca de Firmas Espectrales.



Unach
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Libros por la Ciencia y el Poder

BIBLIOTECA DE FIRMAS ESPECTRALES



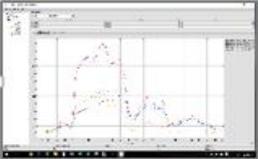
INICIO
ANTECEDENTES
OBJETIVOS
RESULTADOS
REFERENCIAS

INTRODUCCIÓN

En esta biblioteca se recoge el comportamiento espectral de las principales especies vegetales que se encuentran en la Microcuenca del Río Pomacocho – Ecuador, a altitudes medias entre los 3400 y 4500 msnm con temperaturas desde 30°C descendiendo hasta valores menores a 0°C (Léon, 1993). Es importante recalcar que por cada 200 metros de incremento en altitud, la temperatura promedio disminuye en aproximadamente 11°C, las heladas también aumentan con la altitud y es un elemento significativo que influye en la frecuencia y repartimiento de las especies vegetales a lo largo de las gradientes de elevación (Mena et al., 2011).

El objetivo principal es construir una Biblioteca de Firmas Espectrales mediante datos de reflectancia espectral procedentes de muestreos realizados en campo a partir de técnicas de espectro-radiometría, y con la utilización de software para el pre y post procesamiento de datos y disposición de los resultados generados en una aplicación Web realizado dentro del Proyecto “CARACTERIZACION BIOGEOGRÁFICA DE LAS SUBCUENCAS HIDRICAS PARA LA ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO CONSIDERANDO EL PAISAJE CULTURAL ANDINO DE LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTON ALAUSI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Las firmas son capturadas con un espectroradiómetro de campo FieldSpec 4 de ASD con resolución espectral (3 nm a 700 nm; 10 nm a 2100 nm), y que mide en el rango del visible e infrarrojo cercano del espectro (350 nm a 2500 nm)



Campus Norte “Ms. Edison Riera R.” Avda. Antonio José de Sucre, Km. 1 1/2 Vía a Guano, Teléfonos: (593) 3 3730880 Extensión 3000.
Campus “La Dolorosa” Avda. Eloy Alfaro y 10 de Agosto. Teléfonos: (593) 3 3730910 Extensión 3001.
Riobamba - Ecuador
© Derechos Reservados: Centro de Cómputo y Relaciones Públicas. Webmaster: Víctor Guaraca

Anexo 7. Antecedentes de la Biblioteca de Firmas Espectrales.

Unach

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Libre por la Ciencia y el Saber

BIBLIOTECA DE FIRMAS ESPECTRALES

- INICIO
- ANTECEDENTES**
- OBJETIVOS
- RESULTADOS
- REFERENCIAS

ANTECEDENTES

El páramo andino constituye uno de los ecosistemas del mundo más importante, pero al mismo tiempo, uno de los menos conocidos (Hofstede, Segarra, & Mena, 2003). Considerándose de esta manera en un ecosistema estratégico debido a su gran potencial de almacenamiento y regulación hídrica; sin embargo el manejo inadecuado como la adaptación de cultivos agrícolas y pecuarios ajenos al entorno ha ocasionado una degradación de este medio natural el cual merece ser tratado de una forma adecuada. Además poseen características únicas y son el hábitat de una gran diversidad de animales como lagartijas, salamandras, conejos, venados, cóndor, águila, patos, etc. y plantas como musgo, pajonales, gramíneas, especies arbóreas y arbustivas (Ortega & Saavedra, 2013). Los páramos en el Ecuador comprenden aproximadamente el 5% del territorio ecuatoriano, es decir alrededor de 12.650 km², de acuerdo a mediciones de la superficie realizadas por el (Proyecto páramo 1999). Aunque no se tiene datos precisos, es posible que un 10% de la flora del Ecuador podría encontrarse en esa parte del territorio. Las características geográficas, edafológicas, climáticas, etc., que representan el páramo hacen de él una zona muy diversa en varios aspectos, en este estudio hacemos referencia a la flora de los páramos ecuatorianos, por ello es necesario conocer algunas características básicas como del clima y de los suelos, ya que la vegetación guarda estrecha relación entre ellos (Mena et al., 2011).

Campus Norte "Ms. Edison Riera R." Avda. Antonio José de Sucre, Km. 1 1/2 Vía a Guano, Teléfonos: (593) 3 3730880 Extensión 3000.
Campus "La Dolorosa" Avda. Eloy Alfaro y 10 de Agosto. Teléfonos: (593) 3 3730910 Extensión 3001.
Riobamba - Ecuador
© Derechos Reservados: Centro de Cómputo y Relaciones Públicas. Webmaster: Víctor Guaraca

Anexo 8. Ventana de la presentación de los objetivos de la Biblioteca de Firmas Espectrales.



Unach
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Libres por la Ciencia y el Saber

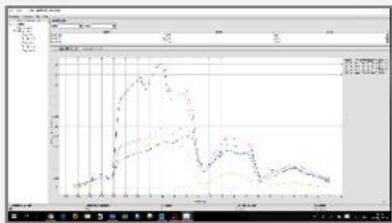
BIBLIOTECA DE FIRMAS ESPECTRALES



INICIO
ANTECEDENTES
OBJETIVOS
RESULTADOS
REFERENCIAS

OBJETIVOS

- Generar una biblioteca espectral de las principales especies vegetales de la Comunidad de Madrid (especies mediterráneas) en campo, basándose en la experiencia adquirida en laboratorio.
- Comparar espectros extraídos por distintos sensores hiperespectrales.
- Estudiar la capacidad del satélite hiperespectral Hyperion de estudiar la vegetación en un área piloto de la Comunidad de Madrid en la que se recoge la variabilidad específica, utilizando como fuente de información la biblioteca espectral generada.
- Publicar en la web la biblioteca espectral para que los datos generados puedan ser facilitados a los investigadores interesados



Campus Norte "Ms. Edison Riera R." Avda. Antonio José de Sucre, Km. 1 1/2 Vía a Guano, Teléfonos: (593) 3 3730880 Extensión 3000.
Campus "La Dolorosa" Avda. Eloy Alfaro y 10 de Agosto. Teléfonos: (593) 3 3730910 Extensión 3001.
Riobamba - Ecuador
© Derechos Reservados: Centro de Cómputo y Relaciones Públicas. Webmaster: Víctor Guaraca

Anexo 9. Ventana presentación de los resultados obtenidos.



Unach

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Libros por la Ciencia y el Arte



BIBLIOTECA DE FIRMAS ESPECTRALES



INICIO

ANTECEDENTES

OBJETIVOS

RESULTADOS

REFERENCIAS

RESULTADOS

Calamagrostis intermedia (j. pres!)

Diplostephium sp

Baccharis odorata

Azorella pedunculata

Lachemilla orbiculata



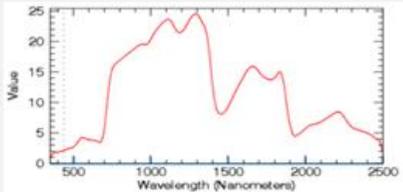
Calamagrostis intermedia (j. pres!)



CONDICIONES DE MEDIDA

Radiómetro	FieldSpec 4 de ASD	
Fecha de Muestreo	17 /07/ 2015	
Hora	12H10	
Objeto Muestreado	Esp. vegetal	

Coord. X	Coord. Y	Altitud (m)
764178.98	9743174.52	3911 msnm



Descarga de datos

Campus Norte "Ms. Edison Riera R." Avda. Antonio José de Sucre, Km. 1 1/2 Vía a Guano, Teléfonos: (593) 3 3730880 Extensión 3000.

Campus "La Dolorosa" Avda. Eloy Alfaro y 10 de Agosto. Teléfonos: (593) 3 3730910 Extensión 3001.

Riobamba - Ecuador

© Derechos Reservados: Centro de Cómputo y Relaciones Públicas. Webmaster: Víctor Guaraca

Anexo 10. Referencias Bibliográficas.

Unach

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Libres por la Ciencia y el Saber

BIBLIOTECA DE FIRMAS ESPECTRALES

- INICIO
- ANTECEDENTES
- OBJETIVOS
- RESULTADOS
- REFERENCIAS**

REFERENCIAS

Acosta-Solis, M. (1968). *Divisiones fitogeográficas y formaciones geobotánicas del Ecuador*. Casa de la Cultura Ecuatoriana.

Alonso, C., Moreno, V., & Rodríguez, E. (1999). Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación. una sencilla práctica de introducción a la teledetección., 429-432.

Andrade, H., & Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles. *Agroforestería En Las Américas*, 10 Nº 39-4, 109-116.

Bissi, W. (2007). Metodología de desarrollo ágil. *Campo Digital*, 2(1).

Cañadas Cruz, L., Coge, X., Lyamaz, J. P., Ammerman, C. B., Henry, P. R., Muñoz, K. A., ... Webster, C. C. (1983). *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito (Ecuador).

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*.

Davis, S. M., Landgrebe, D. A., Phillips, T. L., Swain, P. H., Hoffer, R. M., Lindenlaub, J. C., & Silva, L. F. (1978). Remote sensing: the quantitative approach. *New York, McGraw-Hill International Book Co., 1978. 405 P., 1.*

Gómez, A. M. (2010). *APLICACION DE TECNICAS DE ANALISIS ESPACIAL, REDUCCION DE DATOS Y MODELADO PREDICTIVO AL ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION POTENCIAL DE ESPECIES*.

González, M., Jiménez, M., Amaro, A., De Miguel, E., Gutiérrez, O., & Fernández-Renau, A. (2012). Metadatos para espectro-radiometría de campo utilizando normativa ISO y OGC, 19-21.

Grant, J. (2008). Cien plantas silvestres del paramo. One hundred wild plants from the paramo, Parque Nacional Cajas, Azuay, Ecuador. *Journal of the Bromeliad Society*, 58(6), 268-269.

Campus Norte "Ms. Edison Riera R." Avda. Antonio José de Sucre, Km. 1 1/2 Vía a Guano, Teléfonos: (593) 3 3730880 Extensión 3000.
Campus "La Dolorosa" Avda. Eloy Alfaro y 10 de Agosto. Teléfonos: (593) 3 3730910 Extensión 3001.
Riobamba - Ecuador
© Derechos Reservados: Centro de Cómputo y Relaciones Públicas. Webmaster: Víctor Guaraca