



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

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TRES ESPECIES FORESTALES  
EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA UTILIZANDO IMÁGENES  
SATELITALES RAPIDEYE EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS,  
CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.**

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

**MARSHURY ALEXANDRA BORJA RAMÍREZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2016**

## HOJA DE CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA, que en el trabajo de titulación: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TRES ESPECIES FORESTALES EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES RAPIDEYE EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, de responsabilidad de la señora egresada Marshury Alexandra Borja Ramírez, realizó las correcciones respectivas quedando autorizada para efectuar la sustentación.

### TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN

1. 

Ing. Danilo Guilcapi

**Director**



Fecha

2. 

Ing. Paulina Díaz

**Miembro**




Fecha

### **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Marshury Alexandra Borja Ramírez 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



.....

Marshury Alexandra Borja Ramírez

## **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 hija **Doménica Paulette** por ser mi motivación en la lucha cotidiana en busca de un mejor futuro.*

*A ella mi esperanza, mi alegría, mi vida y la culminación de este trabajo y lo que representa.*

***Marshury***

## **AGRADECIMIENTO**

***A Dios:***

*Por ser mi guía y compañero a lo largo de mi vida y carrera.*

***A la Universidad Politécnica de Chimborazo,***

*Por haberme formado profesionalmente y en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso.*

***A la Universidad Nacional de Chimborazo,***

*Por permitir que forme parte del proyecto y que realice mi trabajo de titulación.*

***A mi tribunal de tesis,***

*Por las enseñanzas y paciencia para que este trabajo se ejecute.*

***A mis padres,***

*Por ser mis mejores amigos, mis aliados, mi ejemplo, gracias por todo su apoyo.*

***A mi hija,***

*Por ser mi fortaleza y luz en el camino.*

***Abuelita,***

*Gracias por sus oraciones y todo su cariño.*

***Sra. Lalita,***

*Gracias por ser mi apoyo y amiga incondicional.*

*A todos mis amigos, compañeros y maestros de la Politécnica que formaron parte de esta aventura, siempre estarán en mis recuerdos.*



## INDICE

Contenido	Página
LISTA DE TABLAS .....	i
LISTA DE GRÁFICOS .....	ii
LISTA DE MAPAS .....	iii
I. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE 3 ESPECIES FORESTALES EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES RAPIDEYE EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	1
A. JUSTIFICACIÓN.....	2
B. OBJETIVOS .....	3
1. Objetivo general .....	3
2. Objetivos Específicos .....	3
C. HIPÓTESIS .....	3
1. Hipótesis nula.....	3
2. Hipótesis alternante .....	3
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
A. TELEDETECCIÓN.....	4
1. Elementos de un proceso de teledetección.....	4
2. Aplicaciones de la teledetección .....	5
3. Imágenes Satelitales. ....	5
a. Imágenes Rapideye. ....	5
1) Características de las imágenes Rapideye. ....	7
2) Aplicación de las imágenes Rapideye. ....	7
3) Aplicación en la Forestación. ....	7
b. Métodos de clasificación de las imágenes satelitales.....	8
1) Método de Clasificación Supervisada. ....	8
2) Método de Clasificación no Supervisada. ....	9
c. Algoritmos de Clasificación.....	10



1) Clasificador de mínima distancia.....	10
2) Clasificador de paralelepípedos.....	10
3) Clasificador de máxima verisimilitud.....	11
4. Firmas Espectrales .....	11
a. Reflectividad de los elementos naturales .....	12
B. REGIÓN ANDINA DEL ECUADOR. ....	13
1. Bosque siempreverde montano alto y montano alto superior de páramo.....	14
a. <i>Chusquea scandens</i> . ....	15
b. <i>Clusia multiflora</i> . ....	16
c. <i>Vallea stipularis</i> . ....	17
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR .....	19
1. Localización del área de estudio .....	19
2. Ubicación geográfica.....	19
3. Características climáticas .....	19
4. Clasificación ecológica.....	19
B. MATERIALES Y EQUIPOS .....	21
1. Materiales e Insumos.....	21
2. Equipos.....	21
C. METODOLOGÍA.....	22
1. Verificación de la existencia de tres especies forestales identificadas en el inventario forestal del proyecto Caracterización Biogeográfica. ....	22
a. Elaboración de una base de datos del inventario forestal del proyecto Caracterización Biogeográfica.....	22
b. Validación in situ de <i>Chusquea scandens</i> , <i>Clusia multiflora</i> y <i>Vallea stipularis</i> en la zona de estudio. ....	22
2. Zonificación de tres especies forestales del bosque de Achupallas por el método de clasificación supervisada.....	22
a. Toma de los puntos de control en el área de estudio. ....	23
b. Clasificación supervisada .....	23
1) Verificar la exactitud de la clasificación. ....	23
3) Presentación final de la clasificación .....	24
3. Validación de las tres especies utilizando firmas espectrales .....	24
a. Determinación de las firmas espectrales de cada una de las clases obtenidas.....	24

b. Análisis estadístico de los niveles digitales de las firmas espectrales de cada especie.....	24
V. RESULTADOS.....	27
A. VERIFICACIÓN DE LA EXISTENCIA DE TRES ESPECIES FORESTALES IDENTIFICADAS EN EL INVENTARIO FORESTAL DEL PROYECTO CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA. ....	27
1. Elaboración de una base de datos del inventario forestal del proyecto Caracterización Biogeográfica. ....	27
2. Validación in situ de <i>Chusquea scandens</i> , <i>Clusia multiflora</i> y <i>Vallea stipularis</i> en la zona de estudio. ....	28
a. Ficha de campo para <i>Chusquea scandens</i> .....	29
b. Ficha de campo para <i>Vallea stipularis</i> .....	29
B. ZONIFICACIÓN DE TRES ESPECIES FORESTALES DEL BOSQUE DE ACHUPALLAS POR EL MÉTODO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA. ....	31
1. Primera Clasificación – Zonificación del Bosque.....	31
a. Toma de los puntos de control en el área de estudio. ....	31
b. Zonificación y recorte del área conformada por el ecosistema bosque .....	32
1) Generación de las áreas de entrenamiento.....	32
2) Procesamiento de las áreas de entrenamiento con el algoritmo de máxima verisimilitud .....	34
2. Segunda clasificación – Zonificación de las especies en estudio .....	35
a. Toma de los puntos de control en el área de estudio. ....	35
b. Generación de áreas de entrenamiento para <i>Chusquea scandens</i> y <i>Vallea stipularis</i> .....	38
c. Zonificación de <i>Chusquea scandens</i> y <i>Vallea stipularis</i> .....	40
1) Proceso de post clasificación.....	40
d. Presentación final de las especies zonificadas .....	42
C. VALIDACIÓN DE LAS TRES ESPECIES UTILIZANDO FIRMAS ESPECTRALES.....	45
1. Determinación de las firmas espectrales de cada una de las clases obtenidas .....	45
a. Sura .....	45
b. Capulí.....	46
2. Análisis estadístico de los niveles digitales de las firmas espectrales de cada especie.....	48
a. Sural .....	49
VI. CONCLUSIONES.....	55

VI. RECOMENDACIONES .....	57
VII. RESUMEN.....	58
VIII. SUMMARY .....	59
IX. BIBLIOGRAFÍA .....	60
X. ANEXOS .....	62
A. ANEXO 1 – PUNTOS DE CONTROL PARA LA PRIMERA CLASIFICACION SUPERVISADA .....	62
1. Bosque.....	62
2. Páramo.....	65
3. Paramo herbáceo y humedales .....	67
4. Cultivos .....	69
5. Pastizales .....	71
B. ANEXO 2 – PUNTOS DE CONTROL PARA LAS ESPECIES EN ESTUDIO..	72
1. Sural .....	72
2. Capulí.....	74
C. ANEXO 3 – PUNTOS DE CONTROL PARA LA SEGUNDA CLASIFICACION .....	76
1. Zonas Intervenidas .....	76
2. Suelos Erosionados .....	77

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1.- Estadística Descriptiva de Excel .....	25
Tabla 2.- Número de especies por parcela .....	27
Tabla 3.- Valores digitales de las firmas espectrales de <i>Chusquea scandens</i> .....	49
Tabla 4.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 1 .....	50
Tabla 5.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 2 .....	50
Tabla 6.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 3 .....	50
Tabla 7.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 4 .....	51
Tabla 8.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 5 .....	51
Tabla 9.- Valores digitales de las firmas espectrales de <i>Vallea stipularis</i> .....	52
Tabla 10.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 1 .....	53
Tabla 11.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 2 .....	53
Tabla 12.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 3 .....	53
Tabla 13.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 4 .....	54
Tabla 14.- Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 5 .....	54

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.- Elementos de un proceso de teledetección.....	4
Gráfico 2.- Parámetros proporcionados por la teledetección espacial en los distintos campos de las ciencias medioambientales.....	5
Gráfico 3.- Funcionamiento Satélites Rapideye.....	6
Gráfico 4.- <i>Chusquea scandens</i> .....	15
Gráfico 5.- <i>Clusia multiflora</i> .....	16
Gráfico 6.- <i>Vallea stipularis</i> .....	17
Gráfico 7.- Parcela 4 – <i>Vallea stipularis stipularis</i> .....	28
Gráfico 8.- Punto de control para páramo.....	31
Gráfico 9.- Generación de áreas de entrenamiento páramo, páramo herbáceo y cuerpos de agua.....	32
Gráfico 10.- Generación de áreas de entrenamiento páramo, páramo herbáceo y bosque.....	33
Gráfico 11.- Análisis de separabilidad para la clase bosque.....	33
Gráfico 12.- Zonificación del Bosque.....	34
Gráfico 13.- Precisión global de la primera clasificación.....	34
Gráfico 14.- Recorte de la nueva área de estudio.....	35
Gráfico 15.- Georreferenciación de <i>Clusia multiflora</i> .....	36
Gráfico 16.- Parche de <i>Chusquea scandens</i> de 5 x 5 m.....	36
Gráfico 17.- Parche de <i>Vallea stipularis</i> de 5 x 5 m.....	37
Gráfico 18.- Áreas de entrenamiento <i>Chusquea scandens</i> .....	38
Gráfico 19.- Área de entrenamiento de <i>Vallea stipularis</i> .....	39
Gráfico 20.- Análisis de separabilidad de las especies en estudio.....	39
Gráfico 21.- Clasificación supervisada de las especies en estudio.....	40
Gráfico 22.- Proceso de Post-Clasificación.....	41
Gráfico 23.- Porcentajes de clasificación global general.....	42
Gráfico 24.- Firma espectral de <i>Chusquea scandens</i> .....	46
Gráfico 25.- Acercamiento en la banda 3 de la firma espectral.....	46
Gráfico 26.- Firma espectral de <i>vallea stipularis</i> .....	47
Gráfico 27.- Acercamiento de la firma espectral de <i>vallea stipularis</i> .....	47
Gráfico 28.- Comparación de la firma espectral de <i>Chusquea scandens</i> y <i>Vallea stipularis</i> .....	48

**LISTA DE MAPAS**

Mapa 1.- Ubicación Geográfica de la Parroquia Achupallas.....	20
Mapa 2.- Clasificación supervisada del área de estudio .....	43
Mapa 3.- Parches de las especies en estudio obtenidos a partir de una clasificación supervisada.....	44



# **I. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE 3 ESPECIES FORESTALES EN EL BOSQUE DE CEJA ANDINA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES RAPIDEYE EN LA PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.**

## **II. INTRODUCCIÓN**

La teledetección es la ciencia que nos permite obtener información de la superficie terrestre a través de sensores que se encuentran acoplados a satélites que orbitan la tierra, esta información se ve representada a través de imágenes satelitales; gracias a estos avances se ha simplificado trabajos que antes se realizaban únicamente en el campo, como zonificación de especies, cálculo de los índices de vegetación, determinación del estado fisiológico de una plantación, entre otros.

Las especies nativas cumplen un rol fundamental en la cadena trófica de los ecosistemas en los que se desarrollan, ya que constituyen el alimento de ciertos animales y son necesarias para mantener el equilibrio ecológico, regulan el clima y aportan a la generación de recursos hídricos; aquí radica la necesidad de conservar y evitar que las zonas vulnerables desaparezcan, el difícil acceso a los mismos ha hecho casi imposible zonificar las especies ya identificadas en el área de estudio, por esta razón el presente trabajo investigativo busca utilizar herramientas que nos faciliten su detección remota, generando mapas que nos indiquen de forma exacta la ubicación de especies forestales en un determinado bosque.

Dicha información obtenida será validada mediante el uso de firmas espectrales que se generan de cada clase creada, comparando los niveles digitales de cada banda que conforma las firmas obtenidas. Estas firmas son específicas para cada especie forestal permitiéndonos indicar de forma precisa si los resultados obtenidos representan o no las especies seleccionadas y los estratos identificados en el campo. Todas las herramientas y procesos utilizados servirán como base para futuras investigaciones en diversos ecosistemas, buscando realizar la zonificación de más especies, de esta forma se podrá construir una base de datos, conformada por la superficie que ocupa la especie y su ubicación exacta, que facilite la elaboración de planes de conservación para áreas vulnerables.



## **A. JUSTIFICACIÓN**

La incursión de técnicas de teledetección en el sector forestal ha sido muy útil para reemplazar el trabajo de campo y con esto reducir los costos en las investigaciones debido a que los muestreos que se requieren son mínimos y los resultados tienen gran confiabilidad, conformando una herramienta muy prometedora que nos ayudara a obtener mayor información en menos tiempo y costos relativamente menores. Por lo tanto la presente investigación tiene como finalidad obtener la ubicación de tres especies forestales a través de imágenes satelitales en el bosque de ceja andina de la parroquia Achupallas, ya que dichas especies se encuentran vulnerables a la deforestación y además son muy importantes para mantener la cadena trófica y la cobertura vegetal de estos ecosistema, a su vez se deja de lado técnicas habituales aplicadas y se busca implementar nuevas herramientas que nos permita realizar todo el trabajo de forma remota, debido a que los resultados obtenidos se basaran en puntos de control de cada especie y estrato, los cuales se tomaran solo de una parte del área de estudio, mas no de su totalidad.

## **B. OBJETIVOS**

### **1. Objetivo general**

- Distribuir espacialmente de tres especies forestales en el bosque de ceja andina usando imágenes satelitales Rapideye en la Parroquia Achupallas, Cantón Alauís, Provincia de Chimborazo.

### **2. Objetivos Específicos**

- Verificar la existencia de tres especies forestales en campo a partir del inventario forestal del proyecto caracterización biogeográfica.
- Zonificar las tres especies forestales del bosque de Achupallas por el método de clasificación supervisada
- Validar las tres especies utilizando firmas espectrales.

## **C. HIPÓTESIS**

### **1. Hipótesis nula**

No es posible zonificar especies forestales a partir de imágenes satelitales.

### **2. Hipótesis alternante**

Es posible zonificar especies forestales a partir de imágenes satelitales.

### III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

#### A. TELEDETECCIÓN.

La teledetección es la ciencia que nos permite obtener datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La relación electromagnética entre el terreno y el sensor, genera datos que posteriormente son procesados para adquirir información interpretable de la Tierra (Instituto Geografico, 2015).

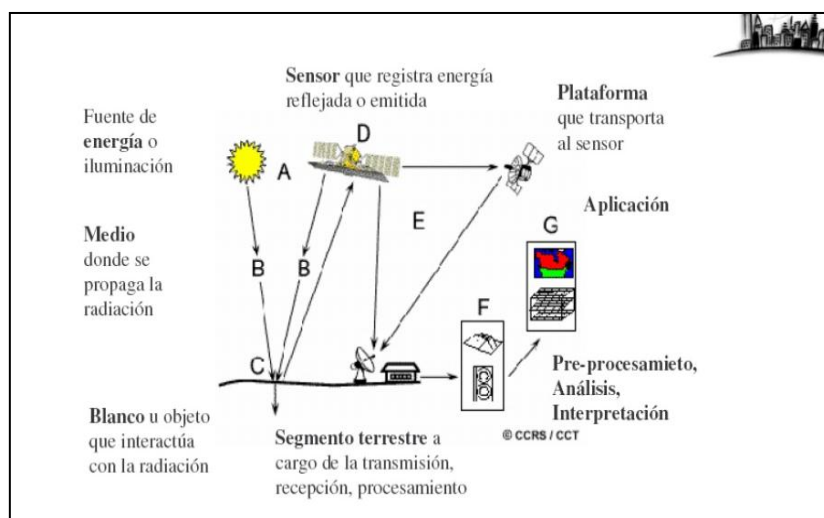
#### 1. Elementos de un proceso de teledetección

El proceso de teledetección involucra una relación entre (Gráfico 1):

- Fuente de energía.
- Medio.
- Blanco u objeto.
- Sensor – plataforma.
- Segmento terrestre o carga de transmisión.
- Pre – procesamiento, análisis e interpretación.

Mediante estos elementos obtenemos información interpretativa acerca del objeto que queremos visualizar (Ferrero , 2013).

**Gráfico 1.-** Elementos de un proceso de teledetección.



**Fuente:** Sistemas de teledetección.

## 2. Aplicaciones de la teledetección

Actualmente existen alrededor de 45 satélites en órbita que contienen gran cantidad de sensores tanto activos como pasivos, que actúan en un rango espectral amplio, los cuales proveen información sobre parámetros y fenómenos geofísicos para mayor conocimiento de la relación Tierra- Atmosfera. Las ciencias medioambientales abarcan un número considerable de parámetros, (Gráfico 2), sobre los cuales los satélites pueden generar datos informativos de manera operativa (Sobrino, 2000).

**Gráfico 2.-** Parámetros proporcionados por la teledetección espacial en los distintos campos de las ciencias medioambientales.

ATMÓSFERA	TIERRA	OCÉANO	NIEVE - HIELO
Aerosoles	Albedo y reflectividad	Color/biología	Topografía de la capa de hielo
Humedad atmosférica	Topografía	Topografía del océano y corrientes	Límite, cubierta y profundidad de la nieve
Temperatura atmosférica	Humedad del suelo	Viento de la superficie del mar	Límite, espesor del hielo oceánico
Vientos atmosféricos	Vegetación	Temperatura superficial del mar	
Tipo de nube, cantidad y temperatura del techo de la nube	Temperatura superficie terrestre	Altura y espectro del oleaje	
Propiedades y perfil de las partículas nubosas	Otros aspectos	Otros aspectos	
Agua líquida y precipitación			
Ozono			
Balance de radiación			
Gases trazadores			

**Fuente:** Teledetección.

## 3. Imágenes Satelitales.

Una imagen satelital es una representación visual de los datos reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite artificial. Los datos son enviados a una estación terrenal en donde se procesan y se convierten en imágenes, enriqueciendo nuestro conocimiento de las características de la Tierra en diferentes escalas espaciales (INEGI, 2015).

### a. **Imágenes Rapideye.**

Rapideye es una constelación formada por cinco satélites alemanes idénticos. Esto permite una fuente de información sin precedentes con amplia cobertura, intervalos de

revisita frecuentes, alta resolución y capacidades multiespectrales. El hecho de que los 5 satélites mantienen el mismo plano de órbita y están calibrados entre sí significa que las imágenes tendrán las mismas características (Gráfico 3). Esto permite la posibilidad de coleccionar una cantidad sin precedentes de imágenes dentro de una ventana de tiempo muy pequeña. Esta capacidad de Rapideye permitirá aplicaciones muy avanzadas en campos como la agricultura en donde la fecha de la toma es un elemento importante para el análisis. Así mismo permitirá aprovechar las ventanas climáticas tan estrechas que tenemos en nuestra región tropical. (Valero, 2015)

**Gráfico 3.-** Funcionamiento Satélites Rapideye.



**Fuente:** Manual Rapideye.

La constelación Rapideye está conformada por 5 mini satélites de teledetección que maniobran en forma sincrónica, obteniendo imágenes en 5 bandas espectrales, cubren una franja de 77 kms de ancho y 1,500 km de barrido continuo. La constelación puede adquirir 4 millones de kilómetros cuadrados al día con capacidades de revisita diaria, siendo un sistema único en su tipo. Las aplicaciones de esta constelación esta orientadas al monitoreo de cultivos, pronóstico de cosechas, inteligencia comercial, seguros agrícolas, monitoreo forestal, cartografía, desastres naturales entre otras aplicaciones.

La constelación Rapideye fue lanzada el 29 de agosto del 2008 desde la base de Baikonur en Kazahistan, los satélites están diseñados para operar durante 7 años. La información satelital es descargada cada 10 minutos desde la estación de KSAT (Konsberg Satellite Services) en Svalbard en Noruega y es re direccionada en tiempo

real vía cable de fibra óptica a la base ubicada en Brandeburgo en Alemania, desde donde la información es distribuida a los interesados en todo el mundo (Valero, 2015).

### 1) Características de las imágenes Rapideye.

- **Fecha de lanzamiento:** agosto 29, 2008
- **Vehículo de lanzamiento:** Cohete DNEPR-1 (Misil ICBM remodelado)
- **Ubicación de lanzamiento:** Baikanour Cosmodrome, Kazahstan
- **Altitud de la órbita:** 630 Km
- **Inclinación de la órbita:** 97.8 grados, sincronía solar.
- **Velocidad:** 7.1 km / Segundo.
- **Hora de pase por el Ecuador:** 11:00 am (modo descendente)
- **Duración de la órbita:** 96,7 minutos.
- **Tiempo de revisita:** 1 día (off nadir) / 5.5 días (nadir)
- **Ancho de barrido:** 77 km Nadir
- **Precisión métrica:** 12.7 metros horizontales (CE90%) Orthorectificado
- **Digitación:** 16 bits.
- **Resolución:** MS: 5m (nadir) a 2.88 m (25° off nadir). (Valero, 2015)

### 2) Aplicación de las imágenes Rapideye.

Las imágenes satelitales rapideye son utilizadas en las siguientes industrias encargándose de ofrecer solución apoyada en información geoespacial.

- Identificación de Vegetación y Análisis de Terreno.
- Extracción de Perímetros y Elementos.
- Detección y Monitoreo de Cambios.
- Evaluación de Daños por desastres naturales (Sardon Nina, 2012).

### 3) Aplicación en la Forestación.

En la actualidad la información emitida por los satélites es más utilizada por los gobiernos nacionales, la industria y el comercio para valorar el curso de los bosques, identificar masas arbóreas, medir la sustentabilidad económica y ambiental de las operaciones forestales y controlar la deforestación y tala ilegal (Sardon Nina, 2012).

## **b. Métodos de clasificación de las imágenes satelitales.**

Los métodos de clasificación de las imágenes se describen de la siguiente manera:

### **1) Método de Clasificación Supervisada.**

El método supervisado parte de cierto conocimiento del lugar de estudio, adquirido mediante experiencia previa o trabajos de campo. Esto permite al intérprete realizar estudios e interpretaciones sobre áreas piloto. A estas áreas se les denominan campos de entrenamiento, ya que nos ayudan a preparar al ordenador para el reconocimiento de las distintas categorías, a partir de estas se calcula los ND que definen las clases, para posterior asignar el resto de los pixels de la imagen a una de esas categorías en función de sus ND (Chuvieco E. , 2001).

La mayoría de los equipos de tratamiento digital nos permiten localizar los campos de entrenamiento, con la participación activa del digitalizador el usuario ingresa a la pantalla los vértices que delimitan esta área, asignándole a una categoría ya definida en la leyenda. Documentos auxiliares como fotografías aéreas, cartografía básica y trabajos de campo son un aporte imprescindible para la ubicación más exacta de estas áreas, tomando en cuenta que debe tratarse de ejemplos homogéneos y representativos de la clase que se pretende definir. Una vez que se termina la delimitación de un campo de entrenamiento, puede repetirse el proceso que es lo más adecuado o acabar con la definición de esa clase (Chuvieco E. , 2001).

Concluida la selección de las áreas de entrenamiento, el computador calcula las estadísticas de cada categoría que son las siguientes: media, desviación típica, rango, matriz de varianza, etc., a partir de los ND de todos los pixels incluidos en los campos de entrenamiento asignados a esa clase. Este cálculo se aplica a todas y cada una de las bandas que actuaran en la clasificación. Se asume que las áreas de entrenamiento son las representantes de las categorías y que las medidas extraídas a partir de sus ND definen convenientemente a esas clases. Aquí la importancia que sea crucial la correcta selección de los campos de entrenamiento (Chuvieco E. , 2001).

El mismo actor señala que: la selección de áreas de entrenamiento es incorrecta si se sitúa en zonas de transición entre cubiertas de una zona heterogénea, ya que sus medidas estadísticas contarían de un grado de representatividad de las distintas categorías. En lo que se refiere al tamaño, se debe seleccionar un mínimo de  $m+1$  pixels por categoría, en donde;  $m$  es el número de bandas que constituye el análisis. Es aconsejable superar este límite mínimo, es recomendable seleccionar como mínimo entre 10m y 100m por cada categoría, esto se relaciona estrechamente con el grado de asociación espacial entre pixels (Chuvieco E. , 2001).

Respecto a la distribución se debe tener en cuenta las características de la imagen, comprendiendo las variaciones espaciales presentes en cada categoría: pendiente, orientación, densidad, contenido de humedad, vigor, tipo de suelo, etc. La variabilidad de una cubierta es directamente proporcional a la resolución del sensor, en otras palabras, cuando mayor sea el detalle espacial registrado en una imagen, mayor será también la sensibilidad para detectar variaciones internas de una categoría, que probablemente estuvo oculta debajo de un pixel de mayor tamaño, un incremento en la resolución espacial puede complicar la clasificación digital. Este hecho, que parece contradecir el sentido común (mayor resolución espacial, mayor precisión), ha sido puesto de manifiesto por diversos autores, que lo denominan “*scene noise*”, ruido de la escena.

El efecto se ha comprobado más agudo en los tipos de cubierta más heterogéneos, se puede citar dentro de estas a las áreas urbanas, en donde un pixel de mayor tamaño facilita adquirir una señal promedio de distintos componentes, mientras más se reduzca el pixel, los efectos de frontera son más intensos. Por el contrario, en categorías agrícolas y forestales, ese efecto es menos importante, siendo más conveniente las imágenes de alta resolución (Chuvieco E. , 2001).

## **2) Método de Clasificación no Supervisada.**

El método de clasificación no supervisada tiene relación con el valor referente al tono, al color o al clúster, para identificar un área de estudio. En este caso el analista deberá validar el resultado de la clasificación una vez que esta haya sido llevada a cabo. En este



método de clasificación, la influencia que puede ejercer el operador es prácticamente nula, más allá de seleccionar el algoritmo de clasificación que va a utilizarse, 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 valido. En virtud de lo anterior expuesto, el proceso de clasificación de imágenes ya sea supervisado o no supervisado se puede hacer utilizando una sola banda, en un proceso llamado density silicing, o usando muchas bandas (multi-espectral de clasificación) (Monterroso, 2015).

### **c. Algoritmos de Clasificación.**

Los algoritmos de clasificación determinan un área de dominio de cada clase de acuerdo a su centro por medio de un conjunto de funciones. Se asignará un pixel a una clase específica siempre y cuando los números dígitos (ND) recaigan sobre los límites establecidos para dicha clase (Yébenes & Giner , 2015).

#### **1) Clasificador de mínima distancia.**

La manera más práctica para clasificar un pixel en una categoría es incluirlo en la más cercana a este, es decir, en una categoría que disminuya la distancia entre el pixel y el centro de la clase. Esta es una distancia espectral porque compara los ND de cada pixel con los del centro de las categorías, para todas las bandas que intervienen en el análisis (Yébenes & Giner , 2015).

#### **2) Clasificador de paralelepípedos.**

En este método, teniendo en cuenta los valores de centralidad y dispersión se fija un área de dominio para cada categoría. Posterior a esto cada pixel será asignado a una determinada clase si sus ND se encuentran dentro del área de dominio de esa clase, para todas las bandas que intervienen en la clasificación (Yébenes & Giner , 2015).

### 3) Clasificador de máxima verisimilitud.

“Este método considera que los ND de cada categoría se ajustan a una distribución normal. Esto nos permite describir esa categoría por una función de probabilidad, a partir de su vector de medias y matriz de varianza-covarianza. Así podemos calcular la probabilidad de que un determinado pixel pertenezca a una categoría; el cálculo se realiza para todas las categorías definidas y el pixel se clasifica en clase a la cual tenga más probabilidad de pertenecer”. Este clasificador es el más complejo, y requiere gran volumen de cálculo; es el más fiable debido a que acerca con mayor precisión a la distribución real de los datos. (Yébenes & Giner , 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)

#### **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)

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™, 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)

## **B. REGIÓN ANDINA DEL ECUADOR.**

La región andina del Ecuador es también conocida como región sierra, se extiende por los Andes que atraviesan de norte a sur al Ecuador. Está constituida por las provincias Carchi, Pichincha, Chimborazo, Tungurahua, Azuay, Cañar, Loja, Cotopaxi, Bolívar e Imbabura; está ubicada desde los 1000 m.s.n.m. hasta la zona nival y su temperatura oscila entre los 7 y 18°C (Galeas & Guevara, 2012).

Los bosques de esta región presentan una combinación de temperatura, humedad, geomorfología e historia evolutiva que determinan gran diversidad florística a diferentes escalas. Las epifitas de las familias Orchidaceae y Bromeliaceae son grupos diversos y abundantes en los sectores de la montaña, así como las hepáticas y las briofitas que contribuyen a la generación de recursos hídricos (Galeas & Guevara, 2012).

“En términos florísticos los bosques que se encuentran hacia las vertientes externas de la cordillera oriental de los Andes son más diversos que los que se encuentran hacia los valles interandinos y las vertientes internas de la cordillera, sin embargo, los bosques occidentales se caracterizan por un mayor índice de endemismo” (Galeas & Guevara, 2012).

“En las estribaciones orientales los bosques son continuos y muy húmedos, a diferencia de las estribaciones occidentales donde los bosques son extensos y continuos en el norte del Ecuador; por el contrario, al sur del país, la franja del bosque es menos húmeda y más estrecha” (Galeas & Guevara, 2012).

“Dentro de los Andes, también se encuentra el sector biogeográfico páramo, que se distribuye en un callejón casi ininterrumpido sobre la línea de bosques de las cordilleras occidental y oriental de los Andes sobre los 3300 y 3500 m.s.n.m. respectivamente y

2800 m.s.n.m. en el sur del país. En base a la fisionomía y tipo de flora se distinguen la vegetación zonal y azonal. Las especies representativas son *Plantago rigida*, *Wemeria sp.*, *Distichia muscoides*, *Oreobolus spp.*, *Sphagnum spp.*, entre otras. En las cimas más altas es típico encontrar áreas de paramo desérticas o arenales a elevaciones sobre los 4200 m; el número de especies y su cobertura decrece rápidamente con la altitud y pocas especies alcanzan la línea de nieve” (Galeas & Guevara, 2012).

### **1. Bosque siempreverde montano alto y montano alto superior de páramo.**

La variación altitudinal de este bosque va desde los 2900 hasta 4100 m.s.n.m., tiene un relieve de montaña con un bioclima pluvial a pluviestacional. Son boques siempreverdes, con alturas que varían entre 5 a 7 metros, los mismos que por efectos de las condiciones climáticas crecen torcidos y ramificados, destacándose este como un aspecto muy peculiar. Este tipo de ecosistemas se presenta en forma de parches o manchas aislados embebidos en una matriz de vegetación montana alta superior herbácea o arbustiva. Estas manchas tienden a presentarse en lugares menos expuestos al viento y la desecación como: fondos de los valles glaciares o en la base de grandes bloques de rocas de los circos glaciares o laderas pronunciadas. Por la alta humedad ambiental que contienen, los troncos de los árboles están generalmente cubiertos por muchas especies de briofitas, líquenes, epifitas y hemiepifitas. En este bosque se identifican dos estratos diferenciados. El estrato arbóreo que es un tanto limitado debido a que las condiciones fisiológicas impiden el crecimiento leñoso. El dosel esta generalmente compuesto por especies del género *Polylepis* junto con *Gynoxys spp.*, *Vallea spp.* y *Buddleja spp.*, aunque la dominancia de estos boques varía mucho, llegando en algunos casos a formar unidades monotípicas de *Polylepis* o *Gynoxys* (Galeas & Guevara, 2012).

Las especies arbóreas características para estos bosques, que generalmente ocurren en densidades bajas, son *Escallonia myrtilloides*, *Hesperomeles obtusifolia*, *Myrsine andina*, *Clusia multiflora*, *Vallea stipularis* y *Oreopanax andreanum*. El estrato arbustivo-herbáceo es denso y esta generalmente compuesto por especies de los géneros *Arcytophyllum*, *Barnadesia*, *Berberis*, *Chusquea*, *Puya*, *Brachyotum*, *Calamagrostis*, *Cortaderia*, *Diplostephium*, *Disterigma*, *Greigia*, *Pernettya*, *Senecio* y *Valeriana*. La superficie al igual que los troncos de los árboles se encuentra cubiertos por briofitas. La

vegetación esta reducida notablemente a remanentes por acción antrópica, extracción de madera o efecto del fuego (Galeas & Guevara, 2012).

Es uno de los ecosistemas más amenazados, su deterioro se atribuye al cambio de uso de suelo, en particular, el avance de la frontera agrícola, pastoreo, leña y quemas, que han reducido su distribución actual; su presencia en parches les hace más vulnerables a la extinción (Galeas & Guevara, 2012).

*a. Chusquea scandens.*

**Clasificación taxonómica**

- **Nombre científico:** *Chusquea scandens*
- **Reino:** Plantae
- **Phylum:** Magnoliophyta
- **Clase:** Liliopsida
- **Orden:** Cyperales
- **Familia:** Poaceae
- **Género:** Chusquea
- **Especie:** scandens
- **Autor Epíteto Especifico:** Kunth (Gráfico 4). (Instituto de Ciencias , 2015)

**Gráfico 4.-** *Chusquea scandens.*



**Fuente.** Biocomercio Andino.

Son plantas rizomatosas con cañas erguidas de hasta 5m de altura, duras a menudo, péndulas superiormente, entrenudos comúnmente sólidos. Nudos de la parte media de la caña con una yema central de mayor tamaño, rodeada de varias yemas pequeñas. Hojas alargadas, hasta de 10cm con ápice acuminado. El uso principal que se le da es como armazón de techos. Es el alimento principal de una especie oso endémico de la zona. (La-Torre & Tovar, 2003).

***b. Clusia multiflora.***

**Clasificación taxonómica.**

- **Reino:** Plantae
- **Phylum:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Theales
- **Familia:** Clusiaceae
- **Género:** Clusia
- **Especie:** *Clusia multiflora*
- **Nombre vulgar:** Chagualo, Cucharo (Gráfico 5). (Sistema de Informacion de Biodiversidad , 2009)

**Gráfico 5.-** *Clusia multiflora.*



**Fuente:** Herbario UCO.

“Arboles dioicos, hasta 14 m de altura y 30 cm de diámetro; corteza interna con exudado abundante por puntos amarillo encendido. Hojas simples opuestas decusadas, agrupadas al final de las ramas; peciolo muy corto, acanalado y con rebordes, 0 – 6 mm; los peciolos de las hojas opuestas se unen cerca de la mitad de la rama, ápice

redondeado, borde entero, consistencia coriácea; nerviación pinnada, nervaduras poco notorias, rectas y paralelas. Flores vistosas, aromáticas unisexuales. Fruto capsulas carnosas, dehiscente, con 5 – 7 carpelos, oblonga, 2.5 – 3.5 cm de largo. Frutos verdes presentan exudado abundante amarillo. Raíces largas adventicias. A estas especies están distribuidas en el bosque montano, bosque húmedo y bosque pluvial. (Herbario UCO, 2008)

*c. Vallea stipularis.*

**Clasificación taxonómica.**

- **Reino:** Plantae
- **Phylum:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnolipsida
- **Orden:** Malvales
- **Familia:** Elaeocarpaceae
- **Género:** Vallea
- **Especie:** stipularis
- **Nombre vulgar:** sacha capulí (Gráfico 6). (Instituto de Ciencias Naturales , 2014)

**Gráfico 6.-** *Vallea stipularis.*



**Fuente:** Herbario virtual.



Es un árbol que alcanza hasta 10m de altura aproximadamente, tiene tallo curvo leñoso las ramificaciones empieza desde 1,5 m de altura, posee hojas alternas, acorazonadas el haz es de color verde brillante y el envés blancusco, peciolo curvos y largos. Las flores son de color rosado agrupadas entre sí, el fruto es una capsula redondeada de color verde blanquecino con granosidades en la superficie y 4 semillas. La propagación de este árbol es por semillas. (Expediciones Botánicas Siglo XXI, 2015)

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR**

#### **1. Localización del área de estudio**

La presente investigación se llevó a cabo en la Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo, la cual cuenta con una superficie aprox. de 97117.52 Ha.

#### **2. Ubicación geográfica**

Coordenadas Proyectadas UTM Zona 17S, DATUM WGS 84 (Fuente IGM)

Coordenada X: 748065.7

Coordenada Y: 9747487.1

#### **3. Características climáticas**

Datos obtenidos del Plan de Desarrollo del GADPR\* de Achupallas

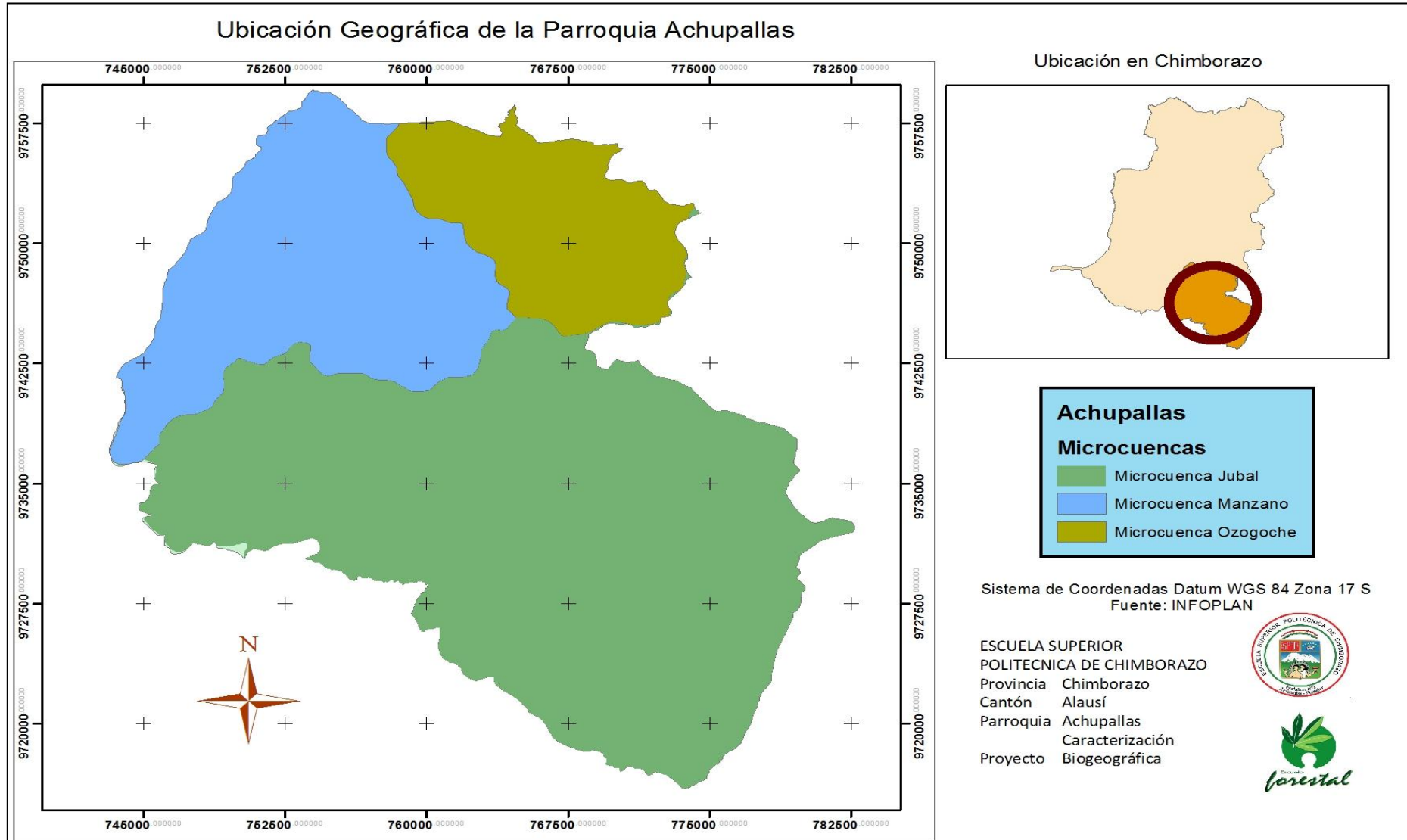
- Temperatura anual: 1 a 16 °C
- Humedad relativa promedio anual: 50 a 70%
- Precipitación anual: 250 2500 mm

#### **4. Clasificación ecológica**

Según el Sistema de los Ecosistemas del Ecuador Continental del Ministerio del Ambiente del Ecuador la parroquia Achupallas tiene la siguiente clasificación ecológica: Bosque siempre verde montano alto y montano alto superior de páramo ubicado entre los 2900 hasta los 4100 m.s.n.m. (GADPR: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural).

**Mapa 1.-** Ubicación Geográfica de la Parroquia Achupallas.

Elaborado por: Borja M.



## **B. MATERIALES Y EQUIPOS**

### **1. Materiales e Insumos.**

Libreta de campo, equipo de acampar, cinta métrica, clinómetro, cartas topográficas, imágenes satelitales rapideye. Software ArcGis 10.2, ENVI, Microsoft Word y Microsoft Excel.

### **2. Equipos**

GPS Juno de precisión, laptop, cámara fotográfica, calculadora.

## C. METODOLOGÍA.

### 1. Verificación de la existencia de tres especies forestales identificadas en el inventario forestal del proyecto Caracterización Biogeográfica.

Con la ayuda del Proyecto de Caracterización Biogeográfica de la Universidad Nacional de Chimborazo, basándonos en el inventario forestal del Bosque de Ceja Andina elaborado por el proyecto, se seleccionaron tres especies para la ejecución de esta investigación: *Chusquea scandens*, *Clusia multiflora* y *Vallea stipularis*, se realizó una validación in situ de las especies, a partir de las parcelas elaboradas por el inventario.

#### a. **Elaboración de una base de datos del inventario forestal del proyecto Caracterización Biogeográfica.**

Para la verificación de la información se elaboró un registro en excel, con la información básica de cada una de las especies que deseamos zonificar, tomando como base las parcelas existentes, de cada una se seleccionó sus coordenadas geográficas conjuntamente con las coordenadas de las especies en estudio.

#### b. **Validación in situ de *Chusquea scandens*, *Clusia multiflora* y *Vallea stipularis* en la zona de estudio.**

Las coordenadas obtenidas del inventario forestal fueron cargadas en el GPS para poder validar su existencia en las parcelas ubicadas en el área de estudio, una vez que se llegó a cada una de las parcelas, si dentro de estas encontrábamos parches de 5 x 5 metros conformados por las especies, estos fueron georreferenciado y adjuntos a los puntos de control que fueron tomados posteriormente para la clasificación. Conjuntamente con la validación in situ se elaboró una ficha de campo de cada una de las especies con las características botánicas de la misma.

### 2. Zonificación de tres especies forestales del bosque de Achupallas por el método de clasificación supervisada.

Debido a la extensión del área de estudio previo a la zonificación de la especie forestales se realizó una primera clasificación que nos permitió zonificar el bosque que conforma el área de estudio, luego se realizó un recorte que abarque solamente el bosque

y se realizó una nueva clasificación donde ya se incluyó a las especies en estudio para su zonificación, para lo cual se realizó el siguiente procedimiento.

**a. Toma de los puntos de control en el área de estudio.**

Para la primera clasificación se identificaron las siguientes clases de forma general: bosque, páramo herbáceo – humedales, páramo, cuerpos de agua, cultivos y pastizales, para lograr una exactitud aceptable se tomó la mayor cantidad de puntos control en el campo para cada uno de las clases, para la segunda clasificación conjuntamente con los puntos de control para las clases señaladas, se tomaron puntos para las tres especies en estudio, tomando como base la siguiente condición: los puntos de control para cada una de las especies deben abarcar un área mínima de 5 x 5 m que corresponden al tamaño del pixel que conforma la imagen satelital. De esta manera nos aseguramos la mayor exactitud posible al momento de realizar la clasificación.

**b. Clasificación supervisada**

Para cada una de las clasificaciones usamos los puntos de control de cada especie y de las clases definidas, para esto se aplicó el algoritmo de clasificación de máxima verisimilitud que nos permitió identificar con mayor precisión las especies para su zonificación, este algoritmo identifico cada especie comparando y asignando cada pixel a su respectiva clase, con la mayor probabilidad de acuerdo a los puntos de control que han sido obtenidos en el campo.

**1) Verificar la exactitud de la clasificación.**

Las dos clasificaciones fueron validadas con la matriz de confusión, esta nos presenta el porcentaje de aceptabilidad para la clasificación, para lo cual el software comparo cada una de las clases con las sobrantes, identificando los pixeles mal clasificados al comparar los niveles digitales que posee cada uno de ellos, conjuntamente a la matriz de confusión se evaluó el índice Kappa de certeza

## **2) Proceso de post clasificación.**

Se utilizaron dos filtros: majority y clump, que nos permitieron corregir los pixeles mal clasificados, volviendo a compararlos con las clases creadas y asignándolos de forma correcta a cada una de ellas.

## **3) Presentación final de la clasificación**

La imagen clasificada que se generó en ENVI se convirtió a formato shape, permitiéndonos realizar la presentación final de las imágenes y calcular el área que abarca cada una de las especies en el área de estudio con el software ArcMap 10.2.2.

## **3. Validación de las tres especies utilizando firmas espectrales**

Realizada la clasificación se validó a través de firmas espectrales de las áreas que se generaron de cada especie en la clasificación y el análisis estadístico de los niveles digitales que representan cada una de las bandas en la firma espectral.

### **a. Determinación de las firmas espectrales de cada una de las clases obtenidas.**

De cada una de las clases, con la herramienta **espectral profile** se obtuvo las firmas espectrales y se realizó una comparación gráfica en el software SAMS, conjuntamente con la obtención de la firma espectral media para cada especie.

### **b. Análisis estadístico de los niveles digitales de las firmas espectrales de cada especie.**

Se validó cada una de las clases que conforman las especies en estudio, comparando los niveles digitales de cada una de las cinco bandas que conforman las firmas espectrales obtenidas de la imagen satelital, para lo cual se aplicó el análisis de estadística descriptiva en Excel el cual nos presenta el siguiente informe (Tabla 1).

**Tabla 1.- Estadística Descriptiva de Excel**

<b>Banda 1</b>	
Media	
Error Estándar	
Mediana	
Moda	
Desviación estándar	
Varianza de la muestra	
Mínimo	
Máximo	
Suma	
Cuenta	
<b>Coefficiente de Variación</b>	
<b>Error muestreo</b>	
<b>Error de muestreo relativo</b>	

Elaborado por: Borja M.

A partir de los datos obtenidos en Excel se realizaron los siguientes cálculos estadísticos:

- **Coefficiente de Variación**

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} * 100$$

S: Desviación estándar  $\bar{x}$ : Media de las muestras

- **Error de Muestreo**

$$E\%S\bar{x}t = \bar{S}x * t$$

$\bar{S}x$ : Error estándar  $t$ : Valor de t student

- **Error de Muestreo Relativo**

$$E\%S\bar{x}t\% = \frac{E\%S\bar{x}t * 100}{\bar{x}}$$

$E\%S\bar{x}t$ : Error de muestreo  $\bar{x}$ : Media de las muestras



Según (Edwin Galindo 2015) si el coeficiente de variación es menor o igual a 1 los datos obtenidos para nuestros estudios las firmas espectrales serán homogéneas o iguales de esta forma se validó las áreas de *Chusquea scandens*, *Clusia multiflora* y *Vallea stipularis* obtenidas en la clasificación, en el caso que el coeficiente de variación sea mayor a 1.5, se volvió a seleccionar las áreas de entrenamiento y rehacer el proceso de clasificación supervisada, al obtener nuevamente un coeficiente de variación mayor a 1.5, se volvió a salir al campo a tomar nuevamente los puntos de control. Para e caso error de muestreo relativo se trató de que sea lo menor posible, buscando tener una mayor precisión.

## V. RESULTADOS.

### A. VERIFICACIÓN DE LA EXISTENCIA DE TRES ESPECIES FORESTALES IDENTIFICADAS EN EL INVENTARIO FORESTAL DEL PROYECTO CARACTERIZACIÓN BIOGEOGRÁFICA.

La verificación de *Chusquea scandens*, *Clusia multiflora* y *Vallea stipularis*, se realizó en las parcelas del inventario forestal del Proyecto Caracterización Biogeografica a partir de las coordenadas geográficas obtenidas en el mismo, para lo cual se dedicó dos días completos para evaluar cada una de las especies dentro de las parcelas

#### 1. Elaboración de una base de datos del inventario forestal del proyecto Caracterización Biogeográfica.

El inventario forestal del proyecto caracterización contaba con 23 parcelas de muestreo de las cuales en 18 parcelas encontramos las especies en estudio y solamente en 10 parcelas coincidieron las tres especies en estudio, a partir de estas parcelas se realizó la base de datos, obteniendo la información necesaria para la validación en campo, se identificó las coordenadas geográficas de cada parcela y el número total de cada una de las tres especies en estudio con sus respectivas coordenadas, como se observa en la (Tabla 1) encontramos una mayor presencia general de *Chusquea scandens* seguida por *Clusia multiflora* , donde *Vallea stipularis* fue prácticamente inexistente, cabe recalcar que el inventario nos arboles individuales de cada una de las especies, por lo que la verificación se realizó principalmente para hacer un análisis visual del área de estudio.

**Tabla 2.-** Número de especies por parcela

Parcela	Número de especies		
	<i>Chusquea scandens</i>	<i>Clusia multiflora</i>	<i>Vallea stipularis</i>
1	10	3	2
2	8	9	6
3	15	6	9
4	11	7	1
5	7	8	3
6	13	9	4
7	9	10	7

8	18	14	5
9	21	16	10
10	12	15	13

Elaborado por: Borja M.

## **2. Validación in situ de *Chusquea scandens*, *Clusia multiflora* y *Vallea stipularis* en la zona de estudio.**

Con la validación en campo pudimos corroborar los datos obtenidos por el inventario forestal del proyecto caracterización biogeográfica, se pudo llegar de formas precisa a cada una de las parcelas e identificar y ubicar a cada una de las especies en estudio (Gráfico 7), lo que nos permitió tener una idea más clara de cómo es su comportamiento con la vegetación adyacente y cómo puede afectar al momento de realizar la zonificación, dentro de las parcelas y el área donde se encontraban, pudimos encontrar solo arboles individuales en el caso de *Clusia multiflora* y *Vallea stipularis*, ninguna presento parches de 5 x 5 m que permitieran ser usados como puntos de control para la zonificación, por lo que para el cumplimiento del segundo objetivo fue necesario adentrarse aún más en los remanentes de bosque, para lo cual se planifico nuevas salidas de campo que nos permitieron encontrar parches con el tamaño antes mencionado, a diferencia de *Chusquea scandens* esta especie si presentó parches amplios entre el trayecto de una parcela a la otra, que a la postre fueron utilizados para el proceso de teledetección.

**Gráfico 7.- Parcela 4 – *Vallea stipularis***



Elaborado por: Borja M.

Con el fin que el estudio fuese lo más completo posible se realizó una ficha de campo para cada una de las especies.

**a. Ficha de campo para *Chusquea scandens***

<b>NOMBRE COMÚN:</b> Sural		<b>NOMBRE CIENTÍFICO:</b> <i>Chusquea scandens</i>	
<b>FECHA:</b> 16/12/16		<b>HORA:</b> 12:00	
<b>LUGAR:</b> Huangras			
<b>ALTURA:</b> 3870 msnm	<b>X:</b> 756593	<b>Y:</b> 9764487	
<b>HÁBITAT:</b> Es una especie que se localiza entre los 3000 y 4000 ms,n,m			
<b>OBSERVACIONES:</b> Esta plantas se encuentra formando grandes remanentes en el área de estudio, es alimento de los osos de anteojos			
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Son plantas rizomatosas con cañas erguidas de hasta 5m de altura, duras a menudo, péndulas superiormente, entrenudos comúnmente sólidos. Nudos de la parte media de la caña con una yema central de mayor tamaño, rodeada de varias yemas pequeñas. Hojas alargadas, hasta de 10cm con ápice acuminado. El uso principal que se le da es como armazón de techos. Es el alimento principal de una especie oso endémico de la zona.			

**Elaborado por:** Borja M.

**b. Ficha de campo para *Vallea stipularis***

<b>FICHA DE REGISTRO DE FLORA</b>			
<b>NOMBRE COMÚN:</b> Sacha capulí.		<b>NOMBRE CIENTÍFICO:</b> <i>Vallea stipularis</i>	
<b>FECHA:</b> 14/12/16		<b>HORA:</b> 10:00	
<b>LUGAR:</b> Huangras			
<b>ALTURA:</b> 3820 msnm	<b>X:</b> 756896	<b>Y:</b> 9767485	
<b>HÁBITAT:</b> Bosque y matorral, a lo largo de los márgenes de los bosques, y en páramos ( pastizales ) por encima de la vegetación del bosque nuboso.			
<b>OBSERVACIONES:</b> Es una especie que se utiliza desde el punto de vista ornamental, en el continente europeo, pero en nuestro medio en las comunidades indígenas es utilizado para el tratamiento de la gastritis, reumatismo, como también como purgante, sirve como alimento de varias especies de aves			

**DESCRIPCIÓN:**

Es una especie arbustiva, que presenta un tallo semileñoso, con ligeras cicatrices, sus hojas son de consistencia coriácea, de forma acorazonada, de hasta 10 cm de largo, de color verde oscuro , y más pálido por debajo , con mechones de pelos en las axilas de las venas, presenta un ápice agudo, con una base acorazonada, sus nervaduras son hifodroma, es decir que topan el borde de la hoja, además posee una disposición alternas. Las flores son pequeñas y se presentan formando inflorescencias tipo panícula, en forma de campana son de color rosado - rojo o carmesí, presenta un cáliz caduco y pentámero, al igual que la corola, el androceo está compuesto por varios estambres, además presente un gineceo de un ovario supero con estilo simple y estigma ramificado, el fruto es una capsula globosa negruzca cuando está madura, y la misma contiene entre 2 y 5 semillas.

**Elaborado por:** Borja M.

## **B. ZONIFICACIÓN DE TRES ESPECIES FORESTALES DEL BOSQUE DE ACHUPALLAS POR EL MÉTODO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA.**

Debido a la extensión del área de estudio se realizó dos clasificaciones supervisadas, en la primera se buscó disminuir el área de estudio reduciéndola solamente al área ocupada por el ecosistema de bosque para lo cual se crearon clases específicas que nos permitan diferenciar de forma correcta el bosque de otras áreas como el páramo y los cultivos. Para la segunda clasificación ya se incluyeron las especies en estudio con sus respectivos puntos de control, además se decidió crear nuevas clases como suelos erosionados y áreas intervenidas que representan a los cultivos y pastizales, para lo cual y en post de obtener resultados lo más exactos posibles se optó por realizar una nueva salida de campo para tomar nuevos puntos de control que vayan acorde a nuestra nueva área de estudio.

### **1. Primera Clasificación – Zonificación del Bosque**

#### **a. Toma de los puntos de control en el área de estudio.**

Para la primera clasificación se decidió crear las siguientes clases para lo cual se tomaron los siguientes puntos de control (Gráfico 8): Paramo (87 puntos), Paramo herbáceo – humedales (75 puntos), cultivos (60 puntos) pastizales (63 puntos), cuerpos de agua (estos fueron identificados de forma visual en la imagen satelital) (Anexo 1), finalmente en la clase bosque se hizo énfasis en la obtención de puntos de control llegando a un total de 154, que nos permitieron abarcar todos los estratos que lo conforman y a la postre obtener un área de bosque lo más cercana a la realidad, que es donde principalmente se encuentran las especies en estudio.

**Gráfico 8.-** Punto de control para páramo



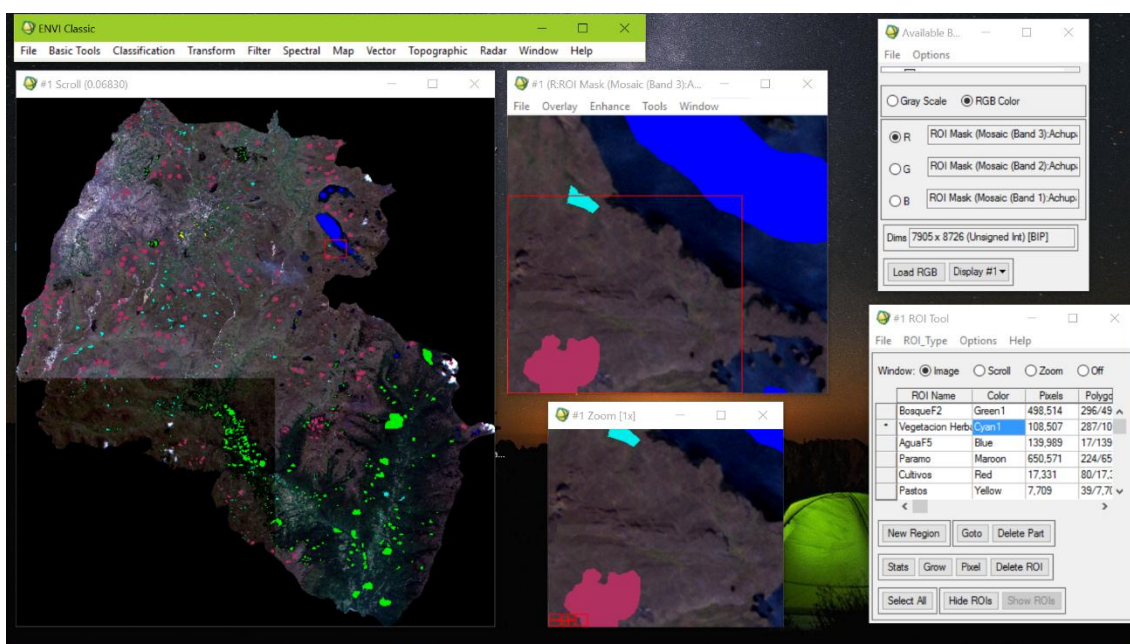
**Elaborado por:** Borja M

## b. Zonificación y recorte del área conformada por el ecosistema bosque

### 1) Generación de las áreas de entrenamiento

Para la primera clasificación, el proceso se realizó en el software ENVI, proyectando los puntos de control que obtuvimos en el campo en la imagen satelital, a partir de estos se generaron las áreas de entrenamiento para cada una de las clases propuestas.

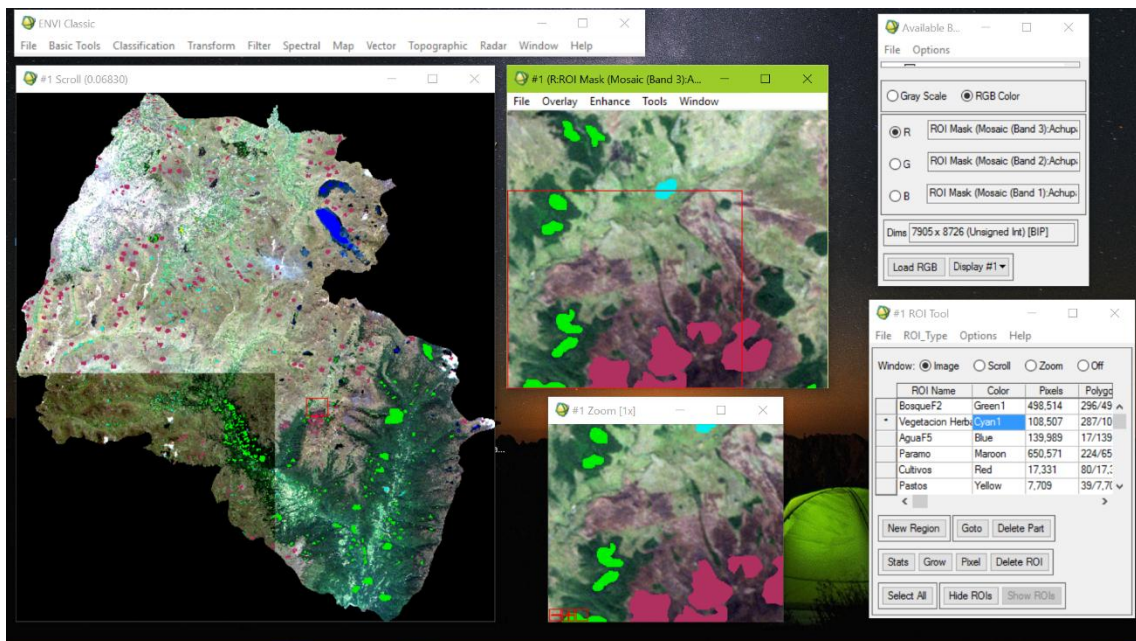
**Gráfico 9.-** Generación de áreas de entrenamiento páramo, páramo herbáceo y cuerpos de agua



Elaborado por: Borja M

En el (Gráfico 9) podemos observar las áreas de entrenamiento que se generaron a partir de los puntos de control, de color marrón se representa el páramo, el páramo herbáceo-humedales de color celeste, finalmente los cuerpos de agua no requirieron puntos de entrenamiento ya que los mismos se diferencian fácilmente del resto de clases creadas.

**Gráfico 10.-** Generación de áreas de entrenamiento páramo, páramo herbáceo y bosque

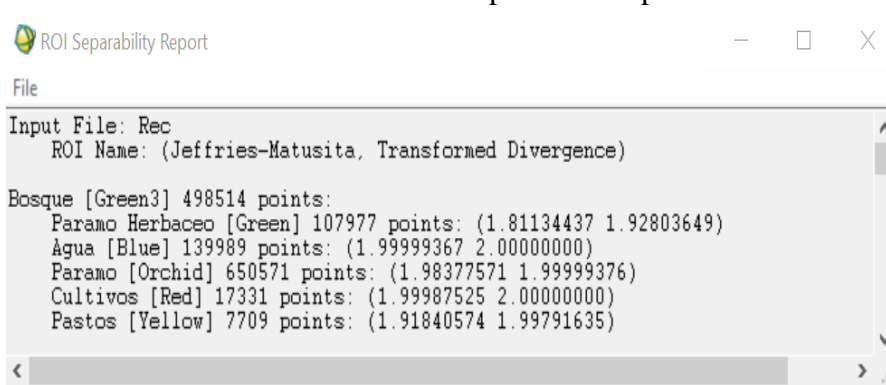


Elaborado por: Borja M

En el (Gráfico 10) se observa cómo se puede diferenciar de forma clara el área de entrenamiento del bosque (color verde agua) del resto de clases, paramo de color marrón y paramo herbáceo de color celeste.

Para evitar que las clases se confundan unas con otras al momento de realizar la clasificación se hizo una comparación entre ellas, determinando la separabilidad existente entre el bosque y el resto de clases, como se puede observar en el (gráfico 11) los valores mayores a 1.9 nos indica una buena separabilidad, para el caso del bosque, observamos que el mismo se diferencia de manera correcta del resto, permitiéndonos seguir con el resto del proceso.

**Gráfico 11.-** Análisis de separabilidad para la clase



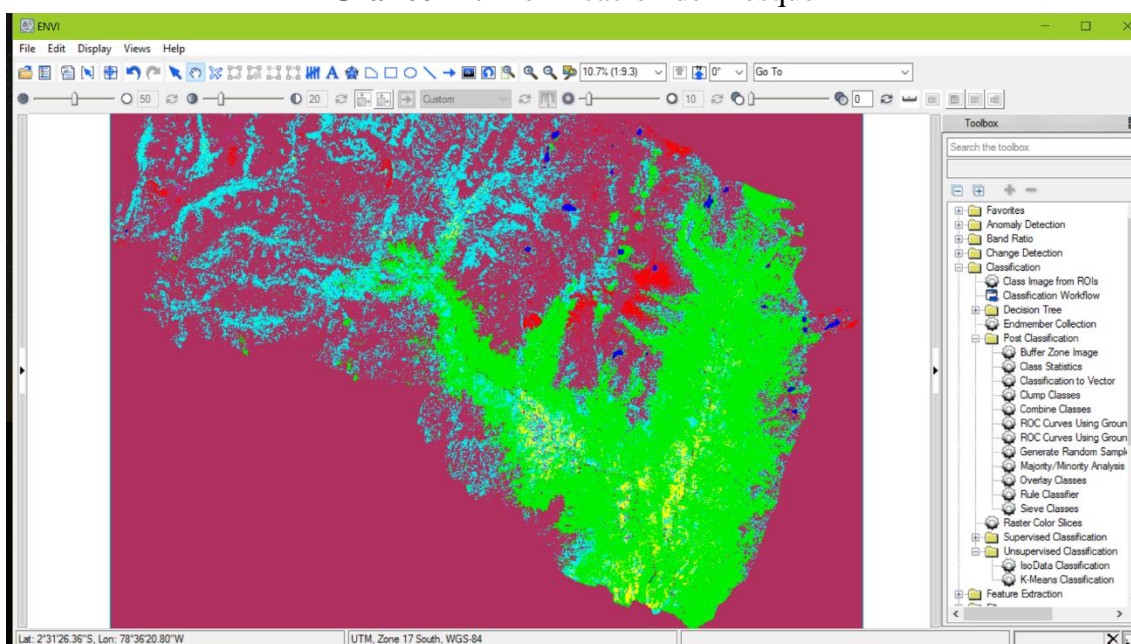
Elaborado por: Borja M



## 2) Procesamiento de las áreas de entrenamiento con el algoritmo de máxima verisimilitud

Como podemos observar en el (Gráfico 12), de color verde claro se encuentra representada toda el área que conforma el bosque, y el resto de clases creadas, con el fin de validar los resultados obtenidos a la clasificación se aplicó la matriz de confusión (Gráfico 13), la misma nos indica que la exactitud alcanzada por el algoritmo clasificador es de 94.48 %, es un valor muy aceptable tomando en cuenta el área que conforma la parroquia Achupallas

**Gráfico 12.-** Zonificación del Bosque



Elaborado por: Borja M

**Gráfico 13.-** Precisión global de la primera clasificación

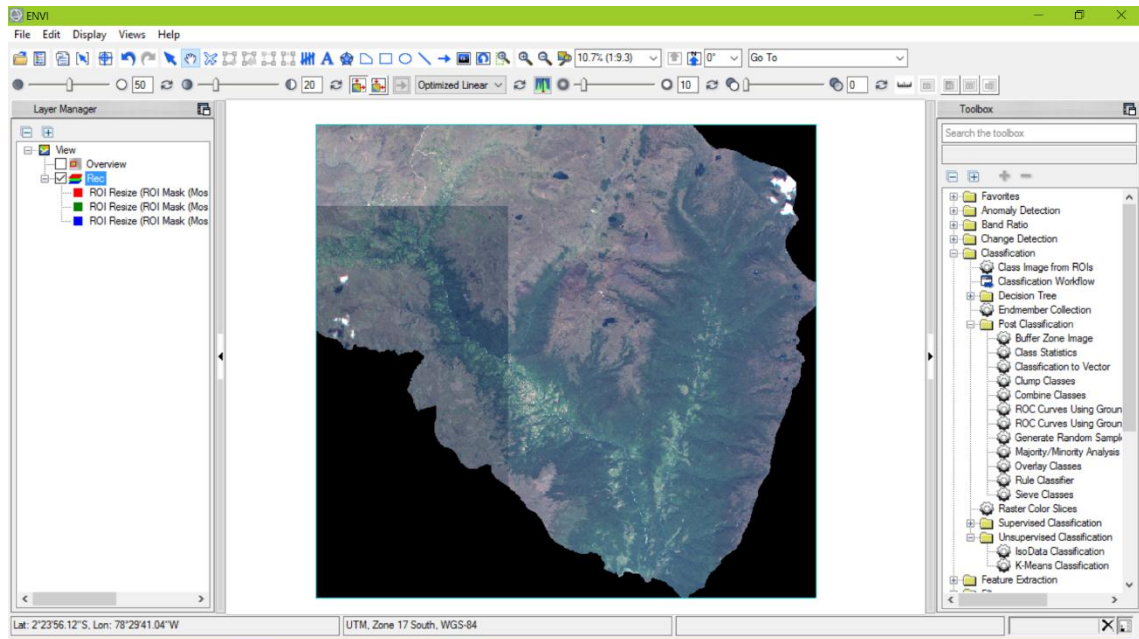
Class Confusion Matrix					
File					
Confusion Matrix: C:\Users\LuisDg Z\Desktop\Masho\Clasificacion rules 1					
Overall Accuracy = (1343923/1422316) 94.4884%					
Kappa Coefficient = 0.9176					
Class	Ground Truth (Pixels)				
	Bosque	Agua	Paramo	Cultivos	Pastos
Unclassified	0	0	0	0	0
Bosque [Gre	483789	8	74	0	41
AguaF5 [Blue]	0	139910	0	0	0
Paramo [Maroo	395	48	604038	577	0
Cultivos [Red	109	23	27866	16744	0
Pastos [Yello	7117	0	52	0	7284
Cultivo 2 [Ma	317	0	1162	4	0
Paramo He	6783	0	17115	6	384
Total	498514	139989	650571	17331	7709

Elaborado por: Borja M

### 3) Recorte del área de interés para la zonificación de las especies.

Validados los resultados obtenidos se recortó la imagen original, abarcando toda el área del bosque (Gráfico 14), la nueva imagen obtenida fue la base para la segunda clasificación, que nos permitió tener un mayor grado de precisión en la clasificación global.

**Gráfico 14.-** Recorte de la nueva área de estudio



Elaborado por: Borja M

## 2. Segunda clasificación – Zonificación de las especies en estudio

El proceso que seguimos para esta clasificación es similar al de la primera, se aumenta el proceso de post clasificación que nos permite tener una mayor exactitud, esto debido a la gran variedad de especies que podemos encontrar en el bosque y entre mejor se pudo diferenciarlas unas de las otras, los resultados obtenidos se asemejaron más a la realidad.

### a. Toma de los puntos de control en el área de estudio.

Para la segunda clasificación, en lo que respecta a las especies en estudio solamente de *Chusquea scandens* y *Vallea stipularis* se pudieron encontrar parches de 5 x 5 m para la clasificación, con un total de 72 y 66 puntos de control respectivamente (Anexo 2),

para *Clusia multiflora* no se pudo encontrar parches con estas dimensiones, de esta especie solo encontramos arboles individuales que se encontraban cubiertos por especies de mayor tamaño, haciendo imposible el proceso de teledetección, por este motivo fue descartada para el resto del procedimiento (Gráfico 15)

**Gráfico 15.-** Georreferenciación de *Clusia multiflora*



**Elaborado por:** Borja M

En el caso de *Chusquea scandens* en las salidas de campo pudimos observar que en el área de estudio forma grandes parches que ampliamente cubrían los 5 x 5 m requeridos (Gráfico 16), a pesar de estar formados por varias especies, esta especie era más predominante.

**Gráfico 16.-** Parche de *Chusquea scandens* de 5 x 5 m



**Elaborado por:** Borja M

Con respecto a *Vallea stipularis* los parches encontrados abarcaban de forma justa el espacio requerido (Gráfico 17), lo que dificultó el trabajo de campo, además se tomaron puntos de control de *Vallea stipularis* donde encontramos parches de la mismas, pero estos se encontraban opacados con especies de mayor tamaño, de esta forma se determinó hasta qué punto el algoritmo clasificador es capaz de distinguir una especie de la otra.

**Gráfico 17.-** Parche de *Vallea stipularis* de 5 x 5 m



**Elaborado por:** Borja M

Conjuntamente a los puntos de control de las especies, se tomaron los necesario para las clases ya existentes y para las nuevas que se crearon (Anexo 3), quedando conformadas de la siguiente manera

- Clase 1- Paramo (87 puntos)
- Clase 2 - Paramo Herbáceo y Humedales (65 puntos)
- Clase 3 - Zonas Intervenidas (73 puntos)
- Clase 4 - Bosque Nativo (105 puntos)
- Clase 5 - Cuerpos de Agua (Definidos a partir de las imágenes)
- Clase 8 – Suelo Erosionado (30 puntos)
- Clase 6 - *Chusquea scandens* (72 puntos)
- Clase 7 - *Vallea stipularis* (66 puntos)

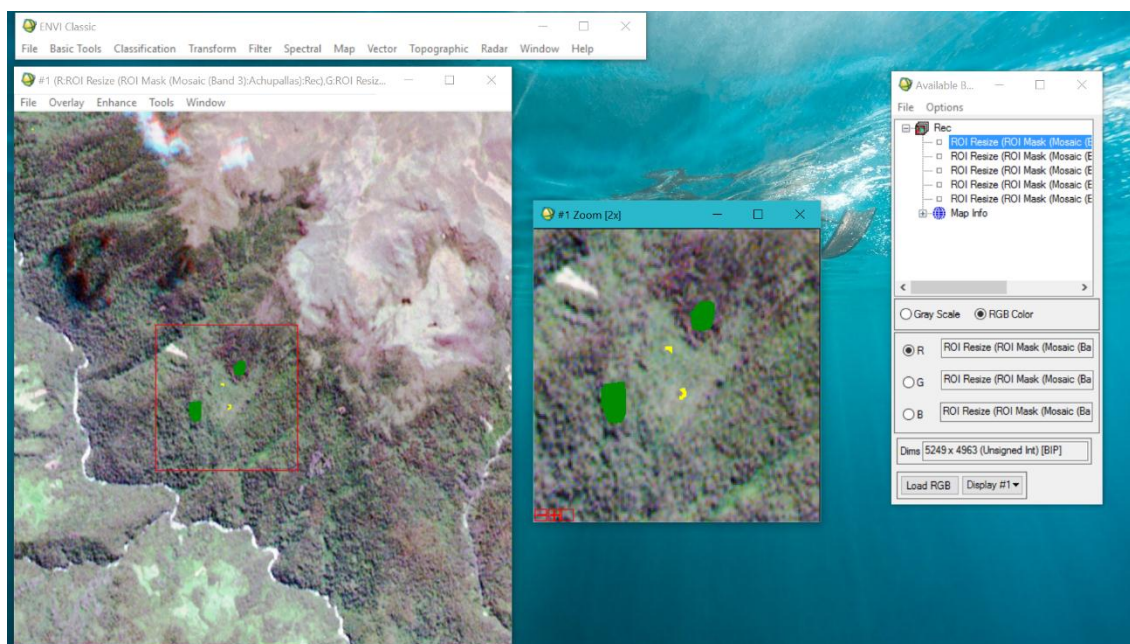


## b. Generación de áreas de entrenamiento para *Chusquea scandens* y *Vallea stipularis*

Conjuntamente con las clases que se definieron se crearon las áreas de entrenamiento para las especies que deseamos zonificar, basándonos en los nuevos puntos de control que obtuvimos en campo, para alcanzar una mayor exactitud en la clasificación en especial para las especies en estudio, se tomó las áreas pixel por pixel para evitar confusiones al momento de aplicar el algoritmo de máxima verisimilitud.

Como se aprecia en el (Gráfico 18) de color se ubicaron los parches de *Chusquea scandens* su ubicación en la imagen se facilitó debido a que sus parches excedían los 5 x 5 m.

**Gráfico 18.-** Áreas de entrenamiento *Chusquea scandens*

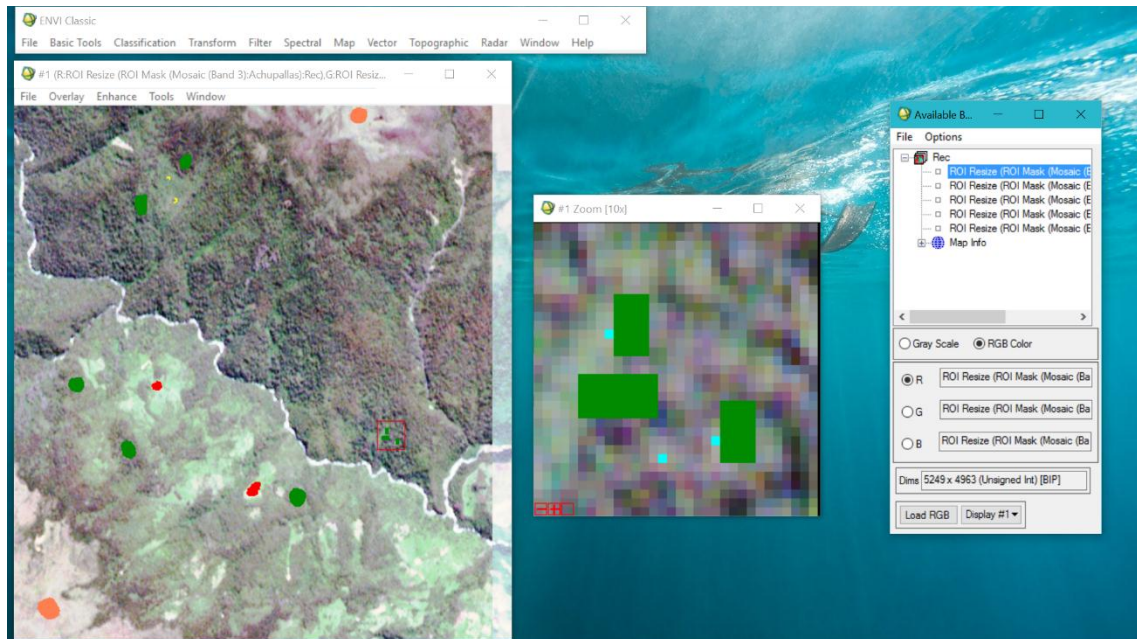


**Elaborado por:** Borja M

En el caso de *Vallea stipularis*, de color celeste se puede observar en el (Gráfico 19) sus áreas de entrenamiento que a diferencia de *Chusquea scandens*, estas son más puntuales ya que como se indicó anteriormente en el campo los parches no excedían los 5 x 5 m, lo que dificulta el proceso de zonificación, esto se minimizo al máximo ya que al igual que con el bosque, para tener una mayor precisión al momento de clasificar la imagen, se aplicó un análisis de separabilidad a las clases de cada especie (Gráfico 20), donde se pudo determinar una separabilidad mayor a 1.9 para las dos especies comparándolas con

el resto de clases, en especial con la del bosque, por toda la variedad de especies que la conforman, así por cada pixel agregado se realizó un análisis, manteniendo siempre valores por encima de los 1.9, si un pixel ocasionaba una disminución al 1.8, el mismo fue eliminado esta buena separabilidad nos indicó que las especies en estudio están bien diferenciadas, asegurándonos que las áreas de entrenamiento fueron bien generadas

**Gráfico 19.-** Área de entrenamiento de *Vallea stipularis*



Elaborado por: Borja M

**Gráfico 20.-** Análisis de separabilidad de las especies en estudio

```
ROI Separability Report
File
Input File: Rec
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Capuli [Cyan]66 points:
Paramo [Coral] 77127 points: (1.99999997 2.00000000)
Paramo Herbaceo-Humedales [Green] 6552 points: (1.99998203 2.00000000)
Bosque [Green3] 15393 points: (1.99982927 2.00000000)
Areas Intervenidas [Red] 15242 points: (2.00000000 2.00000000)
Suelos Erosionados [Magenta] 1407 points: (2.00000000 2.00000000)
Agua [Blue] 3033 points: (2.00000000 2.00000000)
Suros [Yellow]72 points: (1.99995201 2.00000000)

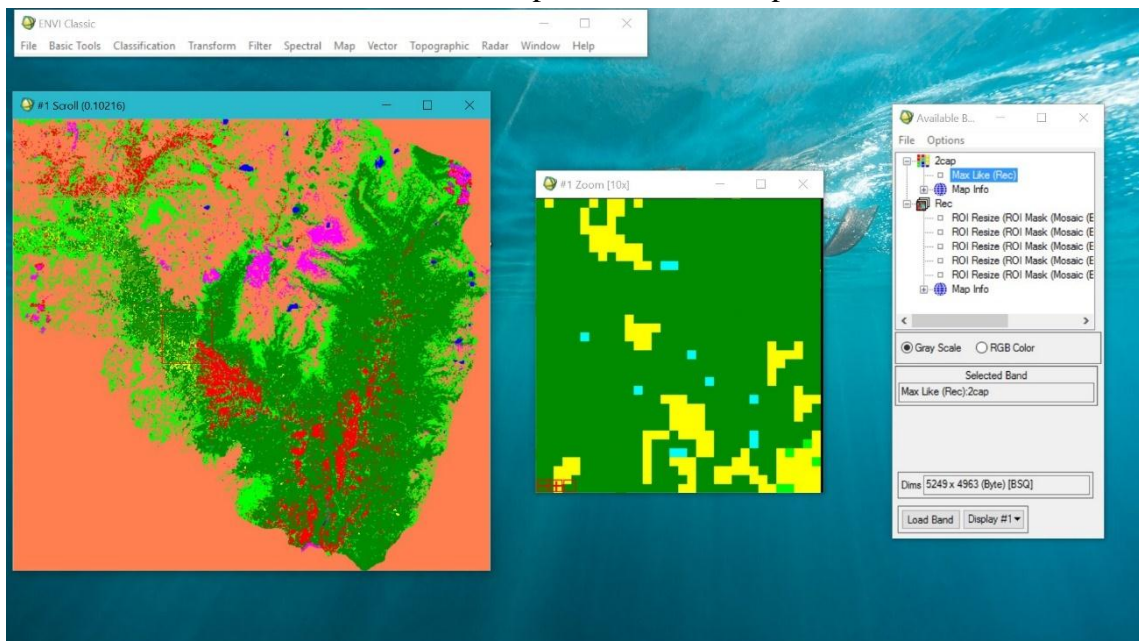
Suros [Yellow]72 points:
Capuli [Cyan]66 points: (1.99995201 2.00000000)
Paramo [Coral] 77127 points: (1.99999961 2.00000000)
Paramo Herbaceo-Humedales [Green] 6552 points: (1.98081344 1.99999980)
Bosque [Green3] 15393 points: (1.94747137 1.99497141)
Areas Intervenidas [Red] 15242 points: (1.99834217 2.00000000)
Suelos Erosionados [Magenta] 1407 points: (2.00000000 2.00000000)
Agua [Blue] 3033 points: (2.00000000 2.00000000)
```

Elaborado por: Borja M

### c. Zonificación de *Chusquea scandens* y *Vallea stipularis*

Se aplicó el algoritmo de clasificación a la imagen, como se puede observar en el (Gráfico 21) el algoritmo ubica a las especies dentro de las áreas de bosque y sus límites, existiendo una concordancia con lo observado en el campo, en el caso de *Chusquea scandens* la zonificación resultó más precisa, porque la misma abarca una mayor área dentro del bosque, a diferencia de *Vallea stipularis* donde el algoritmo solo pudo zonificar los parches que fueron predominantes, mas no los que se encontraban a la sombra de especies de mayor tamaño, ya que simplemente el satélite captura la imagen de las especies de mayor altura.

**Gráfico 21.-** Clasificación supervisada de las especies en estudio



Elaborado por: Borja M

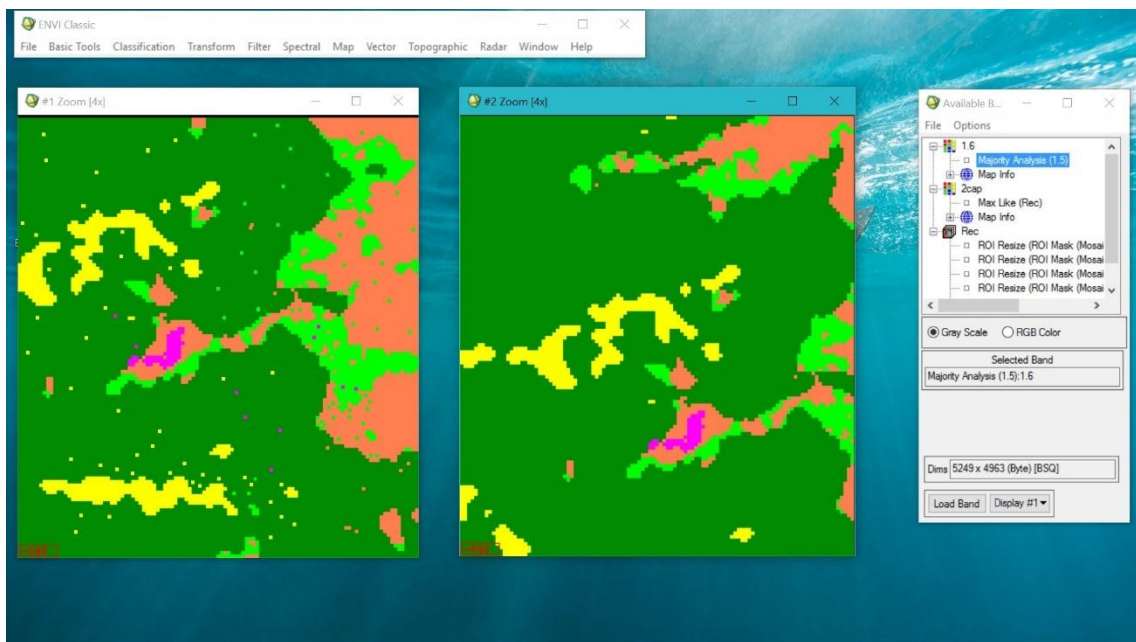
### 3) Proceso de post clasificación.

Se aplicaron filtros de corrección a la imagen clasificada con el fin de mejorar los resultados obtenidos, con estos filtros pudimos comparar los pixeles de las clases obtenidas en busca de incoherencias principalmente de los pixeles aislados, cada uno de estos pixeles se volvieron a comparar con el resto de clases, buscado cual es correcta de no encontrar alguna similitud el pixel quedo asignado a su clase original. Estas incoherencia se presenta por la variedad de especies existentes y más que todo en zonas de transición, se encontraron estos problemas principalmente en zonas de bosque con



las zonas de paramo y surales, como se puede observar en el (Grafico 22), la imagen # 1 tenemos zonas de transición entre los surales de color amarillo y el bosque de color verde, en este caso usamos el filtro Majority, indicándole que los pixeles de los surales sean comparados con los del bosque, si existe una similitud el filtro automáticamente lo asignara al bosque, el resultado obtenido es una imagen limpia y más uniforme donde ya no encontramos pixeles aislado y nos permitió realizar una mejor análisis de los resultados obtenidos.

**Gráfico 22.-** Proceso de Post-Clasificación



Elaborado por: Borja M.

#### 4) Verificar la exactitud de la clasificación.

Se aplicó la matriz de confusión con el fin de saber que tan exacta fue la zonificación, haciendo énfasis en los pixeles mal clasificados de las dos especies en estudio, como se puede observar en el (Grafico 23) la matriz nos indica el porcentaje global y el individual que el algoritmo logro alcanzar con cada una de las clases, en el caso del capulí y el sural se alcanzó un 100% de certeza, para todas las áreas mayores a 5 x 5 m, como pudimos observar en la validación existen un sin número de árboles individuales de las especies en estudio, por lo que este estudio nos permite tener una idea de la distribución de cada una de las especies en el bosque, mas no identificarlas en su totalidad, para eso se requiere aun del trabajo de campo.



**Gráfico 23.-** Porcentajes de clasificación global general

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: C:\Users\LuisDg Z\Desktop\Masho\Pruebas\1.6

Overall Accuracy = (116011/118774) 97.6737%

Kappa Coefficient = 0.9574

Class	Ground Truth (Percent)				
	Capuli	Paramo	Paramo Herbac	Bosque	Áreas Interve
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Capuli [Cyan]	100.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Paramo [Coral]	0.00	97.86	1.47	0.02	0.79
Paramo Herbac	0.00	1.15	94.78	0.35	8.45
Bosque [Green]	0.00	0.00	0.09	98.82	0.04
Áreas Interve	0.00	0.86	3.66	0.10	90.60
Suelos Erosio	0.00	0.13	0.00	0.00	0.11
Agua [Blue] 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Suros [Yellow]	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

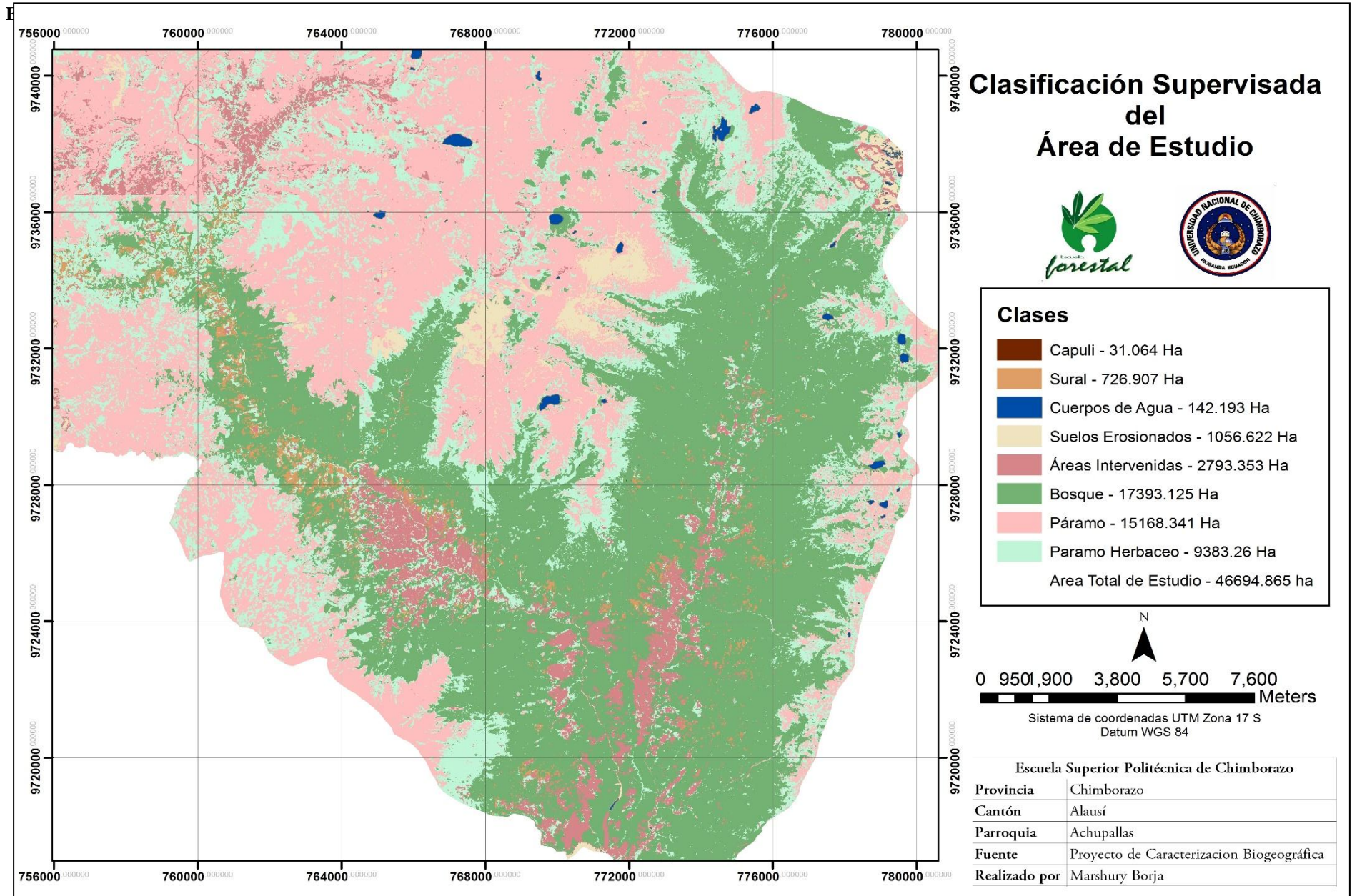
Class	Ground Truth (Percent)			Total
	Suelos Erosio	Agua	Suros	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00
Capuli [Cyan]	0.00	0.00	0.00	0.01
Paramo [Coral]	1.78	0.00	0.00	63.75
Paramo Herbac	0.21	0.00	0.00	7.10
Bosque [Green]	0.00	0.00	0.00	12.82
Áreas Interve	0.00	0.00	0.00	12.40
Suelos Erosio	98.01	0.56	0.00	1.27
Agua [Blue] 3	0.00	99.44	0.00	2.54
Suros [Yellow]	0.00	0.00	100.00	0.11
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Elaborado por: Borja M

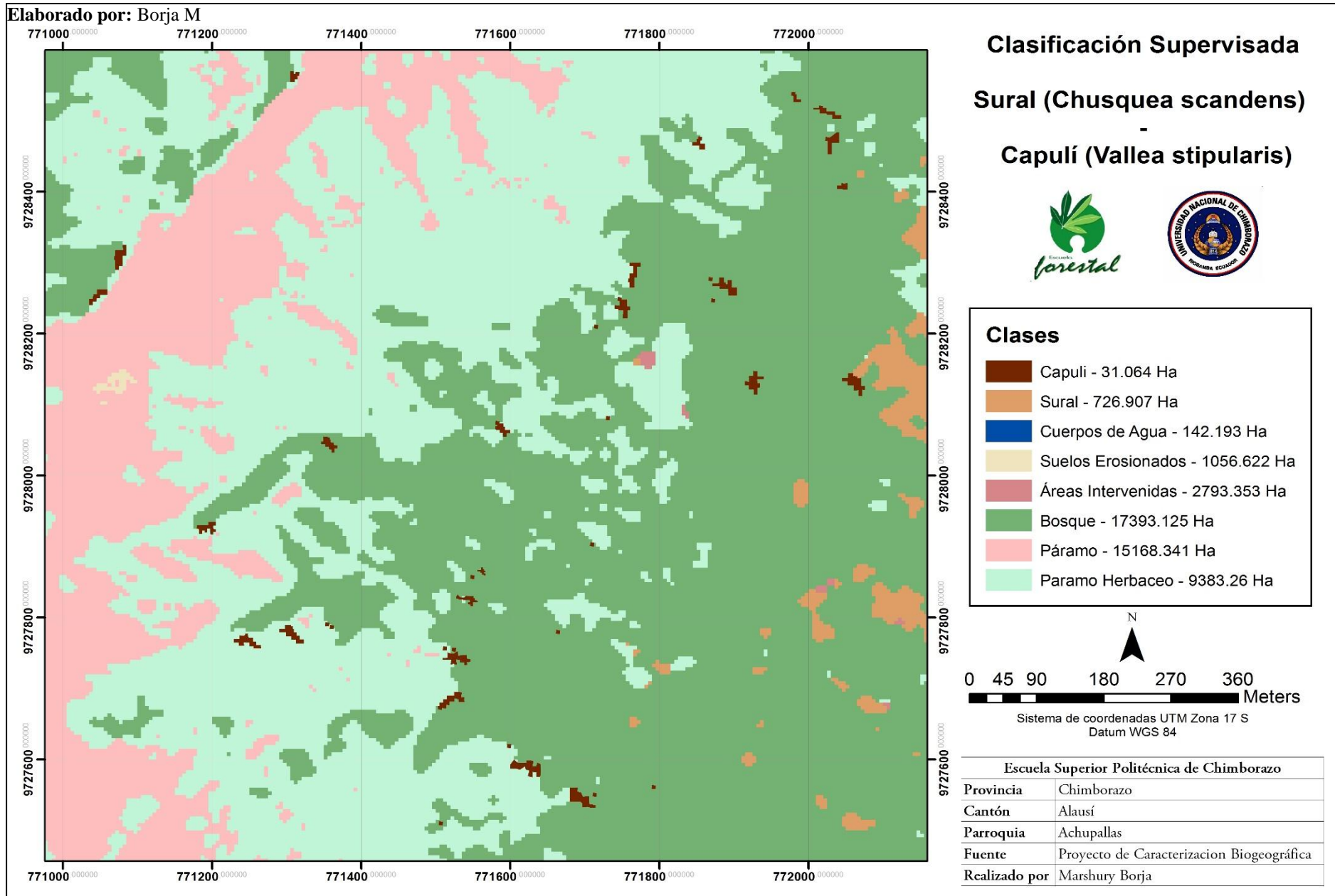
### c. Presentación final de las especies zonificadas

Una vez que se comprobó la precisión que se obtuvo en la clasificación los resultados obtenidos fueron exportados a Arc Map para su edición final, dentro del área de estudio se determinó que *Chusquea scandens* ocupa un área aproximada de 726.907 Ha mientras que *Vallea stipularis* abarca un área de 31.064 Ha, correspondientes a todos los parches conformados por esta especie mayores a 5 x 5 m.

Mapa 2.- Clasificación supervisada del área de estudio



**Mapa 3.-** Parches de las especies en estudio obtenidos a partir de una clasificación supervisada





## **C. VALIDACIÓN DE LAS TRES ESPECIES UTILIZANDO FIRMAS ESPECTRALES**

Se determinó que las nuevas áreas creadas a partir de los puntos de control pertenezcan a las especies en estudio a través de una validación tanto gráfica al comparar la firma espectral del punto de control con las nuevas áreas creadas, por medio de las firmas espectrales y estadísticamente calculando el error de muestreo existente en los niveles digitales de cada banda que conforma la imagen satelital y se ve reflejado en la firma espectral, este análisis se lo hizo individualmente a las 5 bandas de a imagen.

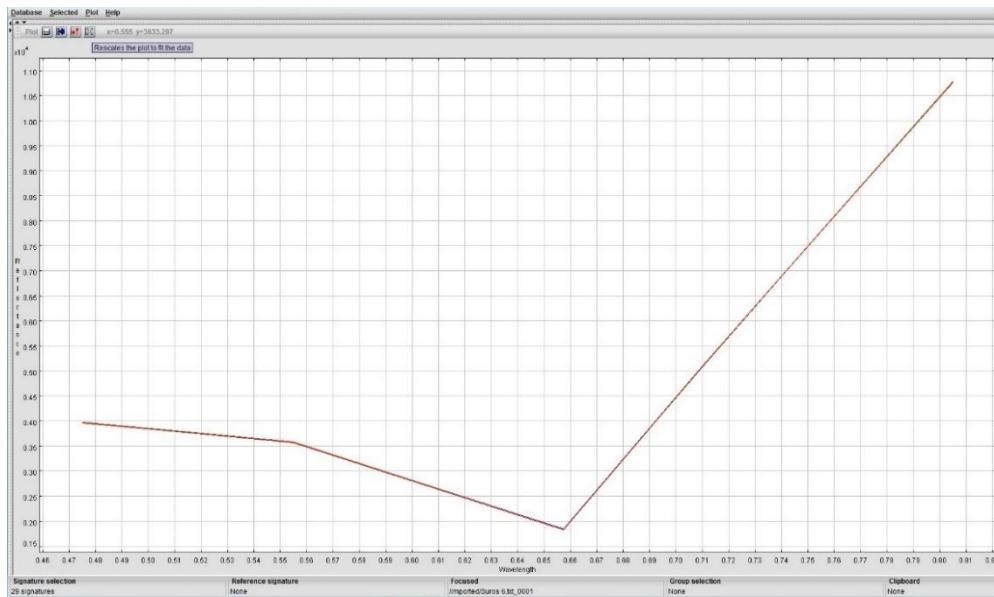
### **1. Determinación de las firmas espectrales de cada una de las clases obtenidas**

Se tomó un total de 30 firmas espectrales al azar, para cada una de las especies las mismas fueron analizadas en software SAMS, buscando alguna incoherencia en forma.

#### **a. Sural**

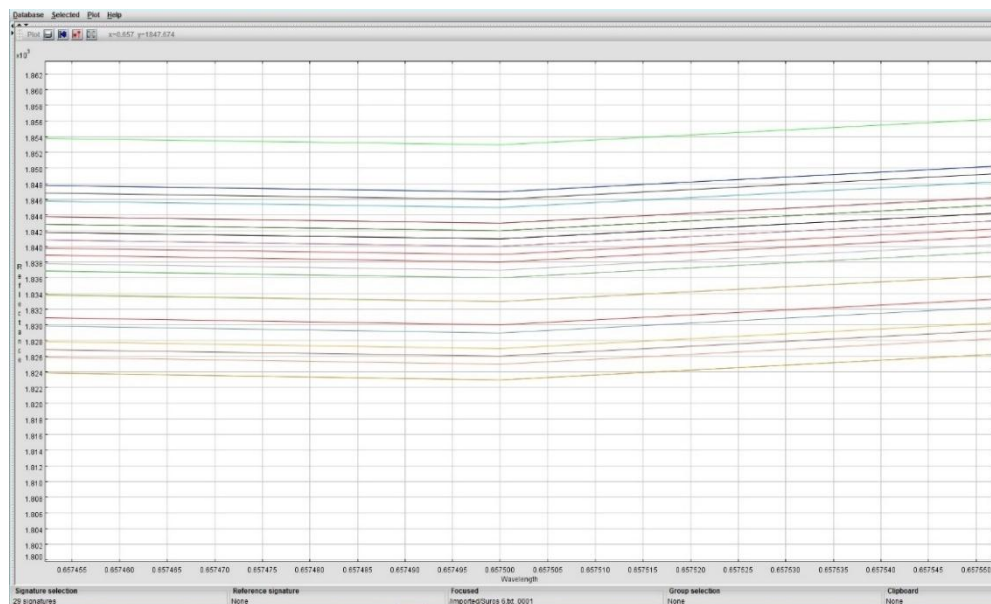
El alto porcentaje de precisión general en la clasificación se ve reflejado al momento de evaluar las firmas espectrales, como podemos observar en el (Gráfico 24) todas las firmas obtenidas poseen la misma tendencia (Forma general de una firma espectral a lo largo del espectro electromagnético). Realizando un acercamiento más minucioso en el gráfico 24, podemos observar que la diferencia es mínima entre las 30 muestras (Gráfico 25), lo que nos permite asegurar que las áreas de *Chusquea scandens* representadas el mapa final pertenecen a la especie antes nombrada.

**Gráfico 24 .-** Firma espectral de *Chusquea scandens*



Elaborado por: Borja M

**Gráfico 25.-** Acercamiento en la banda 3 de la firma espectral



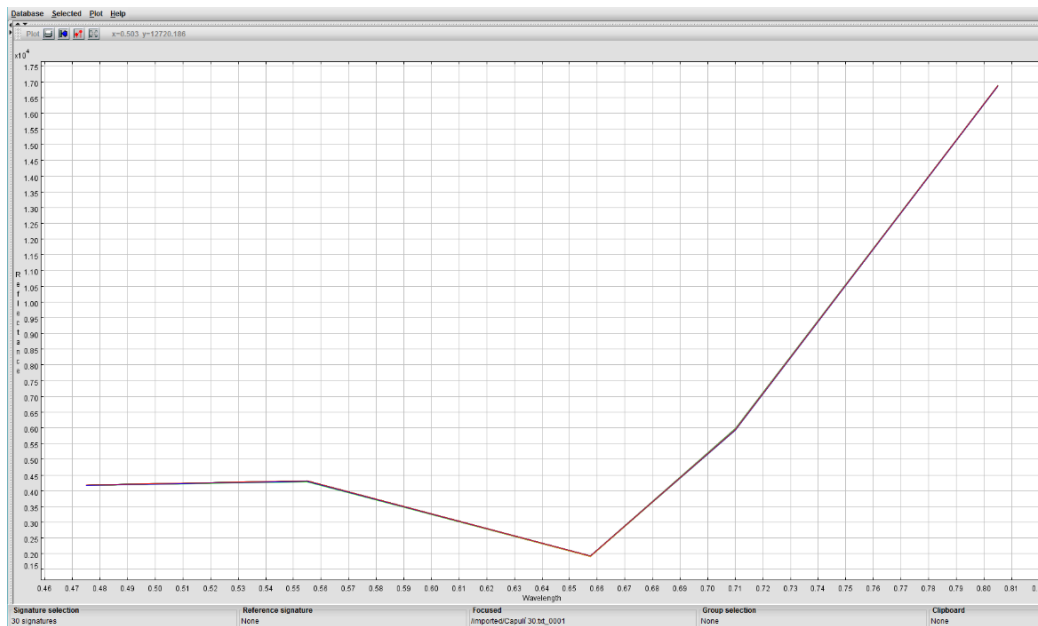
Elaborado por: Borja M

## b. Capulí

Con lo que respecta a *Vallea stipularis*, las firmas espectrales (Gráfico 26) poseen la misma tendencia general en el área de estudio, validando se esta forma las áreas de *Vallea stipularis* que genero ENVI en realidad pertenecen a esta especie, demostrándose que a pesar de que en el campo no existían parches mayores a los 5 x 5 m, una buena

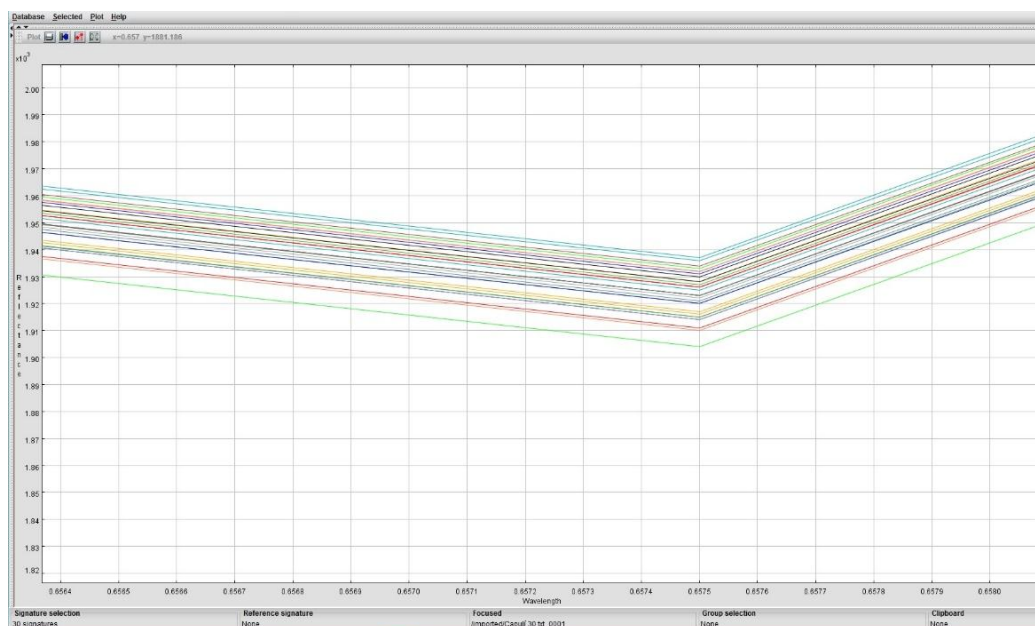
selección de los mismos nos permite zonificar una especie en particular, con las limitaciones de resolución que posee la imagen que estamos usando. En el (Grafico 27) se realiza un acercamiento a las firmas analizadas, donde al igual que con *Chusquea scandens* las diferencias existentes entre estas es mínima.

**Gráfico 26.-** Firma espectral de *vallea stipularis*



Elaborado por: Borja M

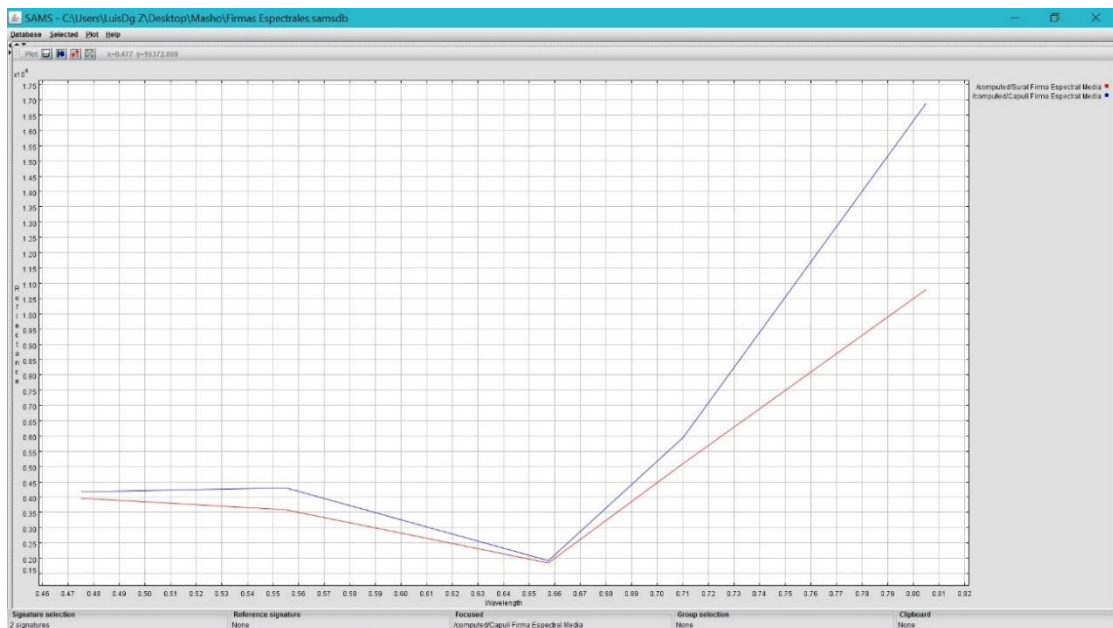
**Gráfico 27.-** Acercamiento de la firma espectral de *vallea stipularis*



Elaborado por: Borja M

En el (Gráfico 28) se observa una comparación entre las firmas espectrales de *Chusquea scandens* y *Vallea stipularis*, donde el comportamiento de las misma va de acuerdo a su estructura y conformación, en el caso de *Chusquea scandens* a pesar de ocupar una mayor área, como sus hojas son de menor tamaño la cantidad de energía absorbida y reflejada en la banda 4 y 5 es menor, todo lo contrario con *Vallea stipularis* que a pesar de ocupar un área menor la cantidad de energía que refleja es mayor principalmente por el tamaño de sus hojas.

**Gráfico 28.-** Comparación de la firma espectral de *Chusquea scandens* y *Vallea stipularis*



Elaborado por: Borja M

## **2. Análisis estadístico de los niveles digitales de las firmas espectrales de cada especie**

Como se pudo determinar en el análisis gráfico de forma general no existe una diferencia notable entre las firmas espectrales analizadas, pero al realizar un acercamiento pudimos observar una diferencia entre ellas, lo que se verificó con el análisis estadístico es que esta diferencia no sea significativa por lo que nos enfocamos en el coeficiente de variación y el error de muestro relativo.

### a. Sural

Se obtuvieron los valores de los niveles digitales de cada una de las bandas para las 30 firmas espectrales usadas en el análisis gráfico (Tabla 3) y se les realizó un análisis de estadística descriptiva de Excel a partir de estos datos calculamos los errores de muestreo y el coeficiente de variación.

**Tabla 3.-** Valores digitales de las firmas espectrales de *Chusquea scandens*

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Firma Espectral 1	3964	3580	1830	5100	10774
Firma Espectral 2	3965	3585	1842	5095	10790
Firma Espectral 3	3959	3575	1837	5101	10788
Firma Espectral 4	3967	3570	1839	5105	10792
Firma Espectral 5	3962	3579	1840	5099	10780
Firma Espectral 6	3968	3580	1849	5091	10765
Firma Espectral 7	3961	3590	1833	5089	10763
Firma Espectral 8	3968	3585	1842	5093	10787
Firma Espectral 9	3972	3572	1826	5097	10759
Firma Espectral 10	3958	3581	1836	5089	10789
Firma Espectral 11	3965	3578	1833	5092	10766
Firma Espectral 12	3970	3588	1838	5101	10792
Firma Espectral 13	3963	3577	1847	5097	10785
Firma Espectral 14	3960	3586	1845	5092	10771
Firma Espectral 15	3959	3584	1841	5105	10763
Firma Espectral 16	3962	3591	1827	5097	10793
Firma Espectral 17	3967	3583	1829	5084	10786
Firma Espectral 18	3972	3587	1825	5088	10787
Firma Espectral 19	3964	3572	1847	5097	10788
Firma Espectral 20	3959	3578	1842	5104	10793
Firma Espectral 21	3967	3582	1843	5103	10784
Firma Espectral 22	3963	3591	1836	5093	10778
Firma Espectral 23	3966	3583	1842	5092	10783
Firma Espectral 24	3972	3582	1843	5101	10790
Firma Espectral 25	3951	3586	1846	5083	10788
Firma Espectral 26	3957	3575	1823	5079	10792
Firma Espectral 27	3968	3591	1834	5089	10765
Firma Espectral 28	3961	3588	1840	5093	10768
Firma Espectral 29	3974	3589	1841	5094	10773
Firma Espectral 30	3955	3581	1853	5098	10776

Elaborado por: Borja M



Los resultados obtenidos (Tabla 4-5-6-7-8) nos indicó que le coeficiente de variación no fue mayor a 1, según (Edwin Galindo 2015) si los valores del coeficiente de variación son menores o iguales a 1, los datos obtenido son homogéneos, de esta forma pudimos ratificar el análisis grafico que se realizó previamente, de igual forma se obtuvieron errores de muestreo relativo para las cinco bandas en un rango de 0.01 a 0, de esta forma tanto gráficamente como estadísticamente se pudo confirmar que las áreas obtenidas pertenecen a *Chusquea scandens*

**Tabla 4.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 1

<b>Banda 1</b>	
Media	3963.966667
Error Estándar	0.995949652
Mediana	3964
Moda	3959
Desviación estándar	5.455040904
Varianza de la muestra	29.75747126
Mínimo	3951
Máximo	3974
Suma	118919
Cuenta	30
<b>Coeficiente de Variación</b>	<b>0.137615711</b>
<b>Error muestreo</b>	<b>1.692218053</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.042690017</b>

Elaborado por: Borja M

**Tabla 5.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 2

<b>Banda 2</b>	
Media	3582.3
Error Estándar	1.085060515
Mediana	3582.5
Moda	3591
Desviación estándar	5.943121205
Mínimo	3570
Máximo	3591
Cuenta	30
<b>Coeficiente de Variación</b>	<b>0.165902387</b>
<b>Error muestreo</b>	<b>1.843626322</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.051464878</b>

Elaborado por: Borja M

**Tabla 6.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 3

<b>Banda 3</b>	
Media	1838.3
Error Estándar	1.372262165

Mediana	1840
Moda	1842
Desviación estándar	7.516189423
Varianza de la muestra	56.49310345
Mínimo	1823
Máximo	1853
Cuenta	30
<b>Coefficiente de Variación</b>	<b>0.408866313</b>
<b>Error muestreo</b>	<b>2.331610644</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.126835154</b>

Elaborado por: Borja M

**Tabla 7.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 4

<b>Banda 4</b>	
Media	5094.7
Error Estándar	1.198802084
Mediana	5094.5
Moda	5097
Desviación estándar	6.566109434
Varianza de la muestra	43.1137931
Mínimo	5079
Máximo	5105
Cuenta	30
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.128881179</b>
<b>Error muestreo</b>	<b>2.036884621</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.039980462</b>

Elaborado por: Borja M

**Tabla 8.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 5

<b>Banda 5</b>	
Media	10780.26667
Error Estándar	1.982645008
Mediana	10784.5
Moda	10788
Desviación estándar	10.85939394
Varianza de la muestra	117.9264368
Mínimo	10759
Máximo	10793
Cuenta	30
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.100734001</b>
<b>Error de muestreo</b>	<b>3.368712132</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.031248876</b>

Elaborado por: Borja M

## b. Capulí

De la misma forma que con *Chusquea scandens* se obtuvieron los niveles digitales de las bandas que conforman la firma espectral de *Vallea stipularis* (Tabla 9)

**Tabla 9.-** Valores digitales de las firmas espectrales de *Vallea stipularis*

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Firma Espectral 1	4184	4310	1926	5951	16874
Firma Espectral 2	4170	4299	1920	5934	16860
Firma Espectral 3	4194	4320	1936	5961	16884
Firma Espectral 4	4178	4307	1928	5942	16868
Firma Espectral 5	4174	4300	1916	5941	16864
Firma Espectral 6	4181	4307	1923	5948	16871
Firma Espectral 7	4190	4316	1932	5957	16880
Firma Espectral 8	4185	4311	1927	5952	16875
Firma Espectral 9	4192	4318	1934	5959	16882
Firma Espectral 10	4172	4298	1914	5939	16862
Firma Espectral 11	4162	4288	1904	5929	16852
Firma Espectral 12	4169	4295	1911	5936	16859
Firma Espectral 13	4189	4315	1931	5956	16879
Firma Espectral 14	4183	4309	1925	5950	16873
Firma Espectral 15	4188	4314	1930	5955	16878
Firma Espectral 16	4175	4301	1917	5942	16865
Firma Espectral 17	4179	4305	1921	5946	16869
Firma Espectral 18	4168	4294	1910	5935	16858
Firma Espectral 19	4173	4299	1915	5940	16863
Firma Espectral 20	4175	4302	1923	5969	16873
Firma Espectral 21	4174	4301	1922	5968	16872
Firma Espectral 22	4180	4322	1933	5982	16874
Firma Espectral 23	4173	4315	1926	5975	16867
Firma Espectral 24	4161	4303	1914	5963	16855
Firma Espectral 25	4184	4326	1937	5986	16878
Firma Espectral 26	4170	4312	1923	5972	16864
Firma Espectral 27	4175	4317	1928	5977	16869
Firma Espectral 28	4167	4294	1915	5961	16865
Firma Espectral 29	4184	4311	1932	5978	16882
Firma Espectral 30	4172	4299	1920	5966	16870

Elaborado por: Borja M

Se determinó un coeficiente de variación menor a 1 para las 5 bandas que conforman la firma espectral de la imagen Rapideye, según (Edwin Galindo 2015) esto nos indica que los datos son homogéneos, esto nos permitió complementar el análisis gráfico de las

firmas y así tener un análisis extra que nos permitió ratificar que las áreas generadas por el software pertenecen a *Vallea stipularis*, el error de muestreo por su parte se mantuvo en un rango de 0 a 0.1, con un muestreo de firmas espectrales en la imagen satelital, donde de abarco toda el área de estudio (Tabla 10-11-12-13-14).

**Tabla 10.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 1.

<b>Banda 1</b>	
Media	4177.36667
Error Estándar	1.57457043
Mediana	4175
Moda	4184
Desviación estándar	8.62427741
Varianza de la muestra	74.3781609
Mínimo	4161
Máximo	4194
Suma	125321
Cuenta	30
<b>Coefficiente de Variación</b>	<b>0.20645249</b>
<b>Error Muestreo</b>	<b>2.67535261</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.064044</b>

Elaborado por: Borja M

**Tabla 11.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 2

<b>Banda 2</b>	
Media	4306.933333
Error Estándar	1.724024517
Mediana	4307
Moda	4299
Desviación estándar	9.442871178
Varianza de la muestra	89.16781609
Mínimo	4288
Máximo	4326
Suma	129208
Cuenta	30
<b>Coefficiente de Variación</b>	<b>0.219248139</b>
<b>Error muestreo</b>	<b>2.929290057</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.06801336</b>

Elaborado por: Borja M

**Tabla 12.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 3

<b>Banda 3</b>	
Media	1923.1
Error Estándar	1.5240222
Mediana	1923
Moda	1923
Desviación estándar	8.34741339
Varianza de la muestra	69.6793103

Mínimo	1904
Máximo	1937
Suma	57693
Cuenta	30
<b>Coefficiente de Variación</b>	<b>0.43406029</b>
<b>Error de muestreo</b>	<b>2.58946613</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.13465062</b>

**Elaborado por:** Borja M

**Tabla 13.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 4

<b>Banda 4</b>	
Media	5955.666667
Error típico	2.855659166
Mediana	5955.5
Moda	5961
Desviación estándar	15.64108942
Varianza de la muestra	244.6436782
Mínimo	5929
Máximo	5986
Suma	178670
Cuenta	30
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.262625333</b>
<b>Error muestreo</b>	<b>4.852050489</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.081469477</b>

**Elaborado por:** Borja M

**Tabla 14.-** Estadística descriptiva de los niveles digitales de la Banda 5

<b>Banda 5</b>	
Media	16869.5
Error típico	1.527337101
Mediana	16869.5
Moda	16874
Desviación estándar	8.365569832
Varianza de la muestra	69.98275862
Mínimo	16852
Máximo	16884
Suma	506085
Cuenta	30
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>0.04958991</b>
<b>Error de muestreo</b>	<b>2.595098469</b>
<b>Error de muestreo relativo</b>	<b>0.015383375</b>

**Elaborado por:** Borja M

## **VI. CONCLUSIONES**

- La clasificación supervisada en el área de estudio nos indicó que está conformada por de 46694.985 ha, el bosque ocupa un área de 17393.125 ha, el páramo 15168.341 ha, el páramo herbáceo 9382.26 ha, los cuerpos de agua 142.193 ha, los suelos erosionados 1056.622 ha y las áreas intervenidas un total de 2793.353 ha.
- El bosque ocupa un área de 17393.125 ha, de este total, *Chusquea scandens* con 726.907 ha representa el 4.179%, mientras *Vallea stipularis* con 31.064 ha representa el 0.178% siendo estos datos cercanos a realidad, ya que no se representa en su totalidad el área que ocupa cada especie en estudio, al no estar incluidos los arboles individuales y parches con un tamaño menor a 5 x 5 m.
- La precisión que se puede alcanzar al zonificar especies forestales depende exclusivamente de la resolución de sus pixeles, ha menor resolución la precisión y el número de áreas de las especies que se pueda abarcar al realizar la zonificación disminuirá, por el contrario, a más resolución se podrá diferenciar mejor una especie de otra, facilitando el proceso de zonificación.
- La resolución de las imágenes Rapideye nos permitieron zonificar áreas a partir de los 5 x 5 m de las especies en estudio, por lo que los procesos usados en esta investigación, servirán como base para tener una idea general de la ubicación de las mismas, siendo el trabajo de campo aun necesario para la realización de una zonificación y ubicación completa.
- De las tres especies en estudio solamente se pudieron zonificar dos: *Chusquea scandens* y *Vallea stipularis*, dejando de lado *Clusia multiflora* por la falta de parches de 5 x 5 m que nos permita diferenciarla en la imagen Rapideye, teniendo en cuenta que arboles individuales y parches menores a 5 x 5 m son imposibles diferenciarles.
- La clasificación supervisada de las especies obtuvo un porcentaje de 97.67% en la precisión general, es un resultado excelente tomando en cuenta la composición misma de un bosque nativo de ceja andina, donde existe una gran diversidad

florística, esta precisión global esta complementada con el coeficiente de valoración Kappa de 0.95 que según (Landis y Koch, 1977) citado por (Cerde & Villarroel, 2008) nos indica que la clasificación está en el rango de casi perfecta.

- Los coeficientes de variación obtenidos de los niveles digitales para las cinco bandas que conforman las firmas espectrales tanto de *Chusquea scandens* y *Vallea stipularis* son menores a 1, los que nos indica que los datos procesados son homogéneos (Edwin Galindo, 2015), por lo tanto, cada una de las áreas generadas por el software representan a las especies en estudio.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Aplicar los procesos descritos en imágenes con mayor resolución como las ortofotos, de esta forma poder determinar hasta qué puntos se pueden zonificar especies forestales en bosques nativos
- El uso aplicativo de las imágenes Rapid Eye por su resolución de 5 x 5 m debe estar orientado a plantaciones forestales, donde sus áreas al ser más amplias y por la misma constitución de una sola especie facilitara el trabajo con este tipo de imágenes.
- Procesos de zonificación de especies forestales, sobre todo en bosques densos como el de ceja andina, su área de estudio debe ser lo más pequeña posible o a su vez un área grande dividirla en partes pequeñas, para luego generar una única imagen, esto le permite al software evitar confusiones y ser más preciso a la hora de clasificar los pixeles que conforman la imagen satelital.
- Se debe realizar estudios comparativos con imágenes satelitales de distintas fechas del área de estudio, de esta forma saber si las condiciones climatológicas existentes en la zona, pueden llegar a modificar de forma significativa los resultados obtenidos.



## **VII. RESUMEN**

La presente investigación propone: distribuir espacialmente tres especies forestales en el bosque de ceja andina utilizando imágenes satelitales rapideye en la parroquia Achupallas, cantón Alauís, provincia de Chimborazo; utilizando el software ENVI 5.0 y ArcMap 10.2, con el fin de determinar hasta qué punto se puede zonificar una especie forestal, las especies seleccionadas fueron *Chusquea scandens*, *Clusia multiflora* y *Vallea stipularis*, por el interés ecológico que representan, realizando una verificación in situ a partir del inventario del Proyecto de Caracterización Biogeográfica, conjuntamente se tomó puntos de control que permitieron realizar primero la zonificación del bosque de ceja andina y posteriormente a partir de esta nueva área de estudio se realizó la zonificación de especies en estudio para lo cual se tomaron puntos de control para cada especie considerando que cada uno debía formar parches mínimos de 5 x 5 metros, así abarcaran la resolución que presenta la imagen satelital, pudiéndose encontrar parches solo para *Chusquea scandens* y *Vallea stipularis*, mientras que para *Clusia multiflora* solo se encontraron arboles individuales, por lo que esta especie no fue tomada en cuenta para posteriores procesos, una vez realizada la clasificación se determinó un total de 726.907 ha para *Chusquea scandens* y 31,064 ha para *Vallea stipularis*, para poder corroborar que las áreas generadas por el software representan a cada especie, se obtuvo la firma espectral, analizando niveles digitales para cada banda a partir de la estadística descriptiva de excel que permitió calcular el coeficiente de variación, siendo menor a 1 para todas las bandas que conforma la firma espectral de las especies en estudio, según (Edwin Galindo 2015) nos indica que las firmas son homogéneas, validando las áreas obtenidas, la información y procesos generados serán aplicables para otras especies en los distintos ecosistemas que tiene el Ecuador.

**Palabras claves:** especies forestales, bosque de ceja andina, imágenes satelitales rapideye.

**Por:** Marshury Borja



## VIII. SUMMARY

This research aims to distribute especially three forest species in the andean cloud forest using RapidEye satellite imagery in the parish of Achupallas Alausí canton, Chimborazo province; using ENVI 5.0 and ArcMap 10.2 software, in order to determine to what extent can zone a forest species, the species selected were Chusquea scandens, Clusia multiflora and Vallea stipularis because of the ecological interest they represent, making verification in situ from the inventory project biogeographic characterization, at the same time control points allowed to perform the first zoning andean cloud forest and then from this new study area zoning species were studied, to do it control points for each species considering that everyone should be minimal patches of 5x5 meters and cover the resolution presented by the satellite image thus patches could just be found to Chusquea scandens and Vallea stipularis, while for multiflora clusia only individual trees were found, that is why this species was not taken into account in subsequent processes, once the ranking a total of 726,907 ha for Chusquea scandens was determined and 31.064 ha for Vallea stipularis, to corroborate that the areas generated by the software represent each species, the spectral signature was obtained by analyzing digital levels for each band from descriptive statistics Excel it allowed to calculate the coefficient of variation, with less than 1 for all bands forming the spectral signature of the species under study, according to (Edwin Galindo 2015) who indicates that firms are homogeneous, validating the areas obtained, information and processes generated will be applicable for other species in different ecosystems in Ecuador.

**KEY WORDS:** Forest species, Andean cloud forest, RapidEye satellite imagery.



## **IX. BIBLIOGRAFÍA**

- Chuvieco, E. (2001). Fundamentos de la teledetección espacial. Segunda Edición. Madrid: Rialp.
- Celestino, J. (2007). *Vallea stipularis*. Consultado el 15 de Octubre de 2015. Obtenido: [aplicaciones2.colombiaaprende.edu.co/.../ver\\_herbarios\\_p.php?id...p](http://aplicaciones2.colombiaaprende.edu.co/.../ver_herbarios_p.php?id...p).
- Ferrero, A. (2013). Introducción a la teledetección. Consultado el 06 de Octubre de 2015, Obtenido de SlideShare.: [http://es.slideshare.net/andreadroz/introduccion-a-la-teledeteccion?next\\_slideshow=1](http://es.slideshare.net/andreadroz/introduccion-a-la-teledeteccion?next_slideshow=1).
- Galeas, R., & Guevara, J. (2012). Sistemas de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental *Ministerio del Ambiente*. Consultado el 15 de Octubre de 2015. Obtenido de [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf).
- Herbario UCO. (2008). *Clusia multiflora kunth*. Consultado el 15 de Octubre de 2015, Obtenido de: <http://www.uco.edu.co>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2011). Imágenes del territorio. Consultado el 07 de Octubre de 2015, Obtenido de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/>.
- Instituto de Ciencias Naturales. (2007). *Chusquea sacandens Kunth - Poacea*. Consultado el 15 de Octubre de 2015, Obtenido de: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/?controlador=ShowObject&accion=show&id=263912>.
- Instituto de Ciencias Naturales. (2014). *Vallea stipularis* . Consultado el 15 de Octubre de 2015, Obtenido de: <http://www.biovirtual.unal.edu.co>.
- Instituto Geográfico Nacional de España. (2015). Teledetección. Consultado el 06 de Octubre de 2015, Obtenido de: <http://www.ign.es/ign/layoutIn/teledeteccionQueEs.do>.

- La-Torre, M., & Tovar, O. (2003). Las poáceas del parque nacional Yanachaga-Chemillén. *Revista peruana de biología*, Vol 10. Número 2. pp. 145-154.
- Monterroso, M. (2009). Clasificación de Imágenes Satelitales. Consultado el 12 de Octubre de 2015, Obtenido de: [geoportal.inigemmm.gob.ec/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r](http://geoportal.inigemmm.gob.ec/?wpdmact=process&did=OS5ob3RsaW5r).
- Sardon Nina, S. (2012). Manual Rapideye. Consultado el 12 de Octubre de 2015, Obtenido de Scribd: <http://es.scribd.com/doc/112677474/Manual-Rapideye#scribd>.
- Sistema de Informacion de Biodiversidad . (2009). *Clusia multiflora*. Consultado el 15 de Octubre de 2015, Obtenido de: <http://www.biodiversidad.co/fichas/1552>.
- Sobrino, J. (2000). Teledeteccion. Valencia: Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia .
- Valero, O. (2009). Aplicación de la geomatica para determinar la cobertura del uso actual del suelo a partir de imágenes de satélite (rapideye) y su comparacion con el shape uso de suelo. Consultado el 29 de Noviembre de 2015, Obtenido de: [http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13543/1/Proyecto\\_Final.\\_OscarValero\\_Grupo1.pdf](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13543/1/Proyecto_Final._OscarValero_Grupo1.pdf)
- Yébenes, A., & Giner , A. (2010). Clasificación digital de imágenes por satélite. Consultado el 14 de Octubre de 2015, Obtenido de: <http://mural.uv.es/gislo/telemedida.pdf>

## **X. ANEXOS**

### **A. ANEXO 1 – PUNTOS DE CONTROL PARA LA PRIMERA CLASIFICACION SUPERVISADA**

#### **1. Bosque**

<b>Id</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
0	760671	9732746
1	760600	9732751
2	760552	9732722
3	760502	9732690
4	760446	9732635
5	760417	9732603
6	760393	9732545
7	760399	9732518
8	760388	9732447
9	760409	9732420
10	760431	9732341
11	760502	9732320
12	760526	9732293
13	760595	9732283
14	760706	9732309
15	760801	9732341
16	760833	9732336
17	760724	9732275
18	760640	9732211
19	760573	9732206
20	760478	9732182
21	760470	9732148
22	760510	9732116
23	760613	9732127
24	760584	9732066
25	760584	9732066
26	760555	9732000
27	760573	9731971
28	760573	9731971
29	760706	9731971
30	760745	9732026
31	760756	9732079
32	760793	9731984
33	760703	9731912

34	760602	9731881
35	760558	9731844
36	760475	9731830
37	760449	9731772
38	760600	9731770
39	760505	9731696
40	760454	9731611
41	760425	9731553
42	760425	9731486
43	760481	9731349
44	760507	9731317
45	760550	9731373
46	760505	9731420
47	760341	9731508
48	760558	9731259
49	760520	9731217
50	760589	9731153
51	760539	9731069
52	760609	9731065
53	760468	9730977
54	760443	9730917
55	760450	9730875
56	760479	9730822
57	760517	9730808
58	760517	9730808
59	760637	9730695
60	760577	9730794
61	760496	9730748
62	760718	9730695
63	760599	9730720
64	760842	9730695
65	760842	9730769
66	760916	9730674
67	760923	9730635
68	760838	9730593
69	760891	9730564
70	760955	9730561
71	761001	9730529
72	760895	9730473
73	760891	9730395
74	760891	9730395
75	760817	9730307
76	760853	9730289

77	760853	9730289
78	760898	9730261
79	760972	9730293
80	760934	9730342
81	760972	9730293
82	760997	9730219
83	760965	9730148
84	760941	9730085
85	761022	9729965
86	761022	9729965
87	761029	9730071
88	760997	9730042
89	761099	9730088
90	761107	9730148
91	761107	9730148
92	760726	9730289
93	760584	9730356
94	760694	9730342
95	760891	9730074
96	760828	9730198
97	760828	9730198
98	761082	9729848
99	761096	9729785
100	761142	9729742
101	761223	9729785
102	761223	9729785
103	761209	9730180
104	761163	9730205
105	761163	9730205
106	761025	9730257
107	761096	9730307
108	761188	9730254
109	761163	9730314
110	761198	9730335
111	761237	9730325
112	761286	9730325
113	761286	9730325
114	761318	9730420
115	761318	9730420
116	761198	9730413
117	761364	9730335
118	761297	9730462
119	761368	9730466

120	761417	9730504
121	761456	9730526
122	761435	9730571
123	761435	9730571
124	761438	9730624
125	761385	9730653
126	761399	9730698
127	761399	9730698
128	761488	9730677
129	761512	9730638
130	761519	9730543
131	761519	9730543
132	761519	9730543
133	761558	9730504
134	761558	9730504
135	761558	9730504
136	761600	9730533
137	761674	9730501
138	761674	9730501
139	761742	9730462
140	761742	9730462
141	761742	9730416
142	761703	9730388
143	761713	9730325
144	761713	9730325
145	761738	9730268
146	761763	9730233
147	761763	9730233
148	761801	9730303
149	761780	9730335
150	761780	9730406
151	761667	9730459
152	761600	9730533
153	761562	9730571
154	761099	9730363

**Elaborado por:** Borja M

## **2. Páramo**

<b>Id</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
0	760186	9732546
1	760147	9732527
2	760186	9732496



3	760223	9732481
4	760239	9732430
5	760251	9732412
6	760233	9732380
7	760202	9732369
8	760251	9732337
9	760263	9732361
10	760174	9732323
11	760162	9732338
12	760131	9732286
13	760162	9732248
14	760182	9732215
15	760157	9732197
16	760299	9732141
17	760321	9732122
18	760354	9732108
19	760385	9732083
20	760179	9732108
21	760195	9732064
22	760227	9732047
23	760250	9732029
24	760282	9732050
25	760294	9731994
26	760329	9732021
27	760361	9731991
28	760325	9731942
29	760302	9731915
30	760298	9731865
31	760302	9731820
32	760302	9731820
33	760349	9731786
34	760332	9731753
35	760313	9731781
36	760208	9731648
37	760196	9731630
38	760185	9731600
39	760216	9731600
40	760233	9731638
41	760057	9731774
42	760030	9731754
43	760059	9731724
44	760033	9731689
45	760019	9731723
46	760050	9731688
47	759985	9731851
48	760034	9731861

49	760026	9731874
50	759999	9731881
51	759972	9731896
52	760361	9731320
53	760329	9731315
54	760329	9731280
55	760331	9731235
56	760347	9731201
57	760392	9731217
58	760390	9731304
59	760390	9731357
60	760022	9731566
61	759985	9731566
62	759945	9731545
63	759945	9731545
64	760003	9731518
65	759943	9731518
66	759890	9731524
67	759905	9731563
68	760154	9731619
69	759929	9731407
70	759929	9731407
71	760067	9732169
72	760067	9732119
73	760067	9732084
74	760091	9732029
75	760115	9732042
76	760109	9732077
77	760096	9732100
78	760109	9732129
79	760109	9732129
80	760096	9732177
81	760051	9732320
82	760107	9732354
83	760107	9732354
84	760101	9732301
85	760054	9732267
86	760080	9732233
87	760120	9732196

Elaborado por: Borja M

### **3. Paramo herbáceo y humedales**

Id	X	Y
0	759374	9732659
1	759341	9732615

2	759336	9732582
3	759294	9732553
4	759252	9732555
5	759197	9732580
6	759369	9732496
7	759385	9732472
8	759435	9732463
9	759495	9732430
10	759541	9732408
11	759568	9732509
12	759526	9732573
13	759519	9732630
14	759548	9732723
15	759654	9732721
16	759671	9732752
17	759649	9732783
18	759724	9732597
19	759726	9732659
20	759810	9732558
21	759903	9732549
22	759709	9732364
23	759689	9732337
24	759722	9732273
25	759678	9732200
26	759735	9732178
27	759976	9732075
28	759998	9732119
29	759982	9732172
30	759559	9732026
31	759561	9731998
32	759572	9731954
33	759506	9731916
34	759444	9732002
35	759422	9732033
36	759389	9731978
37	759371	9731938
38	759378	9731907
39	759645	9731887
40	759674	9731843
41	759726	9731790
42	759748	9731755
43	759751	9731722
44	759923	9731746
45	759819	9731775
46	759843	9731707
47	759905	9731696

48	759879	9731568
49	759834	9731535
50	759839	9731466
51	759896	9731466
52	759976	9731477
53	759969	9731363
54	760013	9731332
55	760048	9731491
56	760141	9731517
57	760212	9731504
58	759989	9731301
59	759916	9731296
60	759285	9731956
61	759237	9732015
62	759341	9732046
63	759195	9731927
64	759290	9731903
65	760084	9731949
66	760011	9731982
67	759984	9732006
68	760141	9731998
69	760192	9732084
70	760165	9732123
71	760200	9732165
72	760200	9732203
73	760223	9732262
74	760258	9732264
75	760311	9732249

Elaborado por: Borja M

#### 4. Cultivos

<b>Id</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
0	761883	9748312
1	761769	9748269
2	761718	9748206
3	761422	9748070
4	761350	9748003
5	761397	9747897
6	761494	9747910
7	761312	9748608
8	761003	9748413
9	760901	9748388
10	760876	9748341
11	760580	9748401
12	760541	9748456

13	760461	9748536
14	760364	9748591
15	760330	9748629
16	760321	9748676
17	760186	9749408
18	760144	9749370
19	760072	9749349
20	760025	9749463
21	760118	9749569
22	760186	9749624
23	759411	9748769
24	759411	9748769
25	759212	9748684
26	759111	9748688
27	759017	9748731
28	758577	9748642
29	758573	9748688
30	758391	9748672
31	758340	9748621
32	758277	9748570
33	758154	9748240
34	758137	9748176
35	758213	9748176
36	758662	9748312
37	758023	9748113
38	757913	9747918
39	758124	9747804
40	758069	9747761
41	758010	9747732
42	757959	9747706
43	757917	9747711
44	757815	9747736
45	757866	9747787
46	757866	9747787
47	758505	9747969
48	758594	9747931
49	758666	9747897
50	758683	9747850
51	758742	9747808
52	758802	9747753
53	758738	9747672
54	758700	9747647
55	758620	9747672
56	758653	9747744
57	758662	9748379
58	759479	9748769

59	759479	9748769
60	758992	9748045

**Elaborado por:** Borja M

## **5. Pastizales**

<b>Id</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
0	759331	9749446
1	759200	9749434
2	759208	9749357
3	759174	9749307
4	759085	9749362
5	759022	9749383
6	759009	9749298
7	759017	9749213
8	759123	9749137
9	759178	9749175
10	759136	9749247
11	759263	9749294
12	759356	9749349
13	759771	9749099
14	759695	9749040
15	759695	9749040
16	759741	9748858
17	759835	9748820
18	759843	9748697
19	759763	9748659
20	759699	9748557
21	759669	9748489
22	759636	9748430
23	759614	9748350
24	759551	9748316
25	759530	9748185
26	759449	9748231
27	759318	9748350
28	759310	9748481
29	759233	9748418
30	759128	9748333
31	759005	9748320
32	758852	9748320
33	758797	9748456
34	758806	9748506
35	758704	9748629
36	758730	9748765
37	758742	9748845
38	758721	9749014

39	758721	9749014
40	758594	9749027
41	758603	9749099
42	758438	9749112
43	758188	9749091
44	758184	9749163
45	758184	9749163
46	758031	9749209
47	757989	9749268
48	757968	9749171
49	758035	9749082
50	758175	9749268
51	759034	9749467
52	758954	9749417
53	758954	9749268
54	758975	9749150
55	758573	9748955
56	758459	9748909
57	758382	9748909
58	758243	9748727
59	758107	9748752
60	758061	9748803
61	757989	9748841
62	757972	9748705
63	758018	9748659

Elaborado por: Borja M

## B. ANEXO 2 – PUNTOS DE CONTROL PARA LAS ESPECIES EN ESTUDIO

### 1. Sural

ID	X	Y
1	763125	9727702
2	763130	9727706
3	763125	9727710
4	763204	9730072
5	763203	9730069
6	763207	9730067
7	763211	9730068
8	763209	9730063
9	763211	9730063
10	763210	9730059
11	763207	9730059
12	763206	9730060
13	763202	9730059

14	763200	9730060
15	763199	9730062
16	763201	9730065
17	763199	9730065
18	763198	9730067
19	763199	9730069
20	763200	9730071
21	763202	9730072
22	763203	9730064
23	775977	9726956
24	775972	9726953
25	775970	9726951
26	775974	9726950
27	775976	9726951
28	775979	9726951
29	775980	9726948
30	775978	9726945
31	775980	9726943
32	775983	9726944
33	775984	9726947
34	775983	9726952
35	775975	9726948
36	775969	9726949
37	775970	9726946
38	775972	9726942
39	775975	9726941
40	775976	9726946
41	775973	9726946
42	775971	9726949
43	776449	9726593
44	776443	9726593
45	776441	9726589
46	776440	9726585
47	776443	9726584
48	776445	9726589
49	776448	9726588
50	776451	9726587
51	776454	9726589
52	776453	9726585
53	776452	9726581
54	776447	9726579
55	776444	9726578
56	776442	9726580
57	773373	9727298
58	773375	9727296
59	773376	9727299



60	773378	9727298
61	773379	9727295
62	773375	9727294
63	773379	9727293
64	773378	9727291
65	773382	9727291
66	772737	9726650
67	772737	9726648
68	772734	9726645
69	772734	9726642
70	772738	9726640
71	772740	9726642
72	772739	9726646

**Elaborado por:** Borja M

## **2. Capulí**

<b>ID</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	763122	9727709
2	763125	9727708
3	763123	9727705
4	763120	9727705
5	763120	9727701
6	763123	9727700
7	763127	9727700
8	763127	9727697
9	763132	9727699
10	763131	9727703
11	763128	9727706
12	763205	9730070
13	763207	9730070
14	763199	9730067
15	763202	9730063
16	763208	9730061
17	763212	9730066
18	775981	9726958
19	775979	9726954
20	775972	9726952
21	775972	9726948
22	775977	9726948
23	775982	9726949
24	775982	9726946
25	775977	9726940
26	776447	9726592
27	776450	9726589
28	776445	9726586

29	776448	9726585
30	776448	9726582
31	776443	9726582
32	773377	9727304
33	773380	9727303
34	773377	9727297
35	773383	9727294
36	773387	9727298
37	773386	9727301
38	773376	9727292
39	772735	9726653
40	772733	9726651
41	772732	9726648
42	772737	9726643
43	772742	9726645
44	774628	9720212
45	774627	9720210
46	774628	9720206
47	774630	9720202
48	774634	9720201
49	774634	9720205
50	774637	9720206
51	774633	9720211
52	774633	9720214
53	774626	9720211
54	774627	9720208
55	774626	9720205
56	774630	9720204
57	774632	9720206
58	774400	9720349
59	774404	9720348
60	774406	9720343
61	774403	9720337
62	774399	9720340
63	774394	9720346
64	774175	9720153
65	774181	9720151
66	774181	9720144

## C. ANEXO 3 – PUNTOS DE CONTROL PARA LA SEGUNDA CLASIFICACION

### 1. Zonas Intervenidas

<b>Id</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
0	760,222	9,734,854
1	760,219	9,734,914
2	760,152	9,734,914
3	760,123	9,734,840
4	760,102	9,734,734
5	760,025	9,734,713
6	759,972	9,734,685
7	759,989	9,734,621
8	760,032	9,734,544
9	760,056	9,734,469
10	760,018	9,734,388
11	760,018	9,734,388
12	760,021	9,734,314
13	759,555	9,734,759
14	759,538	9,734,794
15	759,467	9,734,798
16	759,347	9,734,745
17	759,393	9,734,671
18	759,481	9,734,660
19	759,488	9,734,081
20	759,464	9,734,018
21	759,407	9,733,979
22	759,376	9,733,909
23	759,376	9,733,909
24	759,287	9,733,870
25	759,354	9,733,806
26	759,432	9,733,750
27	759,471	9,733,722
28	759,506	9,733,697
29	759,545	9,733,647
30	759,605	9,733,725
31	759,630	9,733,810
32	759,661	9,733,845
33	759,721	9,733,919
34	759,792	9,733,954
35	760,074	9,734,088
36	759,996	9,734,064
37	760,056	9,733,979

38	760,039	9,733,944
39	759,566	9,733,559
40	759,481	9,733,517
41	759,450	9,733,457
42	760,367	9,733,450
43	760,321	9,733,411
44	760,321	9,733,411
45	760,423	9,733,372
46	760,508	9,733,379
47	760,533	9,733,436
48	760,586	9,733,291
49	760,684	9,733,284
50	760,684	9,733,284
51	760,635	9,733,161
52	760,674	9,733,122
53	760,656	9,733,009
54	760,603	9,733,009
55	760,497	9,732,988
56	760,497	9,732,988
57	760,571	9,733,069
58	760,547	9,733,291
59	760,469	9,733,517
60	760,741	9,732,635
61	760,840	9,732,614
62	760,857	9,732,554
63	760,801	9,732,526
64	760,970	9,732,811
65	760,801	9,732,526
66	760,843	9,732,430
67	761,210	9,731,764
68	761,168	9,731,686
69	761,132	9,731,640
70	761,016	9,731,633
71	760,815	9,731,429
72	760,751	9,731,358
73	760,878	9,731,354

**Elaborado por:** Borja M

## **2. Suelos Erosionados**

<b>Id</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
0	767,422	9,732,482
1	767,473	9,732,565
2	767,512	9,732,623
3	767,556	9,732,638

4	767,627	9,732,689
5	767,645	9,732,728
6	767,583	9,732,733
7	767,501	9,732,702
8	767,475	9,732,680
9	767,411	9,732,651
10	767,356	9,732,594
11	767,325	9,732,539
12	767,387	9,732,418
13	767,459	9,732,393
14	767,512	9,732,369
15	767,550	9,732,314
16	767,574	9,732,241
17	767,642	9,732,215
18	767,711	9,732,230
19	767,678	9,732,270
20	767,596	9,732,325
21	767,583	9,732,407
22	767,598	9,732,446
23	767,642	9,732,466
24	767,678	9,732,457
25	767,726	9,732,387
26	767,715	9,732,318
27	767,766	9,732,292
28	767,781	9,732,250
29	767,777	9,732,199
30	767,713	9,732,177

**Elaborado por:** Borja M