



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

**DETERMINACIÓN DE LA FIRMA ESPECTRAL DE GYNOXYS  
SP, PARA LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES  
EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA EN LA PARROQUIA  
ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

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

**LUIS JAVIER CARRILLO FONSECA**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**2016**

## HOJA DE CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA, que el trabajo de investigación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA FIRMA ESPECTRAL DE GYNOXYS SP, PARA LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO** de responsabilidad del señor Luis Javier Carrillo Fonseca, ha sido prolijamente revisado quedando autorizada su presentación.

### TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN

1.  .....  .....  
Ing. Paulina Díaz Fecha

**Directora**

2.  .....  .....  
Ing. Lucía Abarca Fecha

**Miembro**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Luis Javier Carrillo Fonseca declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 6 de enero del 2016



.....  
Luis Javier Carrillo Fonseca

060355639-0

## **AUTORIA**

La autoría del presente trabajo investigativo es de propiedad intelectual del autor y de la Escuela de Ingeniería Forestal de la ESPOCH



## **DEDICATORIA**

*“A mi familia que siempre me apoyo en mis buenas y malas decisiones”*

*L.C*

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas e instituciones que me supieron apoyar con un simple consejo y sus conocimientos, que hicieron posible llevar a cabo el presente trabajo investigativo, mención especial a la Universidad Nacional de Chimborazo a través del proyecto de Caracterización Biogeográfica parroquia Achupallas por las facilidades brindadas con los equipos y la información requerida para el presente trabajo investigativo y la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Forestal por todos los conocimientos adquiridos en tan noble institución.

## INDICE

Contenido	Página
LISTA DE TABLAS .....	i
LISTA DE MAPAS .....	ii
LISTA DE GRÁFICOS .....	iii
I. DETERMINACIÓN DE LA FIRMA ESPECTRAL DE GYNOXYS SP, PARA LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. ....	1
II. INTRODUCCIÓN .....	1
A. JUSTIFICACIÓN .....	3
III. OBJETIVOS .....	4
A. GENERAL .....	4
B. ESPECIFICOS .....	4
C. HIPOTESIS .....	4
1. Hipótesis Nula .....	4
2. Hipótesis Alternante .....	4
IV MARCO TEÓRICO .....	5
A. TELEDETECCIÓN .....	5
1. Principios físicos de teledetección .....	6
a. Espectro electromagnético. ....	6
2. Atmósfera e interacción de la energía .....	8
a. Absorción .....	8
b. Dispersión .....	8
c. Refracción .....	9
4. Firmas Espectrales .....	9
a. Reflectividad de los elementos naturales .....	10

1) Reflectividad de la vegetación.....	12
1. Absorción de los pigmentos .....	12
2. Estructura fisiológica .....	13
3. Efecto del ángulo de elevación solar.....	13
4. Contenidos de agua .....	13
5. Efecto del suelo .....	14
6. Efecto de la geometría de la cobertura.....	14
7. Efecto de la fenología.....	14
8. Factores externos.....	14
b. Espectro-radiómetro.....	15
1) FieldSpec 4 Wide-Res Field Spectroradiometer.....	15
4. Imágenes satelitales.....	16
a. Clasificación de imágenes satelitales .....	16
1) Clasificaciones Supervisadas.....	16
1. Algoritmos para clasificación supervisada.....	17
2) Clasificaciones no Supervisadas.....	19
B. BOSQUE MONTANO .....	19
1. Bosque montano alto “Ceja Andina” .....	20
2. <i>Gynoxys Sp</i> .....	20
a. Descripción Taxonómica.....	21
b. Descripción Botánica .....	21
V. MATERIALES Y METODOS .....	22
A. CARACTERISTICAS DEL LUGAR.....	22
1. Localización .....	22
a. Superficie .....	22
2. Características Climáticas .....	22
3. Clasificación Ecológica.....	22

4. Ubicación geográfica .....	22
B. MATERIALES Y EQUIPOS.....	24
1. Materiales de campo .....	24
2. Materiales de oficina.....	24
3. Materiales informáticos.....	24
C. METODOLOGIA .....	25
1. Elaboración de una base de datos a partir de un espectro-radiómetro para la obtención de la firma espectral de <i>Gynoxys sp.</i> .....	25
a. Recolección de las firmas espectrales de <i>Gynoxys sp.</i> a partir del espectro-radiómetro FieldSpec 4 Wide-Res Field.....	25
b. Elaboración de una base de datos para firmas espectrales.....	26
c. Análisis estadístico de los niveles de reflectancia de las firmas espectrales...	26
d. Obtención de una firma representativa de <i>Gynoxys sp.</i> .....	27
2. Determinación la firma espectral de <i>Gynoxys sp</i> a través de imágenes satelitales para su ubicación en el bosque de ceja andina. ....	27
a. Toma de puntos de control de <i>Gynoxys sp</i> en el bosque de ceja andina.....	27
b. Pre-procesamiento de imágenes satelitales .....	28
1) Imágen Rapideye .....	28
2) Imagen Landsat 7.....	29
c. Determinación de una firma espectral representativa para <i>Gynoxys sp</i> .....	30
3. Clasificación cartográfica de <i>Gynoxys sp</i> a través de imágenes satelitales basada en firmas espectrales .....	31
a. Clasificación supervisada.....	31
1) Puntos de calibración GPS de campo. ....	31
2) Selección de áreas de entrenamiento .....	31
3) Análisis de separabilidad de los ROIs. ....	31
4) Aplicación de algoritmo de máxima verosimilitud .....	32
b. Post clasificación.....	32

1) Aplicación de filtros para mejorar la calidad de las imágenes clasificadas....	32
1. Majority Analysis .....	32
2. Clump .....	33
3. Combine Classes .....	33
2) Determinación de la exactitud de la clasificación .....	33
3) Exportación a formato .shp y edición final de las imágenes .....	33
VI. RESULTADOS .....	34
A. BASE DE DATOS A PARTIR DE UN ESPECTRO-RADIÓMETRO PARA LA OBTENCIÓN DE LA FIRMA ESPECTRAL DE <i>GYNOXYS SP.</i> ....	34
1. Recolección de las firmas espectrales de <i>Gynoxys sp.</i> a partir del espectro- radiómetro FieldSpec 4 Wide-Res Field.....	34
2. Base de datos para firmas espectrales .....	38
3. Análisis estadístico de los niveles de reflectancia de las firmas espectrales. .	39
a. Análisis de Varianza Día 1 .....	40
b. Análisis de Varianza Día 2.....	41
c. Análisis de Varianza Día 3.....	43
4. Obtención de una firma representativa de <i>Gynoxys sp.</i> .....	45
B. FIRMA ESPECTRAL DE <i>GYNOXYS SP</i> A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES PARA SU UBICACIÓN EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA. ....	51
1. Toma de puntos de control de <i>Gynoxys sp</i> en bosque de ceja andina.....	51
2. Pre-procesamiento de imágenes satelitales .....	52
a. Imágen Rapideye.....	52
b. Imagen Landsat 7 .....	54
3. Determinación de una firma espectral representativa para <i>Gynoxys sp</i> .....	56
C. CLASIFICACIÓN CARTOGRÁFICA DE <i>GYNOXYS SP</i> A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES BASADA EN FIRMAS ESPECTRALES .....	58
1. Clasificación supervisada.....	58

a. Puntos de calibración GPS de campo.....	58
b. Selección de áreas de entrenamiento .....	59
1) Firmas espectrales de los puntos de entrenamiento .....	61
c. Análisis de separabilidad de los ROIs.....	64
d. Aplicación de algoritmo de máxima verosimilitud.....	65
2. Post clasificación.....	66
a. Filtros de Post Clasificación.....	66
1) Majority Analysis .....	66
2) Clump .....	67
3) Combine Classes.....	68
b. Determinación de la exactitud de la clasificación.....	68
e. Exportación a formato .shp y edición final de las imágenes.....	69
VII. CONCLUSIONES .....	72
VIII. RECOMENDACIONES.....	74
IX. RESUMEN .....	75
X. SUMMARY .....	76
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	77
XII. ANEXOS.....	81
A. ANEXO 1.- METODOLOGÍA PARA DETERMINAR FIRMAS ESPECTRALES EN BOSQUE DE CEJA ANDINA .....	81
1. Selección del área de estudio y vegetación.....	81
a. Trabajo de Campo .....	81
1. Selección de la época del Año .....	81
2. Selección del sitio de muestreo.....	82
3. Selección de especie forestal.....	83
4. Geo-referenciación de las especies seleccionadas .....	84
b. Trabajo de Oficina .....	85

1. Diseño de la ficha para la obtención del metadato.....	85
2. Diseño del muestreo de campo .....	86
3. Verificación y selección de los accesorios del Equipo .....	87
4. Verificar el estado de la fibra óptica .....	89
2. Muestreo de Firmas Espectrales. ....	91
a. Protocolo de Monitoreo.....	91
1. Montaje y conexiones del espectro radiómetro.....	91
2. Configuración y calibración del Equipo .....	93
3. Muestreo de espectros .....	98
4. Recomendaciones generales después de la medición. ....	100
3. Procesamiento de la información .....	100
B. ANEXO 2.- BASE DE DATOS DIGITAL .....	102
C. ANEXO 3.- ANALISIS DE VARIANZA .....	103
D. ANEXO 4.- PUNTOS DE CONTROL PARA LA CLASIFICACIÓN .....	117



**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1.-</b> Puntos de interés del espectro electromagnético .....	26
<b>Tabla 2.-</b> Diseño completamente al azar para analizar niveles de reflectancia. ....	27
<b>Tabla 3.-</b> Metadato de firmas espectrales .....	36
<b>Tabla 4.-</b> Análisis de varianza de los puntos de interés del espectro visible .....	40
<b>Tabla 5.-</b> Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo cercano .....	41
<b>Tabla 6.-</b> Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo medio .....	41
<b>Tabla 7.-</b> Análisis de varianza de los puntos de interés del espectro visible .....	42
<b>Tabla 8.-</b> Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo cercano .....	42
<b>Tabla 9.-</b> Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo medio .....	43
<b>Tabla 10.-</b> Análisis de varianza de los puntos de interés del espectro visible .....	43
<b>Tabla 11.-</b> Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo cercano .....	44
<b>Tabla 12.-</b> Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo medio .....	44
<b>Tabla 13.-</b> Puntos de control de <i>Gynoxys sp.</i> .....	51
<b>Tabla 14.-</b> Valores ND y reflectancia para cada banda de la imagen rapideye .....	54
<b>Tabla 15.-</b> Valores ND y reflectancia para cada banda de la imagen landsat 7.....	56

**LISTA DE MAPAS**

<b>Mapa 1.-</b> Ubicación geográfica del área de estudio .....	23
<b>Mapa 2.-</b> Ubicación geográfica de <i>Gynoxys sp</i> .....	38
<b>Mapa 3.-</b> Clasificación supervisada de la parroquia Achupallas .....	70
<b>Mapa 4.-</b> Clasificación supervisada de <i>Gynoxys sp</i> .....	71

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.-</b> Espectro Electromagnético.....	7
<b>Gráfico 2.-</b> Firmas espectrales de las distintas coberturas del suelo.....	10
<b>Gráfico 3.-</b> Interacción de la energía con la Superficie Terrestre .....	11
<b>Gráfico 4.-</b> Firma espectral de la vegetación .....	12
<b>Gráfico 5.-</b> Metodología para la obtención de firmas espectrales en campo.....	25
<b>Gráfico 6.-</b> Coeficientes de calibración para imágenes Landsat 7.....	30
<b>Gráfico 7.-</b> Firmas espectrales Día 1 – 10:00 am / 12:00 pm / 14:00 pm.....	35
<b>Gráfico 8.-</b> Firmas espectrales Día 2- 10:00 am / 12:00 pm / 14:00 pm.....	35
<b>Gráfico 9.-</b> Firmas espectrales Día 3 - 10:00 am / 12:00 pm / 14:00 pm.....	36
<b>Gráfico 10.-</b> Base de datos de los niveles de reflectancia.....	39
<b>Gráfico 11.-</b> Buscador de niveles de reflectancia .....	39
<b>Gráfico 12.-</b> Firma espectral pura - rango electromagnético de los 350 nm a los 2500 nm .....	45
<b>Gráfico 13.-</b> Corrección de la firma espectral con jump correction .....	46
<b>Gráfico 14.-</b> Corrección de la firma espectral con smoth .....	46
<b>Gráfico 15.-</b> Firma espectral recortada lista para el análisis.....	47
<b>Gráfico 16.-</b> Firmas espectrales medias a las 10:00 am , 12:00 am y 14:00 pm - Día 1	47
<b>Gráfico 17.-</b> Firmas espectrales medias a las 10:00 am , 12:00 am y 14:00 pm - Día 2	48
<b>Gráfico 18.-</b> Firmas espectrales medias a las 10:00 am , 12:00 am y 14:00 pm - Día 3	49
<b>Gráfico 19.-</b> Discriminación de las firmas espectrales que no poseen la misma tendencia .....	50
<b>Gráfico 20.-</b> Firmas espectrales de <i>Gynoxys sp</i> máxima, media y mínima.....	50
<b>Gráfico 21.-</b> Parches de <i>Gynoxys sp</i> de 5x5 m.....	52
<b>Gráfico 22.-</b> Punto de control - Pixel de una área de cultivo.....	53
<b>Gráfico 23.-</b> Firma espectral del punto de control - ND .....	53
<b>Gráfico 24.-</b> Firma espectral del punto de control - reflectancia .....	54
<b>Gráfico 25.-</b> Punto de control - pixel del bosque .....	55
<b>Gráfico 26.-</b> Firma espectral del punto de control - ND .....	55
<b>Gráfico 27.-</b> Firma espectral del punto de control - reflectancia .....	56
<b>Gráfico 28.-</b> Firmas espectrales de los puntos de control de <i>Gynoxys sp</i> .....	57
<b>Gráfico 29.-</b> Firma espectral representativa de <i>Gynoxys sp</i> .....	57
<b>Gráfico 30.-</b> Toma de punto de control para páramo herbáceo .....	58

<b>Gráfico 31.-</b> Selección de las áreas de entrenamiento .....	59
<b>Gráfico 32.-</b> Selección de áreas de entrenamiento.....	60
<b>Gráfico 33.-</b> Selección de áreas de entrenamiento para cultivos .....	60
<b>Gráfico 34.-</b> Firmas espectrales del Bosque .....	61
<b>Gráfico 35.-</b> Firmas espectrales del páramo herbáceo - humedales.....	62
<b>Gráfico 36.-</b> Firmas espectrales del páramo .....	62
<b>Gráfico 37.-</b> Firmas espectrales de los pastizales .....	63
<b>Gráfico 38.-</b> Comparación de firmas espectrales de cada clase.....	64
<b>Gráfico 39.-</b> Informe de separabilidad de puntos de entrenamiento .....	65
<b>Gráfico 40.-</b> Comparación entre la imagen original y la clasificada .....	66
<b>Gráfico 41.-</b> Aplicación de majority analysis .....	67
<b>Gráfico 42.-</b> Aplicación de clump.....	67
<b>Gráfico 43.-</b> Aplicación de Combine Classes .....	68
<b>Gráfico 44.-</b> Matriz de confusión - Imagen sin filtros .....	69
<b>Gráfico 45.-</b> Matriz de confusión - Imagen con filtros .....	69
<b>Gráfico 46.-</b> Valoración del coeficiente kappa (Landi y Koch, 1977).....	69



# **I. DETERMINACIÓN DE LA FIRMA ESPECTRAL DE GYNOXYS SP, PARA LA CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSI, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.**

## **II. INTRODUCCIÓN**

La radiometría es una rama de la Física que nos permite describir la propagación de la radiación electromagnética y su comportamiento con los distintos objetos de la superficie terrestre (Gonzalez, 2015), al ser aplicada en teledetección, nos brindan herramientas que permiten el estudio de los recursos naturales, a partir de datos registrados por sensores que se encuentran en plataformas terrestres, aéreas o satelitales (Romero, 2016). Las firmas espectrales forman parte de estas herramientas, facilitándonos el estudio de la vegetación, se obtienen partiendo del principio que los cuerpos absorben longitudes de onda concretas y reflejan otras en proporciones determinadas (Castro, 1999), esta energía es captada por satélites para generar una imagen representada a través de píxeles, requiriendo un pre-procesamiento previo para obtener una firma espectral o a través de un espectro-radiómetro, equipo capaz de generarla directamente de la vegetación en estudio. Esta característica hace posible que se puedan identificar los distintos objetos: suelo, vegetación, agua, etc., debido a que mediante experimentos en laboratorio se ha podido caracterizar el comportamiento de las distintas superficies al recibir radiación artificial y natural, cuantificando los porcentajes de reflexión, absorción y transmisión.

Las cubiertas vegetales se encuentran formadas por una infinidad de especies, cuyo comportamiento espectral, es decir la cantidad de energía reflectante medida en cada individuo sea animal o vegetal a lo largo del espectro, depende de la naturaleza de la misma, de sus interacciones con la radiación solar, factores climáticos, de la presencia de nutrientes y agua en su medio ambiente (Chuvienco, 2008), el estudio de estos factores será de importancia para determinar la firma espectral de *Gynoxys sp*, así una planta sana absorberá menos radiación que una enferma, esto debido a que el contenido de pigmentos disminuye de un estado a otro, de la misma forma el grado de absorción de la radiación solar de la vegetación se relaciona con su contenido hídrico, a su vez con la turgencia de las células y con el grosor de las hojas. Al disminuir su humedad o turgencia, aumenta su

reflectividad y disminuye su absorción en el infrarrojo medio, así a mayor turgencia menor reflectividad y a menor turgencia mayor reflectividad (Reuter, 2015).

Estas variaciones que se presentan hacen únicas a las firmas espectrales y que sea necesario utilizar procesos metodológicos apropiados, que estén acorde a las condiciones de campo, imágenes satelitales y equipo disponible, debido a que los sensores que nos permiten obtener la información para determinar una firma espectral, varían en resolución y en el rango del espectro que trabajan, nuestro estudio se realizara en el bosque de ceja andina, con el espectro-radiómetro FieldSpec 4 Wide-Res Field, equipo de última generación, que junto con el que posee la Universidad Nacional de Chimborazo existen solamente tres en el Ecuador, en lo que respecta a las imágenes satelitales se usaran las provistas por los satélites Landsat 7 con una resolución de 30 m por pixel y Rapideye con resolución de 5 m por pixel, el pre procesamiento que se le debe dar a las mismas para la obtención de la firma espectral debe ser el idóneo para que puedan ser comparadas entre sí.

El presente trabajo investigativo finalizara con la obtención de dos firmas espectrales representativas, la primera a partir de un espectro-radiómetro y la segunda de la comparación de las firmas obtenidas en las imágenes satelitales, que en conjunto con métodos de clasificación supervisada se complementaran como una herramienta importante que permite ubicar geográficamente a la especie en estudio, conjuntamente con la vegetación arbórea y arbustiva a su alrededor, *Gynoxys sp* es una especie forestal nativa que forma parte de los remanentes de bosque que existen en el área de estudio, seleccionada por las facilidades para trabajar tanto con el equipo como con las imágenes satelitales.

## A. JUSTIFICACIÓN

Las múltiples herramientas que posee la teledetección, facilita el trabajo en numerosos campos de aplicación, además de la posibilidades de obtener información de calidad para la gestión de los recursos naturales, una de estas son las firmas espectrales, las mismas se obtiene a partir de imágenes satelitales, dejando de lado su obtención en el campo, sea por el mayor tiempo que requiere o por el costo de los equipos, a nivel de Ecuador se están desarrollando investigaciones de captura de firmas espectrales en campo por el IGM (Instituto Geográfico Militar), estos estudios solamente corresponden a maíz y papa, para la creación de bibliotecas espectrales, por otro lado estudios de este tipo en zonas de páramo y su vegetación no han sido realizados aun, debido al difícil acceso, las condiciones climáticas o la falta de equipos aptos para este tipo de estudios, estos factores ha impedido realizar estudios en los remanentes de bosque de ceja andina, que con el pasar de los años se han ido perdiendo por el avance de la frontera agrícola, el presente trabajo busca realizar un estudio espectral de la zona, determinando la firma espectral de *Gynoxys sp*, especie nativa que forma parte de estos remanentes de bosque, a partir de un espectro-radiómetro e imágenes satelitales de alta resolución, en conjunto con técnicas GIS, de teledetección y el poder de procesamiento de los actuales computadores, nos permitirán ubicar de forma precisa *Gynoxys sp* en conjunto con los remanentes de bosque en el área de estudio y toda la parroquia de achupallas, partiendo del muestro de solo una parte del área, toda la información generada servirá como base para la creación de una biblioteca de firmas espectrales de especies forestales, que brindara a estudiantes y profesores herramientas aplicables en la teledetección, para lo cual se deberá adaptar los procesos descritos en el presente trabajo a los distintos ecosistemas, equipos e imágenes satelitales que existen en el país, lo que facilitara la realización de futuros trabajos investigativos en otras especies forestales, ecosistemas, para planes de conservación y manejo de áreas protegidas.



### **III. OBJETIVOS**

#### **A. GENERAL**

Determinar la firma espectral de *Gynoxys sp*, para la clasificación de imágenes satelitales en el bosque de ceja andina en la parroquia Achupallas, cantón Alausi, provincia de Chimborazo.

#### **B. ESPECIFICOS**

- Elaborar una base de datos a partir de un espectro-radiómetro para la obtención de la firma espectral de *Gynoxys sp*.
- Determinar la firma espectral de *Gynoxys sp* a través de imágenes satelitales para su ubicación en el bosque de ceja andina.
- Realizar la clasificación cartográfica de *Gynoxys sp* a través de imágenes satelitales basada en firmas espectrales

#### **C. HIPOTESIS**

##### **1. Hipótesis Nula**

Los niveles de reflectancia de la firma espectral de *Gynoxys sp* obtenida del radiómetro y las imágenes satelitales difieren entre sí.

##### **2. Hipótesis Alternante**

Los niveles de reflectancia de la firma espectral de *Gynoxys sp* obtenida del radiómetro y las imágenes satelitales no difieren entre sí.

## **IV MARCO TEÓRICO**

### **A. TELEDETECCIÓN**

La teledetección es una técnica que nos permite obtener información de un objeto, área o fenómeno, mediante el análisis e interpretación de los datos de imágenes obtenidas por un equipo específico que no se encuentra en contacto físico con el objeto, área o fenómeno que se encuentra en investigación, al no existir un contacto directo entre el equipo y el objeto, se requiere que entre ambos exista un flujo de información, esta es conocida como radiación electromagnética cuyo mayor emisor es el sol, así la tierra y todos los objetos que se encuentran en la superficie reflejan esta radiación, la cual es utilizada comúnmente en teledetección, otro tipo de emisión puede provenir del mismo equipo, el cual incorporara en sus componentes un rayo emisor de radiación. (Chuvienco, 2008)

Un sistema de teledetección está compuesto por los siguientes elementos:

- **Fuente de Energía:** Es el emisor de la radiación electromagnética que llegará a la superficie terrestre y que será captada por el sensor, esta puede ser: el sol (fuente natural) o el mismo sensor (fuente artificial).
- **Cubierta Terrestre:** Conformada por distintas cubiertas de vegetación, suelo, agua o infraestructura, que al momento de recibir la radiación electromagnética proveniente de la fuente de energía esta será reflejada o emitida de acuerdo a las características físicas de cada una de ellas.
- **Sistema Sensor o Equipo:** Constituido por el sensor y la plataforma que lo sustenta, tienen como función captar la energía emitida por la cubierta terrestre, codificarla y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción para su tratamiento.
- **Sistema de recepción y comercialización:** este sistema recibe la información transmitida por la plataforma y guardarla en un formato específico y apropiado para posteriormente realizar las correcciones necesarias.
- **Intérprete o Analista:** Es la persona encargada de realizar el análisis y la clasificación de la información contenida en la imagen para generar información requerida por la investigación, instituciones, usuario final, etc.

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

## **1. Principios físicos de teledetección**

La energía electromagnética que se propaga a través del espacio proveniente del sol, lo hace en forma de interacción entre campos eléctricos y magnéticos. Los primeros modelos que explican las propiedades de la energía electromagnética fueron la teoría corpuscular de Newton y la teoría ondulatoria de Maxwell. Hoy en día se acepta ambas y se define la energía electromagnética como toda la energía que se desplaza por el espacio a la velocidad constante de la luz y en forma armónica, es decir, en ondas repetitivas e igualmente espaciadas en el tiempo. Así la longitud de onda es la distancia lineal entre dos ondas sucesivas y se mide en unidades métricas y la frecuencia corresponde al número de ondas que se propagan por unidad de tiempo, se mide en ciclos (número de ondas) por segundo (cps). Cuando la energía electromagnética se propaga a través de un medio material la velocidad de propagación dependerá de las propiedades del material y del tamaño de la longitud de onda. (Castro, 1999)

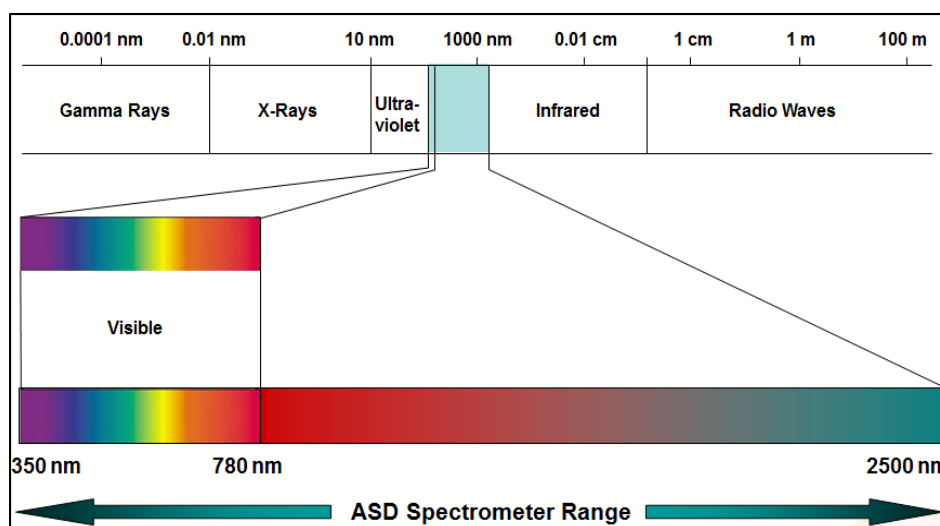
### **a. Espectro electromagnético.**

La energía electromagnética es transferida de un punto a otro de tres maneras: conducción, convección o radiación. Esta última la radiación electromagnética es de interés para la teledetección, la energía radiada basa su comportamiento en la teoría ondulatoria de la luz, siendo un conjunto de ondas que se caracteriza por su tamaño (longitud de onda medida en micrómetros ( $\mu\text{m}$ )) y frecuencia (medido en hertz (Hz)). De esta forma el espectro electromagnético abarca longitudes de onda pequeñas como los rayos gama hasta las más amplias como las ondas de radio. Las longitudes de onda de importancia para la teledetección se encuentran en el intervalo de la luz visible ( $0.39 \mu\text{m}$  –  $0.78 \mu\text{m}$ ), el infrarrojo cercano ( $0.7$ - $0.9 \mu\text{m}$ ), infrarrojo térmico ( $3$ - $14 \mu\text{m}$ ). (Bautista, González, Palacio, & Delgado, 2004)

La radiación electromagnética al hacer contacto con cualquier objeto en la tierra puede ser reflejada, absorbida o transmitida, así la proporción de flujo radiante que es reflejado,

absorbido o transmitido será muy diferente para los distintos objetos de la superficie terrestre, de esta forma es posible identificarlos en base a sus propiedades espectrales, este principio toma como base la teledetección para los respectivos estudios que se realizan. (Bautista, González, Palacio, & Delgado, 2004)

**Gráfico 1.- Espectro Electromagnético**



**Fuente:** Introducción a la Espectrofotometría de Campo ASD

Las diferentes regiones que forman el espectro poseen distintas propiedades:

- Rayos Cósmicos y Gama. - Tienen una longitud de onda menor a 0,03 nm, son totalmente absorbidos por la atmósfera y no utilizables en teledetección.
- Rayos X.- Longitud de onda de 0,03 nm a 10 nm, son absorbidos completamente por los gases de la atmósfera, por lo que no es posible usarla en teledetección. Se han construido emisores de rayos X para penetrar en los tejidos humanos.
- Ultravioleta (U.V). - Su longitud de onda va desde los 10 nm a 0,4  $\mu\text{m}$ . La radiación menor a 0,3  $\mu\text{m}$  es absorbida por el ozono.
- Visible. Su longitud de onda esta desde los 0,4  $\mu\text{m}$  a 0,7  $\mu\text{m}$ . En este rango trabaja la fotografía convencional.
- Infrarrojo (I.R.) Rayo espectral desde 0,7  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$ , su interacción con la materia varía según la longitud de onda. Las principales subregiones son:

- Infrarrojo reflejado: Desde  $0,7 \mu\text{m}$  a  $3 \mu\text{m}$ . Esta subregión se divide a su vez en infrarrojo cercano desde  $0,7 \mu\text{m}$  a  $1,3 \mu\text{m}$  e infrarrojo medio de  $1,3 \mu\text{m}$  a  $3,0 \mu\text{m}$ . Los sistemas fotográficos operan hasta  $0,9 \mu\text{m}$  como límite máximo. Es energía reflejada y no entrega información sobre las propiedades térmicas de los materiales a las temperaturas normales de la superficie terrestre.
- Infrarrojo termal (llamado también lejano): Desde  $3,0 \mu\text{m}$  a  $14 \mu\text{m}$ , pero utilizable en dos ventanas, la primera de  $3 \mu\text{m}$  a  $5 \mu\text{m}$  y la segunda de  $8 \mu\text{m}$  a  $14$  micrómetros. Las imágenes en esta región son obtenidas con barredores termales, sensores óptico mecánico, pero no con películas. (Bautista, González, Palacio, & Delgado, 2004)

## **2. Atmósfera e interacción de la energía**

La radiación electromagnética varía su comportamiento al ingresar a la atmósfera, por esta razón encontramos limitaciones y ventajas al momento de obtener la información de la energía que reflejan los distintos objetos, así se presenta una interferencia selectiva para cada longitud de onda y se debe a los fenómenos de: absorción, dispersión y refracción. (Reuter, 2015)

### **a. Absorción**

Las absorciones en las distintas longitudes de onda variaran en función de la altura y composición de la atmósfera, la región del ultravioleta es absorbida por el  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_3$ , es decir, gran proporción de longitudes de onda inferiores a  $0,3 \mu\text{m}$ . En el rango visible, el ozono ( $\text{O}_3$ ) produce absorción de  $\mu\text{m}$  de  $0,6 \mu\text{m}$  y el oxígeno monocular ( $\text{O}$ ) absorbe entre  $0,69$  y  $0,76 \mu\text{m}$ . Del rango del infrarrojo, el vapor de agua absorbe parte de longitudes  $0,7$  -  $0,8$  -  $0,9$  -  $1,1$  -  $1,4$  -  $1,9$  -  $2,7$  -  $3,2$  -  $6,3$  y  $14 \mu\text{m}$ , el gas carbónico  $1,6$  -  $2$  -  $2,7$  -  $4,3$  y  $15 \mu\text{m}$  y el oxígeno  $12,7 \mu\text{m}$ . (Reuter, 2015)

### **b. Dispersión**

La dispersión se produce por la presencia de partículas en la atmósfera, especialmente de gas, agua y humo. Según su tamaño se pueden producir los siguientes tipos de dispersión:

- Dispersión de Rayleigh, cuando el tamaño de las partículas es menor a la longitud de onda. Se produce una pérdida de energía que aporta el color azul del cielo, es importante para el espectro visible. Se realiza entre los 5.000 a 10.000 metros de altura.
- Dispersión de Mie, cuando el tamaño de las partículas es aproximadamente igual al tamaño de la longitud de onda. Se realiza bajo los 5.000 metros.
- Dispersión no selectiva, se produce cuando el tamaño de las partículas es mayor a la longitud de onda. Esta dispersión explica el color blanco de las nubes. Esta dispersión es producida por el vapor de agua, para longitudes de onda inferiores a 15  $\mu\text{m}$ . (Reuter, 2015)

### **c. Refracción**

La refracción se produce porque la atmósfera es un medio gaseoso, haciendo que la propagación de las ondas no sea en línea recta. Podemos decir entonces que los fenómenos atmosféricos hacen posible la iluminación de los lugares en forma indirecta. La estación del año, día y hora, son importantes porque varían el ángulo de incidencia de la energía solar. La cantidad de energía reflejada por los objetos, acentúa los fenómenos de interferencia atmosférica y aumenta o disminuye la cantidad de superficies bajo sombras. (Reuter, 2015)

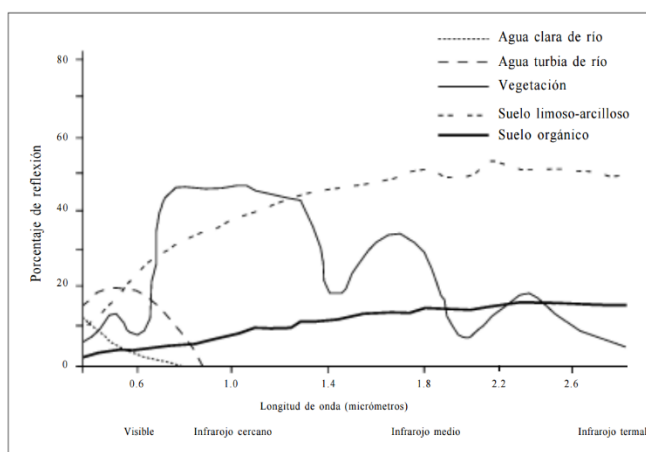
### **4. Firmas Espectrales**

"Cada objeto natural y artificial refleja y emite radiación electromagnética sobre un intervalo de longitudes de onda de una manera característica, de acuerdo con su composición química y el estado físico "(Avery y Berlin 1992). Una vez que la radiación electromagnética atraviesa la atmósfera interacciona con la superficie terrestre, encontrándose con todo tipo de materiales que la conforman, aguas dulces, saladas, tierras desnudas, nieve, zonas de vegetación densa, zonas de vegetación arbustiva, ciudades, etc. Cada tipo de superficie interacciona con la radiación de distintas formas, absorbiendo longitudes de onda muy concretas y reflejando otras diferentes en proporciones específicas dependiendo de la composición propia de cada material, esta característica

hace posible que se puedan identificar los distintos objetos: suelo, vegetación, aguas, etc. (Hernández & Montaner, 2015)

En la región 0,7 a 0,9 micrómetros existe una marcada separación entre las curvas de vegetación, agua, suelo, por lo tanto, puede perfectamente tomarse esta región como básica, para establecer la separación existente de estos tres cuerpos naturales, así las firmas espectrales son indicativas entonces del comportamiento espectral de los distintos objetos en las diferentes bandas espectrales, por lo cual un conjunto de firmas, representativas de diferentes objetos indican en que bandas existe una mayor separabilidad espectral, haciendo más fácil su identificación en las imágenes y su respectiva clasificación, el conocimiento de una firma espectral determinada se logra con mediciones en el laboratorio o en el terreno, mediante instrumentos denominados radiómetros, los datos obtenidos mediante estos instrumentos deben ser considerados en relación a los elementos externos que afectan los datos que se obtienen por los sensores espaciales, estos son: atmósfera, ángulo de iluminación solar, ángulo de observación del sensor, estado fenológico en el caso de los vegetales, época del año, ubicación geográfica, calibración espectral y radiométrica del sensor, cambios en la humedad, etc. (Castro, 1999)

**Gráfico 2.-** Firmas espectrales de las distintas coberturas del suelo



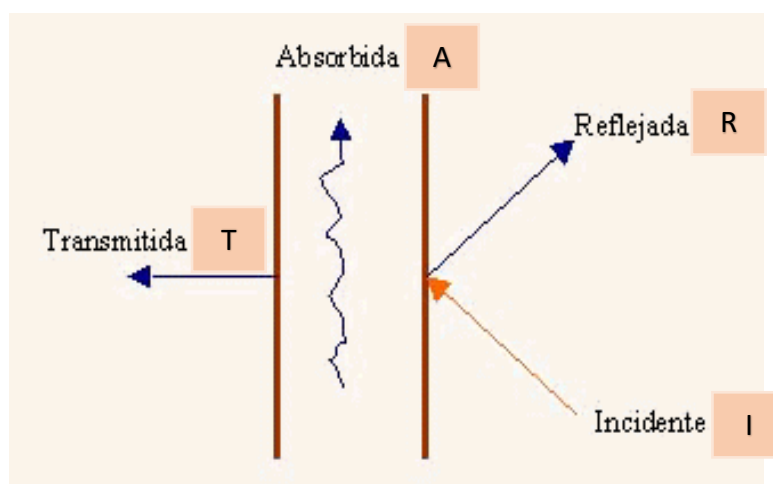
**Fuente:** Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales

### a. Reflectividad de los elementos naturales

El flujo de radiación espectral incidente (I) sobre la tierra puede ser reflejada (R), parte transmitida (T) y parte absorbida (A) al interactuar con los objetos, la reflectancia ocurre

cuando la energía interactúa con una superficie no transparente, corresponde a la capacidad de la superficie de reflejar la energía incidente, se mide mediante la reflectividad que es la relación entre el flujo incidente y el flujo de energía reflejada. La naturaleza de la reflectancia depende del tamaño de las irregularidades de la superficie en relación con la longitud de onda de la radiación considerada. Si la superficie es suave y el particulado o rugosidad es menor que la longitud de onda se produce una reflexión especular, la cual se caracteriza porque refleja la mayor parte de la energía en un flujo único, en el mismo ángulo de incidencia. Esto ocurre con los cuerpos de agua en calma, superficies con espejos y metales. (Castro, 1999)

**Gráfico 3.-** Interacción de la energía con la Superficie Terrestre



**Fuente:** Principios de Teledetección

En las superficies rugosas se produce una reflectividad en todas las direcciones, estas superficies se conocen como reflectores difusos, los que se comportan de acuerdo a la ley de Lambert que enunció que de una superficie perfectamente difusa se percibe un brillo que no cambia con el ángulo de observación. Esta ley es normalmente usada en teledetección para explicar el comportamiento de las superficies naturales, de esta forma se puede hablar de superficies no lambertianas, mixtas y lambertianas. Un ejemplo de superficie no lambertiana es la cubierta vegetal de la vid (viñas), cuya reflectividad varía de acuerdo a la disposición de las cepas y del ángulo de observación. (Castro, 1999)

La respuesta que tienen los objetos al interactuar con la energía, expresada en la energía reflejada, es lo que nos permite identificar cada uno de los objetos de la superficie terrestre, al tener cada uno de los objetos una respuesta espectral única, los sensores

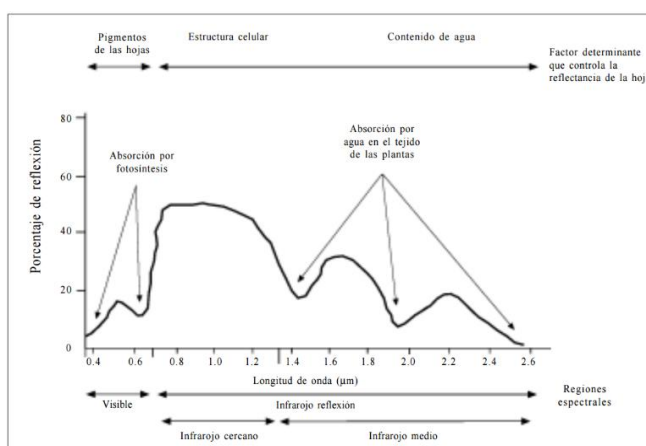


ubicados en plataformas espaciales, como por ejemplo el Thematic Mapper <sup>TM</sup>, a bordo del satélite Landsat 7 y 8, proporcionan medidas de esta respuesta espectral, que está relacionada con las obtenidas en el terreno mediante espectroradiómetros. No obstante, esta relación no es sencilla de establecer debido a los diferentes efectos perturbadores que alteran la señal al pasar a través de la atmósfera. (Castro, 1999)

### 1) Reflectividad de la vegetación.

La reflectividad de la vegetación está directamente relacionado con las hojas que la componen, que es el elemento más visible desde una plataforma espacial, los factores destacados a tener en cuenta son la presencia de los pigmentos, la estructura celular, el contenido de humedad, las características geométricas de la planta, la geometría del dosel y el componente leñoso. La cantidad de energía que es reflejada, absorbida y transmitida en las diferentes longitudes de onda por las hojas, depende de otros factores, aparte de los mencionados anteriormente, como son condiciones atmosféricas, la respuesta espectral del sustrato, presencia de vegetación senescente, elevación angular del sol y del sensor, la geometría de la propia cobertura de los cultivos y los cambios fenológicos. (Chuvieco, 2008)

**Gráfico 4.-** Firma espectral de la vegetación



**Fuente:** Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales

### 1. Absorción de los pigmentos

Las plantas contienen cuatro pigmentos principales, la clorofila a y b, caroteno y xantofila, todos los cuales absorben la energía en el visible para realizar los procesos de

fotosíntesis, teniendo una baja reflectividad de la vegetación en las zonas del espectro visible correspondientes al azul (0,445  $\mu\text{m}$ ) y al rojo (0,645  $\mu\text{m}$ ) dada por la presencia de clorofila a y b, las cuales son responsables de la absorción en estas longitudes de onda. Los carotenos y xantofilas lo hacen con las longitudes del verde (0,55  $\mu\text{m}$ ) donde el efecto absorbente es menor lo que ocasiona un pico relativo de reflectividad que al coincidir con la banda del verde causa el color con el que vemos a la vegetación vigorosa. (Chuvieco, 2008)

## **2. Estructura fisiológica**

La elevada reflectividad existente en el infrarrojo cercano se debe por la baja absorción que tiene la clorofila pero principalmente a la estructura interna de la hoja, como se sabe la hoja se compone en esencia de cuatro capas: la epidermis superior e inferior, el parénquima en empalizada y el mesófilo esponjoso, las dos primeras tienen un papel fundamental en la regulación térmica de la planta y absorción del  $\text{CO}_2$ , por su parte el parénquima posee los cloroplastos y en el mesófilo se dan los intercambios gaseosos para la respiración de la planta, motivo por el cual cuenta con cavidades de aire internas que dispersan la mayor parte de la radiación interna en el Infrarrojo. (Chuvieco, 2008)

## **3. Efecto del ángulo de elevación solar**

Los rayos solares ingresan en una cubierta vegetal, cuando mayor es su verticalidad, por este motivo varía la iluminación de la superficie y la sombra producida, con la incidencia correspondiente sobre la reflectancia, este efecto lo podemos observar en dos niveles temporales, el primero como consecuencia de la variación de la elevación solar a lo largo del día y el segundo por la variación a lo largo del año, lo cual debe ser tomado en cuenta al momento de realizar las mediciones. (Reuter, 2015)

## **4. Contenidos de agua**

En el infrarrojo medio, la respuesta espectral de la vegetación está determinada por su contenido de humedad, el agua contenida en la vegetación presenta una alta absorción en las longitudes de onda a partir de los 1,4  $\mu\text{m}$ , 1,9  $\mu\text{m}$  hasta los 2,7  $\mu\text{m}$  lo que significa una baja reflectividad por parte de la vegetación en estos valores, de esta forma la absorción

de la radiación solar por la vegetación con relación a su contenido de humedad estará dado de la siguiente manera: al disminuir su humedad, aumenta su reflectividad y disminuye su absorción en el infrarrojo medio, se tiene entonces, a mayor contenido de humedad menor reflectividad y al ser menor su reflectividad será mayor. (Chuvieco, 2008)

### **5. Efecto del suelo**

A medida que el desarrollo de una cubierta vegetal vaya en aumento, la influencia del suelo va siendo progresivamente menor, y su identificación más compleja, en el caso de una cubierta forestal su reflectancia dependerá de los árboles y el suelo, el que puede estar cubierto por un estrato herbáceo y arbustivo, si la densidad del arbolado es muy pequeña, las características de reflectancia, serán del suelo y los estratos presentes. (Reuter, 2015)

### **6. Efecto de la geometría de la cobertura**

La geometría del cultivo determina la cantidad de luz solar que es interceptada y que interacciona con la vegetación y con el suelo. El efecto de la disposición de la cobertura está en función del ángulo solar, produciéndose alteraciones en la reflectancia por la cantidad de sombras que se producen, disminuyéndola por predominancia de la reflectancia del suelo. (Castro, 1999)

### **7. Efecto de la fenología**

La reflectividad de una cubierta vegetal depende en gran medida de su estado fenológico, es decir, del grado de crecimiento o madurez de la vegetación. Es importante considerar de igual forma, los eventos externos que afectan las cubiertas vegetales y que determinan cambios en sus respuestas normales, como por ejemplo enfermedades fitosanitarias, golpes de calor, sequías, etc. (Castro, 1999)

### **8. Factores externos**

Como factores externos que afectan la reflexión en las plantas, se consideran: deficiencias de agua, deficiencias de nutrientes del suelo, salinidad del suelo, depósitos de minerales,

variaciones estacionales, factores climáticos. Los factores externos afectan la reflectancia de las hojas y de las plantas en su conjunto, debido a que producen cambios en: pigmentación, estructura del mesófilo, contenido de agua y propiedades de la superficie de la hoja. La proporción de radiación reflejada por una cubierta vegetal está además afectada por otros factores como:

- Variabilidad de la radiación solar según factores atmosféricos y condiciones diurnas y nocturnas.
- Transformaciones de la radiación electromagnéticas a nivel de superficie de suelo.
- Variables de la cobertura aérea y orientación de las hojas.
- Índices de cobertura foliar. (Castro, 1999)

## **b. Espectro-radiómetro**

La adquisición de firmas de espectrales en el terreno o en el laboratorio ha permitido profundizar en el conocimiento de la respuesta espectral de la vegetación y a su vez facilita la calibración y validación de imágenes y productos obtenidos por sensores remotos, el espectro-radiómetro es un instrumento que nos permite obtener las firmas en campo, midiendo la radiación de luz entrante, así como la reflectancia y la transmitancia en un rango espectral, es decir, permite medir la intensidad cuantitativa o absoluta en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, toda esta información finalmente es procesada por el software del equipo, complementariamente nos permite tomar puntos de control para validar información de sensoramiento remoto. (González, y otros, 2015)

### **1) FieldSpec 4 Wide-Res Field Spectroradiometer**

Los 3 nm VNIR (Visible y el Infrarrojo Cercano) y 30 nm SWIR (Infrarrojo de Onda Corta) de resolución espectral del espectro-radiómetro de campo FieldSpec 4 Wide-Res, es una solución rentable para el análisis de cualquier material con características espectrales amplias, como los análisis de la vegetación desde pastizales hasta bosques y estudios de agua, son áreas de aplicación comunes que se asocian con las características espectrales más amplias. (Asdi, 2015)

#### **4. Imágenes satelitales**

Los datos obtenidos a través de sistemas de teledetección, tales como las imágenes de satélite, son una medida de la radiación solar reflejada por la superficie terrestre, de la energía emitida por la tierra misma o de la energía emitida por un sistema RADAR o LiDAR (sistemas activos) que es reflejada por la superficie terrestre. Una imagen consiste de un arreglo de píxeles (picture elements) o celdas, las cuales están ordenadas en filas y columnas. Cada píxel tiene un número digital (DN, por las siglas en inglés), que representa la intensidad de la señal recibida o reflejada por un área dada de la superficie de la tierra. El tamaño de la unidad del terreno correspondiente a un píxel se denomina resolución espacial y variara de acuerdo a las capacidades de cada sensor. Una imagen puede consistir de muchas capas o bandas, son creadas por el sensor que colecta la energía en longitudes de onda específicas del espectro electromagnético. (Nijmeijer, Haas, & Dost, 2015)

##### **a. Clasificación de imágenes satelitales**

La clasificación de una imagen satelital es una tarea que nos permite convertir datos cuantitativos (los niveles digitales que posee cada pixel) en datos cualitativos (clases de importancia en el área de estudio), su función principal radica en representar un fenómeno que ocurre sobre la superficie terrestre agrupando los datos obtenidos por los sensores remotos, una buena clasificación debe representar con exactitud la realidad existente de acuerdo a cada una de las imágenes satelitales utilizadas. Los algoritmos de clasificación de imágenes se pueden dividir en dos grupos, supervisados y no supervisados. (Lizarazo, 2008)

##### **1) Clasificaciones Supervisadas**

En las clasificaciones supervisadas se requiere la participación activa del analista que esté realizando la clasificación de la imagen de satélite, en este caso, el técnico que está llevando a cabo la tarea debe indicar al software que debe realizar en cada momento para lo cual se requiere una fase de entrenamiento en la cual se usara muestras representativas

de las clases seleccionadas de las cuales se conoce la naturaleza de la superficie, para posteriormente elegir el algoritmo clasificador. (Lizarazo, 2008)

## 1. Algoritmos para clasificación supervisada

**Clasificador de caja:** Es el método más sencillo de clasificación: En el espacio 2-D, se crean rectángulos en torno a las características muestreadas de cada clase, en 3-D son en realidad cajas (bloques). La posición y el tamaño de las cajas pueden ser "exactamente en torno" los vectores característicos (método de Min-Max), o de acuerdo a la media del vector (esta será el centro de una caja) y las desviaciones estándar del vector característico, calculado por separado por característica (esto determina el tamaño de la caja en esa dimensión). En ambos casos, el usuario puede cambiar el tamaño introduciendo un "factor de multiplicación". En algunas partes del espacio característico donde se superponen las cajas, es habitual dar prioridad a la caja más pequeña. Los vectores característicos en la imagen que quedan fuera serán "desconocidos". (Monterroso, 2015)

**La distancia mínima a la media del clasificador:** En primer lugar, para cada clase calcula la media del vector característico entrenado. Entonces, el espacio característico es dividido por dar a cada vector característico la etiqueta de media de la clase del vector más cercano, según métricas Euclidianas. Por lo general, es posible especificar un umbral de distancia máxima: si la media más cercana está todavía más lejos que ese umbral, se supone que ninguna de las clases es bastante similar y el resultado será "desconocido". (Monterroso, 2015)

**Clasificador de la distancia mínima Mahalanobis:** Para los valores espectrales de un píxel que se clasificara, las distancias hacia el medio de clase se calculan como distancias Mahalanobis. La distancia Mahalanobis depende de la distancia hacia la media y la matriz de varianza-covarianza de cada clase. El nombre de la clase con la menor distancia Mahalanobis se le asigna, si esta distancia es menor que la definida por el usuario, el valor umbral. Si no, el valor asignado será indefinido. (Monterroso, 2015)

**Clasificador Gaussiano de máxima verosimilitud:** Supone que los vectores característicos de cada clase son (estadísticamente) distribuidos de acuerdo a una "función de densidad de probabilidad normal multivariante". Las muestras de entrenamiento se utilizan para estimar los parámetros de las distribuciones. Los límites entre las diferentes particiones en el espacio característico son colocados donde se presentan cambios de una clase a otra. Se llaman límites de decisión. (Monterroso, 2015)

**Clasificación por redes neuronales:** Se basan en el uso de redes neuronales artificiales que, se supone, imitan a las redes neuronales reales en el desarrollo de tareas de aprendizaje. Una neurona artificial es un objeto lógico (se trata de software no de hardware) que recibe diversas entradas, hace una media ponderada de las mismas y produce una salida a partir de la aplicación de una función umbral a la media ponderada. Si conectamos las salidas de unas neuronas como entradas de otras obtenemos una red neuronal. Uno de los ejemplos más típicos de red neuronal es el la Back Propagation Neural Network, consta de una capa de entrada con tantas neuronas como variables de entrada se vayan a introducir en el modelo (en el caso de la teledetección sería una por cada banda utilizada para clasificar), una capa oculta que realiza la mayor parte del cálculo y una capa de salida con tantas neuronas como posibles clases existan. En teledetección esta salida suele consistir en un valor numérico entre 0 y 1 para cada clase, cuanto mayor sea este valor más verosímil resulta que el pixel pertenezca a la clase en cuestión Para trabajar con una red neuronal existen varias fases:

- **Entrenamiento.** Se le introducen a la red la respuesta espectral de pixeles cuya clase se conoce y se compara la salida con la realidad. A partir de esta comparación se modifican los coeficientes de ponderación de todas las neuronas para que se obtenga la respuesta adecuada (se trata de un procedimiento automático) es decir un 1 en la clase correcta y ceros en las incorrectas
- **Estabilización.** Al principio del entrenamiento, los factores de ponderación cambian muy deprisa, pero conforme este se desarrolla (y si las áreas de entrenamiento se han seleccionado correctamente) se estabilizan (no se modifican, aunque se vuelvan a introducir los pixeles de entrenamiento). En este momento finaliza la fase de entrenamiento.

- **Clasificación.** Se introducen las respuestas espectrales de los píxeles cuya clase no se conoce y se adjudican a la clase que dé una respuesta más alta. (Yébenes & Gines, 2015)

## 2) Clasificaciones no Supervisadas

Las clasificaciones no supervisadas guardan relación con el valor relativo al color, al tono o al clúster (grupo o agrupamientos), para identificar entidades. En este caso concreto, el analista deberá validar el resultado de la clasificación una vez esta haya sido llevada a cabo. En el caso anterior, el operador puede influir en gran medida en el proceso de clasificación mientras esta se está desarrollando, y controlando. En esta segunda técnica de clasificación, la influencia que puede ejercer el operador es prácticamente nula, más allá de seleccionar el algoritmo de clasificación que va a utilizarse. Por normal general, mediante este tipo de técnicas de clasificación deberá llevarse a cabo varias veces el mismo proceso para obtener diferentes resultados, que acabaran agregándose para obtener un resultado final considerado válido. (Yébenes & Gines, 2015)

## B. BOSQUE MONTANO

Las zonas montañosas tropicales, específicamente los Andes del norte y centro, constituyen el más importante hotspot de diversidad florística y biológica a nivel mundial. Los bosques montanos son el tipo de ecosistema dominante de este paisaje y que se distribuye entre el límite superior del piso basimontano hasta límite inferior del piso altoandino; es decir desde la zona de transición con los bosques de tierras bajas hasta el inicio del páramo. (Suárez Duque, 2008)

La altitud y el régimen pluvial son los principales criterios usados para clasificar a los bosques de montaña. Por la altitud se distingue entre bosques subandinos o montano bajos, bosques montanos y bosques montano altos; mientras que por el régimen climático se puede hablar de tres grandes grupos: bosques montanos pluviales (también llamados bosques de neblina o siempreverdes), bosques montanos estacionales y bosques xerofíticos. (Suárez Duque, 2008)



## **1. Bosque montano alto “Ceja Andina”**

El bosque montano alto ocupa la franja superior de los ecosistemas montañosos y es el tipo de formación vegetal que en su límite superior está en contacto con el páramo. En Ecuador se extiende desde aproximadamente 3000 hasta 3400 m en la cordillera occidental y entre 2 900 a 3 600 m en la cordillera oriental de la región norte y centro del país. Del estudio realizado por Beltrán *et al.* (2009) se desprende que el área total ocupada por bosques altimontanos es de un 4 % del territorio nacional, es decir cerca de 956 613 ha. (Richter & Muñoz, 2005)

Se caracteriza por la presencia de lluvia horizontal. Típicamente la humedad permanece en la atmósfera y resulta que la evapotranspiración casi nunca excede la pluviosidad. Se caracterizan también por la presencia de epífitas y musgos que crecen en los árboles. La mayoría de especies de epífitas son Orchidaceae, pero las Araceae y Bromeliaceae son las más abundantes. Estos bosques montanos son clave para asegurar cuencas hidrográficas porque capturan de 5-20% sobre el volumen normal de la precipitación. (Richter & Muñoz, 2005)

Este tipo de vegetación se encuentra en las provincias de Bolívar, Carchi, Chimborazo, Imbabura, Pichincha y Tungurahua. El dosel de los árboles está entre los 5 y 10 metros de altura. Actualmente el bosque de ceja andina está presente en forma de islas de bosque natural (fragmentos o parches) relegados a las quebradas, o en suelos con pendientes pronunciadas. Este aislamiento de bosques se debe a varios factores, como los provocados por deslizamientos, derrumbes u otros desastres naturales y los ocasionados por el ser humano. Este tipo de vegetación se caracteriza por ser una zona de transición entre el bosque montano y el páramo, el suelo está cubierto densamente de musgo y los árboles crecen irregularmente, con troncos ramificados desde la base. (Bussmann, 2005).

## **2. *Gynoxys Sp***

El género *Gynoxys* crece en la parte alta de los andes y a veces se le confunde con los quishuares, pertenece a la familia Asteraceae, son arbustos o árboles pequeños hasta 5 m,

en el Ecuador se los observa en la ceja andina y en el sub-paramo hasta los 4000 msnm, resiste nevadas, vientos fríos fuertes y húmedos, y prospera en diferentes clases de suelo, incluyendo los de baja fertilidad y con pH ácido, rebrota con facilidad. Las utilidades que tiene son la obtención de leña y carbón que no necesita secarse para su combustión. (Ordóñez, Aguirre, & Hofstede, 2015)

#### **a. Descripción Taxonómica**

- **Reino:** Plantae
- **División:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Asterales
- **Familia:** Asteraceae
- **Género:** *Gynoxys*

#### **b. Descripción Botánica**

Su raíz principal es pivotante, tallo leñoso con ramitas de blanco a café, hojas opuestas, pecioladas, oblongas-lanceoladas sus peciolo de 0.5 a 1 cm de largo, de color verde a verde oliva cutícula brillante en el haz, el envés posee un tono grisáceo con un borde ligeramente aserrado, la inflorescencia es una cima de flores compuestas, el fruto es un aquenio. Su reproducción es sexual (Semillas) y asexual (estocónes, estacas y cultivos de tejido vegetales in vitro). (Ordóñez, Aguirre, & Hofstede, 2015)

## **V. MATERIALES Y METODOS**

### **A. CARACTERISTICAS DEL LUGAR**

#### **1. Localización**

El presente trabajo se realizó en el bosque se ceja andina ubicado en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

##### **a. Superficie**

La parroquia Achupallas tiene una superficie de 97273.72 Ha

#### **2. Características Climáticas**

Datos obtenidos de la Estación Meteorológica Jubal (EMJ)-UNACH 2014.

- Temperatura promedio anual: 8 °C
- Humedad relativa: 86.2 % promedio anual.
- Precipitación promedio anual: 870 mm

#### **3. Clasificación Ecológica**

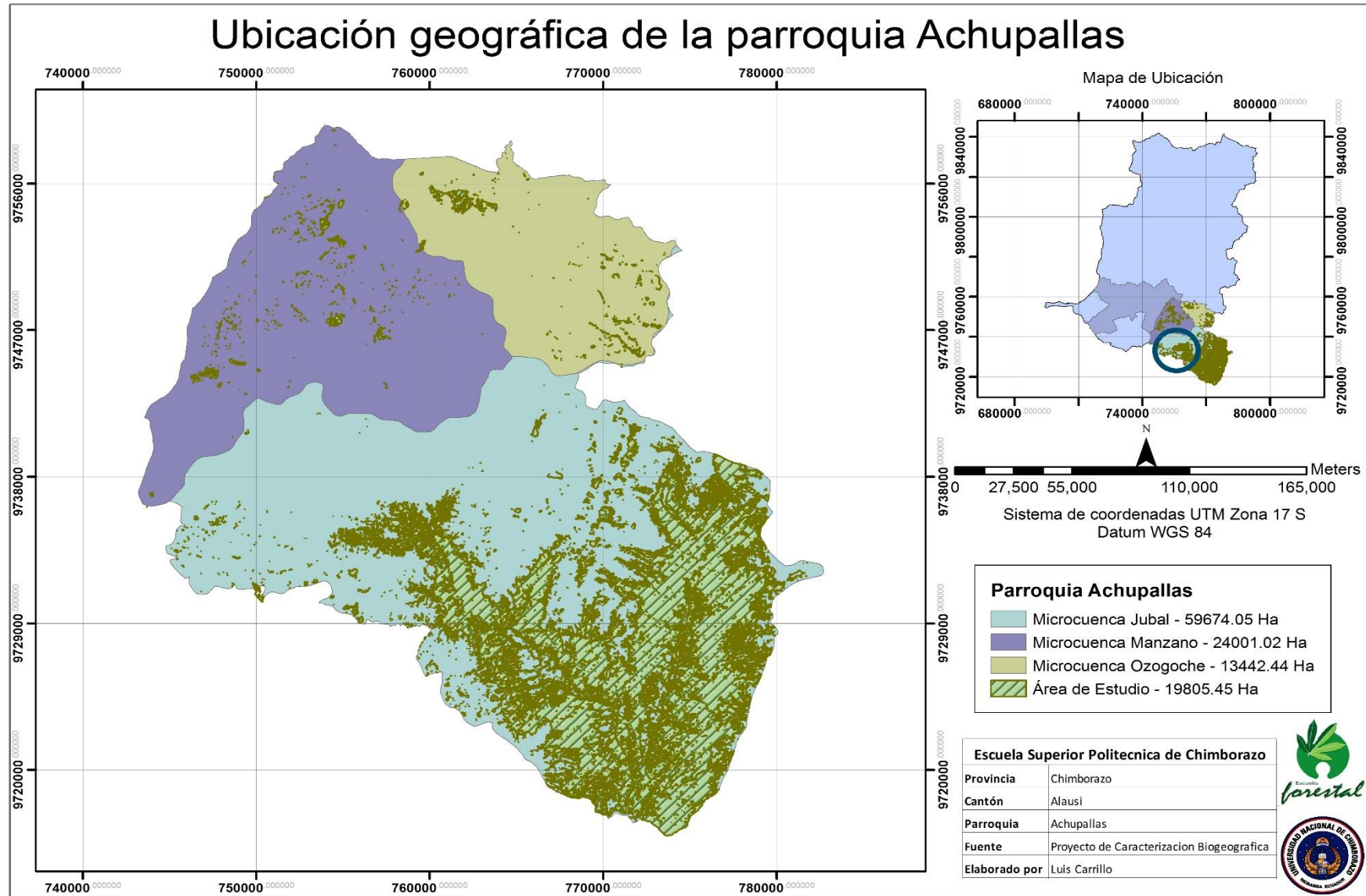
Según el sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador) la parroquia Achupallas está conformada por los siguientes ecosistemas: bosque siempre verde montano alto en altitudes de 2900 msnm hasta los 3300 msnm y bosque montano alto superior de páramo en altitudes de 3200 msnm hasta los 3900-4100 msnm

#### **4. Ubicación geográfica**

**Coordenadas Proyectadas:** UTM ZONA 17 Sur / Datum WGS 84

**X:** 748063 E **Y:** 9746940 N **Altura:** 3920 msnm

Mapa 1.- Ubicación geográfica del área de estudio



Fuente: Carrillo L.

## **B. MATERIALES Y EQUIPOS**

### **1. Materiales de campo**

- Espectro-radiómetro de firmas espectrales Fiel Spec 4 Widerange: 350 – 2500 nm, Pistol Grip, GPS Juno de precisión, Libreta para Campo, Cámara Fotográfica y Equipo de acampar.

### **2. Materiales de oficina**

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

### **3. Materiales informáticos**

- RS3 Spectral Acquisition de ASD, ViewSpec Pro de ASD, Arc Gis 10.2.2, Microsoft Office Word, Microsoft Office Excel y ENVI 5.0.

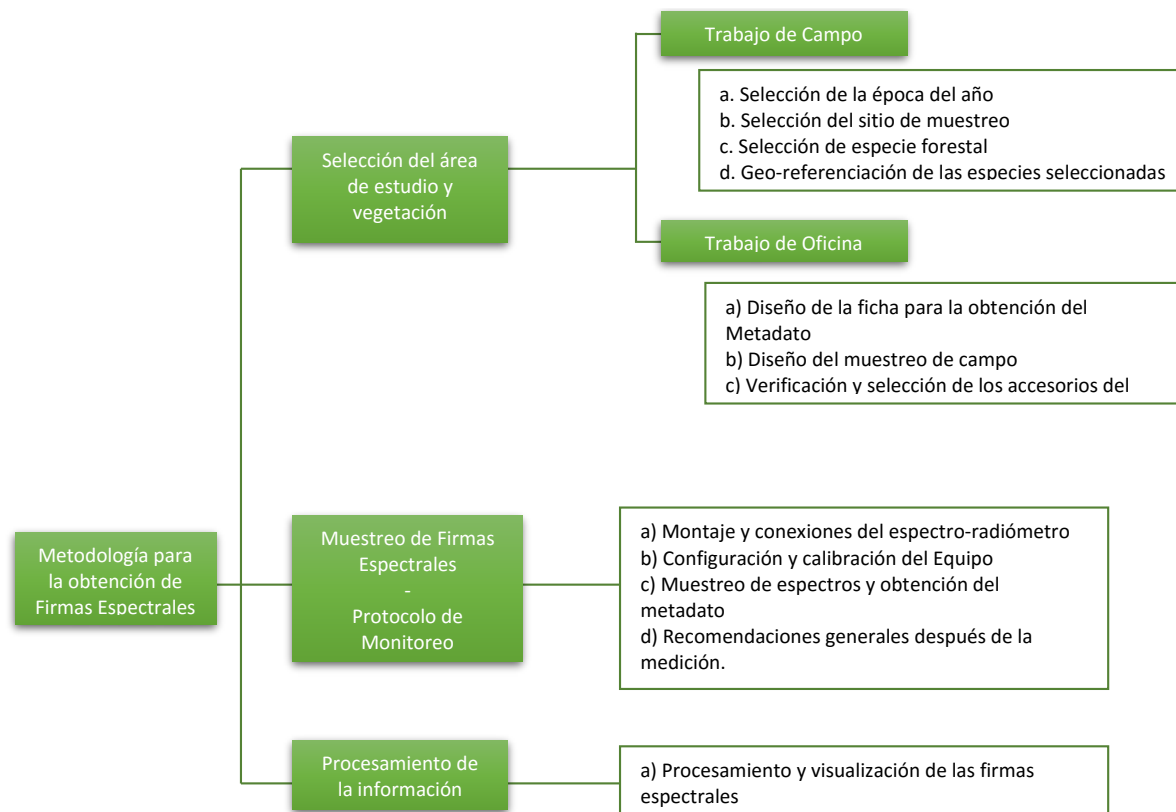
## C. METODOLOGIA

### 1. Elaboración de una base de datos a partir de un espectro-radiómetro para la obtención de la firma espectral de *Gynoxys sp.*

#### a. Recolección de las firmas espectrales de *Gynoxys sp.* a partir del espectro-radiómetro FieldSpec 4 Wide-Res Field

El proceso de análisis y recolección de las firmas espectrales se realizó en base a la información obtenida del siguiente documento: “Elaboración de una metodología para determinar firmas espectrales en bosque de ceja andina, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo”, que fue elaborado en colaboración con la Universidad Nacional de Chimborazo y reposa en los archivos de la biblioteca de la Facultad de Recursos Naturales y es de mi autoría (Anexo 1). En el siguiente gráfico se resume el procedimiento a seguir:

**Gráfico 5.-** Metodología para la obtención de firmas espectrales en campo



Elaborado por: Carrillo. L

## b. Elaboración de una base de datos para firmas espectrales

Con los datos obtenidos en el campo se elaboró una base de datos en Excel con el siguiente procedimiento:

1. La información se procesó mediante software View Spec Pro de ASD el cual nos permitió obtener los valores de reflectancia de las firmas obtenidas en el campo, luego se transformó a formato ASCII cuya extensión es .txt, para ser procesada en Excel.
2. En Excel se procesó la información eliminando la que esta fuera del rango, (el espectro-radiómetro captura la información del espectro electromagnético desde los 350 hasta los 2500 nanómetros) para el estudio solo se necesitó hasta los 1800 nm, este intervalo representa la reflectancia de la vegetación. La información se agrupo por días, para cada uno, la obtenida a las 10:00, 12:00 y 14:00 horas.

## c. Análisis estadístico de los niveles de reflectancia de las firmas espectrales.

El análisis estadístico se realizó para comprobar si existe una variación significativa de los niveles de reflectancia de las firmas espectrales obtenidas para cada día, se seleccionaron tres puntos de interés (longitud de onda específica) para la región visible, infrarrojo cercano e infrarrojo medio del espectro electromagnético que forma la firma espectral obtenida, (Tabla 1),

**Tabla 1.-**Puntos de interés del espectro electromagnético

Espectro Electromagnético					
Visible		Infrarrojo Cercano		Infrarrojo Medio	
Clorofila a - b	Azul 445 nm	Estructura de la hoja	800 nm	Absorción del agua	1400 nm
	Rojo 645 nm		900 nm		1600 nm
Carotenos y Xantofilas	Verde 550 nm		1000 nm		1700 nm

**Elaborado por:** Carrillo. L

Para comparar los niveles de reflectancia en los puntos de interés se elaboró un DCA (Diseño completamente al azar), se realizaron un total de diez repeticiones (firma espectral), evaluando la energía electromagnética que recibe *Gynoxys sp.* en las tres horas

de muestreo 10:00, 12:00 y 14:00 (Tratamientos) a través de la energía que refleja la planta (Tabla 2), permitiéndonos aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

**Tabla 2.-**Diseño completamente al azar para analizar niveles de reflectancia.

<b>Día</b>	<b>Horas (Tratamientos)</b>		
<b>Repeticiones (Firma Espectral)</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Elaborado por: Carrillo. L

#### **d. Obtención de una firma representativa de *Gynoxys sp.***

Comprobado que no exista una diferencia significativa entre los niveles de reflectancia de las firmas espectrales, con SAMS (Software de análisis de espectros compilado en Java), se analizó las firmas espectrales tomando en cuenta su comportamiento en longitud y amplitud de onda a lo largo del espectro electromagnético, se eliminaron las firmas espectrales con demasiado ruido o las que sus valores de reflectancia no se encuentran dentro de la tendencia que genera *Gynoxys sp.*, para evitar alteraciones al momento de determinar la firma espectral representativa, a través de los valores de reflectancia medios, máximos y mínimos de la especie.

## **2. Determinación la firma espectral de *Gynoxys sp* a través de imágenes satelitales para su ubicación en el bosque de ceja andina.**

### **a. Toma de puntos de control de *Gynoxys sp* en el bosque de ceja andina**



Se recorrió el área de estudio, tomando puntos GPS de ubicación de *Gynoxys sp*, lo que nos permitió ubicarla de manera exacta dentro los pixeles que conforma las imágenes satelitales.

## **b. Pre-procesamiento de imágenes satelitales**

Para este estudio se utilizó dos imágenes satelitales, la primera del satélite Landsat 7 TM+ con una resolución de 30 m, la segunda imagen del satélite Rapideye con una resolución de 5 m, ambas con una corrección previa para su análisis, su información por defecto se encuentra almacenada en niveles digitales (DN), para la obtención de la firma espectral esta información debe transformarse a los valores de reflectancia, para lo cual se aplicó una corrección atmosférica en ENVI, donde los DN se transformaron a valores de radiancia mediante una ecuación propia para cada imagen, finalmente estos valores se transformaron a reflectancia a través del módulo FLAASH y QUAC con el fin de obtener los mejores resultados con el fin de facilitar la teledetección, el procedimiento para cada imagen se describe a continuación.

### **1) Imágen Rapideye**

**Paso 1.-** Se realizó la conversión de niveles digitales a radiancia utilizando la siguiente ecuación

$$\text{Radiancia (L)} = \text{ND} * \text{Factor de escala radiométrico}$$

La ecuación se ingresó en la herramienta **Band Math**, donde se sustituyó ND por la banda correspondiente a procesar, el factor de escala radiométrico se extrajo de los metadatos disponibles para la imagen, como resultado se obtuvo los valores de radiancia para cada pixel en unidades de watts por estereorradián por metro cuadrado. Para que el módulo ENVI FLASSH pueda procesar los valores de la imagen, se transformó a formato BIL (se usó la versión de 32 Bits de ENVI que soporta el módulo de corrección).

**Paso 2.-** En el módulo FLASSH se abrió la imagen resultante del paso 1, con la ayuda del metadato se ingresó la información requerida para el sensor RapidEye: fecha y hora

de captura, coordenadas del punto central de la escena, altitud del sensor, elevación del terreno del punto central, de acuerdo a la capacidad del equipo es recomendable asignar un tamaño de archivo de 500 Mb a 1000 Mb, el resto de parámetros se dejó por defecto. La imagen final tendrá la corrección atmosférica cuyos valores corresponde a niveles de reflectancia.

## 2) Imagen Landsat 7

**Paso 1.-** Se realizó la conversión de niveles digitales a radiancia para lo cual se usó la siguiente ecuación

$$L\lambda = \left( \frac{LMax\lambda}{Qcalmax} - \frac{LMin\lambda}{Qcalmin} \right) (Qcal - Qcalmin) + LMin\lambda$$

O

$$L\lambda = (G_{Rescale} \times Qcal) + B_{Rescale}$$

Donde

$$G_{Rescale} = \left( \frac{LMax\lambda}{Qcalmax} - \frac{LMin\lambda}{Qcalmin} \right)$$

$$B_{Rescale} = LMin\lambda - \left( \frac{LMax\lambda}{Qcalmax} - \frac{LMin\lambda}{Qcalmin} \right) Qcalmin$$

Donde

$L\lambda$ = Spectral radiance at the sensor's aperture [W/(m<sup>2</sup> sr μm)]

$Qcal$ = Quantized calibrated pixel value [DN]

$Qcalmin$ = Minimum quantized calibrated pixel value corresponding to  $LMIN\lambda$  [DN]

$Qcalmax$ = Maximum quantized calibrated pixel value corresponding to  $LMAX\lambda$  [DN]

$LMIN\lambda$ = Spectral at-sensor radiance that is scaled to  $Qcalmin$  [W/(m<sup>2</sup> sr μm)]

$LMAX\lambda$ = Spectral at-sensor radiance that is scaled to  $Qcalmax$  [W/(m<sup>2</sup> sr μm)]

$Grescale$ = Band-specific rescaling gain factor [(W/(m<sup>2</sup> sr μm))/DN]

$Brescale$ = Band-specific rescaling bias factor [W/(m<sup>2</sup> sr μm)]

Las ecuaciones y los datos para las mismas se obtuvieron a partir del artículo científico: Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors (Gráfico 6).

### Gráfico 6.- Coeficientes de calibración para imágenes Landsat 7

L7 ETM+ Sensor ( $Q_{calmin} = 1$ and $Q_{calmax} = 255$ )							
Band	Spectral range	Center wavelength	LMIN <sub>λ</sub>	LMAX <sub>λ</sub>	C <sub>rescale</sub>	B <sub>rescale</sub>	ESUN <sub>λ</sub>
Units	μm		W/(m <sup>2</sup> sr μm)		(W/m <sup>2</sup> sr μm)/DN	W/(m <sup>2</sup> sr μm)	W/(m <sup>2</sup> μm)
<i>Low gain (LPGS)</i>							
1	0.452-0.514	0.483	-6.2	293.7	1.180709	-7.38	1997
2	0.519-0.601	0.560	-6.4	300.9	1.209843	-7.61	1812
3	0.631-0.692	0.662	-5.0	234.4	0.942520	-5.94	1533
4	0.772-0.898	0.835	-5.1	241.1	0.969291	-6.07	1039
5	1.547-1.748	1.648	-1.0	47.57	0.191220	-1.19	230.8
6	10.31-12.36	11.335	0.0	17.04	0.067087	-0.07	N/A
7	2.065-2.346	2.206	-0.35	16.54	0.066496	-0.42	84.90
PAN	0.515-0.896	0.706	-4.7	243.1	0.975591	-5.68	1362
<i>High Gain (LPGS)</i>							
1	0.452-0.514	0.483	-6.2	191.6	0.778740	-6.98	1997
2	0.519-0.601	0.560	-6.4	196.5	0.798819	-7.20	1812
3	0.631-0.692	0.662	-5.0	152.9	0.621654	-5.62	1533
4	0.772-0.898	0.835	-5.1	157.4	0.639764	-5.74	1039
5	1.547-1.748	1.648	-1.0	31.06	0.126220	-1.13	230.8
6	10.31-12.36	11.335	3.2	12.65	0.037205	3.16	N/A
7	2.065-2.346	2.206	-0.35	10.80	0.043898	-0.39	84.90
PAN	0.515-0.896	0.706	-4.7	158.3	0.641732	-5.34	1362

**Elaborado por:** (Chander, Markham, & Helder, 2009)

Para ello se utilizó la herramienta Band Math, donde se sustituyó Qcal por la banda correspondiente a procesar. Finalizado este proceso para que el módulo ENVI QUAC pueda procesar la imagen se transformó a formato BIL.

**Paso 2.-** Para alcanzar los valores de reflectancia en la imagen Landsat 7 se utilizó el módulo QUAC (Quick Atmospheric Correction) el cual es un modelo avanzado que utiliza el espectro medio de los endmembers. Los Endmembers (pixel puro) son materiales espectralmente puros, únicos que se producen en una escena, ya que el valor espectral de un pixel en sí, representan una mezcla de materiales. La Imagen procesada se ingresó en el módulo, fue reconocida y el programa comenzó procesarla.

#### c. Determinación de una firma espectral representativa para *Gynoxys sp*

Luego del procesamiento de las imágenes, con la herramienta **Espectral Profile**, se obtuvo y almaceno la firma espectral de cada uno de los puntos de control, con el software SAMS se analizó las firmas espectrales capturadas de las dos imágenes, obteniendo una firma representativa de la especie en estudio con el software SAMS.

### **3. Clasificación cartográfica de *Gynoxys sp* a través de imágenes satelitales basada en firmas espectrales**

El método seleccionado para la clasificación de las imágenes es supervisado, por el conocimiento que tenemos del área de estudio, el cual se verá complementado por las firmas espectrales de los puntos de control definiendo una clase para *Gynoxys* con su ROIs específico, el procedimiento a seguir se describe a continuación.

#### **a. Clasificación supervisada**

##### **1) Puntos de calibración GPS de campo.**

Conjuntamente con los puntos de control para la obtención de la firma espectral de *Gynoxys sp*, se tomaron otros que nos permitan diferenciar las distintas clases a las que se llegó en la clasificación, entre más puntos tomados el software será capaz de diferenciar de mejor manera cada pixel al momento de aplicar el algoritmo clasificador.

##### **2) Selección de áreas de entrenamiento**

A partir de los puntos de control se generó las áreas de entrenamiento a través de los ROIs (“Puntos de control” por sus siglas en ingles), con los ROIs se indicó al software que represente cada uno de los puntos de control tomados en campo de las clases deseadas, escogiendo las regiones más homogéneas posibles mediante la herramienta **ROIs Tools**.

##### **3) Análisis de separabilidad de los ROIs.**

Creados los ROIs para la clasificación se verifico que las clases generadas sean diferentes entre sí, en ENVI se realizó un análisis estadístico de separabilidad entre los ROIs, usando la herramienta **Computer ROIs Separability**, que generó un informe donde que indica cual es la diferencia existente entre clases, los resultados variaron de 0 a 2, así los valores > a 1.9 nos indicaron una buena separabilidad, cuando los valores fueron < 1 se unió las

clases para obtener una sola clase o simplemente se eliminó y si los valores resultantes se encontraban entre 1 – 1.9 se revisó, reubico o mejoro la muestra para cada clase.

#### **4) Aplicación de algoritmo de máxima verosimilitud**

La proceso final de la clasificación supervisada fue la aplicación del algoritmo que nos permitió la agrupación de los pixeles a partir de los ROIs definidos por clase, el algoritmo de máxima verosimilitud fue el escogido para esta clasificación, donde se buscó identificar a una sola especie en toda la imagen, este algoritmo calcula la probabilidad de que un pixel pertenezca a una clase específica, los pixeles se clasifican asignándose la clase que más alta probabilidad tiene, de no ser así el pixel permanece sin clasificar.

#### **b. Post clasificación**

Esta etapa de la clasificación nos permitió depurar y mejorar la imagen clasificada, a través de filtros que nos permitieron mejorar su calidad, luego se determinó con que exactitud se ha realizado la clasificación, para finalmente realizar la presentación final de las imágenes.

#### **1) Aplicación de filtros para mejorar la calidad de las imágenes clasificadas**

Se aplicaron tres filtros buscando mejorar los resultados obtenidos por el algoritmo clasificador, los cuales se describen a continuación.

##### **1. Majority Analysis**

Este filtro cambio los pixeles aislados que se encuentran dentro de una de las clases creadas, de esta forma los pixeles no agrupados, serán remplazados o absorbidos por la clase mayoritaria donde se encuentren.

## **2. Clump**

Con este filtro se agregó la coherencia espacial de las clases existentes, para lo cual el filtro combino pixeles similares adyacentes a las áreas clasificadas.

## **3. Combine Classes**

Este filtro nos permitió combinar clase similares, que estando juntas no pudieron ser clasificadas, lo que ocasionaba una confusión al software.

Una vez aplicados los filtros, se obtuvo una imagen limpia sin pixeles aislados o sin clasificar, al aplicar cada uno de estos filtros se tuvo en cuenta que no se pierda una de las clases creadas, que distorsionarían el resultado final, analizando los resultados obtenidos con la imagen original.

### **2) Determinación de la exactitud de la clasificación**

Este proceso se lo realizo previo a la presentación final de las imágenes, donde podemos determinar el nivel de exactitud de la clasificación o si los pixeles fueron asignados de forma correcta de acuerdo a los ROIs creados por clase, se utilizó la Matriz de Confusión de ENVI, esta herramienta nos presentó un informe indicándonos con que exactitud se realizó la clasificación, comparando la imagen clasificada con la imagen original o la imagen clasificada con los ROIs, calculando un porcentaje de precisión general y el coeficiente Kappa.

### **3) Exportación a formato .shp y edición final de las imágenes**

Verificado el nivel de exactitud de las imágenes, se transformaron a formato Shape, compatible con el software ArcGis, lo que nos permitió realizar la presentación final de las imágenes en el formato deseado para el presente trabajo.

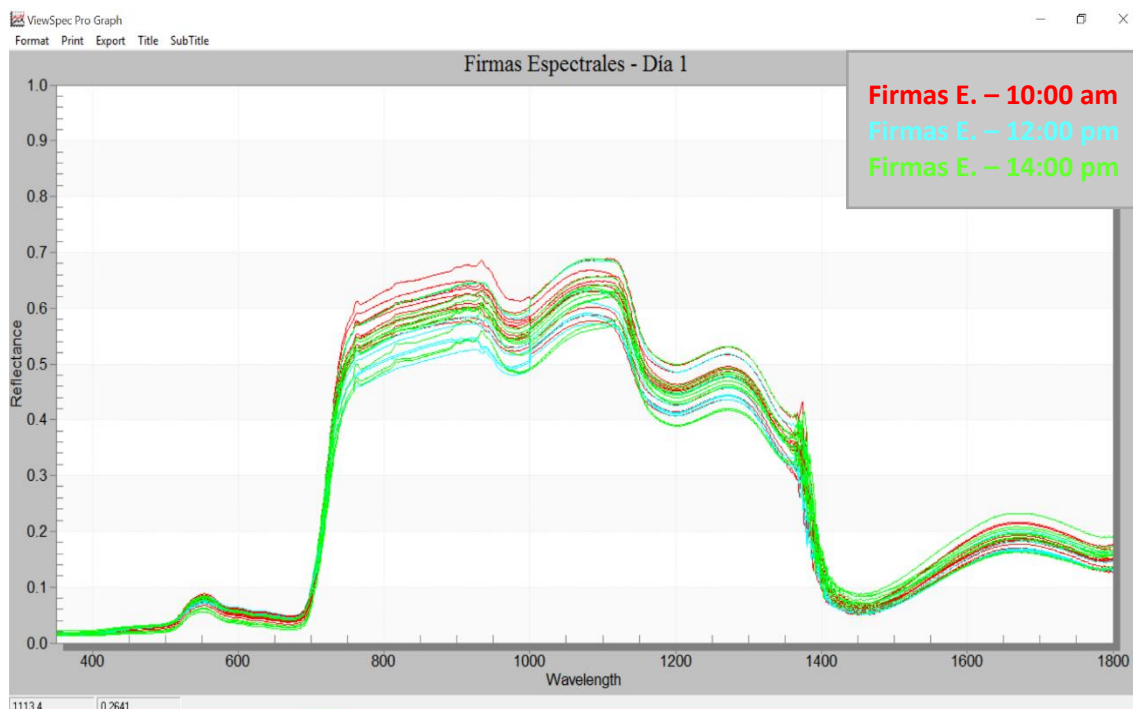
## **VI. RESULTADOS**

### **A. BASE DE DATOS A PARTIR DE UN ESPECTRO-RADIÓMETRO PARA LA OBTENCIÓN DE LA FIRMA ESPECTRAL DE *GYNOXYS SP.***

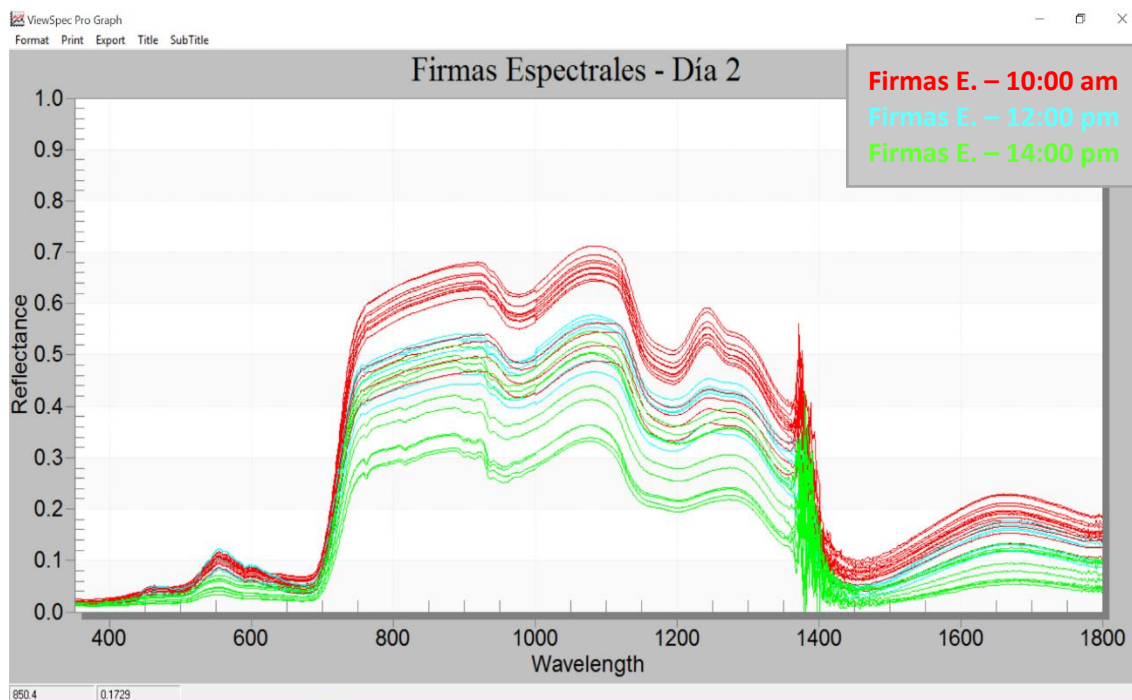
#### **1. Recolección de las firmas espectrales de *Gynoxys sp.* a partir del espectro-radiómetro FieldSpec 4 Wide-Res Field**

Se obtuvo en campo 90 firmas espectrales para la especie en estudio en 3 días de muestreo, 30 por día, se tomó 10 firmas por hora (10:00, 12:00 y 14:00 horas respectivamente), se decidió tomar las muestras en una sola etapa de desarrollo latizal, ya que esta nos facilitó el trabajo por tamaño y forma, en el caso de brinzal las especies encontradas eran muy pequeñas, lo que ocasionaba que el equipo no pueda tomar correctamente la firma de *Gynoxys sp* al estar mezclada con otras especies adyacentes sus niveles de reflectancia también eran captados por el equipo , en el caso de fustal, el principal impedimento fue el tamaño ya que no permitió tomar de forma correcta la firma espectral principalmente por la altura.

La correcta obtención de esta información fue de vital importancia para la investigación, siendo esta la base para la realización del análisis estadístico de los niveles de reflectancia en los puntos de interés y posteriormente la obtención de una firma representativa, a continuación, se presenta para cada día de muestreo, las firmas espectrales puras (sin ningún tipo de corrección) para las tres horas de muestreo, en el rango de los 350 a 1800 nm que es de interés para nuestra investigación (Gráfico 7-8-9), view spec pro automáticamente almacena la información restante del espectro electromagnético que es capaz de captar el equipo hasta los 2500 nm.

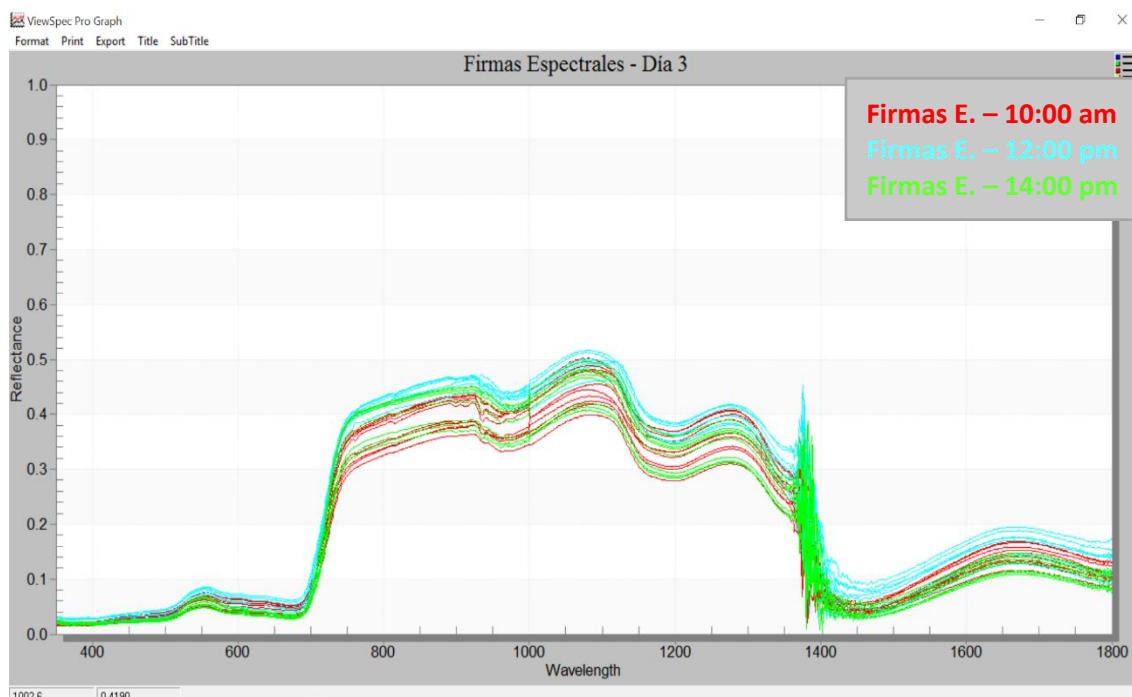
**Gráfico 7.-** Firmas espectrales Día 1 – 10:00 am / 12:00 pm / 14:00

Elaborado por: Carrillo. L

**Gráfico 8.-** Firmas espectrales Día 2- 10:00 am / 12:00 pm / 14:00 pm

Elaborado por: Carrillo. L









**Gráfico 9.-** Firmas espectrales Día 3 - 10:00 am / 12:00 pm / 14:00 pm

Elaborado por: Carrillo. L

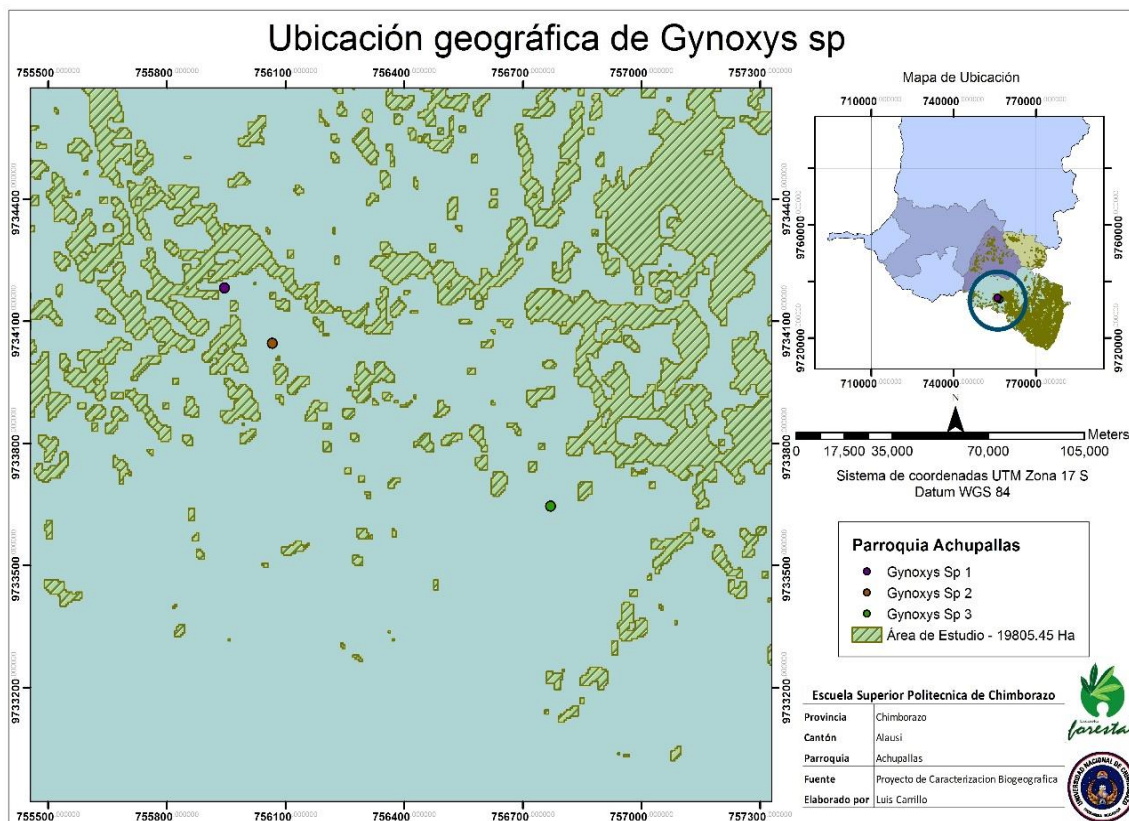
Conjuntamente con el metadato (Tabla 3), que contiene toda la información de importancia sobre su obtención: como la calibración del equipo, las condiciones climáticas, el número firmas espectrales y la ubicación de la especie en estudio y un mapa (Mapa 2) donde se indica la ubicación exacta de las tres muestras.

**Tabla 3.-** Metadato de firmas espectrales

<b>Información General</b>			
<b>Espectro-Radiómetro</b>	FieldSpec 4 Wide-Res Field		
<b>Operador</b>	Luis Carrillo		
<b>Fecha</b>	20/05/2015		
<b>Hora del Muestreo</b>	10:00 am		
	12:00 am		
	14:00 pm		
<b>Número de Firmas Espectrales</b>	10 para cada hora de muestreo		
<b>Ubicación</b>			
<b>Provincia</b>	Chimborazo		
<b>Cantón</b>	Alausi		
<b>Parroquia</b>	Achupallas		
<b>Coordenadas</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>
	X: 755945 Y: 9734182	X: 756066 Y: 9734046	X: 756770 Y: 9733646
<b>Altitud</b>	3942 msnm	3980 msnm	3974 msnm
<b>Condiciones Meteorológicas</b>			
<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>		<b>Día 3</b>
<b>Temperatura</b>	8.9 °C	<b>Temperatura</b>	8.1 °C
		<b>Temperatura</b>	7.9 °C

<b>Nubosidad</b>	Baja	<b>Nubosidad</b>	Alta	<b>Nubosidad</b>	Baja
<b>Viento</b>	0.9 km/h	<b>Viento</b>	1.8 km/h	<b>Viento</b>	1.1 Km/h
<b>Calibración del Equipo</b>					
<b>Spectrum</b>	100				
<b>White reference</b>	150				
<b>Dark current</b>	150				
<b>Descripción de la Especie</b>					
<b>Nombre Vulgar</b>	Piquil				
<b>Nombre Científico</b>	<i>Gynoxys sp</i>				
<b>Estado Fenológico</b>	Latizal				
<b>Fotografías</b>					
<b>Día 1</b>					
<b>Fotografía 1</b>			<b>Fotografía 2</b>		
					
<b>Día 2</b>					
<b>Fotografía 1</b>			<b>Fotografía 2</b>		
					
<b>Día 3</b>					
<b>Fotografía 1</b>			<b>Fotografía 2</b>		
					

Elaborado por: Carrillo. L

**Mapa 2.-** Ubicación geográfica de *Gynoxys* sp

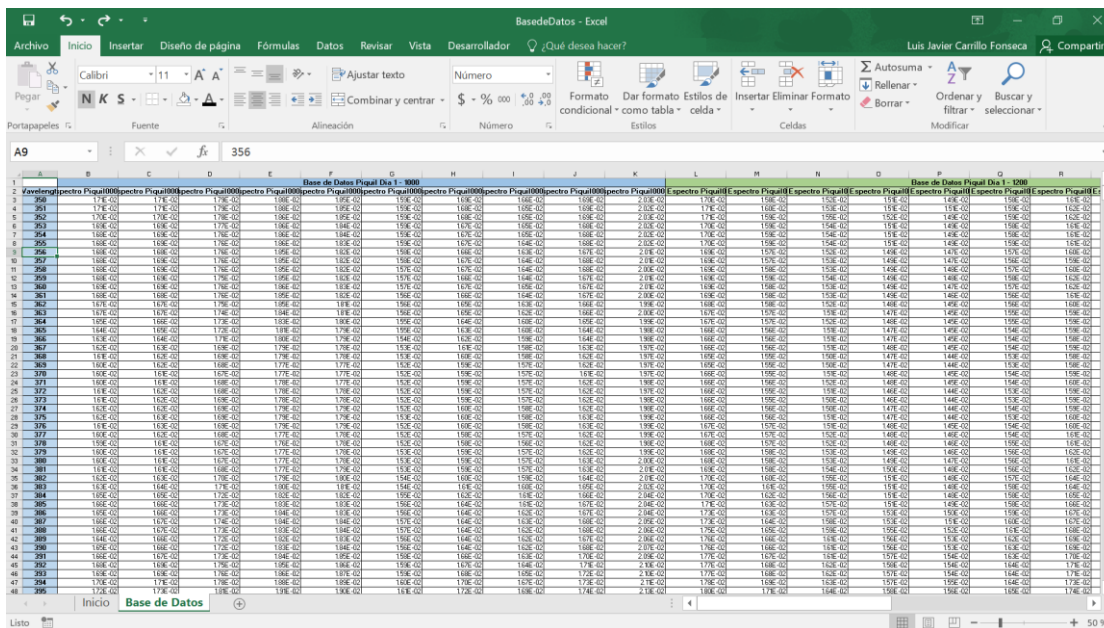
**Elaborado por:** Carrillo. L

## **2. Base de datos para firmas espectrales**

Con el software View Spec Pro se transformaron las firmas espectrales del formato ASD (Formato propietario del equipo) a formato ASCII cuya extensión es .txt, esto nos permitió poder realizar los cálculos necesarios en Excel, la información fue agrupada en un libro de Excel para cada día, creando una hoja de cálculo para las horas en las que se realizó el muestreo (Gráfico 10), esta información representa los niveles de reflectancia para cada longitud de onda del espectro electromagnético y un pequeño buscador que nos permita encontrar fácilmente esta información en una longitud de onda puntal (Gráfico 11), debido a la extensión de los datos obtenidos, esta se almacena en un Cd (Anexo 2), ya que con el equipo se obtuvieron 10 muestras, por lo tanto son 10 niveles de reflectancia para cada longitud de onda desde los 350 hasta los 2500 nm que es la resolución que posee el equipo, finalmente la base de datos quedó conformada de los 350 a los 1800 nm, que es el rango que representa la vegetación.

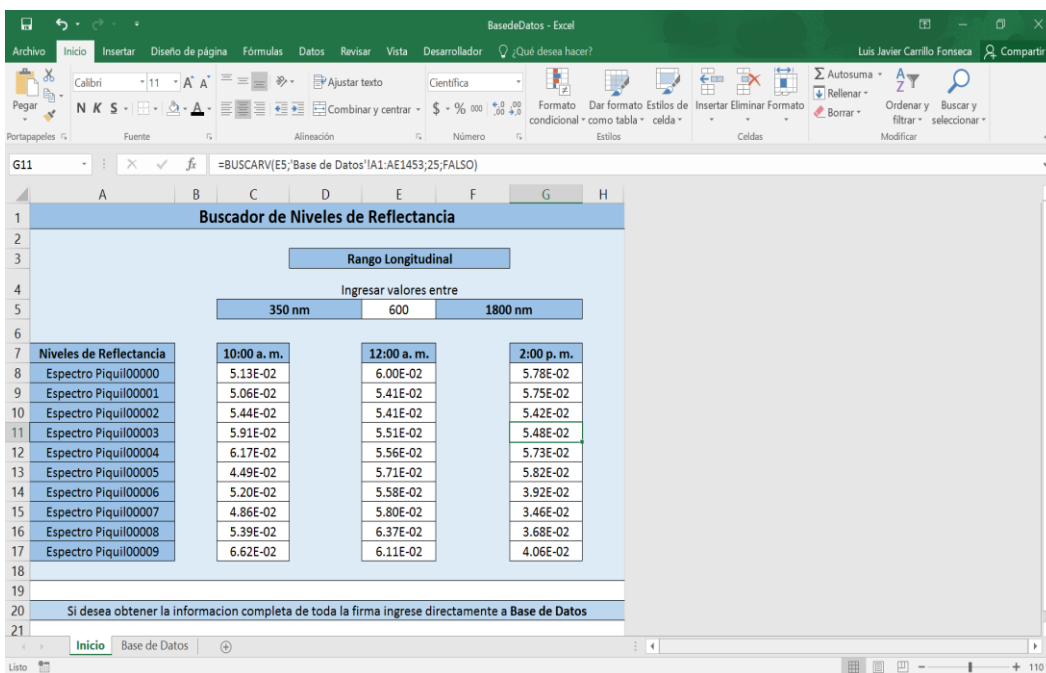


**Gráfico 10.- Base de datos de los niveles de reflectancia**



Elaborado por: Carrillo. L

**Gráfico 11.- Buscador de niveles de reflectancia**



Elaborado por: Carrillo. L

**3. Análisis estadístico de los niveles de reflectancia de las firmas espectrales.**

Creada la base de datos se realizaron los respectivos análisis de varianza (Anexo 3) lo que nos permitió determinar que no existe una variación significativa entre los niveles de reflectancia de los puntos de interés para cada día en las tres horas de muestreo, dicha

condición se cumplió cuando las condiciones climatológicas no varían durante el día, en especial el viento que produce exceso de ruido en la firma modificando la tendencia (forma de la firma espectral a lo largo del espectro electromagnético) que posee la misma y la presencia de nubes que afecto directamente a los niveles de reflectancia de la especie en estudio como lo indica la metodología, la variabilidad climática del área de estudio nos impidió realizar los muestreos con condiciones climáticas óptimas para los tres días, como se describe a continuación estas variaron en los tres días, donde en los días 1 y 3 la variación de los niveles de reflectancia no fue significativa, mientras en el día 2 si lo fue.

### a. Análisis de Varianza Día 1

Según el análisis de varianza en el día 1 se pudo constatar que la variación de los niveles de reflectancia no es significativa, durante las tres horas de muestreo, en los puntos de interés para el espectro visible (Tabla 4), el infrarrojo cercano (Tabla 5) y el infrarrojo medio (Tabla 6), cuando se tiene unas condiciones climáticas estables durante todo el día, un cielo despejado y una escasa presencia del viento.

**Tabla 4.-** Análisis de varianza de los puntos de interés del espectro visible

Espectro Visible - 445							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					0.05	0.01	
<b>Total</b>	29	2.89E-04					
<b>Tiempo</b>	2	1.53E-05	7.66E-06	0.76	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	2.74E-04	1.01E-05				
<b>C de V</b>	<b>13.08</b>						
Espectro Visible - 550							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					0.05	0.01	
<b>Total</b>	29	2.27E-03					
<b>Tiempo</b>	2	2.25E-04	1.12E-04	1.49	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	2.04E-03	7.56E-05				
<b>C de V</b>	<b>11.69</b>						
Espectro Visible - 645							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					0.05	0.01	
<b>Total</b>	29	8.94E-04					
<b>Tiempo</b>	2	1.53E-04	7.65E-05	2.79	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	7.41E-04	2.74E-05				
<b>C de V</b>	<b>11.76</b>						

Elaborado por: Carrillo. L

**F de V:** Factor de Variación    **S.C:** Suma de cuadrados    **C.M:** Cuadrado medio    **\*\*:** Muy significativo  
**g.l:** Grados de libertad    **n.s:** No significativo    **F.C:** F Calculada    **\*:** Significativo

**Tabla 5.-** Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo cercano

Infrarrojo Cercano - 700							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29	3.34E-03					
<b>Tiempo</b>	2	4.02E-04	2.01E-04	1.85	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	2.94E-03	1.09E-04				
<b>C de V</b>	<b>11.99</b>						
Infrarrojo Cercano - 900							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29	5.72E-02					
<b>Tiempo</b>	2	1.38E-02	6.92E-03	4.31	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	4.34E-02	1.61E-03				
<b>C de V</b>	<b>6.86</b>						
Infrarrojo Cercano - 1000							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29	3.99E-02					
<b>Tiempo</b>	2	7.45E-03	3.72E-03	3.10	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	3.24E-02	1.20E-03				
<b>C de V</b>	<b>6.23</b>						

Elaborado por: Carrillo. L

**F de V:** Factor de Variación    **S.C:** Suma de cuadrados    **C.M:** Cuadrado medio    **\*\*:** Muy significativo  
**g.l:** Grados de libertad    **n.s:** No significativo    **F.C:** F Calculada    **\*:** Significativo

**Tabla 6.-** Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo medio

Infrarrojo Medio - 1400							
F de V	g.l	S.C	CM	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29	1.56E-02					
<b>Tiempo</b>	2	2.88E-03	1.44E-03	3.04	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	1.28E-02	4.73E-04				
<b>C de V</b>	<b>16.79</b>						
Infrarrojo medio - 1600							
F de V	g.l	S.C	CM	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29	1.14E-02					
<b>Tiempo</b>	2	2.17E-03	1.09E-03	3.19	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	9.19E-03	3.40E-04				
<b>C de V</b>	<b>11.81</b>						
Infrarrojo Medio - 1700							
F de V	g.l	S.C	CM	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29	1.39E-02					
<b>Tiempo</b>	2	2.55E-03	1.27E-03	3.02	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	1.14E-02	4.22E-04				
<b>C de V</b>	<b>11.46</b>						

Elaborado por: Carrillo. L

**F de V:** Factor de Variación    **S.C:** Suma de cuadrados    **C.M:** Cuadrado medio    **\*\*:** Muy significativo  
**g.l:** Grados de libertad    **n.s:** No significativo    **F.C:** F Calculada    **\*:** Significativo

**b. Análisis de Varianza Día 2**

La reflectancia del día 2 vario de forma muy significativa en todos los puntos de interés del espectro visible (Tabla 7), infrarrojo cercano (Tabla 8) e infrarrojo medio (Tabla 9),

esto se debió a los cambios en las condiciones climáticas que tuvimos durante todo el día con la poca y mucha presencia de nubes, pero principalmente el viento que al mover el follaje de la planta ocasiona una mayor presencia de ruido de los 1350 nm hasta los 1500 nm, ocasionando una mayor variación en los niveles de reflectancia y principalmente en la tendencia de la firma espectral.

**Tabla 7.-** Análisis de varianza de los puntos de interés del espectro visible

Espectro Visible - 445							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	1.83E-03					
<b>Tiempo</b>	2.00	1.24E-03	6.18E-04	28.24379754	3.35	5.49	**
<b>Error</b>	27.00	5.90E-04	2.19E-05				
<b>C de V</b>	<b>15.39</b>						
Espectro Visible - 550							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	2.20E-02					
<b>Tiempo</b>	2.00	1.76E-02	8.78E-03	53.07	3.35	5.49	**
<b>Error</b>	27.00	4.47E-03	1.65E-04				
<b>C de V</b>	<b>15.30</b>						
Espectro Visible 645							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	5.77E-03					
<b>Tiempo</b>	2.00	3.71E-03	1.85E-03	24.24	3.35	5.49	**
<b>Error</b>	27.00	2.07E-03	7.65E-05				
<b>C de V</b>	<b>17.69</b>						

Elaborado por: Carrillo. L

**F de V:** Factor de Variación    **S.C:** Suma de cuadrados    **C.M:** Cuadrado medio    **\*\*:** Muy significativo  
**g.l:** Grados de libertad    **n.s:** No significativo    **F.C:** F Calculada    **\*:** Significativo

**Tabla 8.-** Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo cercano

Infrarrojo Cercano - 700							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	1.45E-02					
<b>Tiempo</b>	2.00	9.55E-03	4.78E-03	26.18	3.35	5.49	**
<b>Error</b>	27.00	4.93E-03	1.82E-04				
<b>C de V</b>	<b>16.49</b>						
Infrarrojo Cercano - 900							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	3.64E-01					
<b>Tiempo</b>	2.00	2.88E-01	1.44E-01	51.19	3.35	5.49	**
<b>Error</b>	27.00	7.60E-02	2.82E-03				
<b>C de V</b>	<b>10.27</b>						
Infrarrojo Cercano - 1000							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	3.20E-01					
<b>Tiempo</b>	2.00	2.55E-01	1.27E-01	52.56	3.35	5.49	**
<b>Error</b>	27.00	6.54E-02	2.42E-03				
<b>C de V</b>	<b>10.31</b>						

Elaborado por: Carrillo. L

**F de V:** Factor de Variación    **S.C:** Suma de cuadrados    **C.M:** Cuadrado medio    **\*\*:** Muy significativo  
**g.l:** Grados de libertad    **n.s:** No significativo    **F.C:** F Calculada    **\*:** Significativo

**Tabla 9.-** Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo medio

Infrarrojo Medio - 1400							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	9.20E-02					
<b>Tiempo</b>	2.00	4.04E-02	2.02E-02	10.58	3.35	5.49	**
<b>Error</b>	27.00	5.16E-02	1.91E-03				
<b>C de V</b>	<b>35.28</b>						
Infrarrojo Medio - 1600							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	6.23E-02					
<b>Tiempo</b>	2.00	5.07E-02	2.53E-02	58.98	3.35	5.49	**
<b>Error</b>	27.00	1.16E-02	4.29E-04				
<b>C de V</b>	<b>16.56</b>						
Infrarrojo Medio - 1700							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	2.90E+01	7.19E-02					
<b>Tiempo</b>	2.00E+00	5.74E-02	2.87E-02	53.61585948	3.35	5.49	**
<b>Error</b>	2.70E+01	1.45E-02	5.35E-04				
<b>C de V</b>	<b>15.97</b>						

Elaborado por: Carrillo. L

**F de V:** Factor de Variación    **S.C:** Suma de cuadrados    **C.M:** Cuadrado medio    \*\*: Muy significativo  
**g.l:** Grados de libertad        **n.s:** No significativo        **F.C:** F Calculada        \*: Significativo

### c. Análisis de Varianza Día 3

Los resultados son similares a los del día 1, esto nos indica que la variación que existe entre las tres horas de muestreo es no significativa en el espectro visible (Tabla 10), infrarrojo cercano (Tabla 11) e Infrarrojo Medio (Tabla 12), pero tienen unos niveles de reflectancia menores a los del día 1, ocasionados por la presencia de nubes, que disminuye el nivel de radiación solar que recibe la vegetación, lo que afecta directamente a la energía reflejada por la planta, que al no ser afectada por la presencia del viento evitamos la presencia de ruido que ocasione una variación en los niveles de reflectancia y por ende en la tendencia de las firmas obtenidas.

**Tabla 10.-** Análisis de varianza de los puntos de interés del espectro visible

Espectro Visible - 445							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29	7.21E-04					
<b>Tiempo</b>	2	1.40E-04	6.99E-05	3.25	3.35	5.49	n.s
<b>Error</b>	27	5.81E-04	2.15E-05				
<b>C de V</b>	<b>17.49</b>						
Espectro Visible - 550							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29	3.26E-03					
<b>Tiempo</b>	2	5.12E-04	2.56E-04	2.52	3.35	5.49	n.s
<b>Error</b>	27	2.74E-03	1.02E-04				
<b>C de V</b>	<b>15.53</b>						
Espectro Visible - 645							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	



<b>Total</b>	29	2.54E-03					
<b>Tiempo</b>	2.00	4.61E-04	2.30E-04	2.99	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27	2.08E-03	7.70E-05				
<b>C de V</b>	<b>18.00</b>						

Elaborado por: Carrillo. L

**F de V:** Factor de Variación    **S.C:** Suma de cuadrados    **C.M:** Cuadrado medio    **\*\*:** Muy significativo  
**g.l:** Grados de libertad    **n.s:** No significativo    **F.C:** F Calculada    **\*:** Significativo

**Tabla 11.-** Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo cercano

Infrarrojo Cercano - 700							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	3.04E-03					
<b>Tiempo</b>	2.00	5.98E-04	2.99E-04	3.31	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27.00	2.44E-03	9.03E-05				
<b>C de V</b>	<b>12.28</b>						
Infrarrojo Cercano - 900							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	0.01	
<b>Total</b>	29.00	6.06E-02					
<b>Tiempo</b>	2.00	1.01E-02	5.05E-03	2.70	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27.00	5.05E-02	1.87E-03				
<b>C de V</b>	<b>10.01</b>						
Infrarrojo Cercano - 1000							
F de V	g.l	S.C	C.M	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	0.01	
<b>Total</b>	29.00	0.06					
<b>Tiempo</b>	2.00	0.01	5.78E-03	3.06	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27.00	0.05	1.88E-03				
<b>C de V</b>	<b>10.12</b>						

Elaborado por: Carrillo. L

**F de V:** Factor de Variación    **S.C:** Suma de cuadrados    **C.M:** Cuadrado medio    **\*\*:** Muy significativo  
**g.l:** Grados de libertad    **n.s:** No significativo    **F.C:** F Calculada    **\*:** Significativo

**Tabla 12.-** Análisis de varianza de los puntos de interés del infrarrojo medio

Infrarrojo Medio - 1400							
F de V	g.l	S.C	CM	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	6.27E-02					
<b>Tiempo</b>	2.00	8.59E-03	4.30E-03	2.14	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27.00	5.41E-02	2.00E-03				
<b>C de V</b>	<b>43.10</b>						
Infrarrojo Medio - 1600							
F de V	g.l	S.C	CM	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	0.02					
<b>Tiempo</b>	2.00	0.00	1.72E-03	2.76	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27.00	0.02	6.22E-04				
<b>C de V</b>	<b>19.24</b>						
Infrarrojo - 1700							
F de V	g.l	S.C	CM	F.C	F. Tabulada		Significancia
					<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	
<b>Total</b>	29.00	1.77E-02					
<b>Tiempo</b>	2.00	3.33E-03	1.66E-03	3.13	3.35	5.49	<b>n.s</b>
<b>Error</b>	27.00	1.43E-02	5.31E-04				
<b>C de V</b>	<b>16.00</b>						

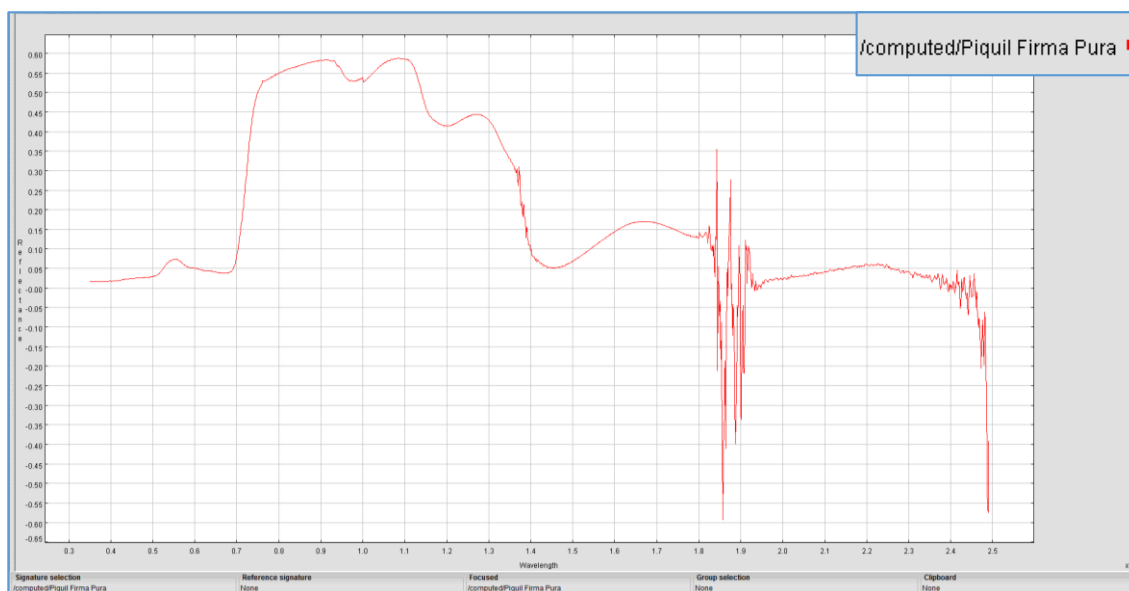
Elaborado por: Carrillo. L

**F de V:** Factor de Variación    **S.C:** Suma de cuadrados    **C.M:** Cuadrado medio    **\*\*:** Muy significativo  
**g.l:** Grados de libertad    **n.s:** No significativo    **F.C:** F Calculada    **\*:** Significativo

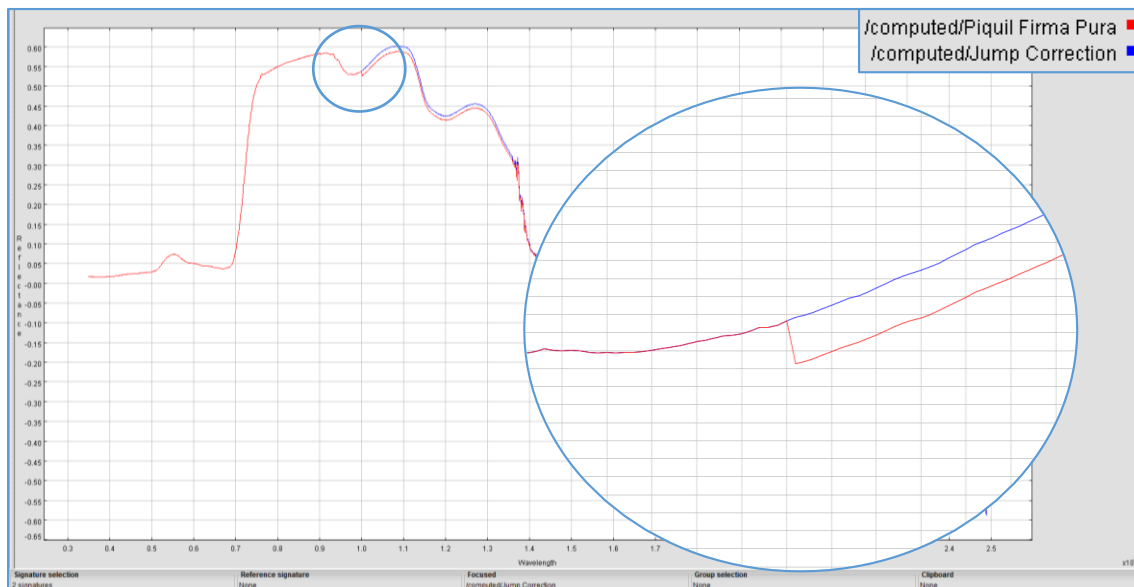
#### 4. Obtención de una firma representativa de *Gynoxys sp.*

Previo a la obtención de una firma espectral representativa se corrigieron las inconcistencias que tenían las firmas espectrales puras (Gráfico 12), estas son propias de la conformación del equipo y la variación de los factores climáticos, se presentan al momento de realizar el muestreo en campo, la primera es un salto en el nivel de reflectancia que se produce en los 1000 nm, debido al cambio de lente que se produce en la fibra óptica del equipo del VNIR al SWIR1, para corregirlo usamos el filtro en SAMS Jump Correction, el cual en la longitud de onda donde se produce el salto, corrige el nivel de reflectancia manteniéndola y unificándola con la firma que se produce a partir del salto (Gráfico 13).

**Gráfico 12.-** Firma espectral pura - rango electromagnético de los 350 nm a los 2500 nm

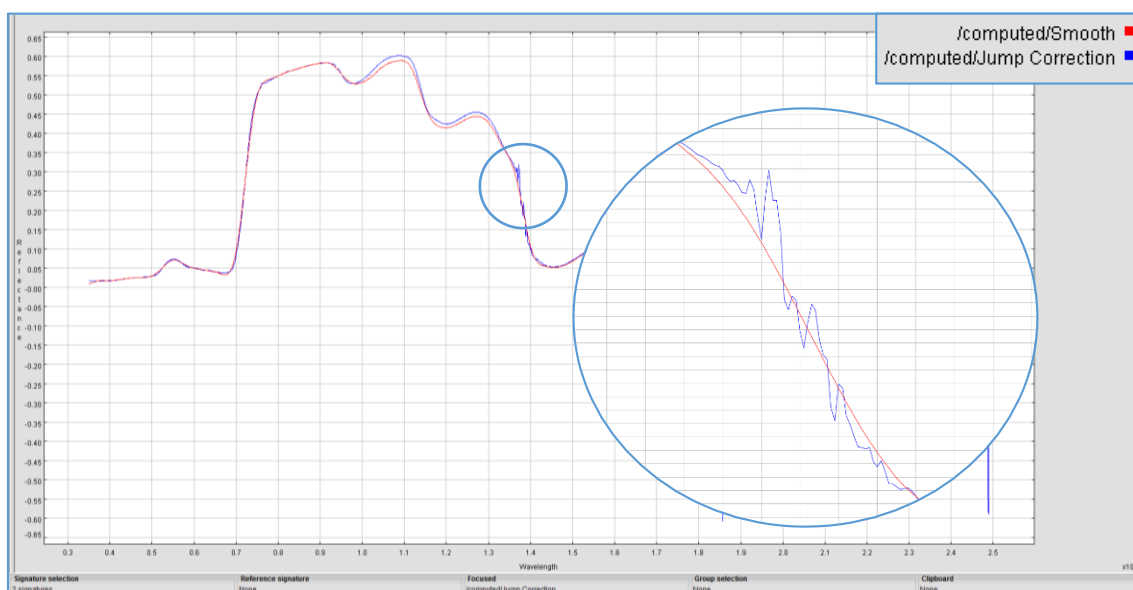


Elaborado por: Carrillo L.

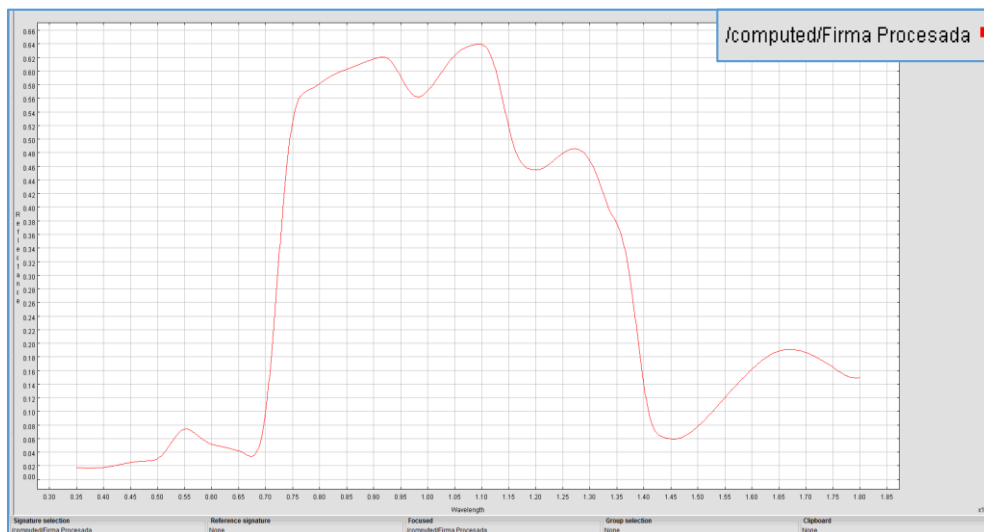
**Gráfico 13.-** Corrección de la firma espectral con jump correction

**Elaborado por:** Carrillo L.

El segundo es la presencia de ruido en el rango de los 1400 nm a los 1500 nm esto es producido por la presencia de humedad en el ambiente, para su corrección se usó el filtro de SAMS Smoth el cual homogeniza la firma tomando como referencia la misma, generando una nueva firma libre de ruido (Gráfico 14) , finalmente se realizó un recorte con la herramienta Cup desde los 350 nm hasta los 1800 nm (Gráfico 15), que es el rango que necesitamos para el estudio, estos dos filtros y el corte se aplicó a las 90 firmas una a la vez.

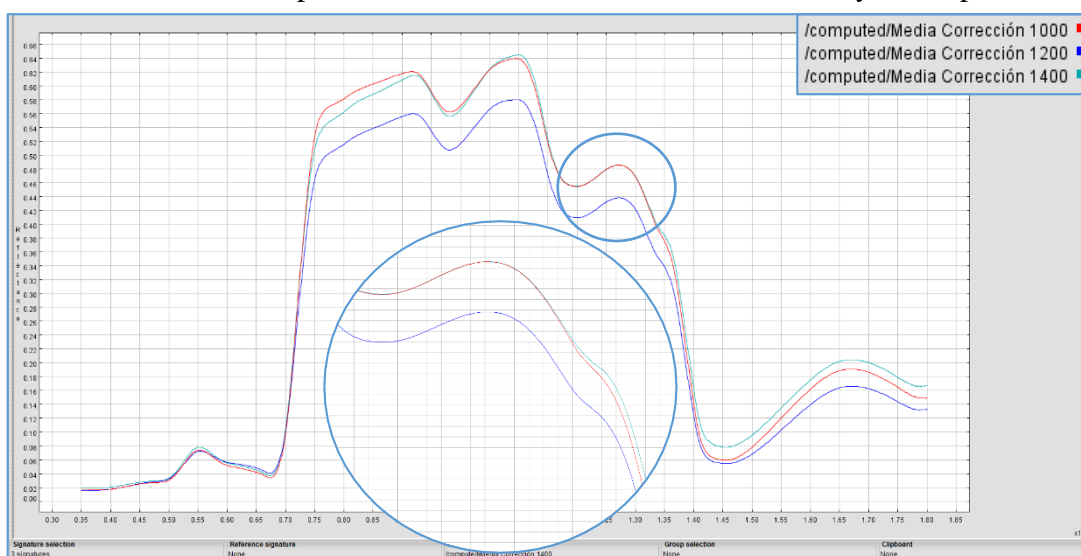
**Gráfico 14.-** Corrección de la firma espectral con smoth

**Elaborado por:** Carrillo. L

**Gráfico 15.-** Firma espectral recortada lista para el análisis

Elaborado por: Carrillo. L

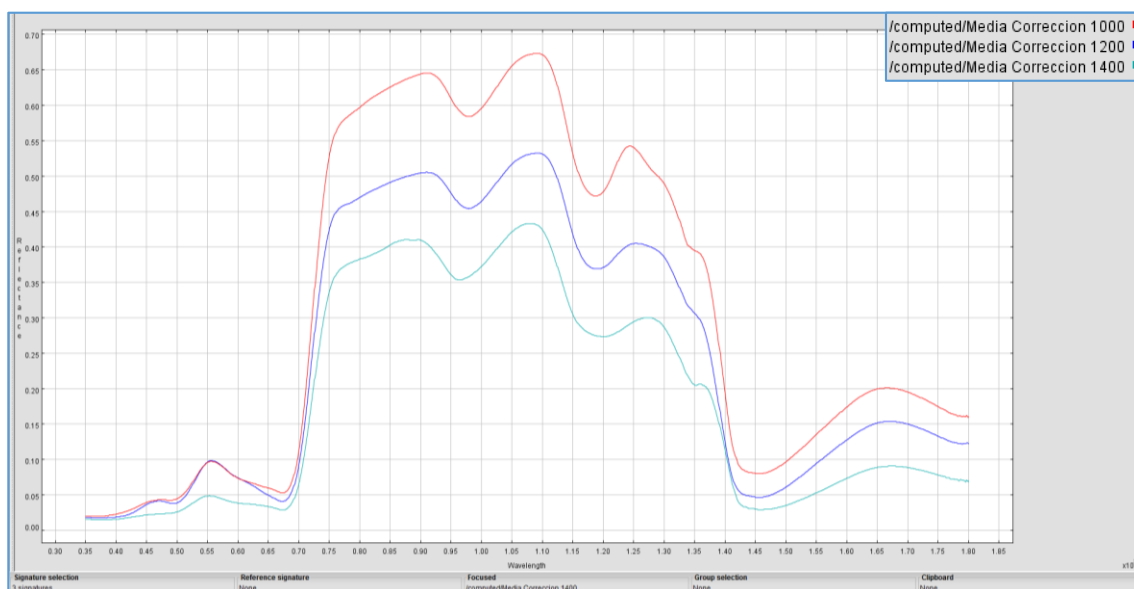
Las firmas espectrales de las 10:00 y 14:00 son prácticamente idénticas tienen la misma tendencia y nivel de reflectancia alcanzando un máximo de 64.5% (el nivel de reflectancia es un número adimensional 0.645, el mismo que para su mayor entendimiento se expresó en %), la firma de las 12:00 horas alcanzó un máximo del 58%, este día se lo puede considerar como óptimo a las 10:00 y 14:00, lo que explica la diferencia con la firma de las 12:00 donde hubo poca presencia de nubes, por ende los niveles de radiación que recibió la planta no fueron los mismos, disminuyendo los niveles de reflectancia. Gráficamente podemos corroborar los resultados obtenidos en el análisis estadístico que nos indicaba una diferencia no significativa en los niveles de reflectancia (Gráfico 16).

**Gráfico 16.-** Firmas espectrales medias a las 10:00 am , 12:00 am y 14:00 pm - Día 1

Elaborado por: Luis Carrillo

A diferencia del primer día, las condiciones climáticas del día 2 fueron adversas, el día fue completamente nublado a partir de las 11:00 y con vientos fuertes en las 3 horas de muestreo. En el (Gráfico 17) los niveles de reflectancia varían considerablemente, a las 10:00 horas tuvimos el día despejado pero la presencia del viento hizo que la firma no tenga la misma tendencia del resto de firmas, debemos añadir que el nivel de reflectancia al igual que el día uno alcanza un máximo de 64.5% pero al no tener la misma tendencia no puede ser tomada en cuenta para la obtención de una firma representativa, las firmas de las 12:00 y 14:00 horas fueron disminuyendo sus niveles de reflectancia a medida que el cielo se fue nublando.

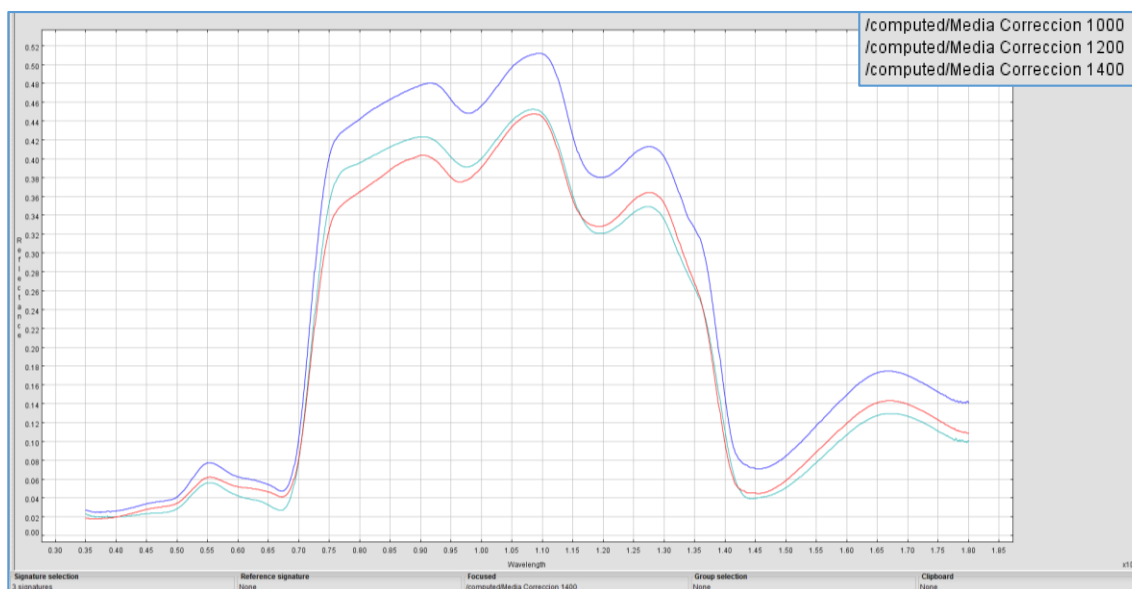
**Gráfico 17.-** Firmas espectrales medias a las 10:00 am , 12:00 am y 14:00 pm - Día 2



**Elaborado por:** Carrillo. L

El día 3 fue un día parcialmente nublado a las 10:00 y 14:00 horas, a las 12:00 horas la presencia de nubes disminuyó lo que se vio reflejado con un leve aumento en el nivel de reflectancia (Gráfico 18), la tendencia de las mismas se mantuvo ya que la presencia de viento fue mínima.

**Gráfico 18.-**Firmas espectrales medias a las 10:00 am , 12:00 am y 14:00 pm - Día 3

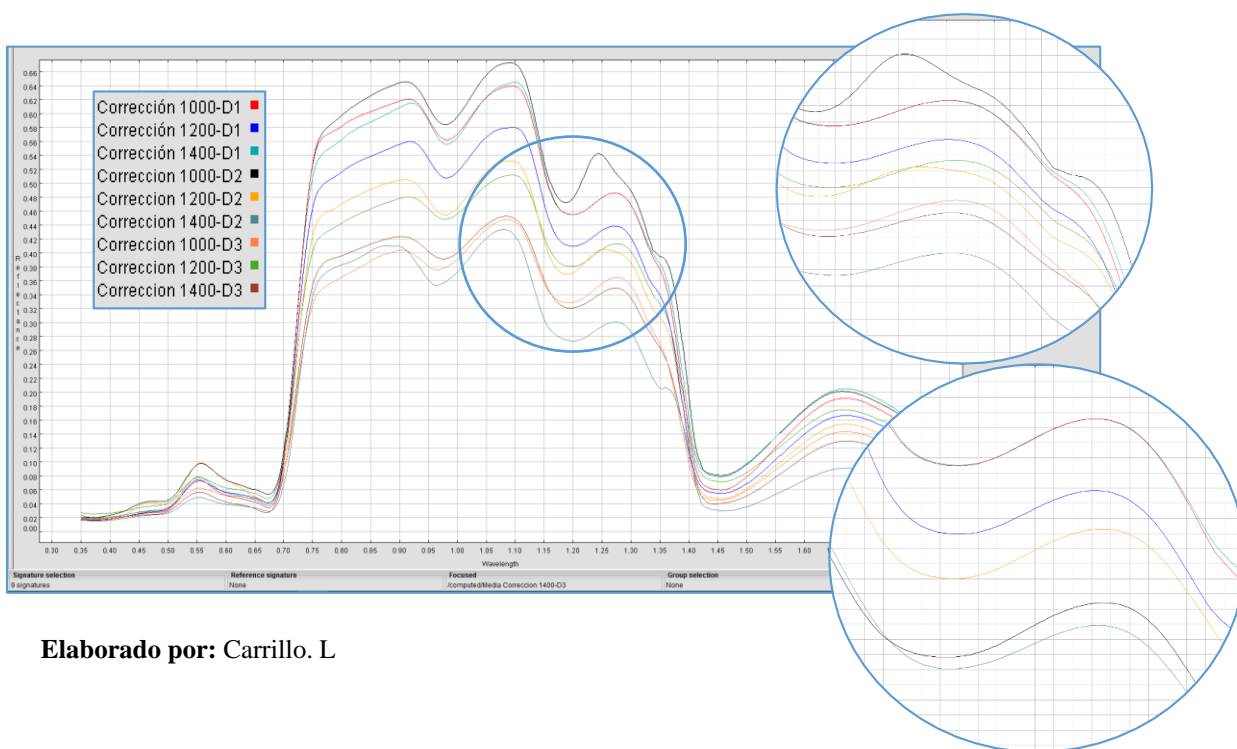


**Elaborado por:** Carrillo. L

Una vez que se corroboró los datos del análisis estadístico con las gráficas obtenidas en SAMS, de acuerdo a las condiciones climáticas de cada día, se graficaron todas las firmas seleccionando solo las que posean la misma tendencia, con el fin de obtener una firma representativa lo más real posible, sin importar su nivel de reflectancia, de esta forma podremos obtener una firma representativa media, una con niveles máximos que se presentara en un día óptimo (cielo despejado y sin presencia de viento) y una con niveles mínimos (cielo nublado y sin presencia de viento), este tipo de condiciones son habituales en los ecosistemas de paramo cuya condiciones climáticas son cambiantes entre horas y aún más en el día a día.

Como se puede observar en el (Gráfico 19), las firmas del día 2 no se encuentra dentro de la tendencia que se da para el resto de firmas, por lo cual estas serán suprimidas para el procesamiento final.

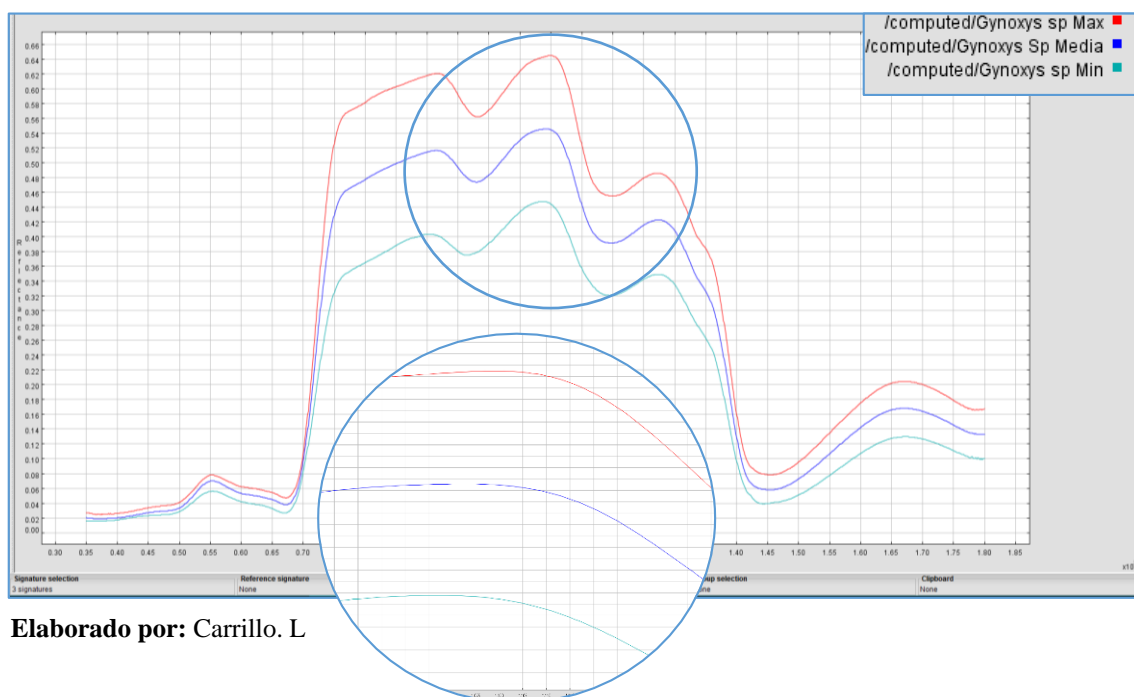
**Gráfico 19.-** Discriminación de las firmas espectrales que no poseen la misma tendencia



Elaborado por: Carrillo. L

Las firmas del Día 1 y 3 fueron procesadas con SAMS obteniendo un nivel de reflectancia medio de 0.545 (54.5%), un máximo de 0.645 (64.5%) y un mínimo de 0.448 (44.8%) a los 1100 nm donde cada firma alcanza su mayor nivel de reflectancia (Gráfico 20).

**Gráfico 20.-** Firmas espectrales de *Gynoxys sp* máxima, media y mínima



Elaborado por: Carrillo. L

## B. FIRMA ESPECTRAL DE *GYNOXYS SP* A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES PARA SU UBICACIÓN EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA.

### 1. Toma de puntos de control de *Gynoxys sp* en bosque de ceja andina

Se recorrieron los parches de bosque de ceja andina ubicados en el área de estudio, para la realización de la teledetección y obtención de la firma espectral de *Gynoxys sp* primero se buscó parches de dicha especie que tengan como mínimo una superficie de 30 x 30 m que es la resolución de las imagen landsat 7, los cuales no se pudieron encontrar, por lo que se priorizo la búsqueda de parches de 5 x 5 m, resolución de la imagen rapideye, los cuales los encontramos con mayor facilidad (Grafico 21 ), obteniéndose un total de 22 puntos de control (Tabla 13).

**Tabla 13.-** Puntos de control de *Gynoxys sp*.

<b>Id</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	760620	9728559
2	760642	9728578
3	760683	9728585
4	760700	9728593
5	760714	9728633
6	760751	9728639
7	760788	9728680
8	760727	9728771
9	760533	9728675
10	760659	9728807
11	760689	9728834
12	760799	9728814
13	760261	9728805
14	760220	9728849
15	760207	9728851
16	760216	9728855
17	760260	9728891
18	760288	9728903
19	760559	9729992
20	760582	9729999
21	760578	9730072
22	759912	9730882
23	759876	9730931

**Elaborado por:** Carrillo. L



**Gráfico 21.-** Parches de *Gynoxys* sp de 5x5 m



**Elaborado por:** Carrillo. L

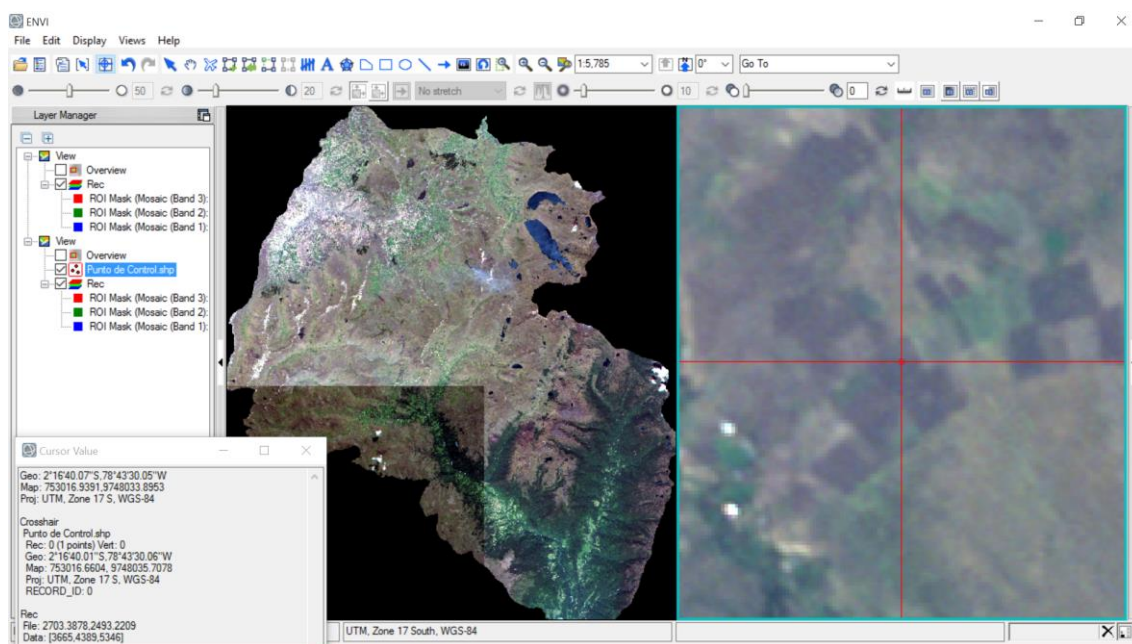
## **2. Pre-procesamiento de imágenes satelitales**

Debido a que no se pudo encontrar parches de *Gynoxys* sp de 30 x 30 m la imagen landsat 7 quedo descartada para teledetección, pero por fines investigativos se procedió a realizar el pre-procesamiento de la misma conjuntamente con la imagen rapideye, el cambio que se produce al transformar la información de la misma de ND (Niveles Digitales) a niveles de reflectancia no es visual, es interno en la información propia de la imagen contenida en cada pixel, para poder representar este cambio para cada imagen se tomó un punto de control del cual se obtuvo la firma espectral en ND y niveles de reflectancia.

### **a. Imágen Rapideye**

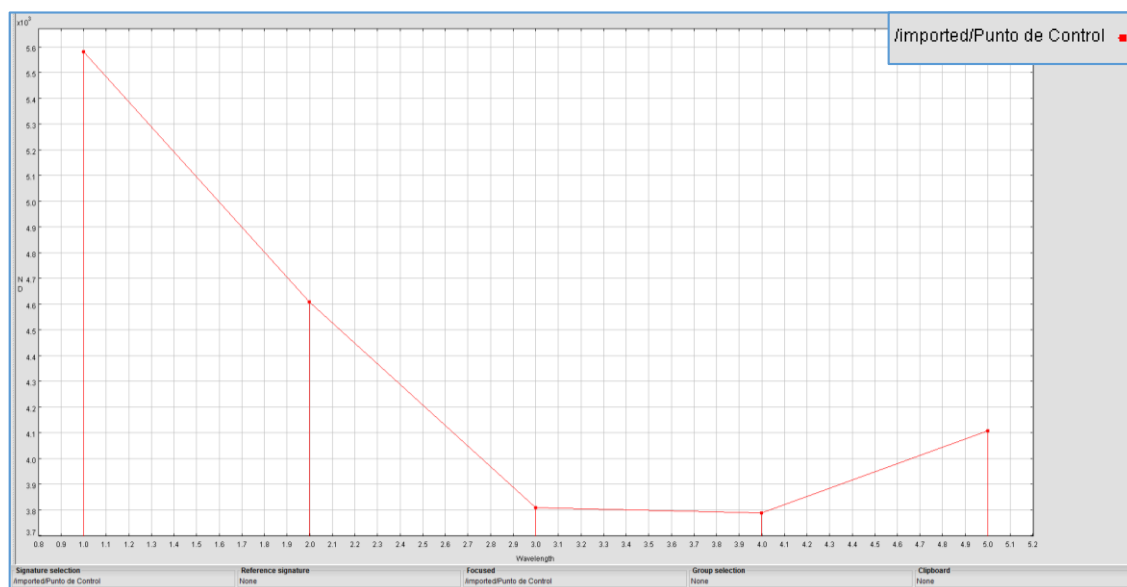
El punto de control que se tomó de la imagen Rapideye es el de un pixel ubicado en un área de cultivos (Grafico 22), determinada su ubicación exacta se procedió a obtener la firma espectral del pixel (Grafico 23) y se comenzó con el procesamiento de la imagen con el software ENVI 5.0.

**Gráfico 22.-** Punto de control - Pixel de una área de cultivo



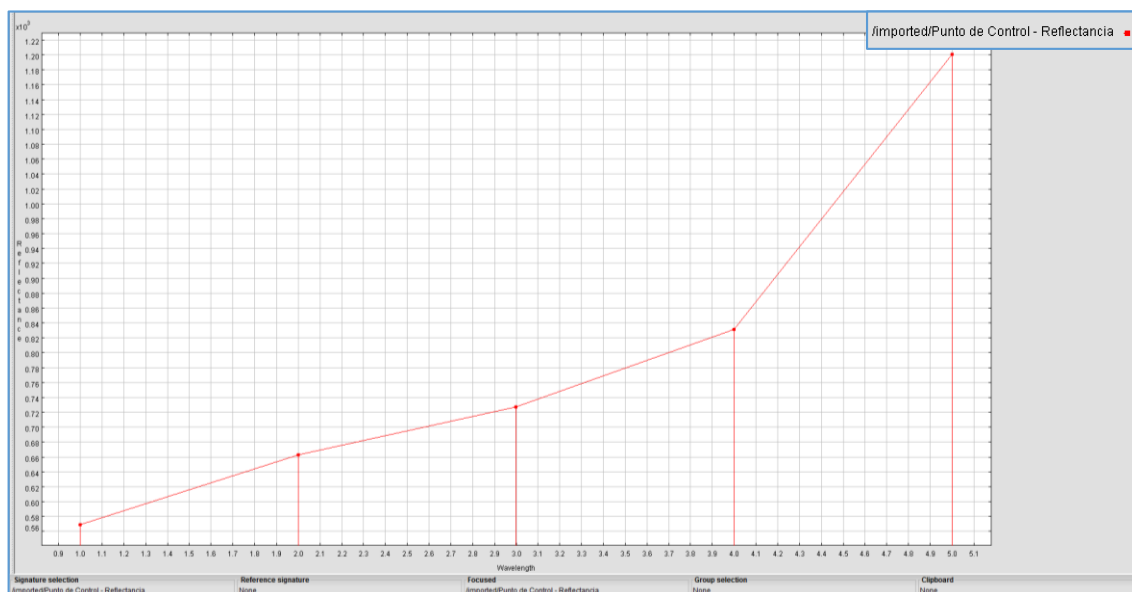
Elaborado por: Carrillo. L

**Gráfico 23.-** Firma espectral del punto de control - ND



Elaborado por: Carrillo. L

Finalizado el procesamiento de la imagen podemos observar (Gráfico 24) que para cada una de las bandas que conforman una imagen satelital, los valores de los ND han sido transformados a sus respectivos niveles de reflectancia (Tabla 14).

**Gráfico 24.-** Firma espectral del punto de control - reflectancia

**Elaborado por:** Carrillo. L

**Tabla 14.-** Valores ND y reflectancia para cada banda de la imagen rapideye

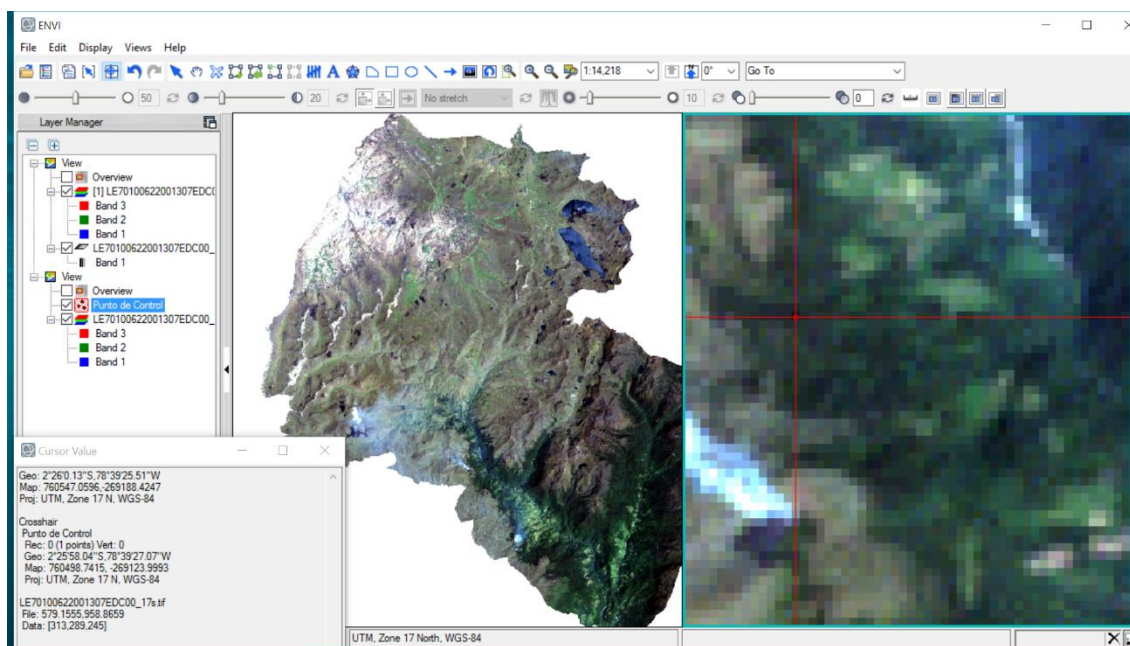
<b>Bandas</b>	<b>ND</b>	<b>Niveles de Reflectancia</b>
1	5580	569
2	4609	663
3	3808	727
4	3787	831
5	4108	1201

**Elaborado por:** Carrillo. L

## **b. Imagen Landsat 7**

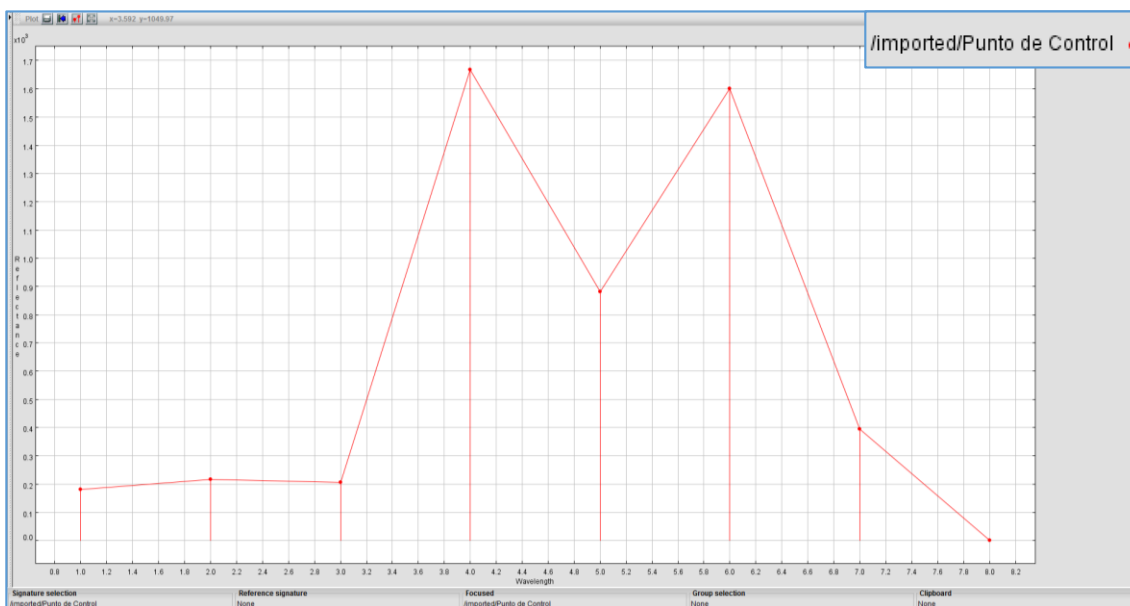
El punto de control que se tomó para la imagen Landsat 7 fue un pixel de bosque (Gráfico 25), se capturo su firma espectral, ubicación exacta (Gráfico 26) y se procedió al procesamiento de la imagen satelital.

**Gráfico 25.-** Punto de control - pixel del bosque



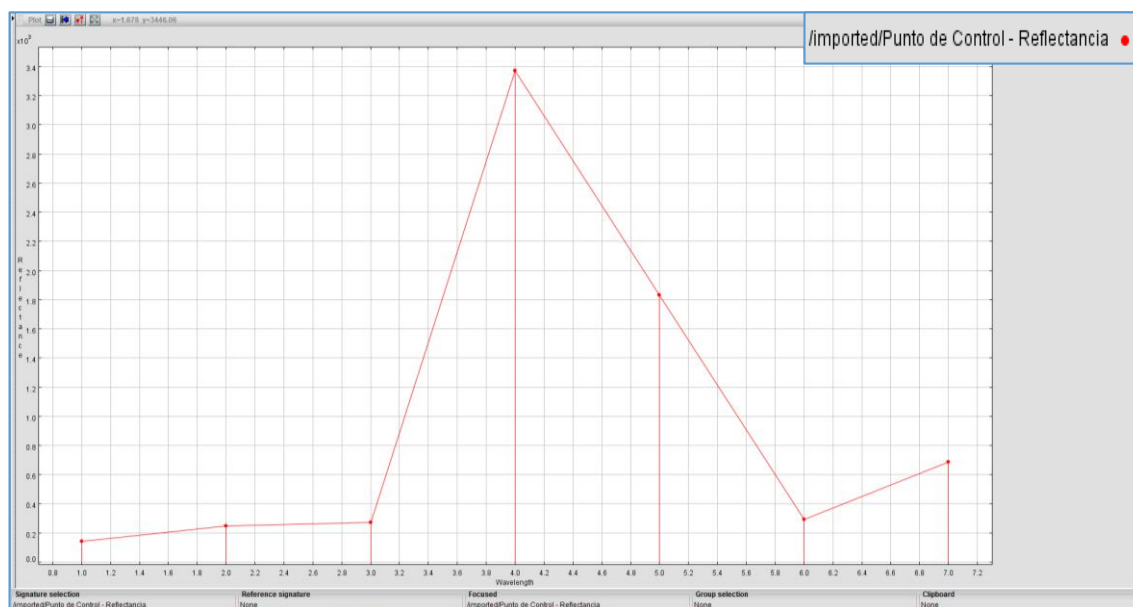
Elaborado por: Carrillo. L

**Gráfico 26.-** Firma espectral del punto de control - ND



Elaborado por: Carrillo. L

Al igual que con la imagen Rapideye los valores de los ND fueron transformados a niveles de reflectancia como se puede observar en la firma espectral del punto del control (Gráfico 27) para cada banda que conforma la imagen satelital (Tabla 15).

**Gráfico 27.-** Firma espectral del punto de control - reflectancia

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 15.-** Valores ND y reflectancia para cada banda de la imagen landsat 7

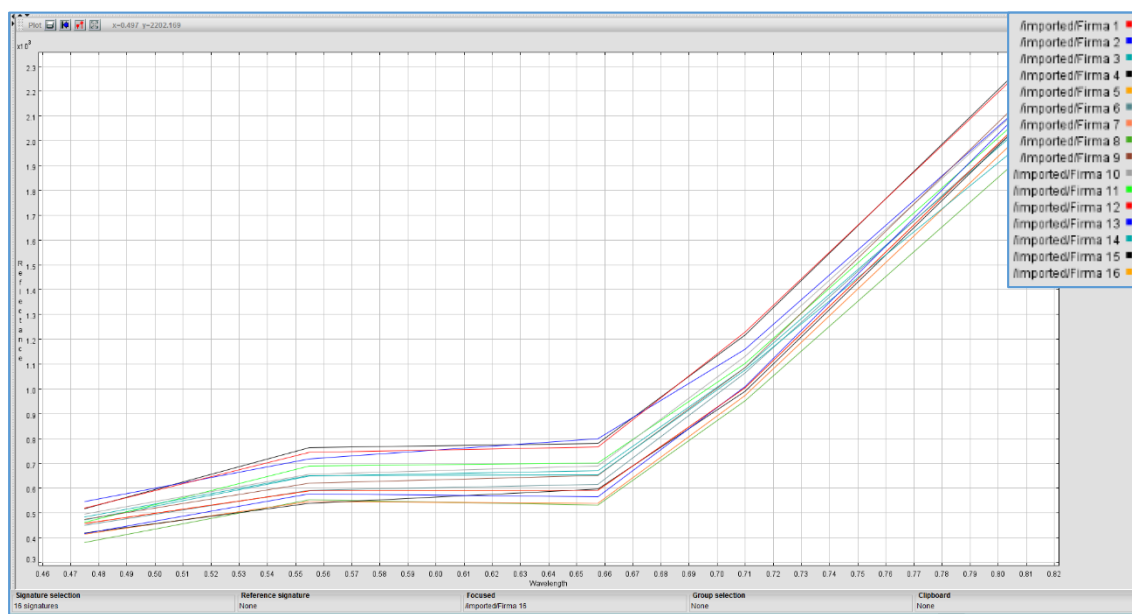
Bandas	ND	Niveles de Reflectancia
1	180	143
2	217	246
3	207	274
4	1667	3370
5	881	1833
6	1601	293
7	395	686

Fuente: Carrillo L.

### 3. Determinación de una firma espectral representativa para *Gynoxys sp*

De los 22 puntos de control tomados en el campo se obtuvo la firma espectral en la imagen rapideye, se comparó gráficamente las 22 firmas, 6 no tenían la misma tendencia que genero *gynoxys sp*, esto se produce porque la radiación emitida por la vegetación aledaña a la de *gynoxys sp*. fue mayor, dentro del pixel analizado, por este motivo se eliminaron las mismas para evitar alguna alteración al calcular la firma representativa (Gráfico 28).

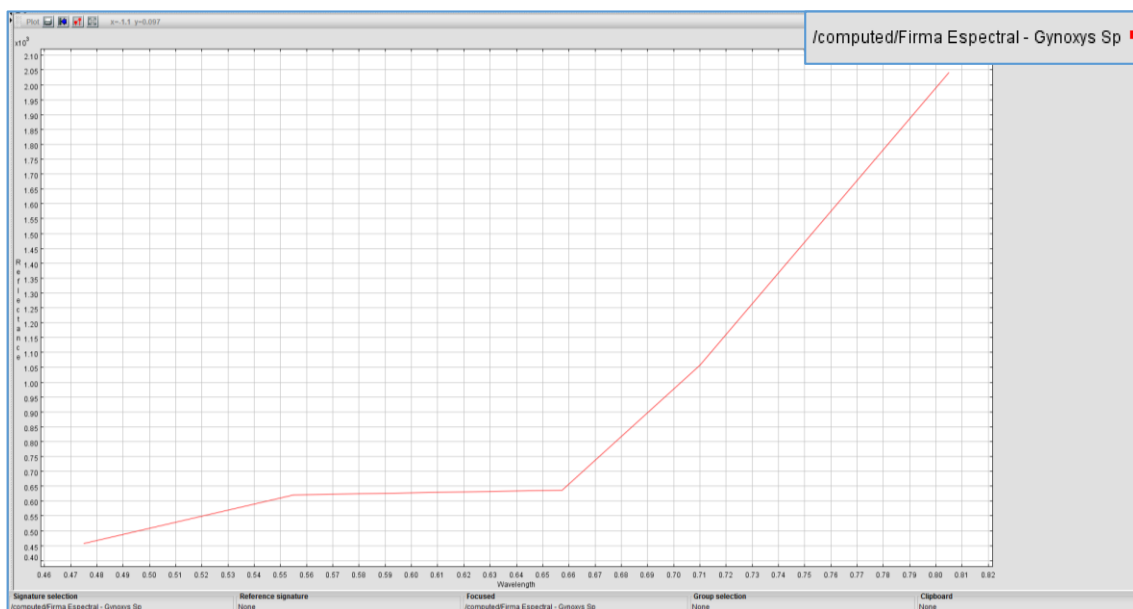
**Gráfico 28.-** Firmas espectrales de los puntos de control de *Gynoxys sp*



Elaborado por: Carrillo. L

Con la herramienta **Average** de SAMS se calculó la firma media para *gynoxys sp*, obteniéndose una firma representativa para la especie (Gráfico 29).

**Gráfico 29.-** Firma espectral representativa de *Gynoxys sp*



Elaborado por: Carrillo. Luis



## C. CLASIFICACIÓN CARTOGRÁFICA DE *GYNOXYS SP* A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES BASADA EN FIRMAS ESPECTRALES

### 1. Clasificación supervisada

Obtenida la firma espectral representativa de *Gynoxys sp* el siguiente paso fue realizar su clasificación cartográfica, conjuntamente con clases que nos permitan diferenciar el bosque, páramo, el páramo herbáceo - humedales, los cultivos, pastizales y los cuerpos de agua, los puntos de calibración en el campo fueron validados al obtener la firma espectral de los mismos dándonos una mayor certeza al momento de realizar la clasificación, esto debido a que las imágenes satélites a mayor resolución aumenta la dificultad para diferenciar las clases que se quieran obtener.

#### a. Puntos de calibración GPS de campo.

Conjuntamente con los 22 puntos de control para *Gynoxys sp*, se obtuvieron puntos de control para las clases que se desea obtener (Gráfico 30), para páramo se obtuvieron 83, bosque 74, páramo herbáceo - humedales 65, cultivos 62, pastizales 47, finalmente los cuerpos de agua fueron seleccionados directamente en la imagen satelital por su fácil diferenciación del resto de clases.

**Gráfico 30.-** Toma de punto de control para páramo herbáceo



**Elaborado por:** Carrillo. L

## b. Selección de áreas de entrenamiento

Con la herramienta ROIs Tools se seleccionó las áreas de entrenamiento y al mismo tiempo se obtuvo las firmas espectrales de las mismas, posteriormente se compararon en SAMS, la firma espectral que no se encontraba dentro de la tendencia que generaba cada clase analizada, su respectivo punto de entrenamiento fue eliminado.

**Gráfico 31.-** Selección de las áreas de entrenamiento

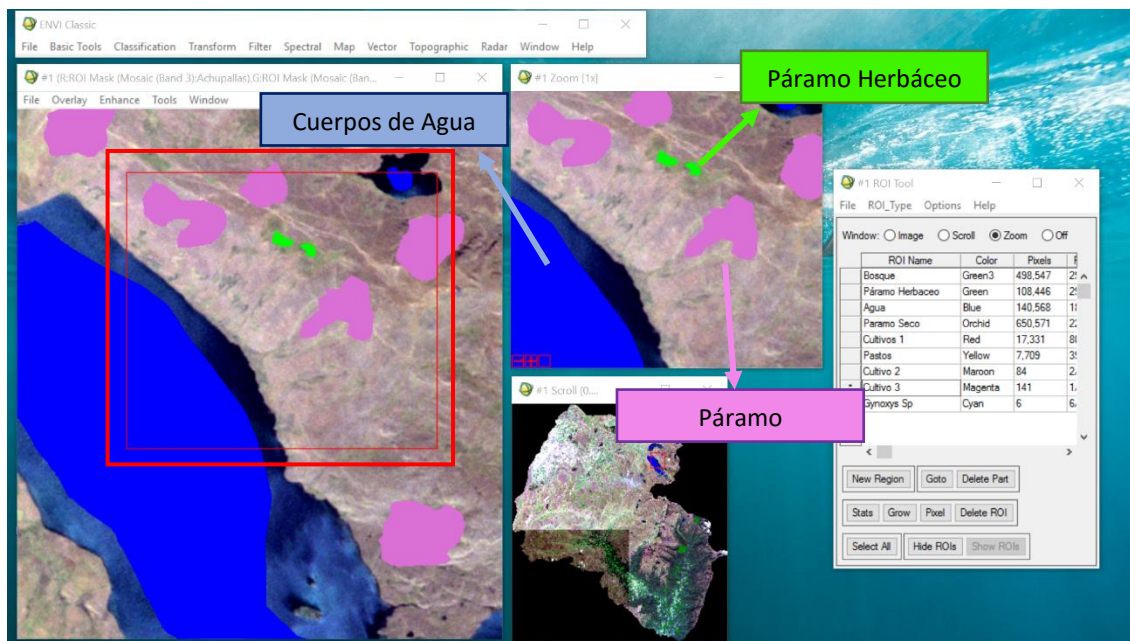


**Elaborado por:** Carrillo. L

En el (Gráfico 31) se puede observar las áreas de entrenamiento para la especie en estudio de color celeste, para bosques de verde oscuro y paramo herbáceo - humedales de color verde claro.



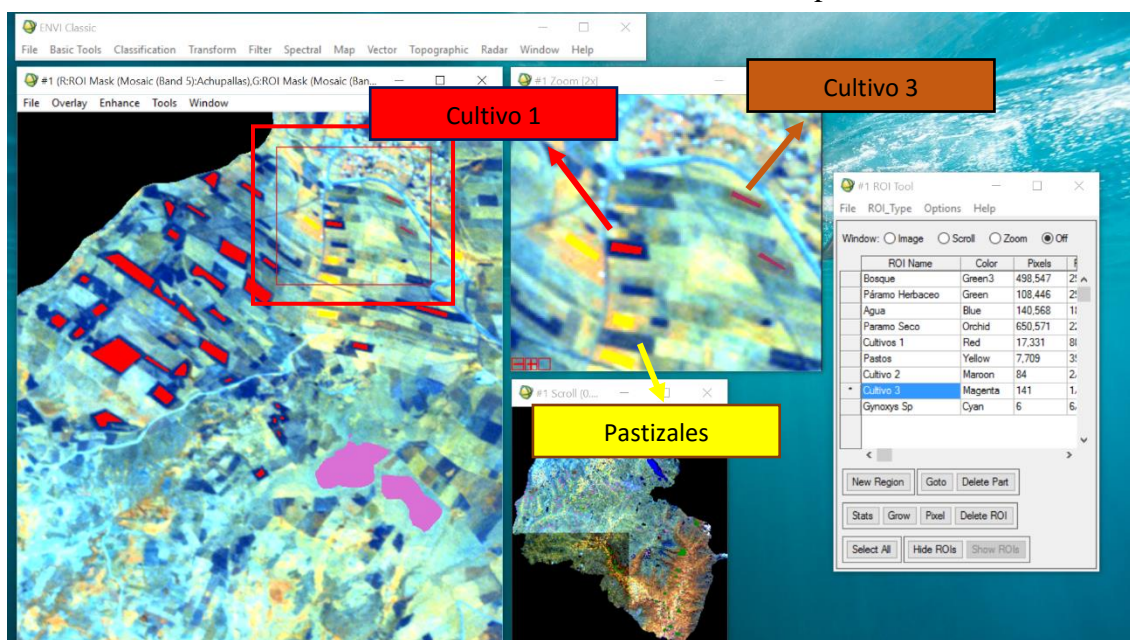
**Gráfico 32.-** Selección de áreas de entrenamiento



Elaborado por: Carrillo. L

En el (Gráfico 32) se observa las áreas de entrenamiento de color magenta representando el páramo, de color verde claro el páramo herbáceo - humedales y de color azul los cuerpos de agua.

**Gráfico 33.-** Selección de áreas de entrenamiento para cultivos



Elaborado por: Carrillo. L

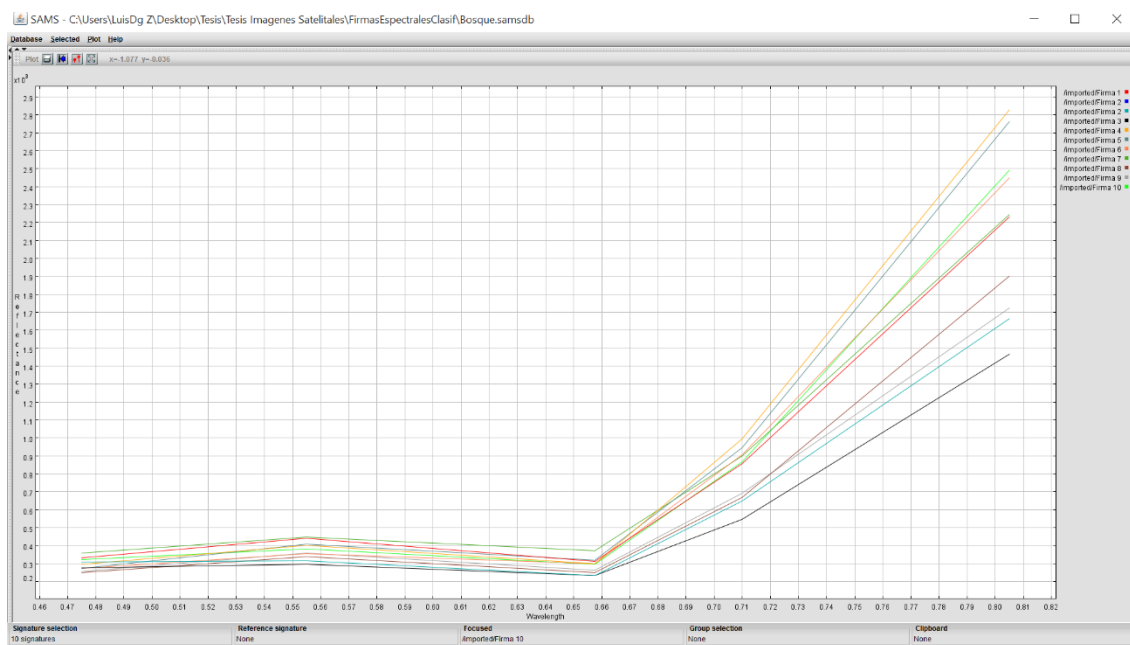
Debido a que el área de estudio es grande, el programa confundió las áreas de entrenamiento de los cultivos principalmente con el páramo, para poder minimizar este

error primero usamos una combinación falso color 541 en la cual se puede diferenciar los cultivos del área de estudio diferenciando tres cultivos indistintamente de lo que contengan y los pastizales (Gráfico 33), de esta forma se puede diferenciar con mayor precisión los cultivos del resto de clases.

### 1) Firmas espectrales de los puntos de entrenamiento

Seleccionados las áreas de entrenamiento en la imagen satelital se capturo la firma espectral de 10 áreas de entrenamiento al azar para la clase bosque, paramo seco, paramo herbáceo, pastizales se obtuvo la media de las mismas en SAMS y se compararon con la que obtuvimos de *Gynoxys sp.* Como podemos observar las firmas de bosque (Gráfico 34) poseen la misma tendencia, con una variación en sus niveles de reflectancia, esto debido a que las firmas se obtuvieron en distintos lugares y a la variedad de especies que conforma el bosque

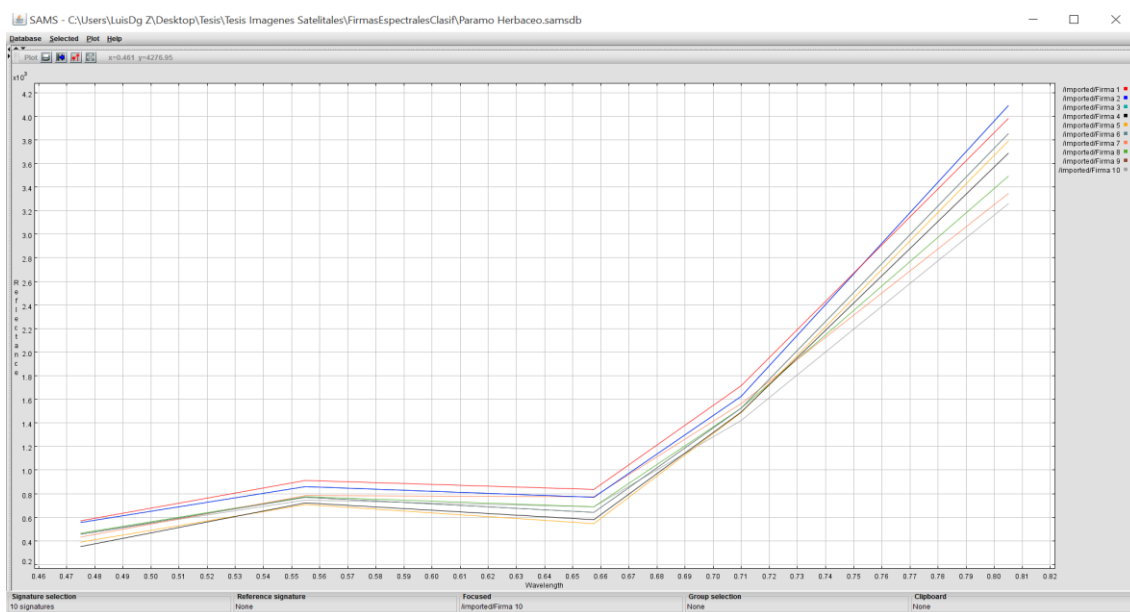
**Gráfico 34.- Firmas espectrales del Bosque**



**Elaborado por:** Carrillo. L

En el páramo herbáceo - húmedales (Gráfico 35) los niveles de reflectancia no variaron mucho, manteniendo una misma tendencia, debido a que existe una mayor uniformidad en las especies que lo conforman, a diferencia del bosque donde la variedad es mayor e indicando una mayor presencia de vegetación a diferencia del páramo seco.

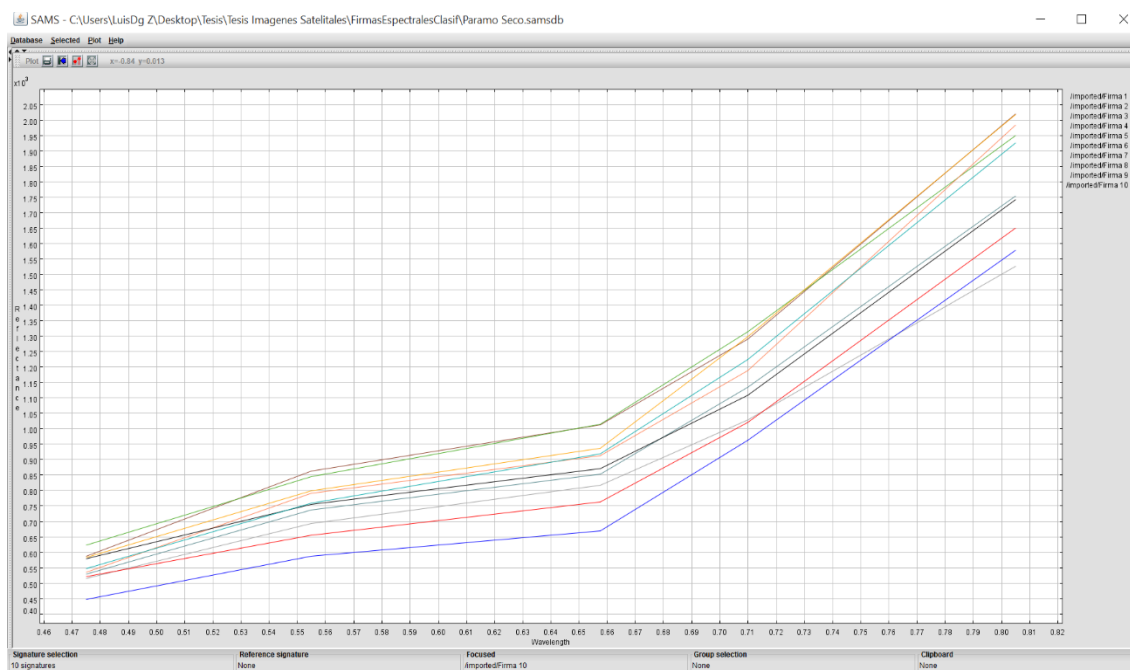
**Gráfico 35.- Firmas espectrales del páramo herbáceo - humedales**



Elaborado por: Carrillo. L

Los niveles de reflectancia del páramo (Gráfico 36) varían más que los del herbáceo - humedales por la característica propia de este ecosistema donde presencia de su vegetación, como son los pajonales disminuye, en suelos descubiertos la reflectancia aumentara en los 550 nm y 660 nm, disminuyendo en los 850 nm evidenciando la falta de vegetación.

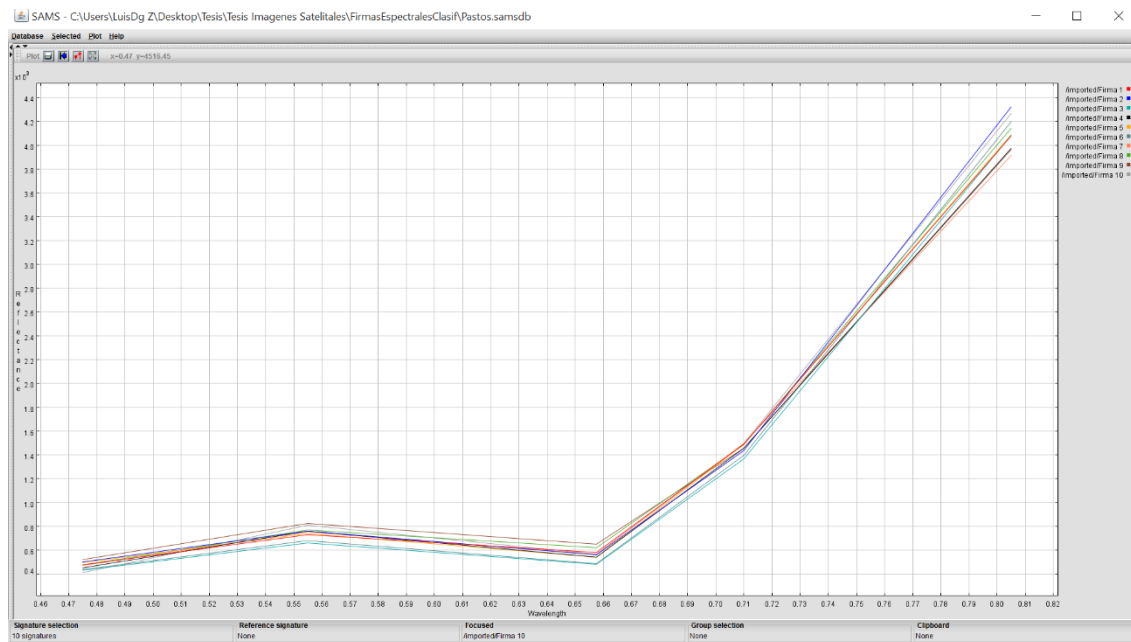
**Gráfico 36.- Firmas espectrales del páramo**



Elaborado por: Carrillo. L

Las firmas espectrales de los pastizales (Gráfico 37) son prácticamente idénticas tanto en su tendencia como en los niveles de reflectancia, debido a la uniformidad del cultivo.

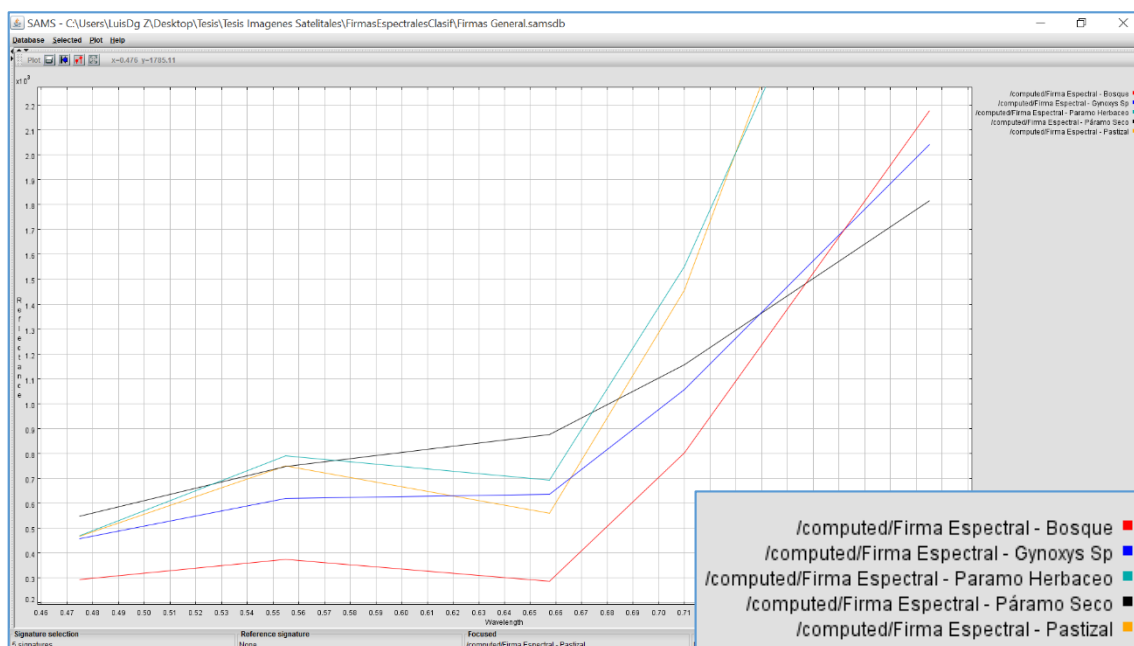
**Gráfico 37.-** Firmas espectrales de los pastizales



**Elaborado por:** Carrillo. L

En el (Gráfico 38), se observa las diferencias existentes entre firmas, así la presencia de la vegetación es la que marca los niveles de reflectancia que alcanza cada una de las firmas, diferenciándose cada una de las clases que se están analizando en esta investigación

**Gráfico 38.-** Comparación de firmas espectrales de cada clase



Elaborado por: Carrillo. L

### c. Análisis de separabilidad de los ROIs.

Seleccionados los puntos de entrenamiento para cada clase y realizada la comparación de firmas espectrales, las mismas fueron comparadas entre sí con la herramienta **Computer ROIs Separability**, permitiéndonos obtener un análisis previo a la aplicación del algoritmo de clasificación, la cual nos presentó el siguiente informe (Gráfico 39), los valores  $> 1.9$  nos indica una buena separabilidad entre clases lo que a la postre nos permitió obtener una buena clasificación identificando plenamente las clases propuestas, en el caso de Bosque y paramo herbáceo – humedales la separabilidad que obtuvimos fue de 1.807 – 1.929, debido a que pequeños remanentes de bosque se encuentran entremezclados con el páramo herbáceo, de la misma forma ocurre con los pastos y el páramo herbáceo donde obtuvimos una separabilidad de 1.810 y 1.951, debido a las prácticas de los habitantes de la zona donde el páramo se cambia por pastizales para el ganado y paramo seco con cultivos 1 donde su separabilidad fue de 1.843 y 1.982 debido igual al cambio de uso de suelo de paramo a cultivo agrícola, en estos tres casos específicos se trató de alcanzar una separabilidad de 1.9 ajustando las área de entrenamiento lo mejor posible, siendo estos valores los más altos que se pudieron alcanzar y que son aceptables para el área que se quiere abarcar con la clasificación.



**Gráfico 39.- Informe de separabilidad de puntos de entrenamiento**

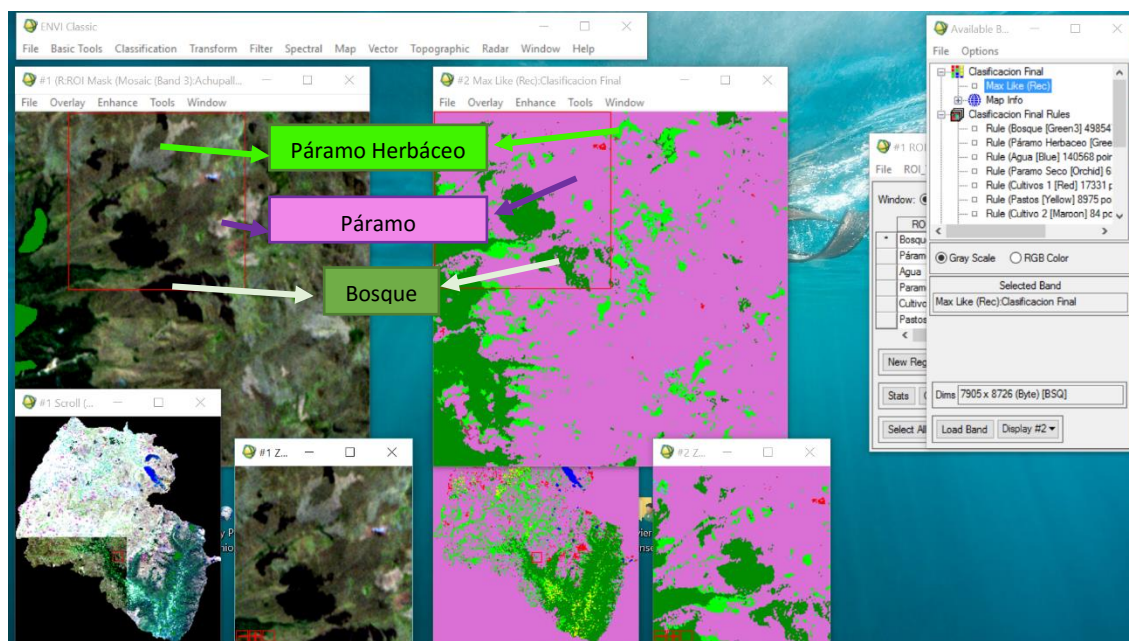
Class	Points	Separability Metric 1	Separability Metric 2
Bosque [Green3]	498547	(1.80726239 1.92947904)	(2.00000000 2.00000000)
Agua [Blue]	140568	(1.99999269 2.00000000)	(2.00000000 2.00000000)
Paramo Seco [Orchid]	650571	(1.98377530 1.99999376)	(1.99999154 2.00000000)
Cultivos 1 [Red]	17331	(1.99987528 2.00000000)	(1.99999994 2.00000000)
Pastos [Yellow]	8975	(1.91836633 1.99543488)	(1.99999994 2.00000000)
Cultivo 2 [Maroon]	84	(1.99427716 1.99999619)	(1.99999998 2.00000000)
Cultivo 3 [Magenta]	141	(2.00000000 2.00000000)	(1.99999998 2.00000000)
Gynoxys Sp [Cyan]	6	(1.99426414 2.00000000)	(1.99999767 2.00000000)

Elaborado por: Carrillo. L

#### d. Aplicación de algoritmo de máxima verosimilitud

Con una separabilidad de áreas de entrenamiento positiva, se aplicó el algoritmo de clasificación, con la imagen obtenida se realizó una primera verificación visual del resultado obtenido, comparando las áreas clasificadas con las de la imagen original, haciendo hincapié en las siguientes clases que son de importancia para nuestro estudio: paramo, paramo herbáceo - humedales, bosque y *Gynoxys sp*, como se puede observar en el (Gráfico 40) al comparar las dos imágenes observamos que la clasificación refleja lo que nos muestra la imagen original, en el caso de *Gynoxys sp*, podemos observar que su ubicación es la correcta, ya que en nuestras salidas de campo pudimos observar que la misma se ubica principalmente en las zonas de paramo en pequeños remanentes, cabe recalcar que en el interior del bosque si encontramos parches de este género pero muy pocos y aislados, de los cuales no se tomaron sus puntos de control, porque las otras especies que conformaba el bosque simplemente cubrían los parches, haciendo imposible que sean captados por el satélite.

**Gráfico 40.-** Comparación entre la imagen original y la clasificada



Elaborado por: Carrillo. L

## 2. Post clasificación

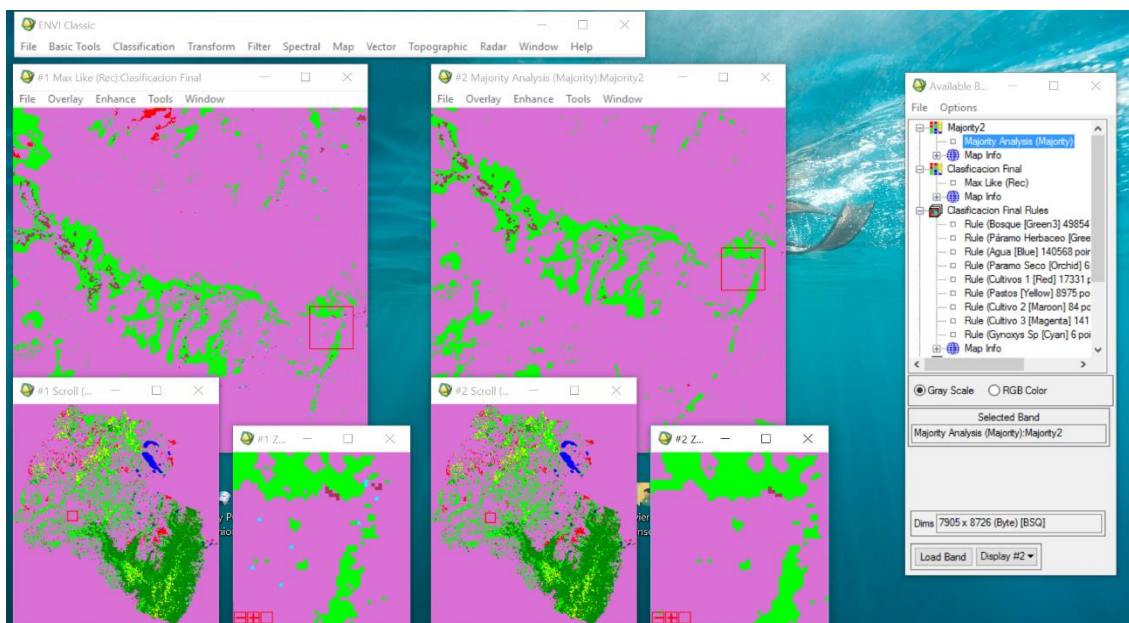
Se aplicaron tres filtros donde se mejoró la clasificación que por defecto obtuvimos con el algoritmo, los cuales se describen a continuación.

### a. Filtros de Post Clasificación

#### 1) Majority Analysis

Este filtro se aplicó en base a nuestro criterio al ser aplicado los pixeles que no han sido agrupados, fueron absorbidos por la clase mayoritaria en la cual se ubican, como podemos observar dentro de la clase páramo (Gráfico 41) se encuentra pixeles que no pertenecen a la misma, por lo cual se le indico al filtro que estos pixeles fueran absorbidos por dicha clase, este procedimiento se aplicó con las siguientes clases: cultivo1, cultivo 2, cultivo 3, paramo herbáceo - humedales y *Gynoxys sp* tomando como base el páramo seco ya que esta es la clase de mayor tamaño.

**Gráfico 41.-** Aplicación de majority analysis

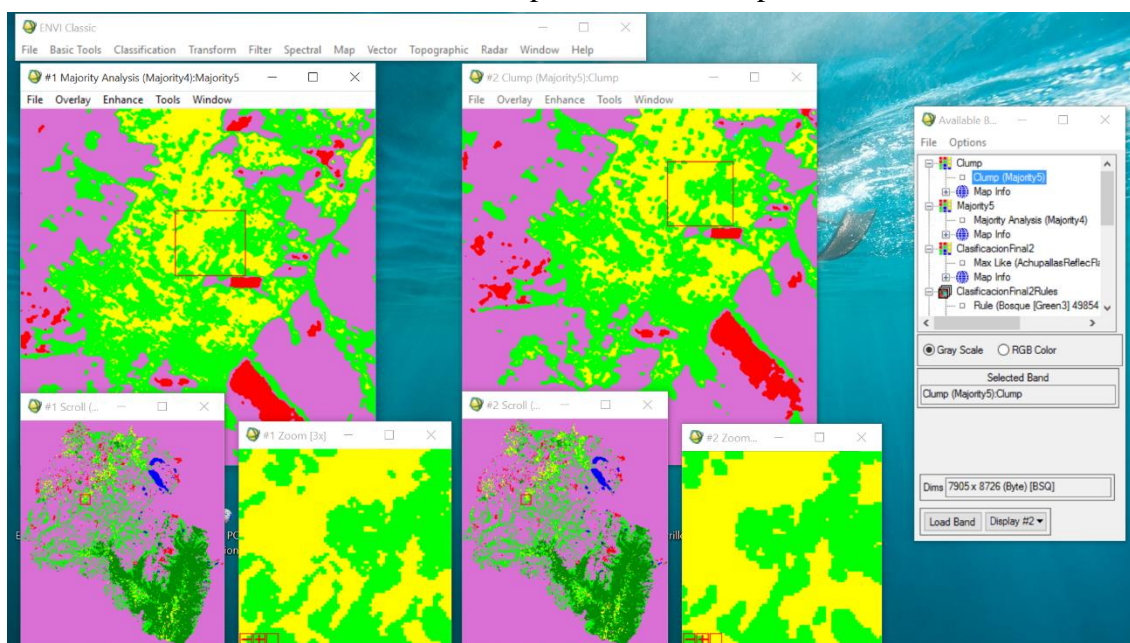


Elaborado por: Carrillo. L

## 2) Clump

Mediante este filtro se agregó la coherencia espacial de las clases generadas, para esto el filtro compara y combina pixeles similares adyacentes a las áreas clasificadas, ubicando a los mismos en las clases a las que mayor similitud tenga, de no ser así se mantiene la ubicación inicial del pixel (Gráfico 42).

**Gráfico 42.-** Aplicación de clump



Elaborado por: Carrillo. L



### 3) Combine Classes

Como la discriminación de tipos cultivos no es nuestra área de estudio, las tres clases de cultivos que se crearon fueron unificados en una sola clase general (Gráfico 43).

**Gráfico 43.-** Aplicación de Combine Classes



Elaborado por: Carrillo. L

#### b. Determinación de la exactitud de la clasificación

Se determinó la exactitud de la clasificación a través de la matriz de confusión de ENVI, esta prueba fue aplicada previo al proceso de post clasificación donde la exactitud fue de 94.9333% (Gráfico 44) y después del mismo con un 95.7077% (Gráfico 45), el porcentaje de mejora que nos dan los filtros seleccionados es de 0.7747 %, complementariamente la matriz de confusión no entrega el índice Kappa de la clasificación el mismo fue interpretado a partir de la tabla de valoración del coeficiente kappa (Landis y Koch, 1977) citada por (Cerde & Villarroel, 2008) (Gráfico 46) , la cual nos indica que la valoración de la clasificación es de **Casi perfecta**.

**Gráfico 44.-** Matriz de confusión - Imagen sin filtros

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: C:\Users\LuisDg Z\Desktop\Tesis\Tesis Imagenes Satelitales\Clasificacion\ClasificacionFinal2

Overall Accuracy = (1348777/1420763) 94.9333%

Kappa Coefficient = 0.9239

Class	Ground Truth (Pixels)					
	Bosque	Páramo	Herbac	Agua	Paramo Seco	Cultivos 1
Unclassified	0	0	0	0	0	0
Bosque [Green]	483966	1942	28	430	0	0
Páramo Herbac	8664	87388	0	17968	6	0
Agua [Blue] 1	0	0	140492	0	0	0
Paramo Seco [	408	1369	25	611613	567	0
Cultivos 1 [R	148	1	23	17467	16758	0
Pastos [Yello	5256	13656	0	63	0	0
Cultivo 3 [Ma	3	86	0	268	0	0
Gynoxys Sp [C	102	182	0	2762	0	0
Total	498547	104624	140568	650571	17331	0

Elaborado por: Carrillo. L

**Gráfico 45.-** Matriz de confusión - Imagen con filtros

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: C:\Users\LuisDg Z\Desktop\Tesis\Tesis Imagenes Satelitales\Clasificacion\ClasificacionFinal3

Overall Accuracy = (1359779/1420763) 95.7077%

Kappa Coefficient = 0.9353

Class	Ground Truth (Pixels)					
	Bosque	Páramo	Herbac	Agua	Paramo Seco	Cultivos 1
Unclassified	0	0	0	0	0	0
Bosque [Green]	486525	1498	23	370	0	0
Páramo Herbac	5239	85620	0	13246	0	0
Agua [Blue] 1	0	0	140543	0	0	0
Paramo Seco [	201	608	2	621209	362	0
Cultivos 1 [R	155	90	0	15666	16969	0
Pastos [Yello	6426	16803	0	38	0	0
Cultivo 3 [Ma	0	0	0	0	0	0
Gynoxys Sp [C	1	5	0	42	0	0
Total	498547	104624	140568	650571	17331	0

Elaborado por: Carrillo. L

**Gráfico 46.-** Valoración del coeficiente kappa (Landi y Koch, 1977)

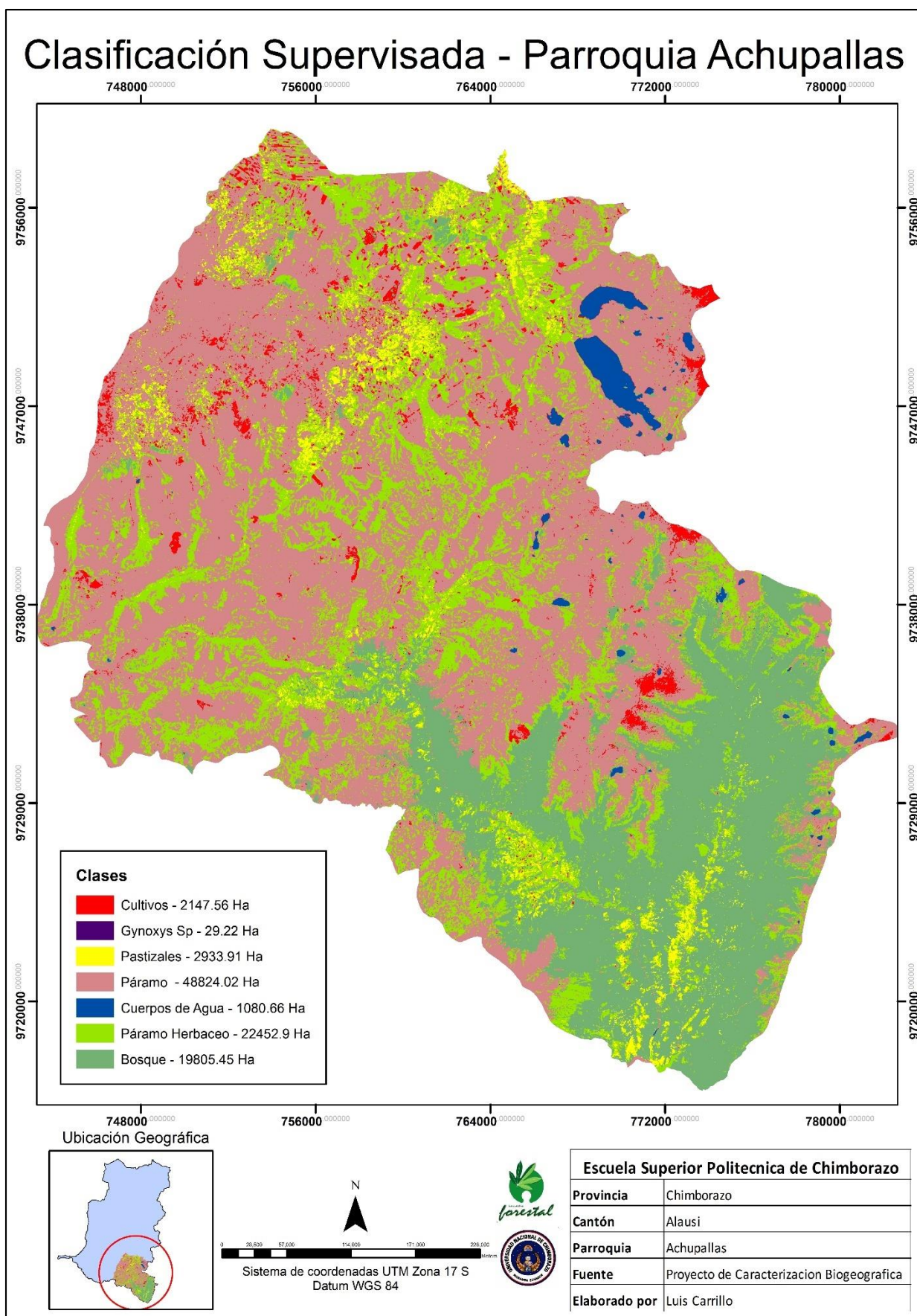
Coefficiente kappa	Fuerza de la concordancia
0,00	Pobre ( <i>Poor</i> )
0,01 - 0,20	Leve ( <i>Slight</i> )
0,21 - 0,40	Aceptable ( <i>Fair</i> )
0,41 - 0,60	Moderada ( <i>Moderate</i> )
0,61 - 0,80	Considerable ( <i>Substantial</i> )
0,81 - 1,00	Casi perfecta ( <i>Almost perfect</i> )

Fuente: (Cerde & Villarroel, 2008)

### e. Exportación a formato .shp y edición final de las imágenes

Finalizado los procesos con la imagen, la misma se llevó a formato shape, que nos permitió la edición con el software ArcMap 10.2.2, donde se realizó la presentación final del mapa y se calculó las áreas que conforman cada una de clases.

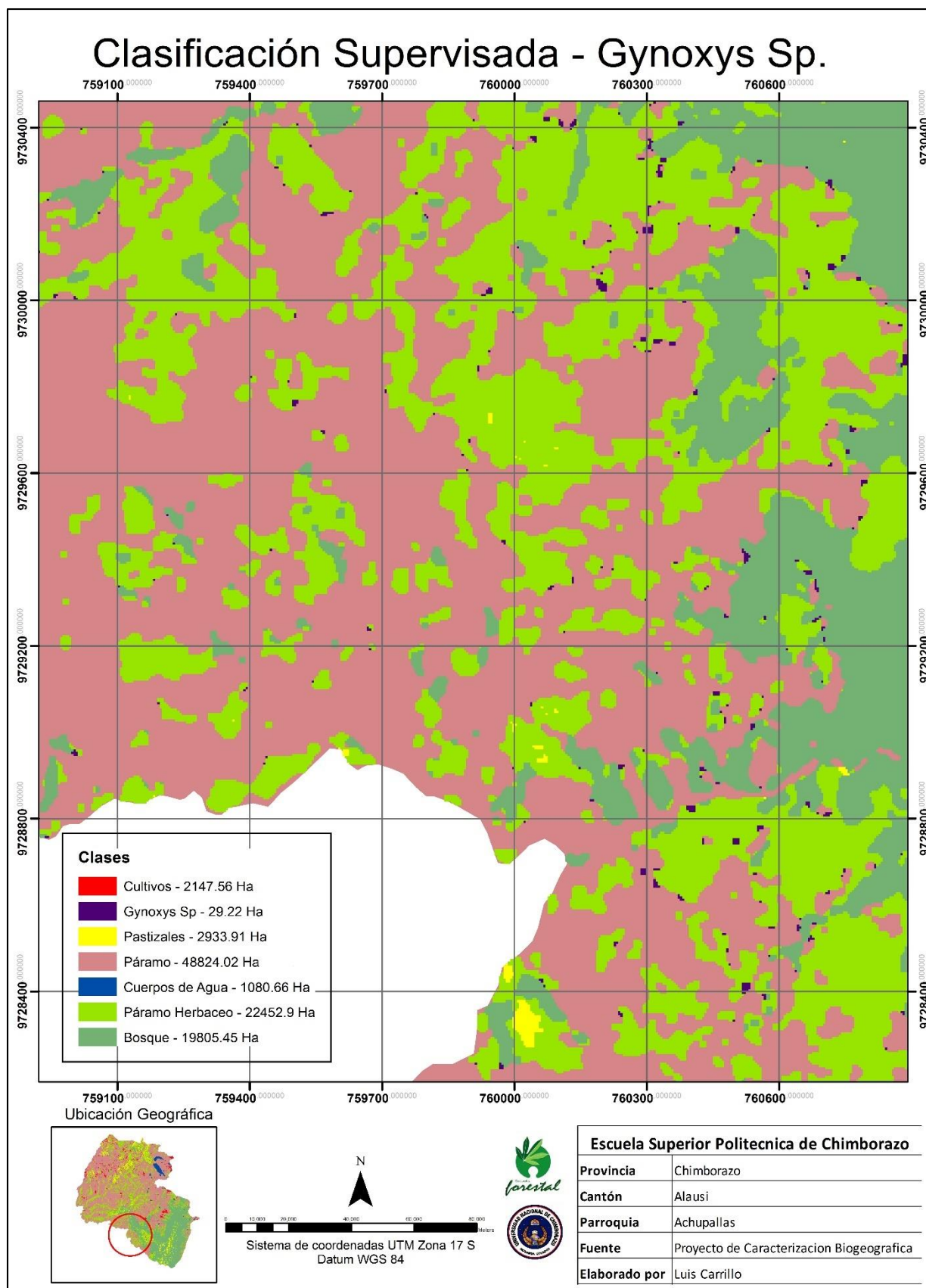
**Mapa 3.-** Clasificación supervisada de la parroquia Achupallas



Elaborado por: Carrillo. L



**Mapa 4.-** Clasificación supervisada de *Gynoxys sp*



**Elaborado por:** Carrillo. L

## **VII. CONCLUSIONES**

- Se obtuvo una firma espectral representativa de *Gynoxys sp Kcon* con un nivel de reflectancia medio de 54.5 %, un máximo de 64.5% con las condiciones climáticas optimas (cielo despejado) y un mínimo de 44.8% para condiciones climáticas adversas (cielo nublado) en los tres casos sin la presencia de viento, a los 1100 nm del espectro electromagnético donde la firma alcanza su pico más alto.
- La variación de los niveles de reflectancia de *Gynoxys sp* obtenidos con el espectroradiómetro están directamente relacionados con la nubosidad en el área de estudio, es el principal factor a tener en cuenta a la hora de realizar un muestreo, la variación de la nubosidad en el día 2 ocasiono que los cambios en los niveles de reflectancia a las 10:00, 12:00 y 14:00 sean altamente significativos, todo lo contrario con los obtenidos en los días 1 y 2, donde las condiciones climáticas fueron estables durante las tres horas, cielo despejado en el día 1 y cielo nublado en el 2, obteniendo una variación no significativa para los dos días.
- La variación de los niveles de reflectancia de *Gynoxys sp* no cambiaron entre los puntos de control en la imagen rapideye, ya que está relacionada por la predominancia de la vegetación que le rodea, para obtener una firma representativa la especie en estudio debe ser predominante en el área donde se tome el punto de control, de esta forma el pixel analizado contendrá la información exacta de la misma.
- La obtención exitosa de la firma espectral de una especie forestal nativa dependerá exclusivamente de la resolución de la imagen satelital, la imagen rapideye es la idónea para este tipo de estudios, donde la variedad de especies y el no contar con parches de vegetación que abarque el tamaño del pixel de la imagen landsat 7 hizo imposible su uso tanto para la captura de la firma espectral, como para el proceso de clasificación.
- El algoritmo clasificador utilizado, mostro un 94.9333% en la precisión global de la clasificación sin aplicar un filtro de corrección y 95.7077% después de haber aplicado

los filtros de corrección, con un porcentaje de mejora de 0.7747 %, lo que muestra que la selección de áreas de entrenamiento fue la correcta, obteniendo una clasificación que representa lo que se observa en la imagen satelital

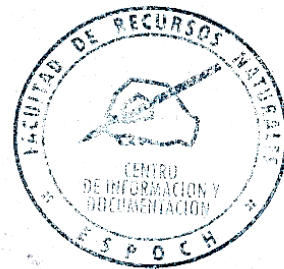
- El índice Kappa de la clasificación fue de 0.9353 que según la tabla de valoración del coeficiente kappa (Landis y Koch, 1977) citada por (Cerde & Villarroel, 2008), nos indica que la clasificación está en el rango más alto de la tabla de 0.81 a 1 cuya valoración es casi perfecta.
- *Gynoxys sp* ocupa el 0.03% (29,22 Ha), cultivos el 2.20% (2147.56 Ha), pastizales el 3.01% (2933.91 Ha), páramo el 50.19% (48824.02 Ha), cuerpos de agua el 1.11% (1080.66 Ha), páramo herbáceo – humedales 23.08% (22452.9 Ha) y bosque el 20.36% (19805.45 Ha) del área de estudio que está conformada por 97273.72 Ha

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- Dar seguimiento a este trabajo investigativo, aplicando las metodologías descritas en otros ecosistemas y especies, de esta forma se puedan mejorar los procesos descritos y a la vez comenzar con la construcción de una biblioteca de firmas espectrales.
- Considerar el viento al momento de capturar una firma espectral, debido a que el movimiento que ocasiona en la vegetación, se ve reflejado en las firmas espectrales con la presencia de ruido que distorciona de forma significativa la tendencia que genera las especie en estudio.
- Realizar estudios de zonificación de especies nativas con las imágenes rapideye, para determinar hasta qué punto se puede diferenciar las especies que forman un bosque, en el caso de las imágenes landsat 7 su uso seria idóneo para la zonificación e identificación de plantaciones forestales, cuya área abarca fácilmente el tamaño del pixel de este tipo de imágenes.
- Continuar con el estudio de firmas espectrales en imágenes satelitales de esta forma la biblioteca espectral será completa, aprovechando la facilidad del manejo de una imagen, donde el éxito de la obtención depende de tomar buenos puntos de control en el campo.
- Ampliar la metodología para determinar las áreas de entrenamiento, buscando una mayor separabilidad de los distintos cultivos que existe en el área de estudio con las demás clases creadas.

## **IX. RESUMEN**

La presente investigación propone: Determinar la firma espectral de *Gynoxys sp*, para la clasificación de imágenes satelitales en el bosque de ceja andina en la parroquia Achupallas, cantón Alausi, provincia de Chimborazo; para lo cual se utilizó un espectroradiómetro de firmas espectrales Fiel Spec 4 Widerange, el software ViewSpec Pro de ASD y una imagen satelital rapideye. Con el fin de obtener la curva de reflectancia "Firma Espectral" se tomó muestras durante tres días, georeferenciando el sitio con un GPS de alta precisión, además se elaboró los metadatos de la especie en estado latizal a diferentes horas 10:00; 12:00 y 14:00, tomando en cuenta que en este momento la especie recibe la mayor cantidad de radiación solar, los niveles de reflectancia se analizaron a partir de un diseño completamente al azar, para la imagen se tomó puntos de control ubicando parches de la vegetación en estudio de 5 x 5 m; finalizada la toma de los espectros en campo, visualizamos las firmas espectrales del radiómetro y las capturadas en los puntos de control; con el software SAMS para su análisis, determinando un valor medio de 0,0174 de porcentaje de reflectancia en los 350 nm del espectro electromagnético, que representa la clorofila, además no existió niveles de significancia entre los intervalos de las muestras y las horas de monitoreo cuando se tiene un día con condiciones óptima para el espectroradiómetro y una firma representativa a partir de la imagen. Esta información se utilizará para obtener una librería de firmas espectrales y zonificar la especie en áreas similares utilizando teledetección.





## **X. SUMMARY**

The current research proposes to determine the *Gynoxys* sp. spectral signature to classify the satellite images of an Andean forest located in Achupallas, Alausi County, Chimborazo Province. For this, it was necessary to use Fiel Spec 4 Widerange spectral digital signature radiometer, ViewSpec Pro de ASD software, and rapideye satellite image. In order to obtain the reflectance curve (Spectral Signature), three-day samples were taken with the use of a High- Precision GPS to locate the place. In addition the metadata of the species in its young growth stage at different time (10:00, 12:00, and 14:00 hours) were elaborated, this taking into account that the species receives the largest amount of solar radiation, the reflectance levels were analyzed from a completely randomized design, for the image some check points were taken locating the vegetation stains by means of a 5 by 5-metre study. Once the field spectra taking finished, it was possible to visualize the radiometer spectral signature as well as the ones taken at the check points, this was carried out with the use of SAMS software for the analysis which determined a medium value of reflectance (0.0174 %) at 350 nm of the electromagnetic spectrum representing the chlorophyll. In addition there was no presence of significance levels between the samples intervals as well as the monitoring hours in a day with optimal conditions for the radiometer-spectrum and, a representative signature beginning with the image. This information will be used to obtain a wide range of spectral signatures and place the species in similar areas with the use of remote detection.



## **XI. BIBLIOGRAFIA**

- Alonso, C., Moreno, V. & Rodríguez, E. (1999). Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación. *Teledetección: Avances y Aplicaciones*, 429-432. Consultado el: 8 de junio, 2015. Obtenido en: <http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb99.pdf>
- Asdi. (2015). *FieldSpec 4 Wide-Res Field Spectroradiometer*. Consultado el: 8 de junio, 2015. Obtenido en *FieldSpec 4 Spectroradiometers*: <http://www.asdi.com/products/fieldspec-spectroradiometers/fieldspec-4-wide-res>
- Azaria, L., Goldshleger, N., Ben-Dor, E. & Bar-Hamburger, R. (2009). Detection of cannabis plants by hyper-spectral remote sensing means. *6th EARSeL Imaging Spectroscopy SIG workshop*, 1-6. Consultado el: 8 de junio, 2015. Obtenido en: <http://www.specim.fi/index.php/publications/2009/108-detection-of-cannabis-plants-by-hyper-spectral-remote-sensing-means>.
- Bautista, F., González, H., Palacio, J. & Delgado, M. (2004). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. México D.F: ISBN 970-32-1778-8.
- Bussmann, R. (2005). Bosques andinos del sur de Ecuador, clasificación, regeneración y uso. *Revista Peruana de Biología*, 203-216. Consultado el: 9 de junio, 2015. Obtenido en : <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/2394>.
- Castro, R. (1999). *Sistema para el Seguimiento y Análisis de Tierras*. Chile: FAO. Consultado el: 8 de junio, 2015. Obtenido en : [http://www2.inia.cl/medios/platina/descarga/TallerSatelital/bsesteoricasp.remota\\_rcastro.pdf](http://www2.inia.cl/medios/platina/descarga/TallerSatelital/bsesteoricasp.remota_rcastro.pdf).
- Chander, G., Markham, B. & Helder, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS,TM,ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 893-903. Consultado el: 8 de junio, 2015. Obtenido en : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425709000169>
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental* . Tercera Edición. España: Ariel S.A.

- Corrales, R. (2011). Catalogo de firmas espectrales de especies florales, en la Ciudad Universitaria, Tegucigalpa, Fase 1. *Ciencias Especiales*, 1-12. Consultado el: 8 de junio, 2015. Obtenido en : <http://www.lamjol.info/index.php/CE/article/view/610>
- Gonzalez, E. (2015). *Guía básica de conceptos de Radiometría y Fotometría*. Consultado el: 8 de junio, 2015. Obtenido en Universidad de Sevilla: <http://laplace.us.es/campos/optica/general/opt-guia2.pdf>
- González, M., Jiménez, M., Amaro, A., De Miguel, E., Fernández, A. & Gutiérrez, O. (2015). *Metadatos para espectro-radiometria de campo utilizando normativa ISO y OGC*. Consultado el: 9 de junio, 2015. Obtenido en XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica: <http://www.congresos.cchs.csic.es/TIG2012/node/35>
- Hernández, J. & Montaner, D. (2015). *Patrones de Respuesta Espectral*. Consultado el : 10 de junio, 2015. Obtenido en Universidad de Chile: Laboratorio de Geomática y Ecología del Paisaje: <http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20&%20Montaner%202009%20SAF.pdf>.
- Kiang, N., Siefert, J., Govindjee, M. & Blankenship, R. (2007). Spectral signatures of photosynthesis. I. Review of Earth organisms. *Astrobiology*, 222-251. Consultado el: 9 de junio, 2015. Obtenido en : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17407409>.
- Lizarazo, I. (2008). Clasificación de la cobertura y del uso urbano usando imágenes de satélite y algoritmos supervisados de inteligencia artificial. *UD y la Geomática*, 4-18. Consultado el: 10 de junio, 2015. Obtenido en : <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/UDGeo/article/view/3669>.
- Maltese, A., Pampalone, V., Malthus, T., Ciraolo, G., Karpouzli, E. & La Loggia, G. (2008). Processing of field spectroradiometric data for remote sensing mapping of submerged vegetation in coastal zones and lagoon environments. *EARS eL eProceedings*, 105-119. Consultado el: 10 de junio, 2015. Obtenido en : [http://www.e proceedings.org/static/vol07\\_2/07\\_2\\_maltese1.pdf](http://www.e proceedings.org/static/vol07_2/07_2_maltese1.pdf).

- Monterroso, M. (2015). *Guía Práctica: Clasificación de imágenes satelitales*. Consultado el: 8 de junio, 2015. Obtenido en Geoportal : [geoportal.inigemm.gob.ec/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r](http://geoportal.inigemm.gob.ec/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r).
- Muñoz, J. & Ponce, A. (14 de Julio de 2015). *Percepción Remota "Fundamentos de Teledetección"*. Consultado el: 9 de junio, 2015. Obtenido en CONAGUA Mexico: <http://siga.conagua.gob.mx/SIGA/Percepcion/Fundamentos%20de%20teledeteccion%20de%20semillas.pdf>
- Nijmeijer, R., Haas, A. & Dost, R. (2015). *ITC-ILWIS Documentation version 3*. Consultado el: 10 de junio, 2015. Obtenido en Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation: <https://www.itc.nl/ilwis/documentation/version3.asp>
- Ordóñez, L., Aguirre, N. & Hofstede, R. (2015). *Sitios de recolección de semillas forestales andinas del Ecuador*. Consultado el: 9 de junio, 2015. Obtenido en repository.unm.edu: <https://repository.unm.edu/bitstream/handle/1928/12916/Sitios%20de%20recoleccion%20de%20semillas.pdf?sequence=1>
- Pfützner, K., Bollhöfer, A. & Carr, G. (2006). A standard design for collecting vegetation reference spectra: Implementation and implications for data sharing. *Journal of spatial science*, 79-92. Consultado el: 9 de junio, 2015. Obtenido en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14498596.2006.9635083>.
- Reuter, F. (2015). *Principios de Teledetección*. Consultado el: 11 de junio, 2015. Obtenido en Facultad de Ciencias Forestales-UNSE: <http://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-33-Principios-teledeteccion-REUTER.pdf>
- Richter, M. & Muñoz, A. (2005). Heterogeneidad climática y diversidad de la vegetación en el sur de Ecuador: un método de fitoindicación. *SciELO - Revista Peruana de biología*, 217 - 238. Consultado el: 11 de junio, 2015. Obtenido en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332005000200007&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332005000200007&script=sci_abstract&tlng=pt)

- Romero, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC*, 13-41. Consultado el: 11 de junio, 2015. Obtenido en: [http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24\\_02.pdf](http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_02.pdf)
- Suárez Duque, A. (2008). Formación de un corredor de hábitat de un bosque montano alto en un mosaico de páramo en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 9-15. Consultado el: 11 de junio, 2015. Obtenido en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162008000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162008000100002&script=sci_arttext)
- Vaughan, P. (2015). *Estimacion de Contenido de Humedad de la Vegetación Mediante Espectro-Radiometro*. Consultado el: 11 de junio, 2015. Obtenido en Universidad de Alcalá: [http://www.investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/sites/investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/files/files/uploads/TESINA\\_VAUGHAN%20P\\_2001\\_0.pdf](http://www.investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/sites/investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/files/files/uploads/TESINA_VAUGHAN%20P_2001_0.pdf)
- Villajos, S. (2015). *Teledetección Fundamental*. Consultado el: 11 de junio, 2015. Obtenido en Universidad de Madrid: <http://pdi.topografia.upm.es/santi/descarga/FunTeled.PDF>
- Yébenes, Á. & Gines, Á. (14 de Julio de 2015). *Clasificación Digital de Imágenes por Satélite*. Consultado el: 11 de junio, 2015. Obtenido de Sistemas en Telemedia: [https://www.academia.edu/6592249/CLASIFICACION%20DIGITAL\\_DE\\_IMAGENES\\_POR\\_SATELITE\\_3o\\_ITT.SE\\_Sistemas\\_de\\_Telemedia](https://www.academia.edu/6592249/CLASIFICACION%20DIGITAL_DE_IMAGENES_POR_SATELITE_3o_ITT.SE_Sistemas_de_Telemedia)

## **XII. ANEXOS**

### **A. ANEXO 1.- METODOLOGÍA PARA DETERMINAR FIRMAS ESPECTRALES EN BOSQUE DE CEJA ANDINA**

#### **1. Selección del área de estudio y vegetación**

##### **a. Trabajo de Campo**

##### **1. Selección de la época del Año**

Los muestreos deben realizarse preferentemente en verano para garantizar la máxima radiación solar tomando en cuenta los siguientes factores (Grafico 1):

- **Nubes.** - La presencia de nubosidad parcial indica vapor de agua atmosférico de gran variabilidad espacial y temporal, debido a la gran influencia del vapor de agua en la transmisión atmosférica, la variabilidad del vapor de agua atmosférico al momento de tomar las mediciones de referencia y objetivo provocará errores en el espectro resultante, errores que se pueden reducir minimizando la cantidad de tiempo entre la medición del blanco de referencia y del objetivo.
- **Viento.** - El viento puede ser una fuente de error si el material que se está midiendo se mueve al momento de coleccionar el espectro. Si se barre lentamente un espectro, los cambios en la cantidad de sombra en el campo visual del instrumento producirán “características” erróneas en el espectro. El dosel arbóreo de la vegetación, con su gran proporción de sombra, es especialmente susceptible a los errores inducidos por el viento.

**Grafico 1.-** Bosque de Ceja Andina



**Elaborado por:** Carrillo. L

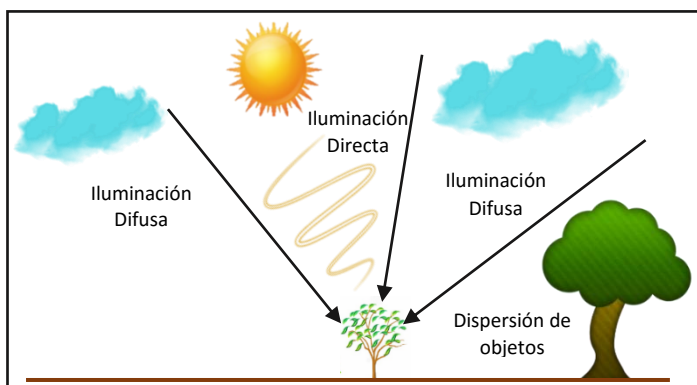
## 2. Selección del sitio de muestreo

Una salida de campo previo al muestreo permitirá observar las condiciones del área de estudio, debe ir un mínimo de dos personas, una de ellas será el operador del radiómetro y otra necesariamente debe ser especialista en la vegetación a medir. Para la selección se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- **Características del lugar para tomar la muestra.** - Debe ser abierto y amplio, con buena insolación, sin presencia de nubes y evitando la existencia de árboles cercanos o cualquier otro rasgo natural por encima del nivel de medición que obstruya la entrada directa de los rayos solares (Grafico 2-3).

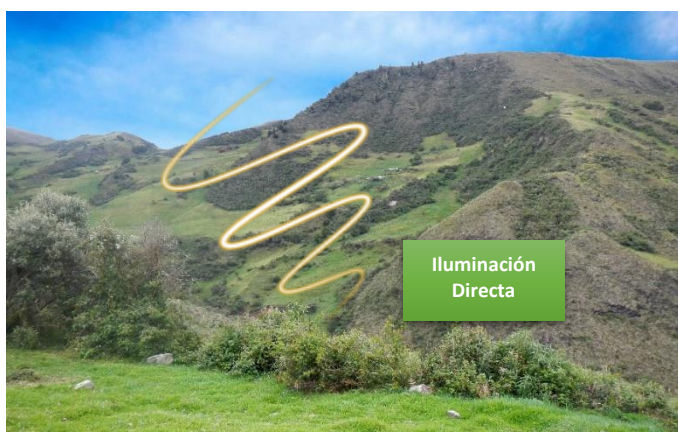
En caso de no ser posible satisfacer estos requisitos, en el momento de la medición se analiza la forma de minimizar estos efectos, sin que esto afecte mayormente las condiciones naturales en las que se encuentra la vegetación.

**Grafico 2.-** Iluminación adecuada para la medición



Elaborado por: Carrillo. L

**Grafico 3.-** Espacio e iluminación adecuada para la medición



Elaborado por: Carrillo. L

- **Distancia entre sitios.** - Si se van a tomar en diferentes localidades, es deseable que los distintos sitios se encuentren relativamente cerca unos de otros de acuerdo a la variabilidad climática de la zona, en el bosque de ceja andina se recomienda una distancia no mayor a los 2 km en vehículo y 500 m a pie, con el fin de que las condiciones meteorológicas de los sitios no difieran mucho.
- **Accesibilidad.** - Es importante poder llegar al sitio de medición con el vehículo, para evitar pérdidas de tiempo en el traslado y maltratar los equipos.

### 3. Selección de especie forestal

La forma y el tamaño de las plantas son factores importantes a la hora de escoger la especie para la obtención de su espectro, para lo cual se tiene que tener en cuenta si se posee el equipo complementario adecuado para realizar las mediciones principalmente si son especies altas (> a 3m) se debe usar implementos (escalera y extensores) que nos permitan subir para tomar las muestras desde la parte superior de la planta de tal forma que el ángulo de cobertura del lente cubra el ancho de la especie (Grafico 4-5).

De no ser así la selección idónea serán especies cuyo tamaño sea menor a los 3 metros, facilitándonos realizar una medición correcta minimizando los errores al tener acceso a toda la planta (Grafico 6).

**Grafico 4.-** Equipo complementario para mediciones de altura



**Fuente:** <http://geogra.uah.es/espectra/index.html>



**Grafico 5.-** Forma y tamaño de una especie forestal para la obtención del espectro



Elaborado por: Carrillo. L

**Grafico 6.-** Forma y tamaño de una especie forestal arbustiva para la obtención del espectro



Elaborado por: Carrillo. L

#### 4. Geo-referenciación de las especies seleccionadas

En cada sitio seleccionado se geo-referencia las especies seleccionadas para la obtención de su espectro (Grafico 7), incluyendo fotografías generales tanto de la especie como de la vegetación a su alrededor tratando de abarcar un campo de visión amplio. Junto con el waypoint de cada especie, se debe hacer una breve descripción del lugar con la identificación de los rasgos potenciales a ser medidos, posibles problemas observados y cualquier otra acotación que permita después seleccionar o descartar el sitio.

**Grafico 7.-** Geo-referenciación de las especies seleccionadas

Elaborado por: Carrillo. L

## b. Trabajo de Oficina

Con los datos obtenidos en la caracterización del área de estudio, se determina el lugar más apropiado y con mayor accesibilidad para la captura de los espectros de las especies seleccionadas y se continúa con la preparación de los materiales y equipos.

### 1. Diseño de la ficha para la obtención del metadato

Se crea una ficha que contenga la información necesaria sobre la captura que se está realizando la misma contendrá como base la información que se ha obtenido del trabajo de campo y los campos que se describen a continuación, el número de campos dependerá de la información que se requiera recolectar al realizar el muestreo de los espectros (Tabla 1).

**Tabla 1.-** Ficha para el levantamiento de la información espectral

<b>Información General</b>	
<b>Espectro-Radiómetro</b>	
<b>Operador</b>	
<b>Fecha</b>	
<b>Hora del Muestreo</b>	
<b>Numero de Espectros</b>	
<b>Ubicación</b>	
<b>Provincia</b>	
<b>Cantón</b>	
<b>Parroquia</b>	
<b>Coordenadas</b>	
<b>Altitud</b>	
<b>Condiciones Meteorológicas</b>	
<b>Temperatura</b>	
<b>Humedad</b>	

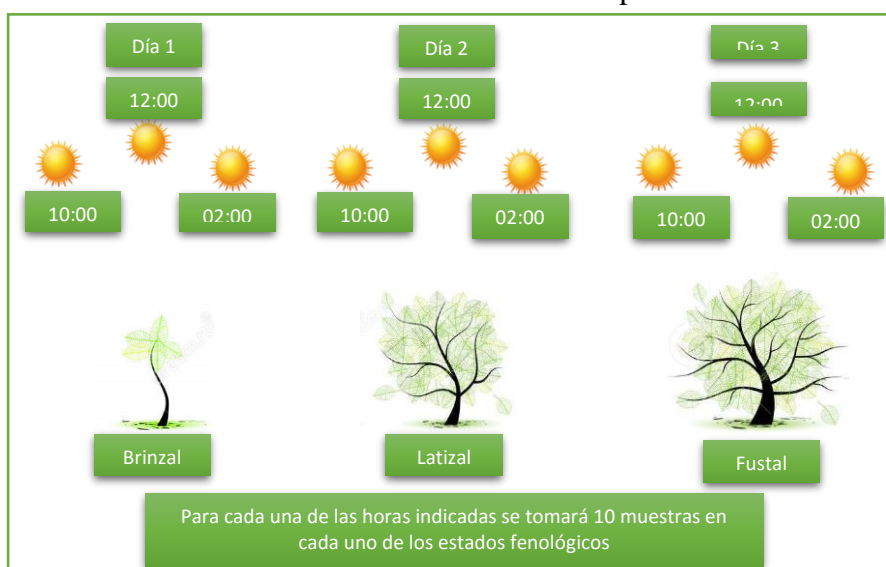
<b>Radiación Solar</b>	
<b>Descripción de la Especie</b>	
<b>Nombre Vulgar</b>	
<b>Nombre Científico</b>	
<b>Estado Fenológico</b>	
<b>Fotografía 1</b>	<b>Fotografía 2</b>

Elaborado por: Carrillo. L

## 2. Diseño del muestreo de campo

Para la obtención de una firma espectral de forma correcta, requerimos que la especie seleccionada reciba la mayor cantidad de radiación solar tomando en cuenta que se realizarán mediciones en condiciones naturales en campo y que en el Ecuador por su ubicación geográfica en la zona tórrida la radiación solar prácticamente incide en la superficie terrestre de forma perpendicular, por lo que las horas de mayor incidencia de la radiación solar son: 10:00, 12:00, 14:00, en estas horas se procederá con la captura de los espectros en tres estados fenológicos brinzal latizal y fustal, el número de capturas serán de 10 espectros para cada estado fenológico, en cada una de las horas antes mencionadas. Cada estado fenológico será medido un día a la vez, procurando que las condiciones sean las mismas para cada medición (Grafico 8).

**Grafico 8.- Muestreo en campo**



Elaborado por: Carrillo. L

### 3. Verificación y selección de los accesorios del Equipo

Se definirá los accesorios a utilizarse y su función para que no existan confusiones al momento de realizar las mediciones, de acuerdo a la o las especies seleccionadas en el campo, ya que el equipo cuenta con accesorios específicos para los distintos estudios que se puede realizar y se detallan a continuación.

**Grafico 9.-** Espectro-radiómetro y fibra óptica



Elaborado por: Carrillo. L

**Grafico 10.-** Baterías y Conectores de Baterías INPUT 12 VDC



Elaborado por: Carrillo. L

**Grafico 11.-** Cable de red con conectores rj45



Elaborado por: Carrillo. L

**Grafico 12.-Spectralon (10x10) y Trípode de Sujeción**



**Elaborado por:** Carrillo. L

**Grafico 13.- Pistol Grip**



**Elaborado por:** Carrillo. L

**Grafico 14.- Mochila de Campo y Sujedor de Fibra de Óptica**



**Elaborado por:** Carrillo. L

**Grafico 15.- Fiber Check**



**Elaborado por:** Carrillo. L

**Grafico16.-** Soporte de laptop para campo y batería extra



**Elaborado por:** Carrillo. L

**Grafico 17.-** Laptop con los programas Rs3 High Contrast y View Spec Pro

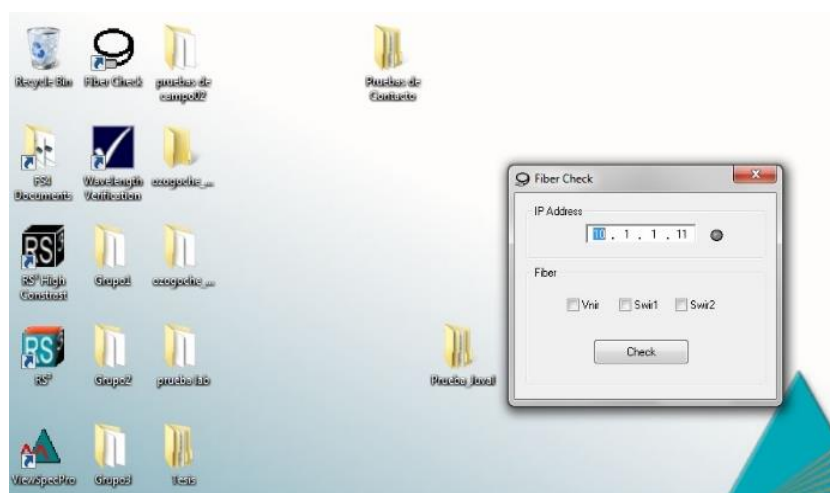


**Elaborado por:** Carrillo. L

Seleccionados los accesorios a utilizar se verifica su buen funcionamiento conjuntamente con el equipo principal y el resto del equipo auxiliar (la brújula, GPS, cámaras fotográficas etc).

#### **4. Verificar el estado de la fibra óptica**

La verificación del estado de la fibra óptica se realiza con el Fiber check, es un programa suministrado por el fabricante y que se encuentra en el computador, dicha verificación se recomienda hacerla en oficina, ya que si la fibra óptica presenta algún desperfecto, el equipo ya no podrá ser usado, para lo cual se seguirá el siguiente procedimiento: Abrir en el computador **Fiber Check** y el programa se conectara con el equipo, seguido verificaremos que la conexión sea la correcta mediante la dirección Ip que se genera: Conexión wireless – 10.1.1.77, conexión vía cable – 10.1.1.11 (Grafico 28).

**Grafico 18.- Fiber Check**

Elaborado por: Carrillo. L

Colocar el accesorio de verificación en la fibra óptica (Grafico 29), en el programa seleccionamos VNIR y clic en **Check** al mirar por el accesorio se deberán encender 19 luces de color rojo, para SWIR1 19 luces de color blanco y para SWIR2 19 luces de color verde (Grafico 30). Con ello se garantiza la funcionalidad de la fibra al medir el espectro en todo el rango medible por el equipo, para este caso cubre las mediciones VNIR: 350-1000nm SWIR1: 1000-1800 nm SWIR2:1800-2500 nm.

**Grafico 19.- Accesorio de verificación**

Elaborado por: Carrillo. L



**Grafico 20.-** Verificación de la fibra óptica



Elaborado por: Carrillo. L

## **2. Muestreo de Firmas Espectrales.**

### **a. Protocolo de Monitoreo**

El equipo de trabajo debe estar conformado por un grupo mínimo de tres personas, cada uno con asignaciones específicas, las cuales no deben ser cambiadas durante el día de trabajo para evitar errores de inconsistencia en los datos recogidos y la cantidad de personas dependerá de la especie forestal a muestrear. Para la obtención de cada una de las muestras se seguirá el siguiente procedimiento:

#### **1. Montaje y conexiones del espectro radiómetro**

##### **Paso 1 – Montaje en la Mochila de Campo**

- En estado Off del equipo se realiza el montaje del espectro radiómetro en la mochila de campo, verificando que los ventiladores no estén tapados, los seguros de la mochila



se encuentren bien ajustados y la salida de la fibra óptica este ubicada en el lateral izquierdo de la mochila (Grafico 21).

- Se colocara las baterías en los bolsillos laterales de la mochila, conectar al equipo con el conector de batería INPUT 12 VDC.
- Montar el sujetor de Fibra óptica en la mochila y colocar la fibra óptica en el mismo
- Encender el equipo de 15 a 30 minutos previo a la medición

**Grafico 21.-** Montaje del equipo en la maleta para campo



Elaborado por: Carrillo. L

## Paso 2 – Armado del espectralon, acople de la fibra óptica en el pistol grip con FOV 25 °

Se coloca el espectralon (blanco de referencia) en el trípode, en el lugar de la medición, seguido colocaremos la fibra óptica en el pistol grip (Grafico 22).

**Grafico 22.-** Instalación del espectralon y pistol grip



Elaborado por: Carrillo. L

### Paso 3 – Conexión con el computador

Encendido el computador, el equipo se conecta de dos maneras: 1. Por defecto de forma inalámbrica vía wireless, de existir demasiada interferencia, 2. Podemos usar el cable rj45 para conectar el equipo de forma directa al computador, esta configuración se recomienda para mediciones en campo (Grafico 23).

**Grafico 23.-** Conexión del equipo vía cable



Elaborado por: Carrillo. L

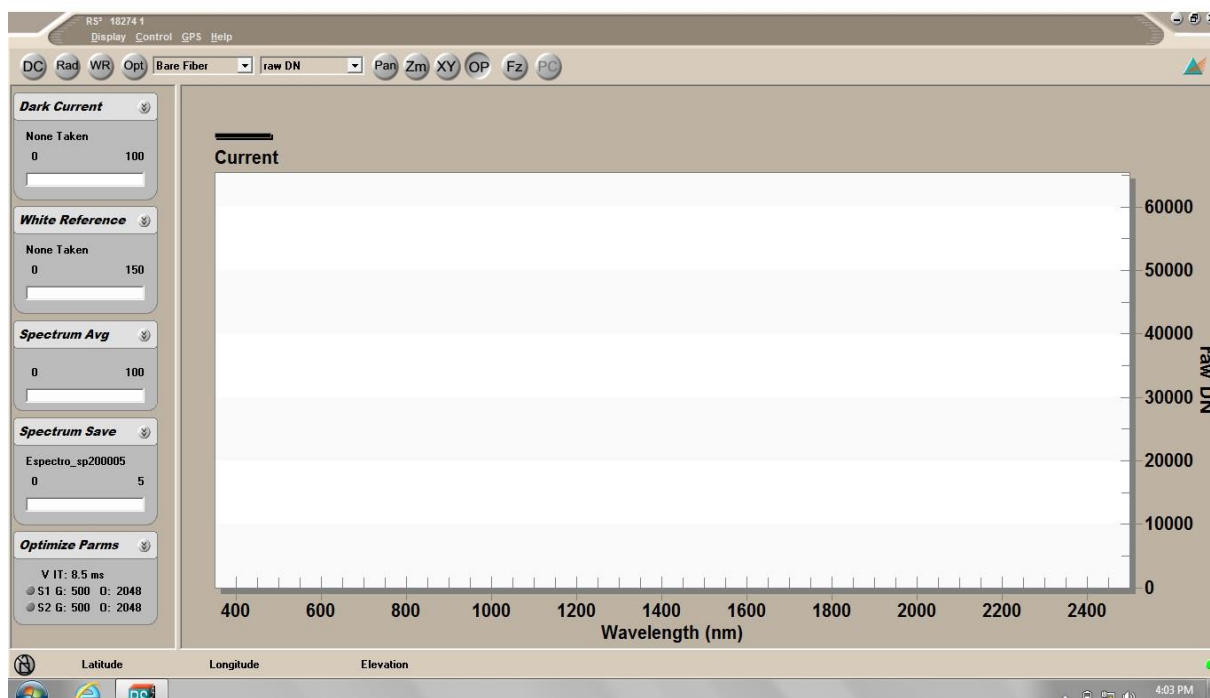
## 2. Configuración y calibración del Equipo

Finalizado el armado y conexiones del equipo, se procede a calibrar el equipo con el software Rs3:

### Paso 1 – Comprobar la conexión del equipo con Rs3

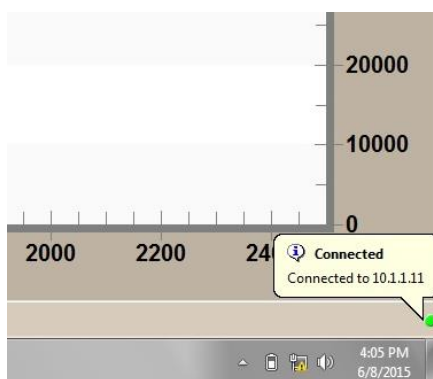
Abrir **Rs3 High Contrast** en el computador (Grafico 24), en la parte inferior izquierda de la pantalla verificar la conexión del Rs3 con el equipo mediante el icono **Connection Status** (Estado de conexión) sea la correcta para una adecuada comunicación con el espectro-radiometro, vía wireless o por cable el programa lo hará automáticamente, se nos indicara mediante un mensaje si se ha realizado la conexión o no (Grafico 25)

**Grafico 24.-** Pantalla principal del software Rs3



Elaborado por: Carrillo. L

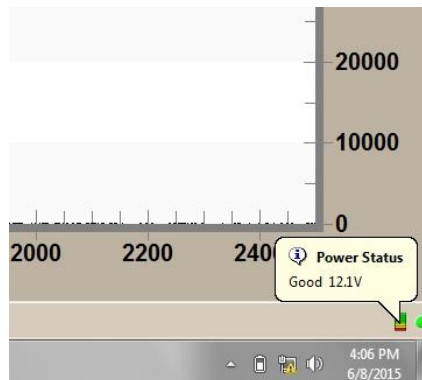
**Grafico 25.-** Comprobar la conexión del equipo con Rs3



Elaborado por: Carrillo. L

Además, se verifica el indicador del **Power Status** (Estado de energía) (Grafico 26), el cual se encuentra ubicado al lado del indicador del **Connection Status** (Estado de conexión), nos mostrara los niveles de carga de la batería:

- 11-12 voltios se considera bueno.
- <11 voltios el programa emite una advertencia

**Grafico 26.-** Estado de la batería del Equipo

**Elaborado por:** Carrillo. L

## Paso 2 – Configuración de Spectrum Save

En la barra de menú seleccionamos **Control** y nos dirigimos a la opción **Spectrum Save** (Grafico 27), se abrirá una ventana que nos permite configurar los siguientes aspectos (Grafico 28):

**Path Name:** Ubicación donde se almacenará los espectros.

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

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

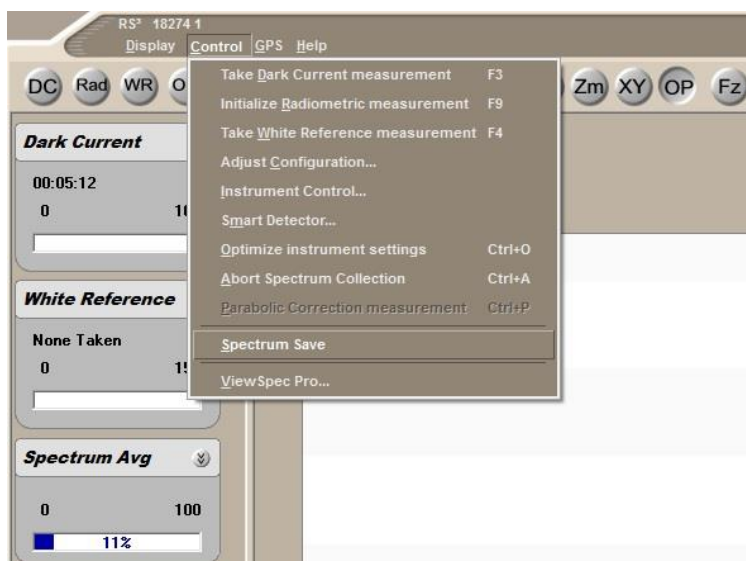
**Number of files to save:** El número de espectros que se van a tomar.

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

**Coments:** Se colocará información adicional de la muestra como: nombre de la especie, ciclo fenológico, hora, etc.

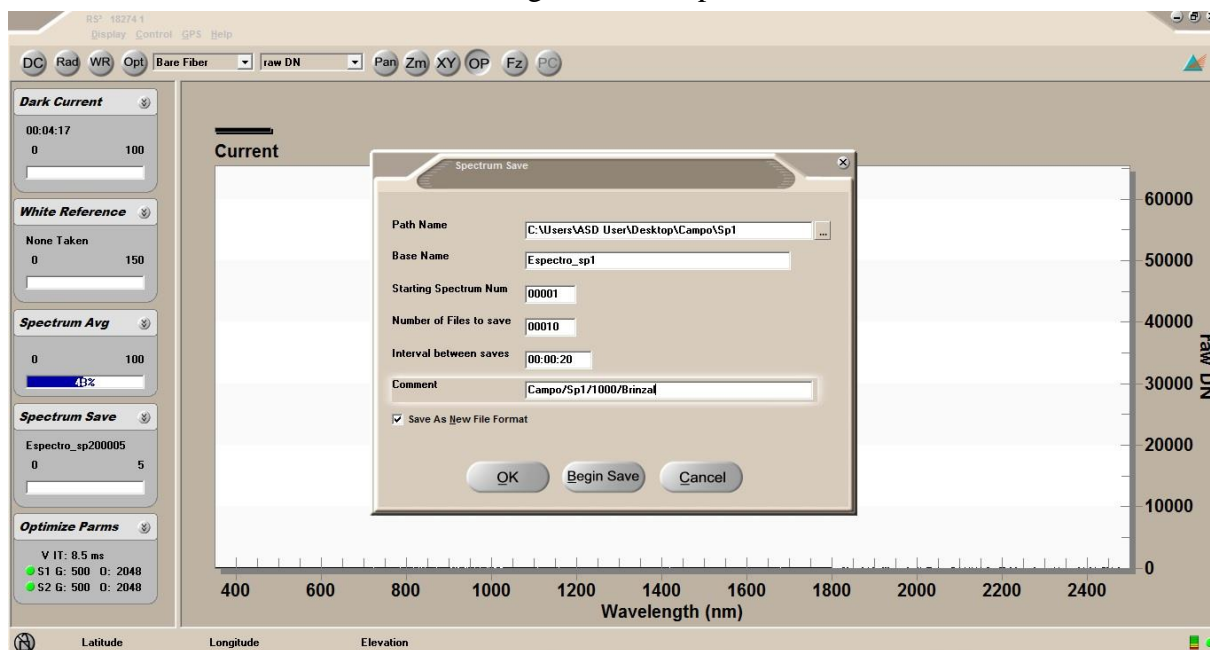
A continuación, se selecciona la opción **Save as a new file format**, esta nos permite almacenar los archivos en formato .asd los que nos permite una fácil conversión en el programa **view spec pro** a reflectancia, transmitancia y radiancia

**Grafico 27.-** Ingreso a la opción spectrum save



Elaborado por: Carrillo. L

**Grafico 28.-** Configuración de spectrum save

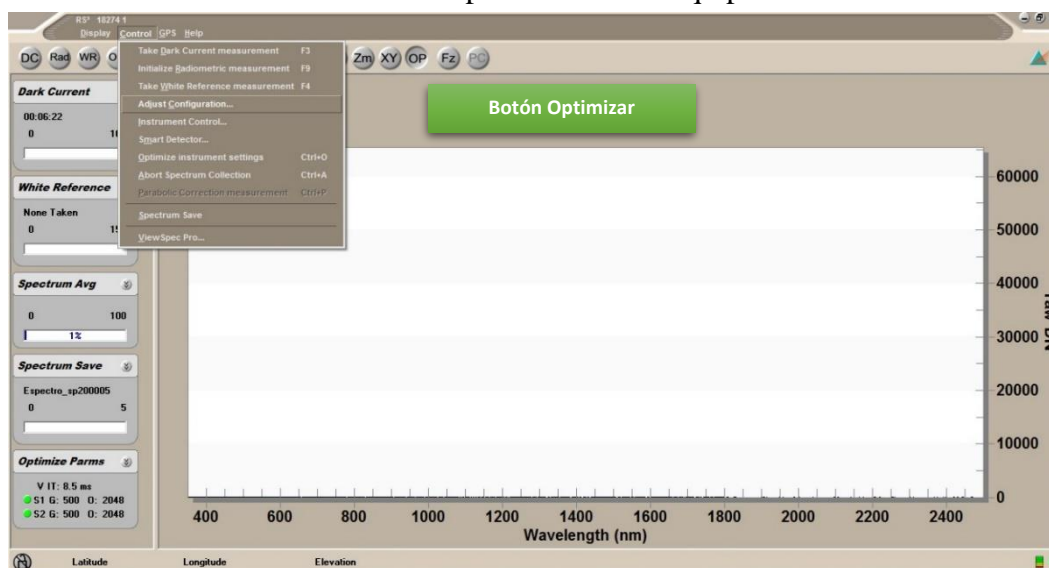


Elaborado por: Carrillo. L

### Paso 3 – Optimización y configuración para el muestreo de espectros

Primero se optimizará el equipo para lo cual daremos clic en el botón **OP** ubicado en la barra de herramientas, seguido en la barra de menú seleccionamos **control** y elegimos **configuration** donde realizaremos los siguientes cambios (Grafico 29):

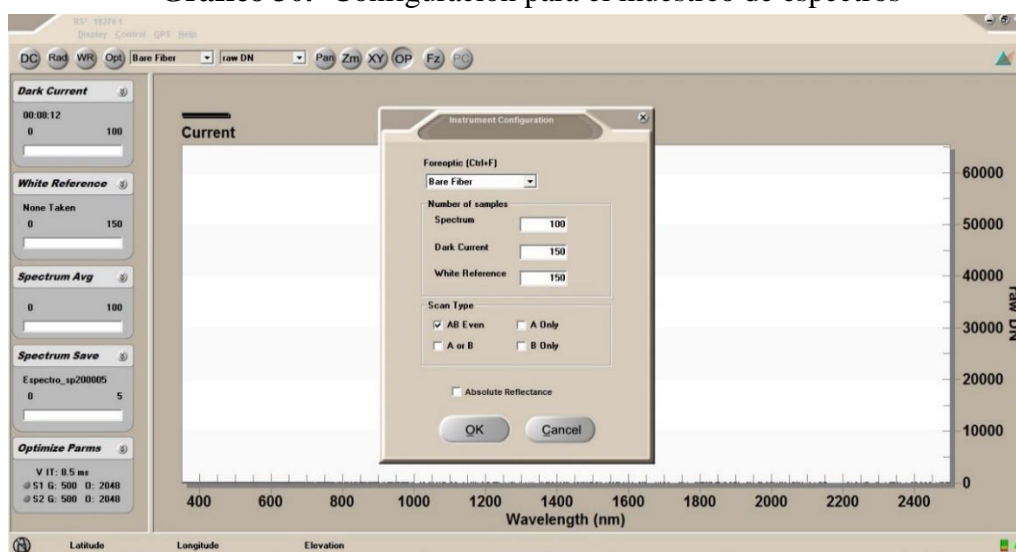
**Grafico 29.- Optimización del equipo**



Elaborado por: Carrillo. L

- **Foreoptic:** Seleccionar con qué tipo de lente se está trabajando (Grafico 30).
- **Number of Samples:** Se escribe el número de muestras que se van a tomar para la calibración del equipo en el caso del Dark current (Corriente oscura) y White reference (Blanco de Referencia), y las muestras que se van a promediar para la obtención de la firma espectral para Spectrum (Espectro), para el caso de muestras en campo se colocara de la siguiente manera:
  - **Spectrum:** 100
  - **Dark current:** 150
  - **White reference:** 150

**Grafico 30.- Configuración para el muestreo de espectros**



Elaborado por: Carrillo. L



Clic en aceptar y automáticamente el equipo comenzara con el calibrado, para lo cual nos pedirá tomar el blanco de referencia (Grafico 31), con el pistol grip se debe apuntar al espectralon de forma perpendicular al mismo, evitando cualquier interferencia a la emisión directa de luz solar por efectos de sombra ocasionada por la vegetación o el operador, durante el tiempo que nos pida el equipo. Al finalizar este procedimiento el equipo estará listo para capturar los espectros de las especies seleccionadas.

**Grafico 31.-** Calibración del blanco de referencia



Elaborado por: Carrillo. L

### 3. Muestreo de espectros

Armado y calibrado el equipo (Grafico 32), los muestreos se deben realizar de acuerdo al diseño elaborado en la oficina, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

**Grafico 32.-** Equipo armado y calibrado para su operación



Elaborado por: Carrillo. L

- El operador debe controlar la geometría de la interacción (hombre, planta, sensor) (Grafico 33), lo recomendable es usar un trípode para el sensor (la pistola con el lente) de esta forma se mantiene la altura y el ángulo constante. De no contar con este, se debe fijar una altura y mantenerse durante todo el muestreo.

**Grafico 33.-** Geometría de la interacción (hombre, planta, sensor)



**Elaborado por:** Carrillo. L

- El sensor debe estar orientado en la misma posición relativa respecto al sol, de esta forma no se proyectan sombras sobre la superficie donde se está midiendo.
- Al realizar el muestreo, el operador debe observar constantemente la respuesta obtenida. Si se observa un cambio brusco en la firma que se va generando por el espectro-radiómetro o si es saturado por la cantidad de energía recibida, se deben eliminar esos espectros y volver a tomar la medida del blanco de referencia (Spectralon) y continuar con la toma de muestras.
- Durante la toma de la muestra el operador debe estar siempre acompañado de su equipo de trabajo, para evitar el mal uso del equipo por enredo o torcedura de los cables, pérdida de material de protección para los cables, caída de cualquier herramienta (la pistola, la laptop entre otras), caída del operador (por ningún motivo el espectro-radiómetro debe golpearse), las personas que acompañen al operador deben mantener una distancia prudencial para evitar afectar la medición.



#### 4. Recomendaciones generales después de la medición.

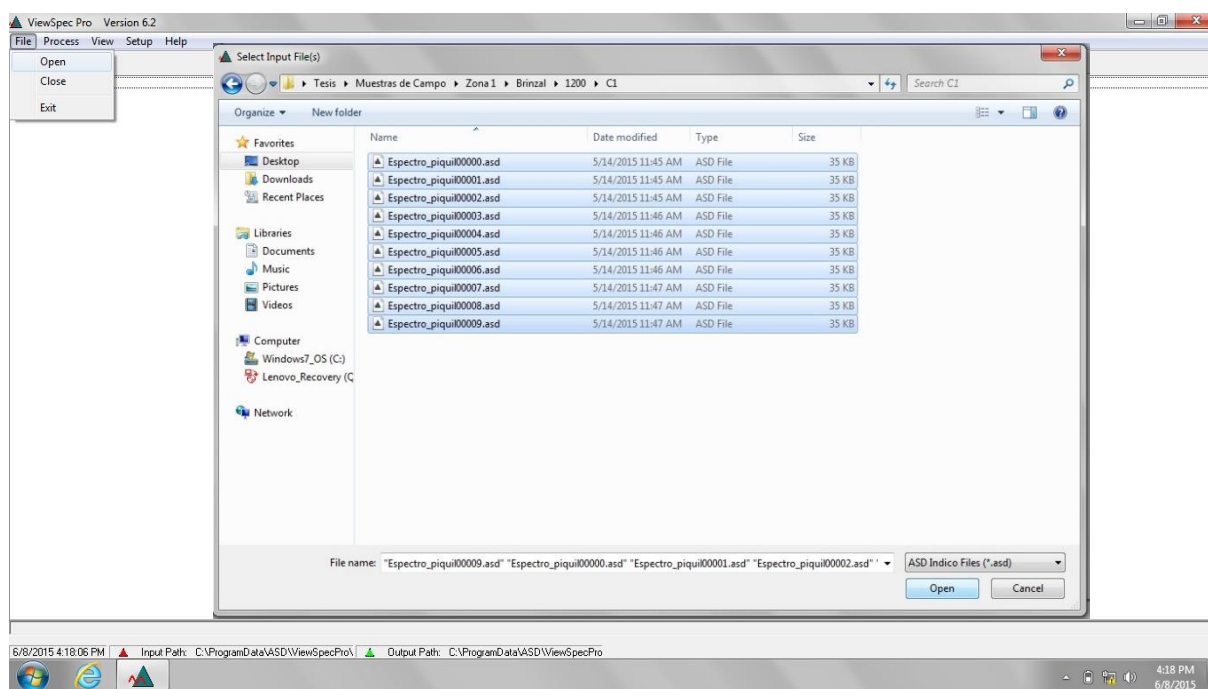
- Finalizado el muestreo, revise el área para evitar la pérdida u olvido del material utilizado.
- Al regresar de la labor de muestreo es importante que cada integrante tenga funciones específicas a realizar como: recargar las baterías de todos los equipos (GPS, cámaras, baterías del radiómetro, laptop, teléfonos, etc), procesar la información colectada en campo (espectros, completar el llenado de las fichas, etc), realizar respaldos de la información, descarga de fotografías y asegurarse de que el equipo esté completo y en orden.

### 3. Procesamiento de la información

Finalizada la toma de los espectros, visualizaremos la firma espectral con el software **View Spec Pro** para su análisis.

**Paso 1.-** Abrir **View Spec Pro / Open** seleccionamos la carpeta donde guardamos los espectros, seleccionamos los que deseamos revisar, clic **Open (Grafico 34)**.

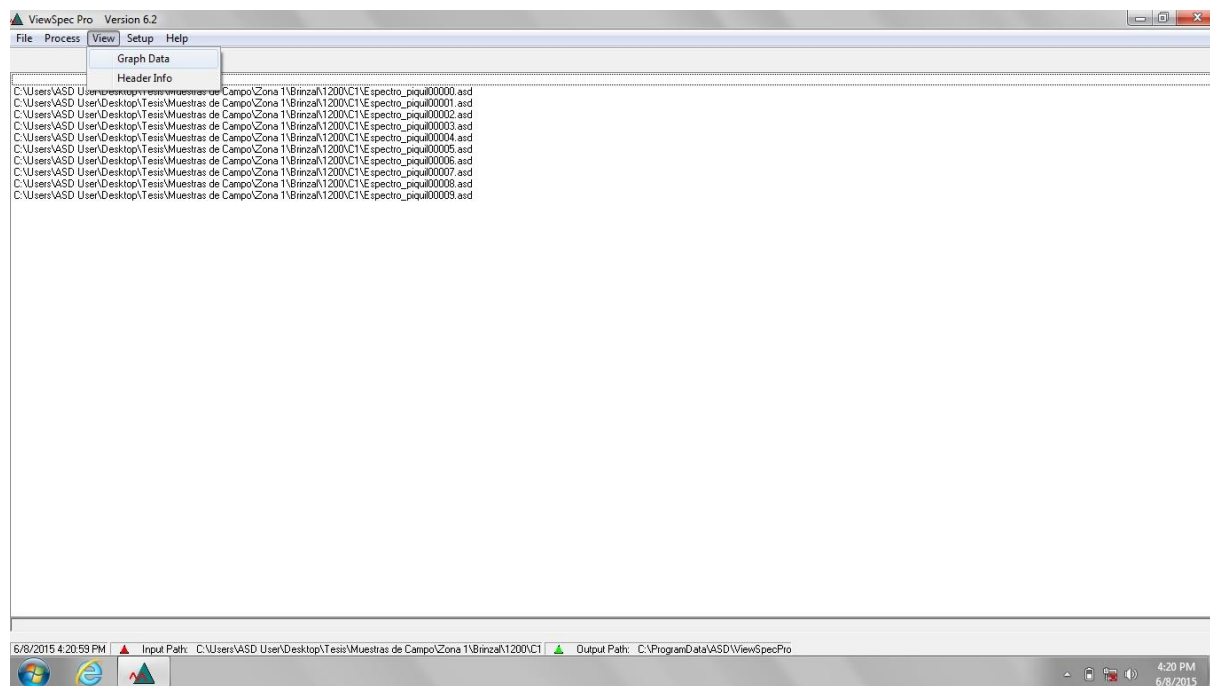
**Grafico 34.-** Paso 1



**Elaborado por:** Carrillo. L

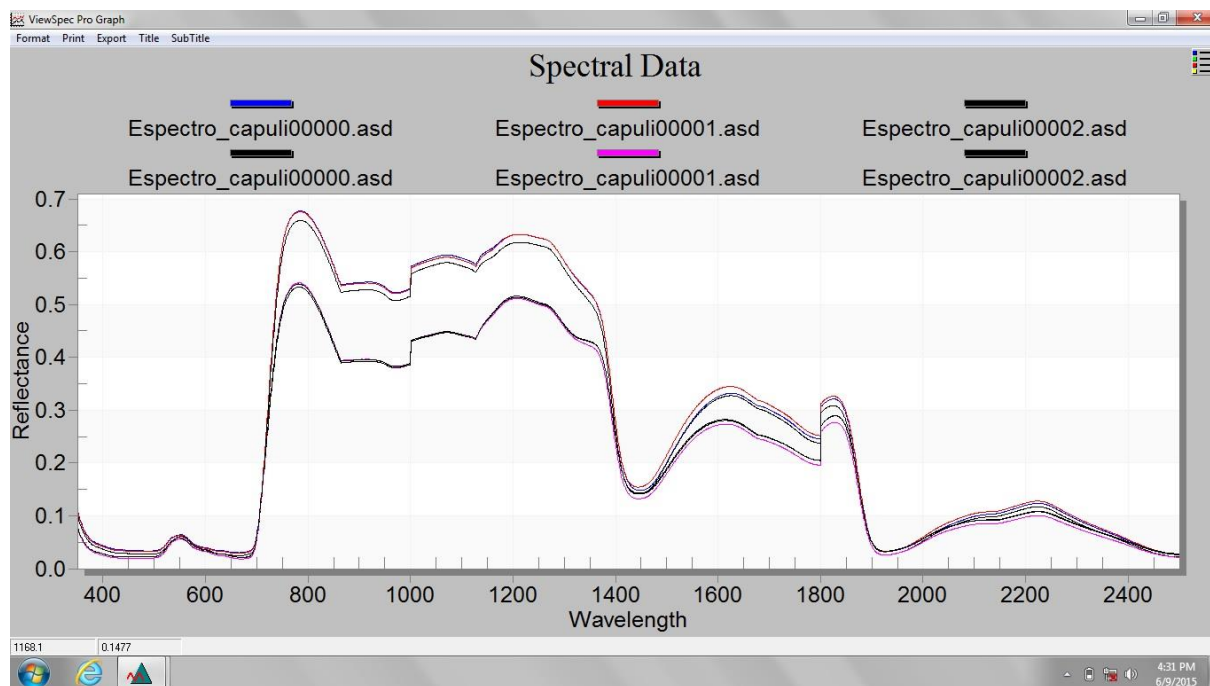
**Paso 2.-** Con los datos cargados en el programa, seleccionamos en la barra de herramienta **View/Graph Data** (Grafico 35), automáticamente el programa nos mostrara el grafico con las curvas de reflectancia para su respectivo análisis (Grafico 36).

**Grafico 35.- Paso 2**



Elaborado por: Carrillo. L

**Grafico 36.- Paso 2**



Elaborado por: Carrillo. L

**B. ANEXO 2.- BASE DE DATOS DIGITAL**

### C. ANEXO 3.- ANALISIS DE VARIANZA

#### 1. Análisis estadístico aplicado a los niveles de Reflectancia

##### a. Día 1

**Tabla 1.-** Análisis estadístico a los 445 nm

445 Firma Espectral	Horas			Sumatoria	Promedio
	10:00 am	12:00 am	14:00 pm		
1	2.38E-02	2.60E-02	2.69E-02	<b>7.68E-02</b>	2.56E-02
2	2.36E-02	2.44E-02	2.71E-02	<b>7.51E-02</b>	2.50E-02
3	2.49E-02	2.28E-02	2.61E-02	<b>7.39E-02</b>	2.46E-02
4	2.66E-02	2.38E-02	2.52E-02	<b>7.56E-02</b>	2.52E-02
5	2.74E-02	2.35E-02	2.69E-02	<b>7.78E-02</b>	2.59E-02
6	2.11E-02	2.44E-02	2.88E-02	<b>7.42E-02</b>	2.47E-02
7	2.41E-02	2.50E-02	1.97E-02	<b>6.87E-02</b>	2.29E-02
8	2.31E-02	2.44E-02	1.62E-02	<b>6.36E-02</b>	2.12E-02
9	2.46E-02	2.68E-02	1.77E-02	<b>6.91E-02</b>	2.30E-02
10	3.05E-02	2.67E-02	1.90E-02	<b>7.62E-02</b>	2.54E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>2.50E-01</b>	<b>2.48E-01</b>	<b>2.34E-01</b>	<b>7.31E-01</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>2.50E-02</b>	<b>2.48E-02</b>	<b>2.34E-02</b>	<b>2.44E-02</b>	<b>2.44E-02</b>

<b>F.C</b>	7.31E-01	1.78E-02
<b>S.C.To</b>	2.89E-04	
<b>S.C.Tiemp.</b>	1.53E-05	
<b>S.C.Errorres</b>	2.74E-04	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 2.-** Análisis estadístico a los 550 nm

550 Firma Espectral	Horas			Sumatoria	Promedio
	10:00 am	12:00 am	14:00 pm		
1	7.38E-02	7.86E-02	8.20E-02	<b>2.34E-01</b>	7.81E-02
2	7.34E-02	6.73E-02	8.04E-02	<b>2.21E-01</b>	7.37E-02
3	7.88E-02	6.63E-02	7.75E-02	<b>2.23E-01</b>	7.42E-02
4	8.51E-02	7.08E-02	7.64E-02	<b>2.32E-01</b>	7.74E-02
5	8.73E-02	7.15E-02	8.06E-02	<b>2.39E-01</b>	7.98E-02
6	6.68E-02	7.47E-02	8.39E-02	<b>2.25E-01</b>	7.51E-02
7	7.46E-02	7.00E-02	6.22E-02	<b>2.07E-01</b>	6.89E-02
8	7.06E-02	7.54E-02	5.60E-02	<b>2.02E-01</b>	6.73E-02
9	7.76E-02	8.27E-02	5.55E-02	<b>2.16E-01</b>	7.19E-02
10	9.28E-02	7.92E-02	6.04E-02	<b>2.32E-01</b>	7.75E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>7.81E-01</b>	<b>7.37E-01</b>	<b>7.15E-01</b>	<b>2.23E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>7.81E-02</b>	<b>7.37E-02</b>	<b>7.15E-02</b>	<b>7.44E-02</b>	<b>7.44E-02</b>

<b>F.C</b>	2.23E+00	1.66E-01
<b>S.C.To</b>	2.27E-03	
<b>S.C.Tiemp.</b>	2.25E-04	
<b>S.C.Errorres</b>	2.04E-03	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 3.-** Análisis estadístico a los 645 nm

<b>645</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	4.20E-02	5.12E-02	4.70E-02	<b>1.40E-01</b>	4.67E-02
2	4.13E-02	4.81E-02	4.75E-02	<b>1.37E-01</b>	4.56E-02
3	4.44E-02	4.82E-02	4.47E-02	<b>1.37E-01</b>	4.57E-02
4	4.80E-02	4.77E-02	4.55E-02	<b>1.41E-01</b>	4.71E-02
5	5.03E-02	4.77E-02	4.72E-02	<b>1.45E-01</b>	4.84E-02
6	3.62E-02	4.85E-02	4.75E-02	<b>1.32E-01</b>	4.41E-02
7	4.30E-02	4.91E-02	3.04E-02	<b>1.23E-01</b>	4.08E-02
8	4.02E-02	4.92E-02	3.60E-02	<b>1.25E-01</b>	4.18E-02
9	4.43E-02	4.12E-02	3.97E-02	<b>1.25E-01</b>	4.17E-02
10	5.51E-02	4.27E-02	3.27E-02	<b>1.31E-01</b>	4.35E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>4.45E-01</b>	<b>4.74E-01</b>	<b>4.18E-01</b>	<b>1.34E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>4.45E-02</b>	<b>4.74E-02</b>	<b>4.18E-02</b>	<b>4.46E-02</b>	<b>4.46E-02</b>

<b>F.C</b>	1.34E+00	5.95E-02
<b>S.C.To</b>	8.94E-04	
<b>S.C.Tiemp.</b>	1.53E-04	
<b>S.C.Errorres</b>	7.41E-04	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 4.-** Análisis estadístico a los 700 nm

<b>700</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	8.32E-02	9.56E-02	9.43E-02	<b>2.73E-01</b>	9.10E-02
2	8.25E-02	8.38E-02	9.34E-02	<b>2.60E-01</b>	8.66E-02
3	8.84E-02	8.22E-02	8.93E-02	<b>2.60E-01</b>	8.67E-02
4	9.54E-02	8.69E-02	8.97E-02	<b>2.72E-01</b>	9.07E-02
5	9.88E-02	8.80E-02	9.37E-02	<b>2.81E-01</b>	9.35E-02
6	7.53E-02	9.08E-02	9.54E-02	<b>2.61E-01</b>	8.72E-02
7	8.48E-02	8.70E-02	6.84E-02	<b>2.40E-01</b>	8.01E-02
8	8.03E-02	9.24E-02	6.19E-02	<b>2.35E-01</b>	7.82E-02
9	8.90E-02	1.01E-01	6.35E-02	<b>2.54E-01</b>	8.46E-02
10	1.07E-01	9.72E-02	7.00E-02	<b>2.74E-01</b>	9.14E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>8.85E-01</b>	<b>9.05E-01</b>	<b>8.20E-01</b>	<b>2.61E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>8.85E-02</b>	<b>9.05E-02</b>	<b>8.20E-02</b>	<b>8.70E-02</b>	<b>8.70E-02</b>

<b>F.C</b>	2.61E+00	2.27E-01
<b>S.C.To</b>	3.34E-03	
<b>S.C.Tiemp.</b>	4.02E-04	
<b>S.C.Errorres</b>	2.94E-03	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 5.-** Análisis estadístico a los 900 nm

<b>900</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	5.86E-01	5.98E-01	5.96E-01	<b>1.78E+00</b>	5.93E-01
2	5.83E-01	4.88E-01	5.97E-01	<b>1.67E+00</b>	5.56E-01
3	5.80E-01	4.55E-01	6.10E-01	<b>1.65E+00</b>	5.48E-01
4	6.14E-01	5.40E-01	5.94E-01	<b>1.75E+00</b>	5.82E-01
5	6.16E-01	5.43E-01	6.20E-01	<b>1.78E+00</b>	5.93E-01
6	5.96E-01	5.69E-01	6.41E-01	<b>1.81E+00</b>	6.02E-01
7	6.14E-01	5.20E-01	5.92E-01	<b>1.73E+00</b>	5.75E-01
8	6.38E-01	5.80E-01	5.39E-01	<b>1.76E+00</b>	5.86E-01
9	6.24E-01	6.39E-01	5.37E-01	<b>1.80E+00</b>	6.00E-01
10	6.19E-01	6.21E-01	5.72E-01	<b>1.81E+00</b>	6.04E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>6.07E+00</b>	<b>5.55E+00</b>	<b>5.90E+00</b>	<b>1.75E+01</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>6.07E-01</b>	<b>5.55E-01</b>	<b>5.90E-01</b>	<b>5.84E-01</b>	<b>5.84E-01</b>

<b>F.C</b>	17.5214217	1.02E+01
<b>S.C.To</b>	0.057196	
<b>S.C.Tiemp.</b>	0.013844	
<b>S.C.Errorres</b>	0.043352	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 6.-** Análisis estadístico a los 1000 nm

<b>1000</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	5.32E-01	5.52E-01	5.59E-01	<b>1.64E+00</b>	5.47E-01
2	5.38E-01	5.58E-01	5.54E-01	<b>1.65E+00</b>	5.50E-01
3	5.44E-01	5.27E-01	5.64E-01	<b>1.64E+00</b>	5.45E-01
4	5.77E-01	5.03E-01	5.48E-01	<b>1.63E+00</b>	5.43E-01
5	6.01E-01	5.07E-01	5.72E-01	<b>1.68E+00</b>	5.60E-01
6	5.59E-01	5.26E-01	5.98E-01	<b>1.68E+00</b>	5.61E-01
7	5.82E-01	5.89E-01	5.44E-01	<b>1.71E+00</b>	5.71E-01
8	5.86E-01	5.39E-01	4.92E-01	<b>1.62E+00</b>	5.39E-01
9	6.10E-01	5.90E-01	4.91E-01	<b>1.69E+00</b>	5.64E-01
10	6.58E-01	5.73E-01	5.23E-01	<b>1.75E+00</b>	5.84E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>5.79E+00</b>	<b>5.46E+00</b>	<b>5.44E+00</b>	<b>1.67E+01</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>5.79E-01</b>	<b>5.46E-01</b>	<b>5.44E-01</b>	<b>5.57E-01</b>	<b>5.57E-01</b>

<b>F.C</b>	1.67E+01	9.29E+00
<b>S.C.To</b>	3.99E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	7.45E-03	
<b>S.C.Errorres</b>	3.24E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 7.-** Análisis estadístico a los 1400 nm

<b>1400</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.07E-01	1.28E-01	1.20E-01	<b>3.56E-01</b>	1.19E-01
2	9.53E-02	1.09E-01	1.27E-01	<b>3.32E-01</b>	1.11E-01
3	1.25E-01	8.62E-02	1.47E-01	<b>3.58E-01</b>	1.19E-01
4	1.37E-01	1.01E-01	1.67E-01	<b>4.05E-01</b>	1.35E-01
5	1.34E-01	1.20E-01	1.63E-01	<b>4.17E-01</b>	1.39E-01
6	1.37E-01	1.04E-01	1.65E-01	<b>4.06E-01</b>	1.35E-01
7	1.13E-01	1.25E-01	1.52E-01	<b>3.91E-01</b>	1.30E-01
8	1.32E-01	1.16E-01	9.64E-02	<b>3.45E-01</b>	1.15E-01
9	1.55E-01	1.42E-01	1.33E-01	<b>4.30E-01</b>	1.43E-01
10	1.83E-01	1.32E-01	1.30E-01	<b>4.45E-01</b>	1.48E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.32E+00</b>	<b>1.17E+00</b>	<b>1.40E+00</b>	<b>3.89E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.32E-01</b>	<b>1.17E-01</b>	<b>1.40E-01</b>	<b>1.30E-01</b>	<b>1.30E-01</b>

<b>F.C</b>	3.89E+00	5.03E-01
<b>S.C.To</b>	1.56E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	2.88E-03	
<b>S.C.Errorres</b>	1.28E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 8.-** Análisis estadístico a los 1600 nm

<b>1600</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.41E-01	1.54E-01	1.58E-01	<b>4.53E-01</b>	1.51E-01
2	1.44E-01	1.30E-01	1.67E-01	<b>4.41E-01</b>	1.47E-01
3	1.50E-01	1.22E-01	1.74E-01	<b>4.46E-01</b>	1.49E-01
4	1.64E-01	1.39E-01	1.69E-01	<b>4.72E-01</b>	1.57E-01
5	1.82E-01	1.39E-01	1.69E-01	<b>4.90E-01</b>	1.63E-01
6	1.56E-01	1.40E-01	1.74E-01	<b>4.71E-01</b>	1.57E-01
7	1.58E-01	1.39E-01	1.60E-01	<b>4.57E-01</b>	1.52E-01
8	1.59E-01	1.51E-01	1.37E-01	<b>4.48E-01</b>	1.49E-01
9	1.84E-01	1.68E-01	1.40E-01	<b>4.92E-01</b>	1.64E-01
10	2.18E-01	1.66E-01	1.30E-01	<b>5.14E-01</b>	1.71E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.66E+00</b>	<b>1.45E+00</b>	<b>1.58E+00</b>	<b>4.68E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.66E-01</b>	<b>1.45E-01</b>	<b>1.58E-01</b>	<b>1.56E-01</b>	<b>1.56E-01</b>

<b>F.C</b>	4.68E+00	7.31E-01
<b>S.C.To</b>	1.14E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	2.17E-03	
<b>S.C.Errorres</b>	9.19E-03	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 9.-** Análisis estadístico a los 1700 nm

<b>1700</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.64E-01	1.78E-01	1.93E-01	<b>5.35E-01</b>	1.78E-01
2	1.65E-01	1.49E-01	1.92E-01	<b>5.07E-01</b>	1.69E-01
3	1.73E-01	1.41E-01	1.99E-01	<b>5.13E-01</b>	1.71E-01
4	1.88E-01	1.63E-01	1.91E-01	<b>5.42E-01</b>	1.81E-01
5	2.09E-01	1.64E-01	2.04E-01	<b>5.78E-01</b>	1.93E-01
6	1.81E-01	1.66E-01	1.59E-01	<b>5.05E-01</b>	1.68E-01
7	1.83E-01	1.62E-01	1.84E-01	<b>5.29E-01</b>	1.76E-01
8	1.83E-01	1.78E-01	1.59E-01	<b>5.20E-01</b>	1.73E-01
9	2.11E-01	1.96E-01	1.59E-01	<b>5.66E-01</b>	1.89E-01
10	2.47E-01	1.82E-01	1.57E-01	<b>5.86E-01</b>	1.95E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.90E+00</b>	<b>1.68E+00</b>	<b>1.80E+00</b>	<b>5.38E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.90E-01</b>	<b>1.68E-01</b>	<b>1.80E-01</b>	<b>1.79E-01</b>	<b>1.79E-01</b>

<b>F.C</b>	5.38E+00	9.65E-01
<b>S.C.To</b>	1.39E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	2.55E-03	
<b>S.C.Errores</b>	1.14E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

**b. Día 2****Tabla 10.-** Análisis estadístico a los 445 nm

<b>445</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	3.67E-02	3.74E-02	2.66E-02	<b>1.01E-01</b>	3.35E-02
2	4.00E-02	2.94E-02	2.93E-02	<b>9.87E-02</b>	3.29E-02
3	3.82E-02	2.67E-02	2.53E-02	<b>9.02E-02</b>	3.01E-02
4	3.24E-02	3.95E-02	2.68E-02	<b>9.87E-02</b>	3.29E-02
5	4.06E-02	3.97E-02	2.04E-02	<b>1.01E-01</b>	3.36E-02
6	3.57E-02	3.27E-02	2.05E-02	<b>8.89E-02</b>	2.96E-02
7	3.21E-02	2.76E-02	1.51E-02	<b>7.48E-02</b>	2.49E-02
8	3.88E-02	3.34E-02	1.76E-02	<b>8.97E-02</b>	2.99E-02
9	2.93E-02	3.81E-02	1.75E-02	<b>8.50E-02</b>	2.83E-02
10	3.36E-02	3.62E-02	1.47E-02	<b>8.44E-02</b>	2.81E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>3.57E-01</b>	<b>3.41E-01</b>	<b>2.14E-01</b>	<b>9.12E-01</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>3.57E-02</b>	<b>3.41E-02</b>	<b>2.14E-02</b>	<b>3.04E-02</b>	<b>3.04E-02</b>

<b>F.C</b>	9.12E-01	2.77E-02
<b>S.C.To</b>	1.83E-03	
<b>S.C.Tiemp.</b>	1.24E-03	
<b>S.C.Errores</b>	5.90E-04	

Elaborado por: Carrillo. L



**Tabla 11.-** Análisis estadístico a los 550 nm

<b>550</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.04E-01	1.11E-01	6.38E-02	<b>2.79E-01</b>	9.32E-02
2	1.11E-01	8.51E-02	7.07E-02	<b>2.67E-01</b>	8.91E-02
3	1.08E-01	7.96E-02	5.94E-02	<b>2.47E-01</b>	8.22E-02
4	9.20E-02	1.19E-01	6.27E-02	<b>2.74E-01</b>	9.12E-02
5	1.14E-01	1.20E-01	4.81E-02	<b>2.82E-01</b>	9.41E-02
6	1.02E-01	1.01E-01	4.63E-02	<b>2.49E-01</b>	8.29E-02
7	9.16E-02	8.36E-02	3.33E-02	<b>2.09E-01</b>	6.95E-02
8	1.07E-01	9.79E-02	4.00E-02	<b>2.45E-01</b>	8.16E-02
9	8.36E-02	1.12E-01	4.05E-02	<b>2.36E-01</b>	7.87E-02
10	9.44E-02	1.06E-01	3.35E-02	<b>2.34E-01</b>	7.81E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.01E+00</b>	<b>1.02E+00</b>	<b>4.99E-01</b>	<b>2.52E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.01E-01</b>	<b>1.02E-01</b>	<b>4.99E-02</b>	<b>8.41E-02</b>	<b>8.41E-02</b>

<b>F.C</b>	2.52E+00	2.12E-01
<b>S.C.To</b>	2.20E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	1.76E-02	
<b>S.C.Errorres</b>	4.47E-03	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 12.-** Análisis estadístico a los 645 nm

<b>645</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	6.30E-02	5.78E-02	4.44E-02	<b>1.65E-01</b>	5.51E-02
2	7.09E-02	4.39E-02	5.14E-02	<b>1.66E-01</b>	5.54E-02
3	6.71E-02	3.97E-02	4.13E-02	<b>1.48E-01</b>	4.94E-02
4	5.54E-02	6.01E-02	4.56E-02	<b>1.61E-01</b>	5.37E-02
5	7.26E-02	6.19E-02	3.23E-02	<b>1.67E-01</b>	5.56E-02
6	6.33E-02	4.95E-02	3.17E-02	<b>1.44E-01</b>	4.82E-02
7	5.42E-02	4.10E-02	2.36E-02	<b>1.19E-01</b>	3.96E-02
8	6.52E-02	5.13E-02	2.76E-02	<b>1.44E-01</b>	4.80E-02
9	4.78E-02	5.79E-02	2.78E-02	<b>1.33E-01</b>	4.45E-02
10	5.77E-02	5.47E-02	2.24E-02	<b>1.35E-01</b>	4.49E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>6.17E-01</b>	<b>5.18E-01</b>	<b>3.48E-01</b>	<b>1.48E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>6.17E-02</b>	<b>5.18E-02</b>	<b>3.48E-02</b>	<b>4.94E-02</b>	<b>4.94E-02</b>

<b>F.C</b>	1.48E+00	7.33E-02
<b>S.C.To</b>	5.77E-03	
<b>S.C.Tiemp.</b>	3.71E-03	
<b>S.C.Errorres</b>	2.07E-03	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 13.-** Análisis estadístico a los 700 nm

<b>700</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.04E-01	9.26E-02	7.62E-02	<b>2.73E-01</b>	9.11E-02
2	1.15E-01	7.08E-02	8.57E-02	<b>2.71E-01</b>	9.04E-02
3	1.10E-01	6.57E-02	7.06E-02	<b>2.46E-01</b>	8.21E-02
4	9.32E-02	9.71E-02	7.61E-02	<b>2.66E-01</b>	8.88E-02
5	1.18E-01	9.93E-02	5.60E-02	<b>2.73E-01</b>	9.10E-02
6	1.04E-01	8.24E-02	5.37E-02	<b>2.40E-01</b>	8.01E-02
7	9.22E-02	6.89E-02	3.97E-02	<b>2.01E-01</b>	6.69E-02
8	1.09E-01	8.21E-02	4.68E-02	<b>2.38E-01</b>	7.94E-02
9	8.32E-02	9.29E-02	4.74E-02	<b>2.24E-01</b>	7.45E-02
10	9.77E-02	8.80E-02	3.88E-02	<b>2.25E-01</b>	7.48E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.03E+00</b>	<b>8.40E-01</b>	<b>5.91E-01</b>	<b>2.46E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.03E-01</b>	<b>8.40E-02</b>	<b>5.91E-02</b>	<b>8.19E-02</b>	<b>8.19E-02</b>

<b>F.C</b>	2.46E+00	2.01E-01
<b>S.C.To</b>	1.45E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	9.55E-03	
<b>S.C.Errorres</b>	4.93E-03	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 14.-** Análisis estadístico a los 900 nm

<b>900</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	6.57E-01	5.27E-01	5.15E-01	<b>1.70E+00</b>	5.66E-01
2	6.53E-01	4.61E-01	4.93E-01	<b>1.61E+00</b>	5.36E-01
3	6.36E-01	4.42E-01	4.83E-01	<b>1.56E+00</b>	5.20E-01
4	6.27E-01	5.31E-01	4.69E-01	<b>1.63E+00</b>	5.42E-01
5	6.77E-01	5.39E-01	4.14E-01	<b>1.63E+00</b>	5.43E-01
6	6.30E-01	5.09E-01	3.88E-01	<b>1.53E+00</b>	5.09E-01
7	6.26E-01	4.66E-01	3.10E-01	<b>1.40E+00</b>	4.67E-01
8	6.73E-01	4.94E-01	3.35E-01	<b>1.50E+00</b>	5.01E-01
9	6.09E-01	5.37E-01	3.31E-01	<b>1.48E+00</b>	4.92E-01
10	6.41E-01	5.23E-01	3.01E-01	<b>1.47E+00</b>	4.89E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>6.43E+00</b>	<b>5.03E+00</b>	<b>4.04E+00</b>	<b>1.55E+01</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>6.43E-01</b>	<b>5.03E-01</b>	<b>4.04E-01</b>	<b>5.17E-01</b>	<b>5.17E-01</b>

<b>F.C</b>	1.55E+01	8.01E+00
<b>S.C.To</b>	3.64E-01	
<b>S.C.Tiemp.</b>	2.88E-01	
<b>S.C.Errorres</b>	7.60E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 15.-** Análisis estadístico a los 1000 nm

<b>1000</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	6.07E-01	4.90E-01	4.74E-01	<b>1.57E+00</b>	5.24E-01
2	6.07E-01	4.27E-01	4.56E-01	<b>1.49E+00</b>	4.96E-01
3	5.93E-01	4.09E-01	4.43E-01	<b>1.44E+00</b>	4.82E-01
4	5.80E-01	4.98E-01	4.31E-01	<b>1.51E+00</b>	5.03E-01
5	6.31E-01	5.00E-01	3.80E-01	<b>1.51E+00</b>	5.04E-01
6	5.87E-01	4.72E-01	3.56E-01	<b>1.42E+00</b>	4.72E-01
7	5.78E-01	4.27E-01	2.85E-01	<b>1.29E+00</b>	4.30E-01
8	6.26E-01	4.53E-01	3.09E-01	<b>1.39E+00</b>	4.63E-01
9	5.63E-01	4.93E-01	3.05E-01	<b>1.36E+00</b>	4.54E-01
10	5.91E-01	4.80E-01	2.78E-01	<b>1.35E+00</b>	4.49E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>5.96E+00</b>	<b>4.65E+00</b>	<b>3.72E+00</b>	<b>1.43E+01</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>5.96E-01</b>	<b>4.65E-01</b>	<b>3.72E-01</b>	<b>4.78E-01</b>	<b>4.78E-01</b>

<b>F.C</b>	1.43E+01	6.84E+00
<b>S.C.To</b>	3.20E-01	
<b>S.C.Tiemp.</b>	2.55E-01	
<b>S.C.Errores</b>	6.54E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 16.-** Análisis estadístico a los 1400 nm

<b>1400</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.62E-01	8.92E-02	9.57E-02	<b>3.46E-01</b>	1.15E-01
2	2.11E-01	7.83E-02	1.05E-01	<b>3.95E-01</b>	1.32E-01
3	1.71E-01	6.85E-02	1.33E-01	<b>3.73E-01</b>	1.24E-01
4	1.52E-01	9.61E-02	1.24E-01	<b>3.73E-01</b>	1.24E-01
5	1.63E-01	1.08E-01	6.37E-02	<b>3.35E-01</b>	1.12E-01
6	2.06E-01	9.08E-02	7.86E-02	<b>3.75E-01</b>	1.25E-01
7	1.57E-01	1.00E-01	4.73E-02	<b>3.04E-01</b>	1.01E-01
8	2.58E-01	1.14E-01	1.52E-01	<b>5.24E-01</b>	1.75E-01
9	8.61E-02	1.50E-01	1.44E-01	<b>3.81E-01</b>	1.27E-01
10	1.87E-01	1.51E-01	-2.71E-02	<b>3.11E-01</b>	1.04E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.75E+00</b>	<b>1.05E+00</b>	<b>9.17E-01</b>	<b>3.72E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.75E-01</b>	<b>1.05E-01</b>	<b>9.17E-02</b>	<b>1.24E-01</b>	<b>1.24E-01</b>

<b>F.C</b>	3.72E+00	4.60E-01
<b>S.C.To</b>	9.20E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	4.04E-02	
<b>S.C.Errores</b>	5.16E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 17.-** Análisis estadístico a los 1600 nm

<b>1600</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.67E-01	1.34E-01	1.09E-01	<b>4.10E-01</b>	1.37E-01
2	1.83E-01	1.07E-01	1.02E-01	<b>3.93E-01</b>	1.31E-01
3	1.79E-01	9.53E-02	9.79E-02	<b>3.72E-01</b>	1.24E-01
4	1.65E-01	1.47E-01	9.84E-02	<b>4.10E-01</b>	1.37E-01
5	2.00E-01	1.41E-01	7.62E-02	<b>4.17E-01</b>	1.39E-01
6	1.71E-01	1.31E-01	6.37E-02	<b>3.66E-01</b>	1.22E-01
7	1.54E-01	1.10E-01	4.75E-02	<b>3.11E-01</b>	1.04E-01
8	1.98E-01	1.29E-01	4.98E-02	<b>3.77E-01</b>	1.26E-01
9	1.57E-01	1.47E-01	4.64E-02	<b>3.50E-01</b>	1.17E-01
10	1.64E-01	1.41E-01	4.23E-02	<b>3.47E-01</b>	1.16E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.74E+00</b>	<b>1.28E+00</b>	<b>7.34E-01</b>	<b>3.75E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.74E-01</b>	<b>1.28E-01</b>	<b>7.34E-02</b>	<b>1.25E-01</b>	<b>1.25E-01</b>

<b>F.C</b>	3.75E+00	4.70E-01
<b>S.C.To</b>	6.23E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	5.07E-02	
<b>S.C.Errorres</b>	1.16E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 18.-** Análisis estadístico a los 1700 nm

<b>1700</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.88E-01	1.58E-01	1.29E-01	<b>4.76E-01</b>	1.59E-01
2	2.06E-01	1.27E-01	1.21E-01	<b>4.54E-01</b>	1.51E-01
3	2.00E-01	1.14E-01	1.16E-01	<b>4.31E-01</b>	1.44E-01
4	1.86E-01	1.73E-01	1.17E-01	<b>4.77E-01</b>	1.59E-01
5	2.23E-01	1.66E-01	9.27E-02	<b>4.82E-01</b>	1.61E-01
6	1.91E-01	1.55E-01	7.72E-02	<b>4.24E-01</b>	1.41E-01
7	1.72E-01	1.30E-01	5.95E-02	<b>3.61E-01</b>	1.20E-01
8	2.21E-01	1.50E-01	6.18E-02	<b>4.32E-01</b>	1.44E-01
9	1.79E-01	1.70E-01	5.87E-02	<b>4.08E-01</b>	1.36E-01
10	1.85E-01	1.62E-01	5.24E-02	<b>4.00E-01</b>	1.33E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.95E+00</b>	<b>1.51E+00</b>	<b>8.86E-01</b>	<b>4.34E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.95E-01</b>	<b>1.51E-01</b>	<b>8.86E-02</b>	<b>1.45E-01</b>	<b>1.45E-01</b>

<b>F.C</b>	4.34E+00	6.29E-01
<b>S.C.To</b>	7.19E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	5.74E-02	
<b>S.C.Errorres</b>	1.45E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

## c. Día 3

Tabla 19.- Análisis estadístico a los 445 nm

445	Horas				
Firma Espectral	10:00 am	12:00 am	14:00 pm	Sumatoria	Promedio
1	2.81E-02	2.55E-02	2.95E-02	<b>8.31E-02</b>	2.77E-02
2	3.15E-02	2.52E-02	2.34E-02	<b>8.01E-02</b>	2.67E-02
3	2.96E-02	3.22E-02	2.29E-02	<b>8.47E-02</b>	2.82E-02
4	3.12E-02	3.53E-02	2.42E-02	<b>9.07E-02</b>	3.02E-02
5	2.84E-02	2.95E-02	3.24E-02	<b>9.03E-02</b>	3.01E-02
6	2.94E-02	2.09E-02	2.03E-02	<b>7.06E-02</b>	2.35E-02
7	2.67E-02	3.60E-02	2.39E-02	<b>8.65E-02</b>	2.88E-02
8	2.24E-02	3.51E-02	2.01E-02	<b>7.76E-02</b>	2.59E-02
9	2.07E-02	2.65E-02	1.81E-02	<b>6.53E-02</b>	2.18E-02
10	2.22E-02	2.27E-02	2.20E-02	<b>6.70E-02</b>	2.23E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>2.70E-01</b>	<b>2.89E-01</b>	<b>2.37E-01</b>	<b>7.96E-01</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>2.70E-02</b>	<b>2.89E-02</b>	<b>2.37E-02</b>	<b>2.65E-02</b>	<b>2.65E-02</b>

F.C	7.96E-01	2.11E-02
S.C.To	7.21E-04	
S.C.Tiemp.	1.40E-04	
S.C.Errorres	5.81E-04	

Elaborado por: Carrillo. L

Tabla 20.- Análisis estadístico a los 550 nm

550	Horas				
Firma Espectral	10:00 am	12:00 am	14:00 pm	Sumatoria	Promedio
1	6.34E-02	6.39E-02	5.18E-02	<b>1.79E-01</b>	5.97E-02
2	7.46E-02	6.38E-02	6.44E-02	<b>2.03E-01</b>	6.76E-02
3	6.83E-02	6.28E-02	6.53E-02	<b>1.96E-01</b>	6.55E-02
4	7.52E-02	7.33E-02	6.70E-02	<b>2.16E-01</b>	7.18E-02
5	6.79E-02	7.19E-02	8.79E-02	<b>2.28E-01</b>	7.59E-02
6	6.49E-02	7.64E-02	4.77E-02	<b>1.89E-01</b>	6.30E-02
7	6.17E-02	7.50E-02	7.38E-02	<b>2.11E-01</b>	7.02E-02
8	5.33E-02	7.23E-02	4.87E-02	<b>1.74E-01</b>	5.81E-02
9	5.82E-02	8.02E-02	4.11E-02	<b>1.79E-01</b>	5.98E-02
10	4.96E-02	6.52E-02	5.81E-02	<b>1.73E-01</b>	5.76E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>6.37E-01</b>	<b>7.05E-01</b>	<b>6.06E-01</b>	<b>1.95E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>6.37E-02</b>	<b>7.05E-02</b>	<b>6.06E-02</b>	<b>6.49E-02</b>	<b>6.49E-02</b>

F.C	1.95E+00	1.26E-01
S.C.To	3.26E-03	
S.C.Tiemp.	5.12E-04	
S.C.Errorres	2.74E-03	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 21.-** Análisis estadístico a los 645 nm

645 Firma Espectral	Horas			Sumatoria	Promedio
	10:00 am	12:00 am	14:00 pm		
1	5.03E-02	4.32E-02	5.14E-02	<b>1.45E-01</b>	4.83E-02
2	5.77E-02	4.35E-02	3.63E-02	<b>1.37E-01</b>	4.58E-02
3	5.32E-02	5.52E-02	3.65E-02	<b>1.45E-01</b>	4.83E-02
4	5.62E-02	5.06E-02	3.88E-02	<b>1.46E-01</b>	4.86E-02
5	5.06E-02	5.07E-02	5.02E-02	<b>1.52E-01</b>	5.05E-02
6	5.07E-02	6.68E-02	3.25E-02	<b>1.50E-01</b>	5.00E-02
7	4.58E-02	6.71E-02	5.76E-02	<b>1.70E-01</b>	5.68E-02
8	3.87E-02	5.32E-02	5.13E-02	<b>1.43E-01</b>	4.78E-02
9	3.60E-02	5.90E-02	5.76E-02	<b>1.53E-01</b>	5.08E-02
10	3.76E-02	5.06E-02	3.32E-02	<b>1.21E-01</b>	4.05E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>4.77E-01</b>	<b>5.40E-01</b>	<b>4.45E-01</b>	<b>1.46E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>4.77E-02</b>	<b>5.40E-02</b>	<b>4.45E-02</b>	<b>4.87E-02</b>	<b>4.87E-02</b>

<b>F.C</b>	<b>1.46E+00</b>	<b>7.13E-02</b>
<b>S.C.To</b>	<b>2.54E-03</b>	
<b>S.C.Tiemp.</b>	<b>4.61E-04</b>	
<b>S.C.Errorres</b>	<b>2.08E-03</b>	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 22.-** Análisis estadístico a los 700 nm

700 Firma Espectral	Horas			Sumatoria	Promedio
	10:00 am	12:00 am	14:00 pm		
1	7.83E-02	7.72E-02	7.95E-02	<b>2.35E-01</b>	7.83E-02
2	9.09E-02	7.80E-02	7.12E-02	<b>2.40E-01</b>	8.00E-02
3	8.30E-02	8.99E-02	7.25E-02	<b>2.45E-01</b>	8.18E-02
4	8.98E-02	9.21E-02	7.53E-02	<b>2.57E-01</b>	8.57E-02
5	8.14E-02	8.73E-02	9.63E-02	<b>2.65E-01</b>	8.83E-02
6	8.03E-02	8.25E-02	5.61E-02	<b>2.19E-01</b>	7.29E-02
7	7.55E-02	7.88E-02	6.30E-02	<b>2.17E-01</b>	7.24E-02
8	6.42E-02	8.38E-02	7.64E-02	<b>2.24E-01</b>	7.48E-02
9	6.03E-02	7.56E-02	6.83E-02	<b>2.04E-01</b>	6.81E-02
10	6.25E-02	8.69E-02	6.53E-02	<b>2.15E-01</b>	7.16E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>7.66E-01</b>	<b>8.32E-01</b>	<b>7.24E-01</b>	<b>2.32E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>7.66E-02</b>	<b>8.32E-02</b>	<b>7.24E-02</b>	<b>7.74E-02</b>	<b>7.74E-02</b>

<b>F.C</b>	2.32E+00	1.80E-01
<b>S.C.To</b>	3.04E-03	
<b>S.C.Tiemp.</b>	5.98E-04	
<b>S.C.Errorres</b>	2.44E-03	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 23.-** Análisis estadístico a los 900 nm

<b>900</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	3.74E-01	4.36E-01	3.67E-01	<b>1.18E+00</b>	3.92E-01
2	4.22E-01	4.51E-01	4.37E-01	<b>1.31E+00</b>	4.37E-01
3	3.84E-01	4.10E-01	4.43E-01	<b>1.24E+00</b>	4.12E-01
4	4.27E-01	5.09E-01	4.47E-01	<b>1.38E+00</b>	4.61E-01
5	4.14E-01	4.59E-01	5.48E-01	<b>1.42E+00</b>	4.74E-01
6	4.31E-01	4.31E-01	4.78E-01	<b>1.34E+00</b>	4.46E-01
7	4.33E-01	4.64E-01	4.20E-01	<b>1.32E+00</b>	4.39E-01
8	4.84E-01	4.65E-01	3.88E-01	<b>1.34E+00</b>	4.45E-01
9	3.60E-01	4.65E-01	3.36E-01	<b>1.16E+00</b>	3.87E-01
10	3.75E-01	4.62E-01	4.47E-01	<b>1.28E+00</b>	4.28E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>4.10E+00</b>	<b>4.55E+00</b>	<b>4.31E+00</b>	<b>1.30E+01</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>4.10E-01</b>	<b>4.55E-01</b>	<b>4.31E-01</b>	<b>4.32E-01</b>	<b>4.32E-01</b>

<b>F.C</b>	1.30E+01	5.60E+00
<b>S.C.To</b>	6.06E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	1.01E-02	
<b>S.C.Errorres</b>	5.05E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 24.-** Análisis estadístico a los 1000 nm

<b>1000</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	3.70E-01	4.16E-01	4.52E-01	<b>1.24E+00</b>	4.13E-01
2	4.17E-01	4.35E-01	4.13E-01	<b>1.26E+00</b>	4.22E-01
3	4.77E-01	5.01E-01	4.18E-01	<b>1.40E+00</b>	4.65E-01
4	4.19E-01	4.84E-01	4.24E-01	<b>1.33E+00</b>	4.42E-01
5	4.09E-01	4.38E-01	5.19E-01	<b>1.37E+00</b>	4.55E-01
6	4.20E-01	5.05E-01	3.57E-01	<b>1.28E+00</b>	4.27E-01
7	4.14E-01	4.48E-01	3.97E-01	<b>1.26E+00</b>	4.20E-01
8	3.70E-01	4.49E-01	4.68E-01	<b>1.29E+00</b>	4.29E-01
9	3.45E-01	4.44E-01	3.21E-01	<b>1.11E+00</b>	3.70E-01
10	4.66E-01	4.41E-01	4.25E-01	<b>1.33E+00</b>	4.44E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>4.11E+00</b>	<b>4.56E+00</b>	<b>4.19E+00</b>	<b>1.29E+01</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>4.11E-01</b>	<b>4.56E-01</b>	<b>4.19E-01</b>	<b>4.29E-01</b>	<b>4.29E-01</b>

<b>F.C</b>	<b>1.29E+01</b>	<b>5.52E+00</b>
<b>S.C.To</b>	<b>6.24E-02</b>	
<b>S.C.Tiemp.</b>	<b>1.16E-02</b>	
<b>S.C.Errorres</b>	<b>5.09E-02</b>	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 25.-** Análisis estadístico a los 1400 nm

<b>1400</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	7.49E-02	1.66E-01	2.58E-02	<b>2.67E-01</b>	8.89E-02
2	1.04E-01	1.85E-01	1.33E-01	<b>4.22E-01</b>	1.41E-01
3	7.61E-02	1.56E-01	1.34E-01	<b>3.66E-01</b>	1.22E-01
4	1.06E-01	1.55E-01	9.03E-02	<b>3.51E-01</b>	1.17E-01
5	9.96E-02	1.83E-01	2.16E-01	<b>4.98E-01</b>	1.66E-01
6	1.06E-01	8.88E-02	7.47E-02	<b>2.70E-01</b>	8.99E-02
7	1.16E-01	1.16E-01	3.05E-02	<b>2.63E-01</b>	8.77E-02
8	9.84E-02	7.95E-02	3.71E-02	<b>2.15E-01</b>	7.17E-02
9	1.06E-01	8.13E-02	5.40E-02	<b>2.41E-01</b>	8.04E-02
10	5.90E-02	6.49E-02	9.85E-02	<b>2.22E-01</b>	7.41E-02
<b>SUMATORIA</b>	<b>9.46E-01</b>	<b>1.28E+00</b>	<b>8.93E-01</b>	<b>3.12E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>9.46E-02</b>	<b>1.28E-01</b>	<b>8.93E-02</b>	<b>1.04E-01</b>	<b>1.04E-01</b>

<b>F.C</b>	3.12E+00	3.23E-01
<b>S.C.To</b>	6.27E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	8.59E-03	
<b>S.C.Errorres</b>	5.41E-02	

Elaborado por: Carrillo. L

**Tabla 26.-** Análisis estadístico a los 1600 nm

<b>1600</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.34E-01	1.47E-01	1.92E-01	<b>4.73E-01</b>	1.58E-01
2	1.40E-01	1.63E-01	1.10E-01	<b>4.12E-01</b>	1.37E-01
3	1.22E-01	1.70E-01	1.16E-01	<b>4.08E-01</b>	1.36E-01
4	1.25E-01	1.80E-01	1.23E-01	<b>4.28E-01</b>	1.43E-01
5	1.17E-01	1.70E-01	1.60E-01	<b>4.47E-01</b>	1.49E-01
6	1.41E-01	1.39E-01	1.08E-01	<b>3.89E-01</b>	1.30E-01
7	1.13E-01	1.02E-01	1.07E-01	<b>3.21E-01</b>	1.07E-01
8	1.10E-01	1.51E-01	9.40E-02	<b>3.54E-01</b>	1.18E-01
9	9.58E-02	1.20E-01	1.10E-01	<b>3.26E-01</b>	1.09E-01
10	1.06E-01	1.05E-01	1.19E-01	<b>3.30E-01</b>	1.10E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.20E+00</b>	<b>1.45E+00</b>	<b>1.24E+00</b>	<b>3.89E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.20E-01</b>	<b>1.45E-01</b>	<b>1.24E-01</b>	<b>1.30E-01</b>	<b>1.30E-01</b>

<b>F.C</b>	3.89E+00	5.04E-01
<b>S.C.To</b>	2.02E-02	
<b>S.C.Tiemp.</b>	3.43E-03	
<b>S.C.Errorres</b>	1.68E-02	

Elaborado por: Carrillo. L



**Tabla 27.-** Análisis estadístico a los 1700 nm

<b>1700</b>	<b>Horas</b>				
<b>Firma Espectral</b>	<b>10:00 am</b>	<b>12:00 am</b>	<b>14:00 pm</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Promedio</b>
1	1.55E-01	1.66E-01	1.10E-01	<b>4.31E-01</b>	1.44E-01
2	1.63E-01	1.84E-01	1.33E-01	<b>4.79E-01</b>	1.60E-01
3	1.44E-01	1.73E-01	1.35E-01	<b>4.52E-01</b>	1.51E-01
4	1.49E-01	1.01E-01	1.44E-01	<b>3.93E-01</b>	1.31E-01
5	1.39E-01	1.91E-01	1.84E-01	<b>5.14E-01</b>	1.71E-01
6	1.63E-01	1.60E-01	1.06E-01	<b>4.30E-01</b>	1.43E-01
7	1.31E-01	1.72E-01	1.26E-01	<b>4.29E-01</b>	1.43E-01
8	1.29E-01	1.71E-01	1.12E-01	<b>4.12E-01</b>	1.37E-01
9	1.13E-01	1.39E-01	1.35E-01	<b>3.87E-01</b>	1.29E-01
10	1.24E-01	1.25E-01	1.43E-01	<b>3.92E-01</b>	1.31E-01
<b>SUMATORIA</b>	<b>1.41E+00</b>	<b>1.58E+00</b>	<b>1.33E+00</b>	<b>4.32E+00</b>	
<b>MEDIAS</b>	<b>1.41E-01</b>	<b>1.58E-01</b>	<b>1.33E-01</b>	<b>1.44E-01</b>	<b>1.44E-01</b>

F.C	4.32E+00	<b>6.22E-01</b>
S.C.To	<b>1.77E-02</b>	
S.C.Tiemp.	<b>3.33E-03</b>	
S.C.Errores	<b>1.43E-02</b>	

**Elaborado por:** Carrillo. L

## D. ANEXO 4.- PUNTOS DE CONTROL PARA LA CLASIFICACIÓN

### 1. Cultivos

Id	X	Y
1	753839	9759316
2	754136	9759388
3	754034	9759151
4	753865	9759024
5	753873	9758884
6	753717	9758732
7	753988	9758732
8	753729	9758491
9	753886	9758326
10	753810	9758220
11	753937	9758211
12	754098	9758165
13	754123	9757987
14	754110	9758076
15	754250	9757932
16	754352	9757801
17	754220	9757720
18	754216	9757555
19	754631	9757614
20	754682	9757496
21	754767	9757403
22	755042	9757288
23	755097	9756975
24	755033	9756984
25	755198	9756848
26	755190	9756742
27	755215	9756582
28	755330	9756552
29	759175	9751640
30	759281	9751640
31	759336	9751592
32	759402	9751592
33	759426	9751513
34	759500	9751441
35	759577	9751380
36	759651	9750954
37	759736	9750872
38	759789	9750833
39	759627	9750835
40	759588	9750896
41	759548	9750909
42	759649	9750893
43	760345	9748842
44	760355	9748702
45	761041	9748874
46	760482	9748581
47	760617	9748927
48	760559	9748435
49	760776	9748615
50	760916	9748491
51	760871	9748440
52	760824	9748366
53	760755	9748308
54	760713	9748237
55	760654	9748181
56	760601	9748120
57	760575	9748067
58	760527	9748017
59	760429	9747951
60	760305	9747856
61	760537	9748346
62	760503	9748269

Elaborado por: Carrillo. L

## 2. Bosque

<b>Id</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	760546	9735811
2	760491	9735769
3	760416	9735700
4	760412	9735592
5	760339	9735555
6	760394	9735544
7	759879	9733831
8	759726	9733734
9	759578	9733399
10	759688	9733412
11	760023	9733383
12	759985	9733234
13	760162	9733133
14	760095	9732680
15	760353	9732553
16	760378	9732422
17	760467	9732206
18	760476	9732083
19	760505	9731943
20	760455	9731846
21	760450	9731710
22	760412	9731571
23	760370	9731511
24	760421	9731423
25	760527	9731283
26	760522	9731207
27	760459	9731037
28	760391	9730978
29	760323	9730902
30	760251	9730872
31	760040	9730809
32	760552	9730538
33	760670	9730500
34	760603	9730339
35	760704	9730313
36	760810	9730309
37	760836	9730203
38	760844	9730114
39	760539	9730097
40	760497	9729975
41	760522	9729869
42	760844	9729657
43	760933	9729725
44	761013	9729530
45	760971	9729433
46	760899	9729357
47	760848	9729348
48	760831	9729259
49	760797	9729200
50	760814	9729060
51	760776	9728980
52	760796	9728888
53	760842	9728900
54	760902	9728911
55	760930	9728860
56	760917	9728803
57	760962	9728830
58	760988	9728742
59	760891	9728673
60	760912	9728634
61	760953	9728419
62	760983	9728426
63	761002	9728458
64	761039	9728470
65	761039	9728470
66	761145	9728410
67	761224	9728408
68	761184	9728401

69	761346	9728440
70	761385	9728412
71	761418	9728378
72	761420	9728273
73	761459	9728241
74	761540	9728244

**Elaborado por:** Carrillo. L

### 3. Pastizales

Id	x	y
1	753895	9758940
2	753760	9758885
3	753720	9758825
4	753800	9758715
5	753865	9758705
6	753740	9758640
7	753725	9758590
8	753720	9758540
9	753815	9758345
10	753890	9758405
11	753630	9758220
12	753600	9758195
13	753550	9758190
14	753635	9758115
15	754200	9758170
16	754215	9758120
17	754265	9758070
18	754350	9757975
19	754405	9757850
20	754435	9757840
21	754465	9757800
22	753608	9758057
23	753600	9757985
24	753650	9757950
25	753775	9757975
26	753720	9757810
27	753780	9757855
28	753880	9757765
29	759910	9750715
30	760060	9750705
31	760095	9750520
32	760075	9750395
33	760075	9750395
34	759830	9750245
35	759810	9750135
36	759850	9750085
37	760220	9749770
38	759698	9749809
39	759595	9749640
40	759625	9749370
41	760375	9749385
42	760370	9749645
43	760225	9749120
44	760185	9749025
45	760385	9749000
46	761155	9748295
47	761045	9748495
48	760425	9747600
49	760500	9747530
50	760120	9747430
51	760040	9747390
52	759120	9747145
53	758935	9747020
54	759105	9746855
55	761415	9737080
56	761375	9736935

**Elaborado por:** Carrillo. L

#### 4. Paramo Seco

Id	X	Y
1	759828	9733206
2	759845	9733159
3	759894	9733173
4	760139	9732518
5	760196	9732520
6	760229	9732474
7	760154	9732396
8	760110	9732447
9	760123	9732328
10	760310	9732130
11	760044	9733166
12	759894	9732890
13	760277	9732015
14	760319	9731817
15	760202	9731592
16	760344	9731347
17	760039	9731702
18	759942	9731958
19	760068	9732119
20	759947	9731552
21	760390	9731283
22	760390	9731212
23	760077	9730952
24	760130	9730886
25	760161	9730791
26	759955	9730542
27	759951	9730308
28	759947	9730209
29	760033	9730370
30	760055	9729964
31	760174	9729927
32	760125	9729914
33	760207	9729859
34	760310	9729779
35	760377	9729826
36	760344	9729603
37	760319	9729519
38	760465	9729515
39	760407	9730141
40	760564	9729658
41	761783	9728586
42	761691	9728525
43	761722	9728425
44	761838	9728362
45	761726	9728282
46	760586	9728633
47	760840	9728516
48	761082	9728648
49	761197	9728511
50	761428	9728470
51	761788	9728421
52	761640	9728344
53	761638	9728209
54	761911	9728423
55	761647	9728104
56	761677	9728022
57	761483	9728026
58	761479	9728077
59	761237	9728265
60	761655	9728452
61	761766	9728467
62	761880	9728362
63	760685	9728626
64	760699	9728734
65	760774	9728703
66	760855	9728547
67	761065	9728712
68	761007	9728551

69	761080	9728536
70	760992	9728287
71	761120	9728121
72	761219	9728238
73	761311	9728192
74	761311	9728359
75	760729	9728388
76	760941	9728302
77	761049	9728635
78	761737	9728465
79	760599	9728653
80	760685	9728626
81	761874	9728317
82	761856	9728397
83	761777	9728617

**Elaborado por:** Carrillo. L

## 5. Paramo Herbáceo

<b>Id</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	760,322	9,732,259
2	760,247	9,732,259
3	759,866	9,732,362
4	759,821	9,732,305
5	759,993	9,732,129
6	760,039	9,731,956
7	760,149	9,731,988
8	760,205	9,731,871
9	759,898	9,731,748
10	759,881	9,731,910
11	759,828	9,731,596
12	759,969	9,731,621
13	760,018	9,731,423
14	760,170	9,731,515
15	759,919	9,731,268
16	759,909	9,731,166
17	759,725	9,730,479
18	759,687	9,730,344
19	760,139	9,730,479
20	760,444	9,730,225
21	760,563	9,730,221
22	760,008	9,729,793
23	760,101	9,729,755
24	760,139	9,729,696
25	760,144	9,729,611
26	760,127	9,729,531
27	761,376	9,727,939
28	761,405	9,727,850
29	760,965	9,727,893
30	760,817	9,728,202
31	760,835	9,728,305
32	760,998	9,727,926
33	761,342	9,727,908
34	761,322	9,728,019
35	761,410	9,727,803
36	761,518	9,727,875
37	761,415	9,727,745
38	761,441	9,727,626
39	761,377	9,727,712
40	761,223	9,727,736
41	761,174	9,727,732
42	761,137	9,727,800
43	760,793	9,728,286
44	760,753	9,728,244
45	760,859	9,728,354
46	760,822	9,728,244
47	760,533	9,728,435
48	760,528	9,728,488
49	760,425	9,728,543
50	760,387	9,728,592

51	760,334	9,728,614
52	760,394	9,728,685
53	760,270	9,730,281
54	760,354	9,730,153
55	760,703	9,730,091
56	760,590	9,729,930
57	760,052	9,729,783
58	760,046	9,730,241
59	760,859	9,728,354
60	760,822	9,728,244
61	760,533	9,728,435
62	760,528	9,728,488
63	760,425	9,728,543
64	760,387	9,728,592
65	760,965	9,727,893

**Elaborado por:** Carrillo. L











