



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Biología del Medio Ambiente

“Zonificación de bosques de *Polylepis* y línea base para su monitoreo en el Parque Nacional Cajas”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Bióloga

Autora:

Rosana S. Fernández de Córdova Vega

Director:

Gustavo Chacón Vintimilla, Ph.D.

Cuenca, Ecuador

2011

DEDICATORIA

Porque quiero verte admirar y recorrer con vos
los hermosos paisajes del páramo, sus bosques,
ríos y lagunas.

Para ti, para tu futuro.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha llevado a cabo gracias al apoyo y colaboración de grandes personas que han permanecido desde el inicio hasta el día de hoy aportando de manera importante a ésta investigación.

Agradezco a mi director de tesis, Dr. Gustavo Chacón por ayudarme en el desarrollo y culminación de mi trabajo de tesis y por encaminar ésta investigación hacia un aporte importante para la protección de los Bosques de *Polylepis*.

Agradezco a mi familia, Helder y Tomás, Anita, Eduardo, Nidya y María que representan un apoyo incondicional en todo momento.

Al igual que a las personas que me acompañaron para realizar los muestreos de campo y estuvieron junto a mí, ayudándome durante largas jornadas: Diego, Andrés, Fernanda, Ximena, Ma. Augusta.

También quiero extender mis agradecimientos al Parque Nacional Cajas quienes me facilitaron las imágenes satelitales, en especial al Biólogo Francisco Sánchez quien supervisó ésta investigación, y a las comunidades de Miguir y Huagrahuma.

Al Ing. Omar Delgado por facilitarme la bibliografía requerida y ayudarme con sus conocimientos en el trabajo de laboratorio.

Al Herbario Azuay en especial al Biólogo Danilo Minga quien colaboró con la identificación taxonómica de las especies vegetales.

Y un agradecimiento especial al Ing. Norman Orellana quien me proporcionó los tutoriales y programas utilizados en esta investigación y colaboró con la revisión del trabajo de laboratorio, agradezco el tiempo que dedicó y sus conocimientos que fueron esenciales para el desarrollo de ésta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de mapas.....	vii
Índice de fotografías.....	viii
Índice de anexos.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
1. Introducción.....	1
1.1 Objetivos.....	4

CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Sitio de estudio para el análisis espacial.....	5
1.2. Sitio de estudio de las parcelas permanentes de monitoreo.....	6
1.3. Fase de Campo.....	8
1.3.1. Entrenamiento de áreas de interés.....	8
1.3.2. Comprobación de los resultados.....	9
1.3.3. Parcelas permanentes de monitoreo.....	10

CAPÍTULO 2: TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

2.1 Teledetección.....	14
2.1.1 Imágenes satelitales.....	14
2.2 Interpretación de los datos.....	15

2.3 Procesamiento de las imágenes	16
2.3.1 Pre – Procesamiento.....	16
2.3.1.1 Correcciones y realces.....	17
2.3.2 Procesamiento	18
2.3.2.1 Método supervisado	19
2.3.3 Pos procesamiento	23
2.3.3.1 Matriz de confusión	24

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

3.1 Mapa de cobertura vegetal 2008.....	26
3.2 Parcelas permanentes de monitoreo.....	28
3.2.1 Estructura de los bosques de <i>Polylepis</i> sp.....	28
3.2.2 Composición florística de los bosque de <i>Polylepis</i> sp.....	30
3.2.3 Regeneración natural	32
3.2.4 Diversidad y composición florística de hierbas y leñosas del sotobosque.....	32

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN

4.1 Mapa de cobertura vegetal 2008.....	34
4.2 Cambios en la cobertura vegetal.....	35
4.3 Estructura y composición de los bosques de <i>P. reticulata</i> y <i>P. incana</i>	39
Conclusiones y Recomendaciones	41
Bibliografía.....	44
Anexos	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fórmulas utilizadas en el análisis de vegetación	14
Tabla 2. Características de las imágenes satelitales	16
Tabla 3. Interpretación de las tonalidades de las imágenes satelitales	16
Tabla 4. Separabilidad según rangos de valores	21
Tabla 5. Divergencia transformada entre categorías de la imagen 4723	21
Tabla 6. Divergencia transformada entre categorías de la imagen 6327	22
Tabla 7. Divergencia transformada entre categorías de la imagen 5000	22
Tabla 8. Parámetros medidos para la precisión de la clasificación	24
Tabla 9. Matriz de confusión	25
Tabla 10. Estructura de bosques de <i>Polylepis</i> spp.	27
Tabla 11. Importancia de especies en el bosque de <i>P. incana</i>	30
Tabla 12. Importancia de especies en el bosque de <i>P. reticulata</i>	31
Tabla 13: Cobertura vegetal del año 2008	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseños de la parcela permanente y transecto de 200 m ²	12
Figura 2: Imagen antes y después del realce de contraste	18
Figura 3. Diagrama de firmas espectrales	19
Figura 4. Imagen 6327 clasificada antes y después de la moda 3 x 3	23
Figura 5. Densidad y área basal en bosques de <i>P. reticulata</i> y <i>P. incana</i>	28
Figura 6. Distribución de rangos de altura de <i>P. incana</i> y <i>P. reticulata</i>	29
Figura 7. Regeneración natural en los bosques de <i>P. incana</i> y <i>P. reticulata</i>	31
Figura 8. Distribución de especies por familias de <i>P. incana</i> . A. Angiospermas. B. Pteridófitas	32
Figura 9. Distribución de especies por familias de <i>P. incana</i> . A. Angiospermas. B. Pteridófitas	33
Figura 10. Porcentaje de cobertura vegetal 2008 del Parque Nacional Cajas	38

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación del Parque Nacional Cajas	5
Mapa 2. Ubicación de las parcelas permanentes de monitoreo	7
Mapa 3. Puntos tomados de los diferentes tipos de cobertura.....	10
Mapa 4. Imagen clasificada 2008	3

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Vista panorámica del bosque de <i>P. reticulata</i>	8
Fotografía 2. Bosque de <i>P. incana</i>	8
Fotografía 3. Bosque Altoandino. Llaviuco	9
Fotografía 4. Bosque de <i>Polylepis</i> . Luspa	9
Fotografía 5. Laguna Sunincocha	9
Fotografía 6. Pastos y Cultivos. Llaviuco	9
Fotografía 7. Páramo de Pajonal. Cucheros	10
Fotografía 8. Suelo descubierto	10
Fotografía 9. Comprobación de la ubicación de un bosque de <i>Polylepis</i>	11
Fotografía 10. Delimitación de la parcela de monitoreo	12
Fotografía 11. Anillo metálico utilizado.....	13
Fotografía 12. Marcaje de arboles con anillo metálico	13
Fotografía 13. a) Recolección de muestras vegetales. b) Arbusto marcado con cinta fungible. c) Medición de DAP.....	13
Fotografía 14. Dosel cerrado en el bosque de <i>P. reticulata</i>	29
Fotografía 15. Zona de pastoreo que reemplazó a un bosque	36
Fotografía 16. Deslizamiento en el Bosque Altoandino (Llaviuco).....	37
Fotografía 17. Deslizamiento de rocas sobre un bosque de <i>Polylepis</i> (Sunincocha)	37
Fotografía 18. Camino abierto, sector Río Blanco	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Registro fotográfico de especies asociadas a <i>Polylepis</i> sp	48
Anexo 2: Especies asociadas a <i>Polylepis</i> sp.....	50
Anexo 3: Mapa de presiones del PNC.....	52
Anexo 4: Distribución geográfica del género <i>Polylepis</i> en el Ecuador	53
Anexo 5: Sistemas y características del sensor ASTER.....	54
Anexo 6: Datos florísticos de las Parcelas Permanentes de Monitoreo	CD-ROOM 1
Anexo 7: Cobertura Vegetal 2008	CD-ROOM 2

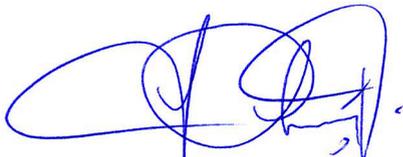
RESUMEN

Dentro de las estrategias de manejo del Parque Nacional Cajas está el monitoreo de los recursos vegetales. Con este trabajo se actualizó el mapa de cobertura vegetal con información del año 2008, se estableció dos parcelas permanentes para monitoreo de *Polylepis incana* y *P. reticulata* respectivamente y se levantó una línea de base. Mediante imágenes satelitales, se detectó pérdida de la superficie de bosques, aunque no existieron diferencias significativas para el páramo herbáceo o cuerpos de agua. Las nuevas estrategias de manejo deben considerar la ampliación de la superficie de bosques y la detección de las fuentes que la reducen.

**ZONING OF *POLYLEPIS* FORESTS AND BASE LINE FOR MONITORING IN
THE CAJAS NATIONAL PARK**

ABSTRACT

Within the management strategies for the Cajas National Park there is the monitoring of plant resources. With this work the plant cover map was updated with information from the year 2008, two permanent plots for the monitoring of *Polylepis incana* and *P. reticulata* respectively were established and a base line was built. With satellite images a reduction of forest surfaces were detected, although there were not significant differences for the herbaceous páramo or water bodies. New management strategies should consider the enlargement of forest surfaces and the detection of reduction sources.



Gustavo Chacón V.



Rosana Fernández de Córdova V.

Fernández de Córdoba Vega Rosana Soledad

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Bióloga

Director: Gustavo Chacón Vintimilla, Ph.D.

Mayo, 2011

**“ZONIFICACIÓN DE BOSQUES DE *Polylepis* Y LÍNEA BASE PARA SU
MONITOREO EN EL PARQUE NACIONAL CAJAS”**

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Cajas (PNC), presenta características geomorfológicas y glaciares, que le otorgan particularidades biogeográficas lo que facilitó el aislamiento y desarrollo de procesos evolutivos, de ésta forma muchas especies se han diversificado y especializado, colocando a esta área protegida como una zona de endemismo a nivel nacional (Hosfstede 2003).

El PNC incluye 4 comunidades vegetales, y 4 subunidades del páramo entre éstas últimas los bosques de *Polylepis* ocupan el 3% del área total del PNC y representan la vegetación natural de una gran parte de los Andes del norte comprendidos entre 3500 y 4400 m. s.n.m (Cierjacks et al. 2007); son ecosistemas que albergan fauna y flora caracterizada por especialistas y altos niveles de endemismo, representan uno de los hábitats más vulnerables de los altos Andes por la fuerte presión antropogénica existente, ya que constituyen el único recurso maderable en esas alturas.

Son ecológicamente fundamentales para la regulación de caudales hídricos, disminución de la erosión de los suelos, retención de nutrientes y sedimentos; durante la estación

seca descargan gradualmente el agua almacenada durante la época de lluvias y cumplen un rol central en la ecología altoandina (Aguilar 2001).

Su distribución actual es muy local, existen zonas con bosques relativamente extensos, pero en su gran mayoría son pequeños parches entre 0,5 y 1 ha, se encuentran principalmente en valles, laderas rocosas y quebradas o matorrales abiertos; este patrón de distribución fue considerado como natural, interpretando laderas rocosas y quebradas como microhábitats favorables para el desarrollo de *Polylepis* (Simpson 1986).

Sin embargo, estudios recientes demuestran que esta distribución es el resultado de miles de años de actividades humanas en los altos Andes (Kessler 2002) y de una serie de impactos producidos por el uso inadecuado del territorio que data de hace 3000 años, aunque el uso intensivo del suelo viene dándose en los últimos 40 años (Chacón 2009, 2010).

En el Ecuador, los probablemente 20.000 km que podrían haber sido ocupados por páramo, el 40% actualmente está transformado en cultivos, pastos sembrados o tierras erosionadas, y un 30% más está modificado en pajonales monótonos, que regularmente se queman y sufren pastoreo moderado (Hosfstede *et al.*, 2003).

En las últimas décadas, se observa un incremento de la concienciación de la población, tanto de los habitantes rurales como de actores políticos a nivel nacional, reconociendo la necesidad de proteger e incluso restaurar los ecosistemas de bosques de *Polylepis* (Fjeldsa & Kessler 1996, 2004). Esto tiene lugar tanto en áreas protegidas como en el marco de programas de reforestación. Sin embargo, los pasos tomados hasta el presente son mínimos comparados con los problemas y se requerirá de esfuerzos notables para frenar la continua degradación de los hábitats de los altos Andes (Pro Aves 2007).

Esto requiere cambios drásticos de las prácticas de uso de la tierra, sobre todo restringiendo el uso de quemas y una separación clara entre áreas de cultivo y de

pastoreo, ya que ambas tienen que ser manejadas de manera muy diferente para su óptimo desarrollo.

El PNC está actualmente sujeto a un Plan de Manejo Integral y forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), que tiene como propósito conservar los ecosistemas que contribuyen a mantener la diversidad biológica; esto implica la potencialidad de su permanencia por mucho más tiempo y la generación de sus externalidades ambientales propias (Cemaprimes 2005).

Desde el año 2000, como resultado de un proceso socializado y descentralizado, el PNC pasó a ser administrado por el Municipio de Cuenca, a cargo de la empresa ETAPA la cual asumió la responsabilidad de manejo de los recursos naturales, con énfasis en el recurso agua, puesto que, las cuencas hidrográficas que protege el Parque son las proveedoras del recurso para los centros poblados de la ciudad de Cuenca (MAE *et.,al.* 2006).

Como parte de las políticas y estrategias para mantener la calidad de los recursos dentro del PNC se han venido desarrollando programas de monitoreo y control de calidad de los recursos hídricos y actividades investigativas de procesos ecológicos y ambientales por parte de organizaciones y establecimientos que mantienen convenios con el PNC, una de ellas la Universidad del Azuay. En este sentido, este trabajo pretendió mediante la utilización de imágenes satelitales ASTER del año 2008, actualizar la cobertura vegetal del año 2001, analizar los principales cambios ocurridos a lo largo de este periodo y zonificar a los bosques de *Polylepis* y la superficie real que ocupan dentro del PNC.

Por otro lado se implementó parcelas permanentes de monitoreo en dos bosques de *Polylepis*, para obtener una línea de base que brinde información periódica sobre los procesos de regeneración natural del género *Polylepis* y permita llevar un monitoreo a largo plazo acerca de los procesos naturales que ocurren dentro de los bosques, así como del temperamento ecológico de las especies forestales asociadas.

Con los resultados de esta investigación se busca dar un manejo adecuado a los bosques de *Polylepis* desarrollando políticas de conservación y protección, que sean incluidas dentro del Plan de Manejo Integral del PNC.

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar la ubicación y el tamaño de los bosques de *Polylepis* spp. en el Parque Nacional Cajas y establecer una línea de base para el submonitoreo de *Polylepis* spp. que incluya la provisión de información periódica ecológica como parte del Plan de Manejo Integral.

ESPECÍFICOS

1. Efectuar un análisis temporal y espacial dentro del Parque Nacional Cajas, mediante información digital de sensores.
2. Obtener un mapa de cobertura vegetal 2008, con la ubicación de los bosques de *Polylepis* spp, y la superficie real que ocupan dentro del Parque Nacional Cajas.
3. Disponer de una línea de base de monitoreo de crecimiento, composición y regeneración natural de *Polylepis* spp.

CAPÍTULO 1

MATERIALES Y MÉTODOS

1.3 Sitio de estudio para el análisis espacial

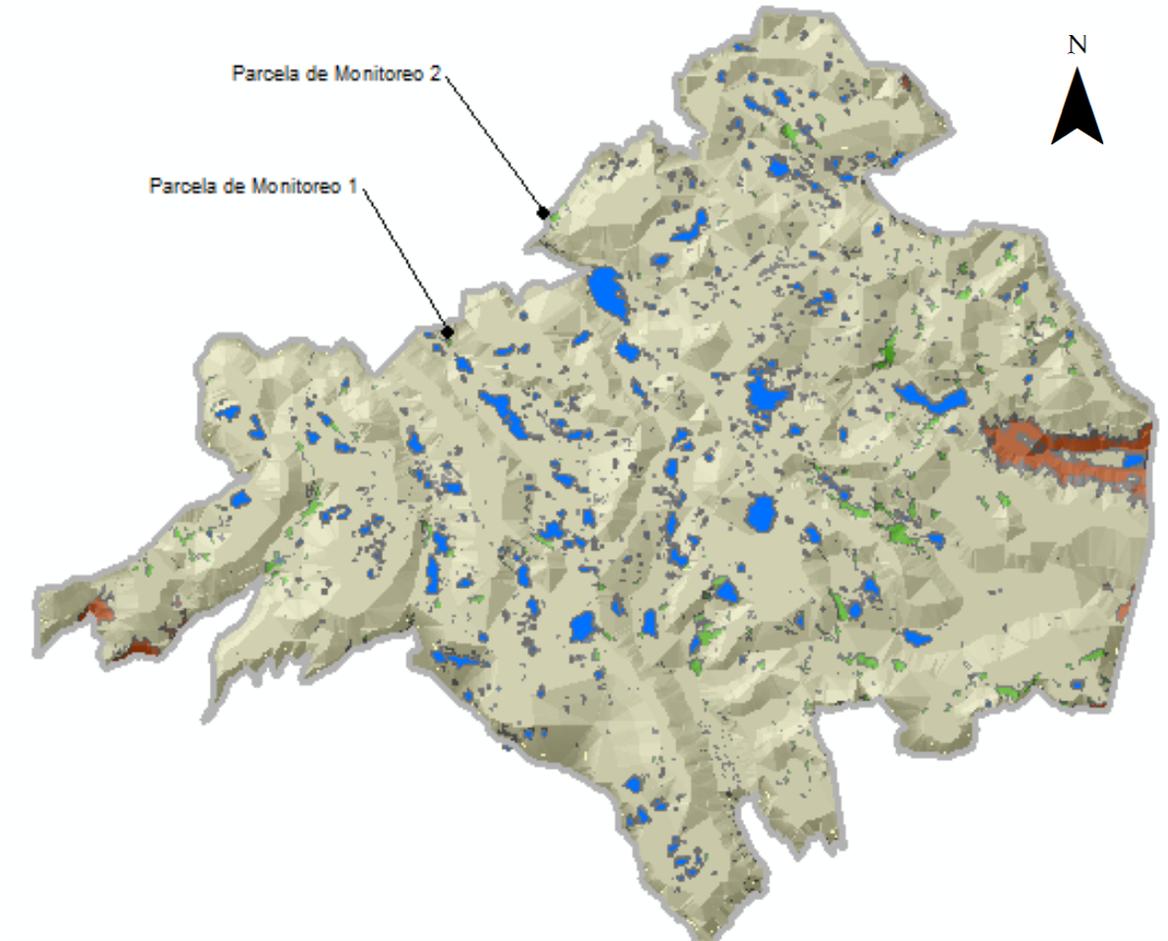
El Parque Nacional Cajas tiene una superficie de 28.544 ha, se encuentra formando parte del macizo del Cajas, que es la última gran unidad fisiográfica de los altos Andes occidentales en el Ecuador; se ubica a aproximadamente 32 km de la ciudad de Cuenca, en la parte más angosta de la cordillera de los Andes (Hosfstede, 2003); Sus límites altitudinales son: máxima de 4445 m. s.n.m. y mínima de 3160 m. s.n.m. (Cordero 2002).



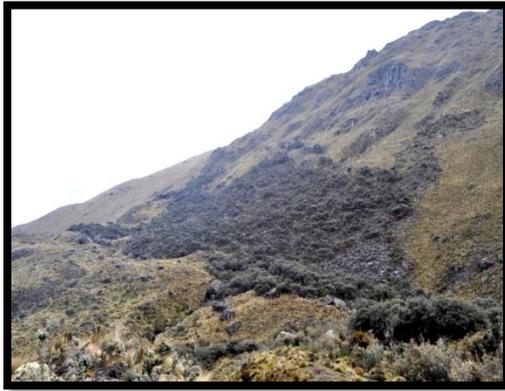
Mapa 1. Ubicación del Parque Nacional Cajas.
Fuente: Biblioteca del Parque Nacional Cajas.

1.2 Sitio de estudio de las parcelas permanentes de monitoreo.

Las parcelas permanentes se establecieron en un bosque de *P. reticulata* ubicado en la zona adyacente a la laguna Sunincocha chica a una altura de 3836 m.s.n.m. y en un bosque de *P. incana*, en el sector de Huagrahuma a una altura de 3586 m.s.n.m.



Mapa 2. Ubicación de las parcelas permanentes de monitoreo.



Fotografía 1. Vista panorámica del bosque de *P. reticulata*.



Fotografía 2. Bosque de *P. incana*.

1.3 FASE DE CAMPO

1.3.1 Entrenamiento de áreas de interés

Previo al proceso de clasificación supervisada (Ver capítulo 2) dentro del PNC, se tomó muestras de las áreas de interés que se consideraron representativas de las categorías que componen la leyenda temática del mapa de cobertura vegetal, tales áreas sirven para “entrenar” al algoritmo en el reconocimiento de las distintas categorías y para controlar la exactitud de la clasificación que es obtenida previa a la obtención del mapa de cobertura vegetal. Mediante la utilización de un GPS se tomaron puntos en distintos lugares del Parque Nacional Cajas se tuvo cuidado en que se tomen en áreas homogéneas y se cubra 50 m a la redonda de manera que no se confundan entre pixeles de otras categorías. Se tomó entre 10 y 100 puntos por cada categoría en las tres imágenes, teniendo más áreas de entrenamiento se facilita la clasificación de las categorías, las categorías fueron las siguientes:

1. Páramo de Pajonal
2. Suelo Descubierta
3. Pastos y Cultivos
4. Cuerpos de Agua
5. Bosque Altoandino
6. Bosque de *Polylepis*.



Fotografía 3. Bosque Altoandino. Llaviuco.



Fotografía 4. Bosque de *Polylepis*. Luspa.



Fotografía 5. Laguna Sunincocha.



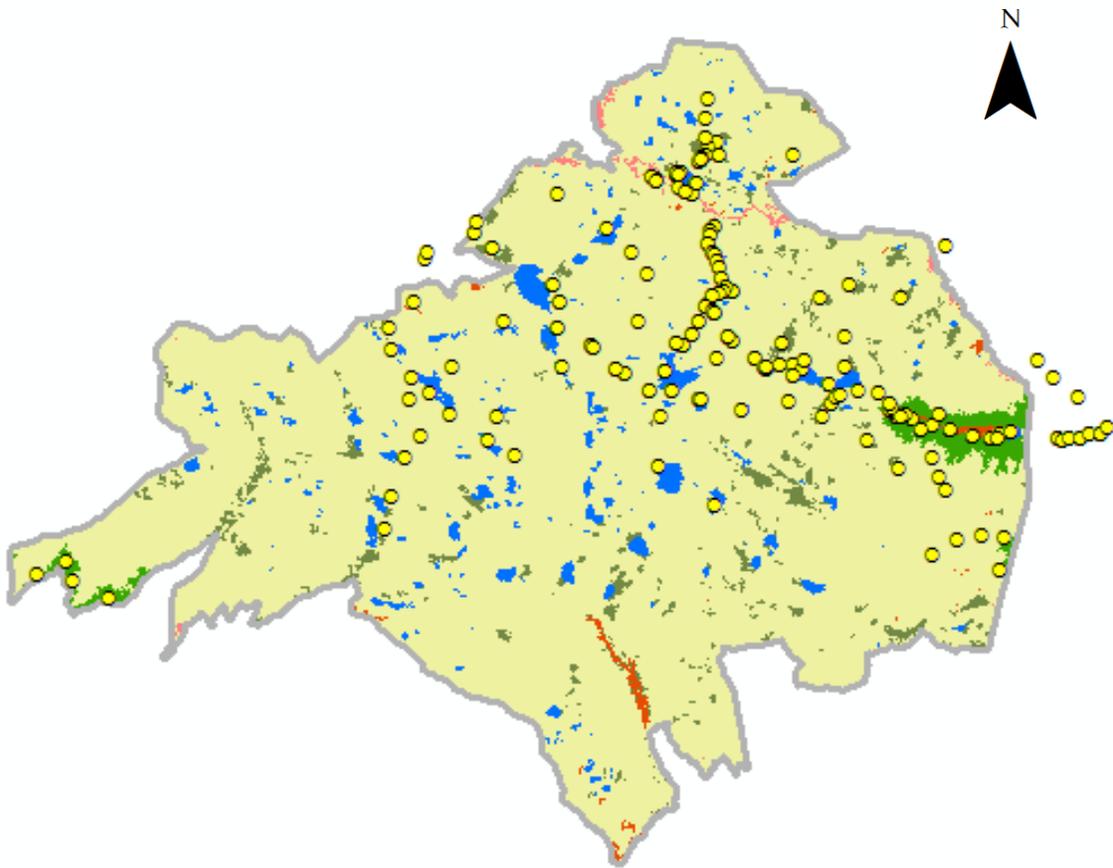
Fotografía 6. Pastos y Cultivos. Llaviuco.



Fotografía 7. Páramo de Pajonal. Cucheros.



Fotografía 8. Suelo Descubierto.



Mapa 3. Puntos tomados de los diferentes tipos de cobertura.

1.3.2 Comprobación de los resultados

Una vez realizada la clasificación supervisada (ver capítulo 2), con el objetivo de obtener mayor precisión al momento de generar resultados y minimizar cualquier tipo de error se realizó una verificación de la información en el campo, para ello se establecieron áreas que corresponden a regiones previamente definidas, se escogieron puntos al azar y se visitó estos sitios.

En total se visitó 10 puntos por cada categoría, la mayoría de puntos no se necesitó rectificar la información, salvo en 5 puntos pertenecientes a páramo de pajonal, que en el mapa constaban como suelo descubierto, en este caso se corrigió mediante la edición de la imagen.



Fotografía 9. Comprobación de la ubicación de un bosque de *Polylepis*.

1.3.3 Parcelas Permanentes de Monitoreo

En esta etapa se utilizó las PPM, pues son un sistema ágil y ordenado de toma de datos de campo, tanto aplicable a fragmentos de bosques intervenidos, como bosques primario (BRENES. G. 1997), se mantienen indefinidamente en el bosque y su adecuada demarcación permite la ubicación exacta de sus límites y puntos de referencia a través del tiempo, así como de cada uno de los individuos, los cuales se analizan por medio de observaciones periódicas que permiten obtener el mayor volumen de información de un sitio y comunidades determinadas (Molina, 1988). Para la selección del bosque se eligió aquel que tenga fácil acceso, pues fue necesario realizar varias visitas y transportar materiales y muestras vegetales extraídas.

Las parcelas tuvieron 50 m x 20 m cubriendo una superficie de 0,1 ha, para este levantamiento florístico se utilizó la metodología de parcelas de 1000 m², sin utilizar subparcelas. (Minga, et al. 2008).

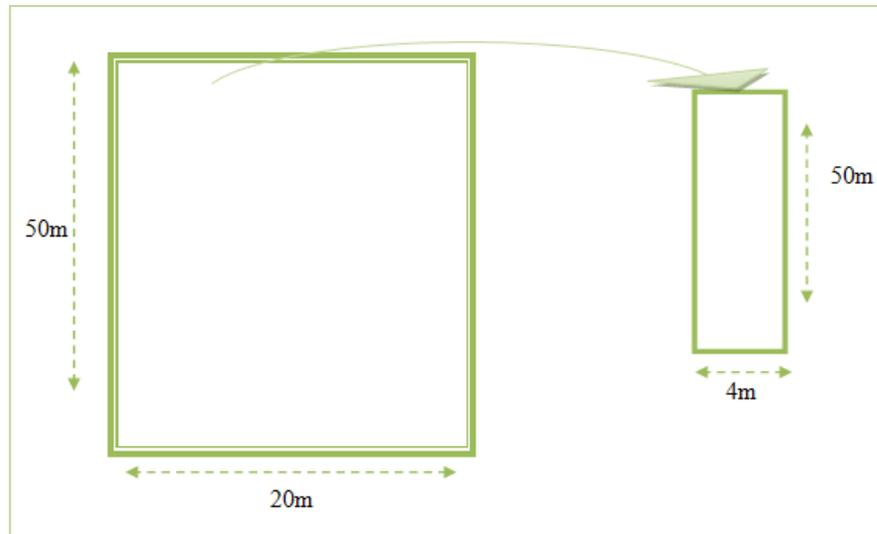


Figura 1. Diseños de la Parcela Permanente y transecto de 200 m^2



Fotografía 10. Delimitación de la parcela de monitoreo.

Dentro de las parcelas se realizó un levantamiento de información florística, tomando datos de riqueza y abundancia de plantas superiores a 5 cm de DAP, en cada planta se midió DAP y se estimó su altura, con la ayuda de una regla, se discriminó entre la altura total y la altura del fuste (desde la base hasta el inicio de la primera ramificación).

Para las plantas superiores a los 5cm de DAP se procedió a colocar un anillo con una placa metálica numerada para llevar un registro de cada individuo (Minga, *et al.* 2008).



Fotografía 11. Anillo metálico utilizado



Fotografía 12. Marcaje de arboles con anillo metálico

En el caso de los arbustos se midió el diámetro basal y altura total de plantas comprendidas entre 1 cm y 5 cm de diámetro basal esto se hizo en toda el área de la parcela cubriendo 1000 m², con estos datos se midió la regeneración natural y se obtuvo un registro de todas las plantas leñosas. Dentro de las parcelas todas las plantas fueron debidamente marcadas y etiquetadas. Para el marcaje de arbustos, se utilizó cinta fungible.



Fotografía 13. a) Recolección de muestras vegetales. b) Arbusto marcado con cinta fungible. c) Medición de DAP.

Al momento de la toma de datos y marcaje de los individuos se tuvo cuidado de no alterar los bosques, de manera que se utilizó material biodegradable y las placas para el marcaje de árboles se colocaron en lugares tapados del tronco con el fin de que no causen daño ni perturben a especies de aves que los frecuentan, con respecto a la flora

no se extrajeron muestras únicas (como orquídeas) y en su lugar fueron llevadas en un registro fotográfico para su identificación.

Con los datos obtenidos se analizó la vegetación de la parcela de monitoreo, con el objetivo de determinar los siguientes aspectos:

- a) Diversidad de plantas (riqueza y abundancia)
- b) Composición y regeneración natural
- c) Densidad y DAP

Se utilizaron las siguientes fórmulas para sintetizar y discutir los datos:

Tabla 1. Fórmulas utilizadas en el análisis de vegetación

PARÁMETRO	FÓRMULA
DENSIDAD	$D = \text{Número de árboles por área.}$
ÁREA BASAL	$AB = \pi * R^2$
DAP	$DAP = \text{Circunferencia} / \pi$
DOMINANCIA RELATIVA	$DmR = \frac{\text{Área basal de una especie}}{\text{Área basal de todas las especies}} \times 100$
DENSIDAD RELATIVA (DNR)	$DnR = \frac{\text{Número de árboles de una especie}}{\text{Número de árboles de una parcela}} \times 100$

Dentro de las parcelas se realizó un transecto de 200 m² (50 m x 4 m) y se inventarió todas las especies de plantas vasculares.

De las especies encontradas se tomaron registros fotográficos, se realizó un inventario y se estableció cuáles son las asociaciones que ocurren dentro del bosque de *P. incana* y *reticulata*. (Anexos Tabla 3. Registro fotográfico). Las especies forestales fueron colectadas en el campo secadas, prensadas e identificadas en el Herbario Azuay (HA) de la Universidad del Azuay.

CAPITULO 2

TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

2.1 Teledetección

La teledetección es una técnica que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre las superficie terrestre, ofrece ventajas como: una cobertura global y periódica de la superficie; esto resulta de enorme trascendencia para entender los grandes procesos que afectan al medio ambiente. Se puede obtener una visión panorámica; la altura orbital del satélite le permite detectar grandes espacios, proporcionando una visión amplia de los hechos geográficos, en consecuencia la información incluida en tan amplio territorio es perfectamente comparable. (Chuvieco 1996).

Permite conseguir información sobre regiones no visibles del espectro; los sensores ópticos – electrónicos facilitan imágenes sobre áreas no accesibles al ojo humano, las bandas del espectro proporcionan una valiosa información para estudios medioambientales.

El formato digital que presenta agiliza el proceso de interpretación, pues permite generar modelos cuantitativos e integrar los resultados con otro tipo de información geográfica. Este enfoque integrado facilita una evaluación más real del paisaje y constituyen una valiosa herramienta en cuando a la planificación, ordenación y gestión de los recursos naturales (Speranza F. y H. R. Zerda. 2001).

2.1.1 Imágenes Satelitales

Los datos satelitales utilizados para esta investigación corresponden al sensor ASTER, a bordo del satélite TERRA son tres imágenes del año 2008, este satélite presenta una órbita heliosincrónica a una distancia de 705 km, con un ciclo de repetición de 16 días,

un ancho de barrido de 60 km y una distancia entre orbitas de 172 km. ASTER está compuesto por 3 subsistemas (Ver anexos, Tabla 3).

Para la generación de la información espacial se utilizó el programa ENVI 4.5, y para la edición y depuración del mapa de cobertura vegetal de utilizó ArcMap 9.3.

Tabla 2. Características de las imágenes satelitales.

Tipo de imagen satelital	ASTER
Satélite	TERRA
Resolución espacial	15 metros
Número de bandas	14
Fecha de la imagen	17 Julio 2008
Datum	WGS-84
Projection	UTM, Zona 17 South

Fuente: Ecociencia 2009.

2.2 Interpretación de los datos

En un primer acercamiento a la interpretación de las imágenes satelitales, se analizó las distintas tonalidades, con el objetivo de familiarizarse con éste tipo de representaciones. Las tonalidades más habituales en las imágenes corresponden con las siguientes cubiertas (Tindal, 1978).

Tabla 3. Interpretación de las tonalidades de las imágenes satelitales.

TIPO DE TONALIDAD	INTERPRETACIÓN
Rojo - Magenta	Denota vegetación vigorosa, como cultivos regados, prados de montaña o bosques de caducifolias en imágenes de verano, y cultivos herbáceos en imágenes de primavera. El estudio

	detallado de la intensidad y saturación del rojo permite identificar diversas cubiertas vegetales, así como estimar su ciclo de crecimiento y vigor.
Rosa	Muestra áreas vegetales menos densas y vegetación en temprano estado de crecimiento. Las áreas suburbanas en torno a las grandes ciudades, con sus pequeños jardines y árboles diseminados, aparecen a veces en ese color.
Blanco	Áreas de escasa o nula vegetación pero de máxima reflectividad: nubes, arenas, depósitos salinos, canteras, suelos desnudos.
Azul oscuro a negro	Superficies cubiertas total o parcialmente por agua: ríos, canales, lagos, embalses.
Gria a azul metálico	Ciudades o áreas pobladas, si bien puede asimismo tratarse de roca.
Marrón	Vegetación arbustiva, muy variable en función de la densidad y del tono del sustrato: los tonos más oscuros indican presencia de materiales paleozoicos, mientras los matorrales calcícolas, menos densos normalmente, ofrecen una coloración más clara.
Beige-Dorado	Identifica zonas de transición: prados secos, frecuentemente asociados con el matorral ralo.

Fuente: Chuvieco 2002.

Junto con el análisis preliminar de las imágenes, se recopiló información cartográfica del PNC del año 2001, de cobertura vegetal, límites del PNC, e hidrografía, con el objetivo de georeferenciar las imágenes y posteriormente realizar el análisis comparativo de los cambios de la cobertura vegetal ocurridos hasta el año 2008.

2.3 Procesamiento de las imágenes

El procesamiento a su vez se divide en tres etapas:

2.3.1 Pre – Procesamiento.

2.3.1.1 Correcciones y realces

Las imágenes satelitales fueron sometidas a correcciones, ya que al momento que la imagen es tomada por el satélite se producen distorsiones geométricas tales como: desplazamiento del relieve, rotación y curvatura de la tierra, estas fueron corregidas, mediante puntos de control esto consiste en localizar una serie de puntos comunes al mapa y a la imagen, matemáticamente son necesarios 3 puntos de control para una función de ajuste de primer grado, 6 para una de segundo grado y 10 para una de tercero (Chuvieco 1996), en este caso se tomaron 6 puntos de control utilizando la cartografía disponible del PNC del año 2001.

En cuanto a la localización de los puntos se utilizó rasgos humanos del paisaje no sujetos a dinamismo temporal, como la carretera, vías y lagunas. Y por último con respecto a la distribución de los puntos se los situó uniformemente sobre el territorio de la imagen, con el fin de evitar errores por una ponderación excesiva de algún sector del área de estudio (Richards, 1993; Novak, 1992).

Esto se realizó a través del programa Arc Map 9.3, con las tres imágenes.

Posteriormente las imágenes fueron sometidas a realce de contraste con el fin de lograr una mejor identificación visual.

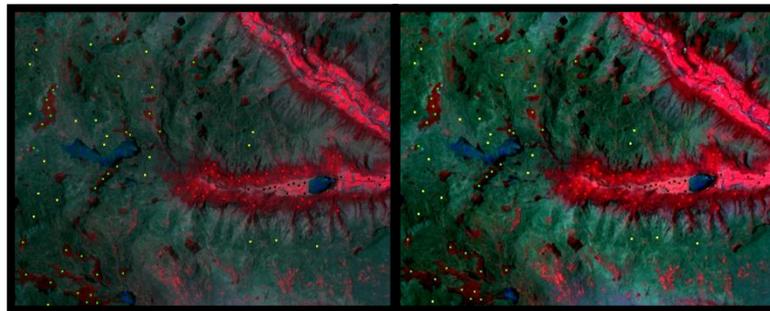


Figura 2: Imagen antes y después del realce de contraste.

Las bandas del sensor ASTER que se utilizaron fueron 1, 2 y 3 del VNIR, y combinaciones de bandas basadas en el comportamiento espectral de la vegetación, estas poseen 15 m. de resolución y proporcionan excelente información espectral de cobertura vegetal, suelos descubiertos, cuerpos de agua, sitios poblados entre otros.

El área del PNC, se encuentra dentro de las tres imágenes satelitales por lo tanto fue necesario realizar los procedimientos en cada imagen, posteriormente realizar un mosaico de las mismas y aplicar una máscara del PNC.

2.3.2 Procesamiento

En esta fase se define con rigor cada una de las categorías que pretende discriminarse, teniendo en cuenta su propia variabilidad en la zona de estudio, para esto se seleccionó una muestra de píxeles de la imagen, que representen, adecuadamente, a las categorías de interés (Ver 1.3 fase de campo) A partir de estos píxeles pueden calcularse los ND (niveles digitales) medios y la variabilidad numérica de cada categoría, en todas las bandas que intervienen en la clasificación.

A continuación se realizó un análisis estadístico del entrenamiento, al haber similitud entre dos más categorías, existirá un alto riesgo que estas se confundan entre sí, las firmas espectrales mostraron las estadísticas de las coberturas y comprueban que las áreas de entrenamiento fueron correctamente seleccionadas (Chuvieco. 2002).

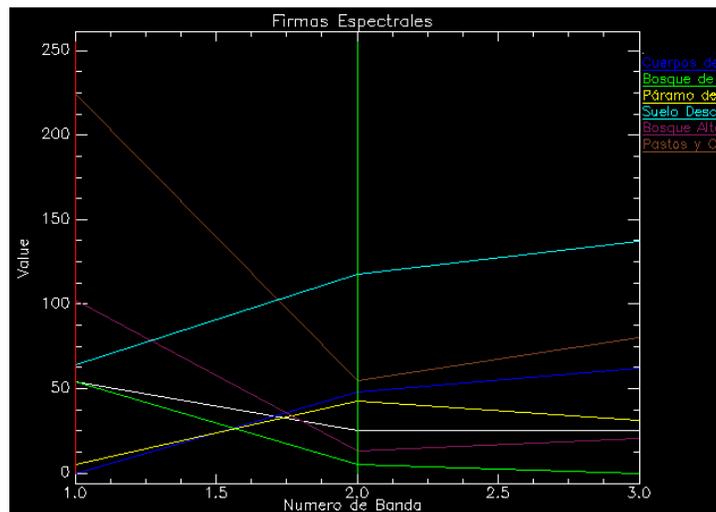


Figura 3. Diagrama de firmas espectrales.

El análisis de las firmas espectrales identificó el comportamiento de los tipos de cobertura entre sí, de modo que las líneas paralelas y próximas indican un probable traslape entre las categorías, es así como se observa en la figura 3, la tendencia espectral de los tipos de cobertura. Los valores del suelo descubierto presenta niveles digitales altos en la banda 1, mientras se acercan al infrarrojo los valores disminuyen, sin embargo no presenta solape con ninguna otra clase.

Los pastos y cultivos presentan niveles digitales altos siendo más prominentes en la banda 1, mientras que existe solapamiento entre cuerpos de agua y páramo de pajonal pero esto no sería un problema pues en la imagen se puede evidenciar claramente los cuerpos de agua y al momento de la clasificación se puede discriminar sin riesgo de confusión. Las únicas clases que presentan líneas paralelas más o menos próximas son los bosques de *Polylepis* y el bosque Altoandino, entre estas categorías existe un posible pero no tan evidente solapamiento.

2.3.2.1 Método supervisado

El método supervisado parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo. Esta familiaridad con la zona de estudio permite al interpretador delimitar sobre la imagen cierto número de áreas piloto (áreas de interés), que se consideran suficientemente representativas de las categorías que componen la leyenda.

Estas áreas sirven para entrenar al ordenador en el reconocimiento de las distintas categorías y este calcula los ND que definen cada una de las clases, para luego asignar el resto de los píxeles de la imagen a una de esas categorías en función de sus ND. Como resultado de este proceso se obtiene una nueva imagen, conforme se va efectuando la asignación de los píxeles se lleva un monitoreo de el índice de separabilidad el mismo que categoriza las coberturas y establece que no exista un solape entre las estas, como se muestra en la tabla 4, en este índice se utiliza valores de 0 a 2 expresándose este último como óptimo, es decir que a este nivel no existe errores de confusión o solapamiento

Tabla 6. Divergencia transformada entre categorías de la imagen 6327.

Tipo de Cobertura	Cuerpos de agua	Páramo de pajonal	Suelo Descubierto	Pastos y Cultivos	Bosque de Polylepis	Bosque Altoandino	Nubes	Sombras de nube
Cuerpos de agua	0,00	1.99	1.97	1.99	2.00	1.99	2.00	1.81
Páramo de pajonal		0,00	1.78	1.98	1.97	1.99	1.99	1.99
Suelo Descubierto			0,00	1.92	1.99	1.96	1.83	1.99
Pastos y Cultivos				0,00	1.96	1.97	1.99	1.99
Bosque de Polylepis					0,00	1.49	1.99	1.99
Bosque Altoandino						0,00	1.99	1.99
Nubes							0,00	2.00
Sombras de nube								0,00

Tabla 7. Divergencia transformada entre categorías de la imagen 5000.

Tipo de Cobertura	Cuerpos de agua	Páramo de pajonal	Suelo Descubierto	Pastos y Cultivos	Bosque de Polylepis	Bosque Altoandino	Nubes	Sombras de nube
Cuerpos de agua	0,00	1.92	1.99	1.99	1.99	1.96	2.00	1.61
Páramo de pajonal		0,00	1.99	1.97	2.00	1.98	2.00	1.95
Suelo Descubierto			0,00	1.99	2.00	1.99	1.97	1.99
Pastos y Cultivos				0,00	1.95	1.99	2.00	2.00
Bosque de Polylepis					0,00	1.77	2.00	2.00
Bosque Altoandino						0,00	2.00	1.97
Nubes							0,00	2.00
Sombras de nube								0,00

Los cuadros anteriores muestran el criterio de máxima probabilidad de la clasificación, que presenta en un promedio valores entre 1.97 y 2 en cuanto al páramo de pajonal, suelo descubierto, cuerpos de agua, y pastos y cultivos.

Los valores más bajos fueron entre 1.49 y 1.7 estos corresponden al bosque de *Polylepis* y Bosque Altoandino.

Cuando se culmina la asignación de los píxeles de la imagen se establecen umbrales de probabilidad para cada categoría, de tal manera que se rechacen los píxeles que presenten una probabilidad nula y baja. Éste criterio permitió generar una clasificación aceptable, pues la principal confusión que se dio, fue entre los bosque de *Polylepis* y Altoandino, este rango de valores corresponde a una separabilidad media, por lo tanto no fue necesario unificar dichas categorías.

A parte de contar con información de apoyo sobre cobertura vegetal 2001 del PNC, se puede diferenciar claramente los bosques Altoandino y de *Polylepis*, pues estas coberturas varían según la altitud, así, los bosque de *Polylepis* se encuentran en altitudes desde 3.500 a 4.400 m. s.n.m, mientras que el bosque Altoandino cubre principalmente las microcuencas de Llaviuco y Mazán y se ubican entre los 2.900 y 3.400 m. s.n.m. De modo que al momento de la clasificación supervisada, se pudo discriminar estas categorías según la altitud.

Una vez realizada la clasificación supervisada, a través del programa PCI 9.3 Geomática V. 9.10 se procedió al suavizado de las 3 imágenes éstas fueron sometidas a un filtro que consistió en una moda de 3 x 3 para eliminar el efecto sal – pimienta producto del proceso de clasificación y de esta forma homogenizar las clases resultantes.

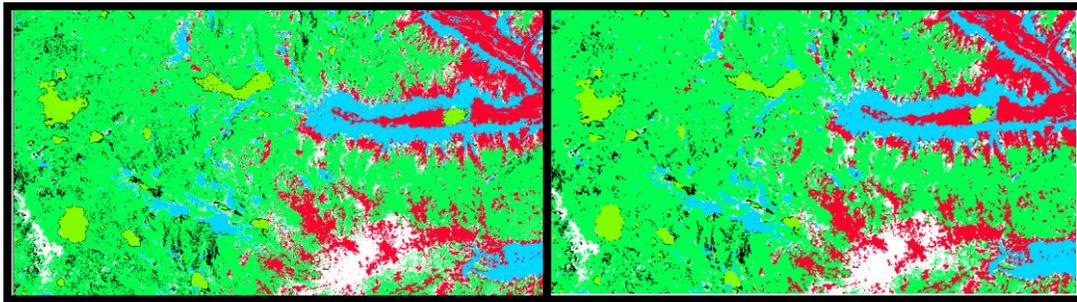


Figura 4. Imagen 6327 clasificada antes y después de la moda 3 x 3.

2.3.3 Pos – Procesamiento

En esta etapa se comprobó los resultados para ello en primer lugar se realizó una verificación en el campo (1.3 Fase de campo), en segundo lugar se cuantificó la calidad del producto final, a partir de las muestras relevadas en el campo se obtuvo la matriz de confusión en la cual son calculados diferentes parámetros que se describen a continuación:

Tabla 8. Parámetros medidos para la precisión de la clasificación.

PARÁMETRO	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN
PRECISIÓN GLOBAL	$PG = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N}$	Se calcula dividiendo el total de píxeles correctamente clasificados, por el número total de píxeles de referencia.
PRECISIÓN DEL PRODUCTOR	$PP\% = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100$	Indica la probabilidad de que un píxel de referencia sea correctamente clasificado. Es una medida del error de omisión que se produce cuando un píxel posee en el terreno una cobertura determinada y no es asignado en el mapa a esa clase.
PRECISIÓN DEL USUARIO	$PU\% = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100$	Muestra la probabilidad de que un píxel clasificado en el mapa verdaderamente represente esa categoría en el terreno. La desviación producida se denomina error de comisión.
ANÁLISIS CATEGÓRICO MULTIVARIADO	$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}$	Kappa (κ) mide el grado de ajuste debido solo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios. Un valor κ igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, mientras un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente debido al azar.

Fuente: Jensen, 1996, Story y Congalton, 1986, Hudson y Ramn, 1987.

2.3.3.1 Matriz de confusión

La matriz de confusión muestra los conflictos entre categorías, de esta forma, no solo conocemos la fiabilidad global de la clasificación, sino también la exactitud conseguida para cada una de las clases, así como los principales conflictos entre ellas.

Tabla 9. Matriz de Confusión

		Datos de referencia								
Datos de la Clasificación	Tipo de cobertura	1	2	3	4	5	6	TOTAL	Ex. P. (%)	E.O. (%)
	1	2574	8	62	48	0	0	2692	93.91	6.09
	2	12	647	0	1	0	0	660	97.15	2.85
	3	1	0	823	11	0	10	845	83.81	16.19
	4	154	11	94	273	2	1	535	77.78	22.22
	5	0	0	0	18	785	53	856	89.92	10.08
	6	0	0	3	0	86	296	385	82.22	17.78
	TOTAL	2741	666	982	351	873	360	5973		
	Ex. U. (%)	95.62	98.03	97.40	51.03	91.71	76.88			
	E.C. (%)	4.38	1.97	2.60	48.97	8.29	23.12			

Los números representan las categorías clasificadas: 1 Páramo de Pajonal, 2 Cuerpos de agua, 3 Pastos y Cultivos, 4 Suelo descubierto, 5 Bosque de *Polylepis*, 6 Bosque Altoandino. Ex.P y Ex. U. son las exactitudes del productor y usuario. E.O y E.C. son los errores de omisión y comisión.

Las filas se ocupan por las calases de referencia, y las columnas por las categorías deducidas de la clasificación. Lógicamente ambas tendrán el mismo número y significado, se trata de una matriz cuadrada: $n \times n$, donde n indica el número de categorías. _La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce acuerdo entre las dos fuentes (mapa y realidad), mientras los marginales suponen errores de asignación.

La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total expresa la fiabilidad global del mapa que en este caso fué del 90.37% esto quiere decir que 9 de

cada 10 superficies con esta cubierta han fueron discriminadas adecuadamente en esta clasificación. Los residuales en filas indican tipos de cubierta real que no se incluyeron en el mapa, mientras que los residuales en columnas implican cubiertas del mapa que no se ajustan a la realidad (errores de omisión y comisión respectivamente). En esta matriz se encontró problemas en la categoría de suelo descubierto que presenta valores relativamente altos de omisión 22.22 % y de comisión 48.97%.

Por otro lado mediante esta matriz se pudo determinar el coeficiente Kappa (κ), con esto se evaluó si la clasificación ha discriminado las categorías de interés con precisión significativamente mayor a la que se hubiera obtenido con una asignación aleatoria. Para ésta caso, el índice κ obtenido fue de 0.8677, lo que indica que la clasificación fue un 87 % mejor de lo esperada.

CAPÍTULO 3

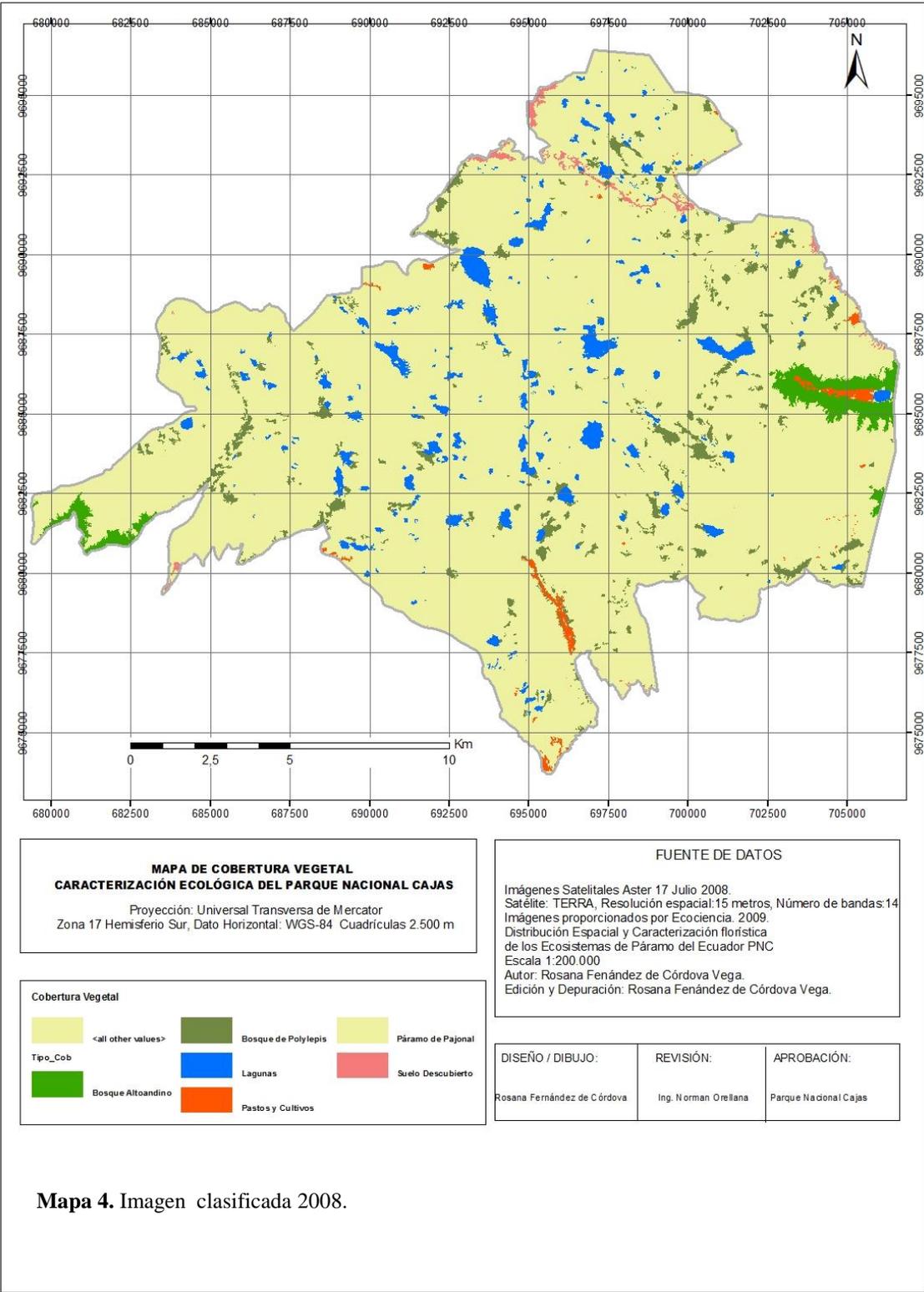
RESULTADOS

3.1 Mapa de cobertura vegetal 2008

La calidad del producto final fue valorada por diferentes indicadores en primer lugar se utilizó el índice de separabilidad, esto permitió llevar un control de la separabilidad entre categorías evitando el traslape, mediante el factor de la divergencia transformada se obtuvo valores entre 1.97 y 2 que denotan índices bastante aceptables mientras que los valores más bajos fueron 1.5 y 1.7 que corresponden a los bosques de *Polylepis* y altoandino.

Y por otro lado se utilizó matriz de confusión en la cual se obtuvo la fiabilidad global que fue del 90.37% que significa que 9 de cada 10 categorías fueron clasificadas correctamente y el índice k (kappa) que fue 0.86677, lo que indica que la clasificación fue un 87 % mejor de lo esperada. Esto, apoyado con la verificación in situ, asegura niveles aceptables de calidad del producto final, como resultado a continuación se muestra la imagen clasificada del año 2008, a ésta se le añadió una tabla de atributos con la descripción de las coberturas y área que ocupan dentro del PNC, las categorías clasificadas fueron páramo de pajonal, bosque altoandino, bosque de *Polylepis*, lagunas, pastos y cultivos y suelos descubiertos (Ver Fase de Campo, 1.3.1 Entrenamiento de áreas de interés).

Ésta información está disponible en formato shapefile, con proyección WGS_1984_UTM_Zone_17S.



3.2 Parcelas Permanentes de Monitoreo

El PNC, alberga 4 de la 7 especies registradas en el Ecuador, en la mayoría de parches predomina *P. reticulata*, en los sectores de Miguir, Huagrahuma y bordes de la carretera Molleturo – Naranjal, predomina la especie *P. incana*, en el sector de Soldados existe *P. weberbaueri*, mientras que en la parte occidental en el sector de Río Blanco y ventanas cohabitan *P. weberbaueri* y *P. lanuginosa* y existen algunos fragmentos de *P. reticulata*.

3.2.1 Estructura de los bosques de *Polylepis* spp

El bosque de *P. reticulata* presenta una estructura muy variable, con pendientes pronunciadas y muy poca intervención antropogénica (Tabla 10).

Mientras que *P. incana* presenta una estructura más bien homogénea en una superficie plana, los árboles se disponen de manera uniforme, posee una densidad de 91 individuos y *P. incana* es la especie dominante con el 98%.

Tabla 10. Estructura de bosques de *Polylepis* spp.

LOCALIDAD	Especie dominante en porcentaje	Altitud m.s.n.m	Densidad	Área Basal m ²
Sunincocha Chica	<i>Polylepis reticulata</i> 95%	3586	94	2,24
Huagrahuma	<i>Polylepis incana</i> 98%	3836	91	3,64

Fuente: Autora.

Al analizar la estructura horizontal en el bosque de *P. reticulata* el área basal total es de 2,24 m², los individuos de 10 - 20 cm ocupan el 59 % del área total y aportan el 40 % de masa vegetal, como se observa los individuos de 5 – 10 cm tienen una densidad del 27% y representan únicamente el 4 % del área basal, la mayoría de árboles se encuentran entre los 11 y 25 cm de diámetro, esto parece ser un patrón común dentro de la estructura de los bosques de *P. reticulata* (Minga *et al.*, 2008).

El bosque de *P. incana* presenta un área basal de 3,64 m², los individuos de >30 cm de diámetro aportan con el 48% de masa vegetal (Figura 5), este bosque presenta una

mayor cantidad de árboles grandes, contrariamente con lo que ocurre con el bosque de *P. reticulata*, mientras que los arboles entre de 10 – 30 cm representan juntos el 66% y aportan con el 50% del área basal.

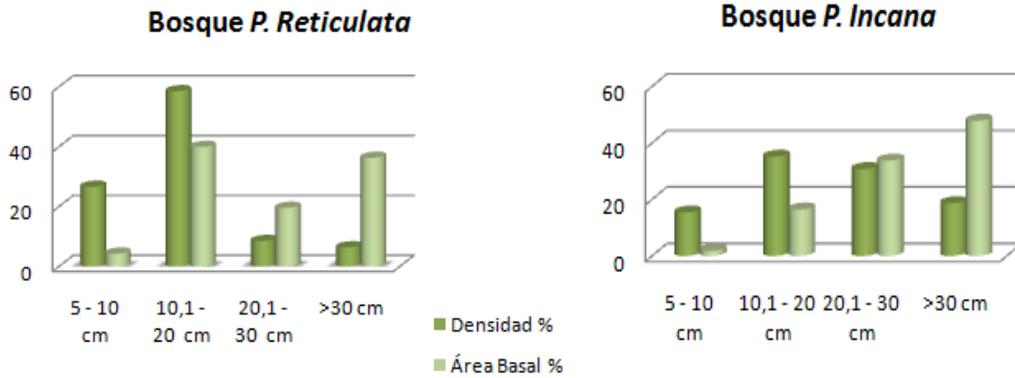


Figura 5. Densidad y área basal en bosques de *P. reticulata* y *P. incana*.

En cuanto a la estructura vertical en el bosque de *P. reticulata* predominan los arboles entre < 3 m a 5 m (Figura 6), las copas se traslapan, se juntan con otras ramas contiguas y forman una cubierta densa que se evidenció más en las partes internas del bosque, esto llegaría a ser un limitante para que se desarrollen nuevos individuos al interior del bosque pues la presencia de claros es restringida.

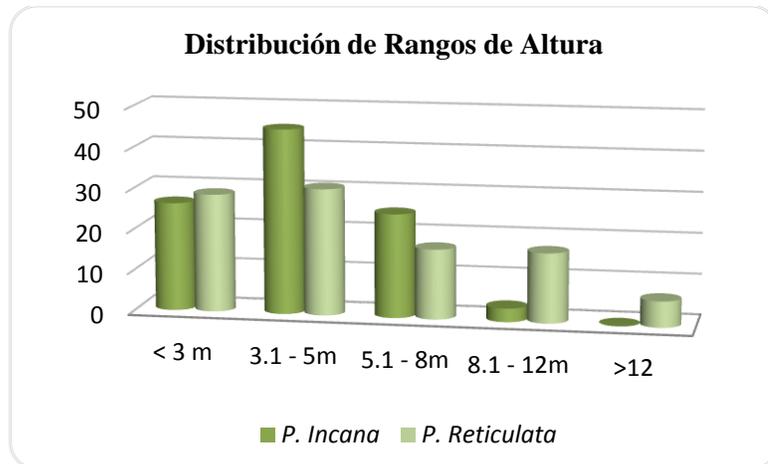


Figura 6. Distribución de rangos de altura de *P. incana* y *P. reticulata*.



Fotografía 14. Dosel cerrado en el bosque de *P. reticulata*.

El bosque de *P. incana* está conformado básicamente por individuos entre 3,1 m a 5 m ellos representan el 45% de los individuos, la presencia de nuevos individuos en este bosque es mayor que en el de *P. reticulata*, ya que los árboles están dispersos y el dosel no está cerrado completamente (Figura 6).

3.2.2 Composición florística de los bosques de *Polylepis* sp.

La densidad de especies arbustivas en *P. incana* fue de 116 por ha, y el área basal total es de 0,31 m² (Tabla 11). Las especies arbustivas dominantes son *Gynoxis* sp y *Berberis Lutea*. En cuanto al índice de valor de importancia (IVI), fueron *Gynoxis* sp. y *Miconia Salicifolia* las especies más importantes dentro del bosque. Existen especies arbóreas en el bosque de *P. incana* que son exclusivas, no registradas para remanentes dominados por *P. reticulata* (Minga, et al., 2008) es el caso de *Hesperomeles obtusifolia* y *Berberis Lutea*, sin embargo de ésta última se la registró dentro del bosque de *P. reticulata*.

Tabla 11. Importancia de especies en el bosque de *P. incana*

Especie	Densidad	Área Basal	Densidad (%)	Área Basal (%)	IVI
<i>Polylepis Incana</i>	61	0,273	53	88,98	142
<i>Gynoxis sp</i>	19	0,012	16	3,86	20
<i>Miconia Salicifolia</i>	10	0,017	9	5,60	14
<i>Berberis Lutea</i>	14	0,002	12	0,72	13
<i>Myrsine dependens</i>	7	0,002	6	0,57	7
<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	5	0,001	4	0,27	5
TOTAL	116	0,307	100	100	200

Fuente: Autora.

Para el bosque de *P. reticulata* se observa una densidad arbustiva de 286 individuos, existe un incremento significativo en densidad y diversidad de especies con respecto al bosque de *P. incana*. El área basal total de las especies arbustivas es de 0,45 m² las especies dominantes son *Gynoxis sp.* y *Miconia salicifolia* que aportan con el 10% y 35% de área basal respectivamente. Las especies más importantes son *P. reticulata*, *Miconia Salicifolia* y *Gynoxis sp.* (Tabla 12).

Tabla 12. Importancia de especies en el bosque de *P. reticulata*

Especie	Densidad	Área Basal	Densidad (%)	Área Basal (%)	IVI
<i>Polylepis Reticulata</i>	82	0,02	29	37	66
<i>Miconia salicifolia</i>	43	0,01	15	35	50
<i>Gynoxis sp.</i>	80	0,02	28	10	37
<i>Gynoxis buxifolia</i>	22	0,03	8	7	15
<i>Diplostephium glandulosum</i>	20	0,04	7	4	11
<i>Arcytophyllum vernicosum</i>	21	0,00	7	4	11
<i>Berberis Lutea</i>	13	0,16	5	2,5	7
<i>Gynoxis cuicochensis</i>	5	0,17	2	0,2	2
TOTAL	286	0,45	100	100	200

3.2.3 Regeneración natural

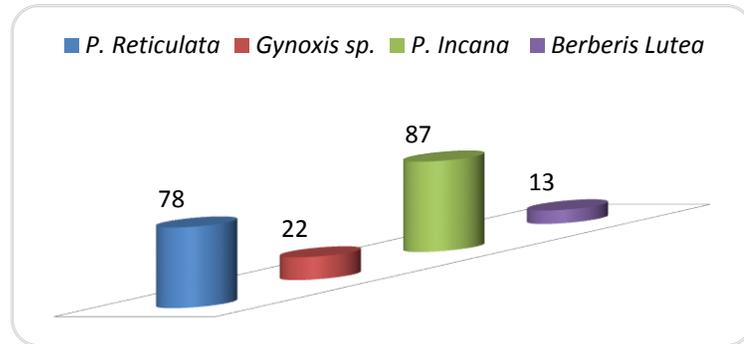


Figura 8. Regeneración natural en los bosques de *P. incana* y *P. reticulata*.

El bosque presenta una cubierta de hojarasca proveniente del descascaro de los árboles de quínoa y de ramas y troncos caídos (probablemente por extracción de leña).

Al analizar la regeneración natural en los dos bosques se registró una densidad baja de plántulas. Para el bosque de *P. reticulata* el 70% corresponde a *reticulata* mientras que el 30% a *Gynoxis sp.* En el caso de *P. incana*, el 87% pertenece a esta especie mientras que el restante a *Berberis Lutea*.

Esta densidad baja está directamente relacionada con falta de luz hacia el interior y parte baja del bosque por lo que las plántulas no resisten condiciones de sombra y mueren es así que la mayoría se localizan en los bordes y pequeños claros que se generan por la presencia de rocas o ramas caídas.

3.2.4 Diversidad y Composición florística de hierbas y leñosas del sotobosque

La diversidad total de hierbas y leñosas del sotobosque se evaluó mediante transectos de 200m². En el bosque de *P. incana* se encontró una diversidad de 33 especies, correspondientes a 20 familias de las cuales 7 son pteridofitas y 13 angiospermas siendo las predominantes *Asteráceae* y *Rosaceae*, y entre las pteridofitas registradas están: *Poaceae*, *Driopteridaceae* y *Aspleniaceae* (Figura 8).

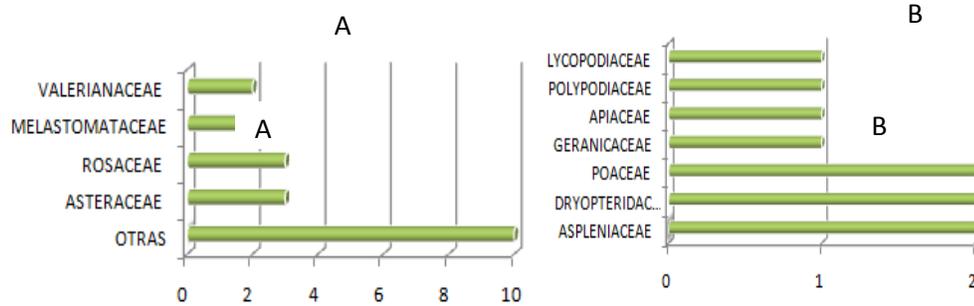


Figura 8. Distribución de especies por familias de *P. Incana*. A. Angiospermas. B. Pteridofitas.

En *P. Reticulata* se encontraron 37 especies pertenecientes a 25 familias de las cuales, 19 son Angiospermas las más representativas con *Asteráceae* y *Melastomateceae*, y 6 Pteridofitas (Figura 9).

Esta alta diversidad coincide con un estudio realizado en Oyacachi al norte del País, en donde se han registrado una riqueza entre 35 y 43 especies en transectos de similar tamaño en zonas ubicadas desde 3620 m.s.n.m (Romoleroux *et al.*, 2008).

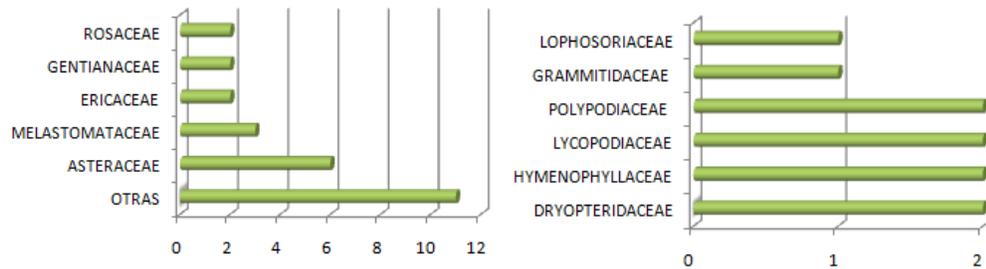


Figura 9. Distribución de especies por familias de *P. reticulata*. A. Angiospermas. B. Pteridofitas.

CAPITULO 4

DISCUSIÓN

4.1 Mapa de cobertura vegetal

La precisión de los datos obtenidos en cuanto a los cambios en la cobertura vegetal, es inferior a la que se puede lograr realizando un censo, la diferencia de las imágenes analizadas es de 7 años, la imagen que se utilizó para comparar los cambios es una imagen LANSAT del año 2001, y se encuentra proyectada en ARC SAM 56 , mientras que las imágenes del año 2008 son ASTER y tienen una proyección WGS- 84, estas imágenes se utilizaron porque tienen mejor resolución por lo tanto la clasificación tendría un nivel más alto de confiabilidad y efectivamente se disminuyó el traslape de categorías, los valores en la matriz de confusión demuestra valores aceptables lo que repercute en el valor de la fiabilidad global.

Debido a la resolución del sensor ASTER (15 m x 15 m) no fue necesario homogenizar las categorías que probablemente tendrían un traslape que son el bosque altoandino y el bosque de *Polylepis* y también porque estas categorías se discriminaron mediante el rango altitudinal en el que se ubican.

Al utilizar las imágenes satelitales ASTER, se esperaba poder discriminar no únicamente diferentes coberturas vegetales lo cual si se logró y con un índice de fiabilidad bastante aceptable, sino mediante el NDVI poder discriminar a nivel de especie dentro de los bosques de *polylepis*, este proceso no se pudo lograr , pues si bien la resolución espacial de las imágenes es buena , no se puede llegar a ese detalle porque se necesitaría utilizar fotografías aéreas y trabajar con más detalle por ejemplo a nivel de microcuencas.

4.2 Cambios en la cobertura vegetal

La generación del nuevo mapa de cobertura reveló cambios entre los años 2001 y 2008, que se evidenció en una pérdida de aproximadamente 22 ha de superficie de bosque de *Polylepis*, los principales cambios se dan en el sector de Miguir que han perdido un bosque adyacentes a la laguna Sunincocha, este constan en el mapa de cobertura vegetal 2001, pero al momento de realizar la verificación se probó que ha sido reemplazado por zonas de pastoreo pues la presencia de ganado es evidente (Fotografía 15).



Fotografía 15. Zona de pastoreo que reemplazó a un bosque de *Polylepis*.

Por otra parte los procesos naturales también han provocado pérdidas en cuanto a la vegetación, las lluvias en épocas de invierno produjeron algunos deslizamientos de tierra y rocas, los más evidentes observados en el tiempo de desarrollo de esta investigación se dieron en las pendientes de Llaviuco, en donde estos deslizamientos removieron la capa superficial y se llevaron a su paso la vegetación de estos lugares provocando la pérdida de la misma. Del mismo modo en el sector de Sunincocha se observó deslizamientos de rocas que ha cubierto parte de un bosque de *Polylepis*.



Fotografía 16. Deslizamiento en el Bosque Altoandino (Llaviuco).



Fotografía 17. Deslizamiento de rocas sobre un bosque de *Polylepis* (Sunincocha)

Sin embargo a pesar de la verificación en el campo y la diferencia de tiempo entre las imágenes 2001 y 2008 (Figura 10) no se observan cambios significativos, los procesos naturales son los principales causantes de las pérdidas de vegetación o alteración de estos, pues los bosques de *Polylepis* si bien presentan una pérdida de superficie, esta no es significativa al representarla en porcentaje, éstos bosques tienen procesos ecológicos lentos y principalmente antes que un crecimiento en su estructura se observa una maduración vegetal.

Tabla 13: Cobertura vegetal del año 2008.

Cobertura	Superficie ha 2008
Bosque Altoandino	547
Bosque de <i>Polylepis</i>	1041
Lagunas	1042
Pastos y Cultivos	179
Páramo de Pajonal	25630
Suelo Descubierta	160
Total	28600

En cuanto a la superficie de los pastos y cultivos esta ocupa 179,04 ha principalmente en los sectores de Llaviuco, Soldados, y en el sendero Soldados-Lorourco-Ventanas, así mismo en las partes bajas de Miguir (Tabla 13). Con respecto a los suelos descubiertos, estos ocupan una superficie de 160,25 ha, y se localizan en sitios de amortiguamiento, principalmente al oeste de la microcuenca de Patul, las zonas adyacentes a la carretera que cruza el PNC, en el sector tres cruces y en la parte sur la vía Chaucha – Soldados – Sayán.

Los suelos descubiertos presentes en el PNC, no ocupan grandes superficies sin embargo se debe tener principal atención a los sitios en donde se asientan comunidades como Soldados, Angas, Patul, Miguir, (Ver Anexo 3), pues es aquí en donde predominan. Por otro lado, se observó que en zonas donde se efectúa extracción minera, como el sector Río Blanco, si bien los campamentos no están dentro de la jurisdicción del PNC, éstos causan un efecto de borde, ya que las vías que se han abierto

han ocasionado erosión y deslizamientos de rocas que han afectado a la vegetación nativa del Parque.



Fotografía 18. Camino abierto, sector Río Blanco.

Con respecto a las coberturas de páramo de pajonal y cuerpos de agua estos no presentan un cambio significativo en comparación con la cobertura del año 2001.

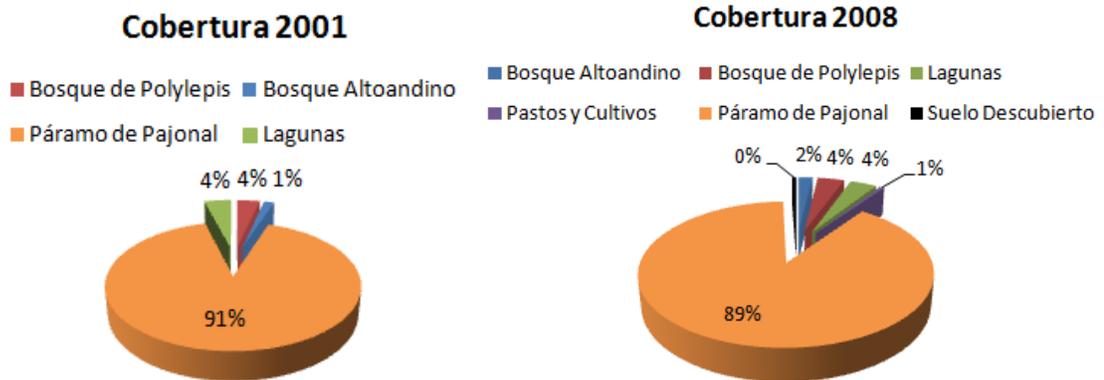


Figura10. Porcentaje de Cobertura vegetal del los años 2001 y 2008.
Fuente: Autora

Por otro lado con respecto a la zonificación de los bosques de *Polylepis* la mayor parte de los parches presentan un área entre 0,5 y 1 ha sin embargo se registraron bosques con una superficie extensa, como el bosque de San Luis que tiene una extensión de 30 ha, el bosque del sector de Chuspihuayco que presenta 2 parches principales de *Polylepis* estos

tienen 25 y 35 ha aproximadamente, son los más grandes de Parque y se ubican adyacentes a las lagunas de Chuspihuayco.

Del mismo modo entre los remanente de bosque que necesitan más atención están el bosque de San Luis, que actualmente está en proceso de recuperación, los bosques del sector de soldados que presentan intervención y procesos de extracción de leña al igual que los bosques ubicados en las zonas de amortiguamiento en Miguir y Huagrahuma, esto sumado a la presencia de agro ecosistemas y ganado, que representa una amenaza para la conservación de los bosques.

4.3 Estructura y composición de los bosques de *Polylepis* sp.

Los bosques de *Polylepis incana* y *reticulata* presentan distintas características en cuanto a la estructura como al estado de conservación, es interesante observar los efectos de la intervención que ha sufrido el parche de *Polylepis incana* en comparación con el bosque de *P. reticulata*, actividades como el pisoteo, pastoreo de ganado y contaminación, afectan de forma directa al crecimiento, regeneración de nuevos individuos así como a la riqueza y abundancia de especies arbustivas y vasculares.

En cuanto al área basal en el bosque de *P. reticulata* predominan los arboles de diámetro medio es decir de 10 a 20 cm esto resulta ser un patrón de los bosques de *P. reticulata*, esto es corroborado por estudios realizados por Minga *et.,al* 2008, en 9 parcelas de *P. reticulata* dentro del PNC. El bosque de *P. reticulata* presenta una mayor diversidad florística y de especies en comparación con el bosque de *P. incana*, que presenta un alto grado de intervención, y su estructura y estado se encuentran alterados, principalmente se puede observar troncos y ramas caídas, esto sumado al dosel cerrado impide el crecimiento de nuevos individuos que está restringidos a los bordes del bosque, esto resulta ser un problema porque la cantidad de plántulas dentro de los bosques es muy baja, lo que se refleja en el proceso de regeneración natural que no se lleva a cabo de forma optima, por lo que la permanencia y crecimiento de los bosques de *Polylepis* es afectada dando lugar a una pérdida de superficie a lo largo de los años.

Por otro lado, se registró las especies asociadas a los bosques de *Polylepis* y se encontró un alta diversidad de especies arbustivas como vasculares (67 especies) entre ellas están *Miconia Salicifolia* que puede soportar condiciones de penumbra y crece con *Polylepis* a pesar del dosel cerrado así también como *Gynoxis* sp. Lo que demuestra alta diversidad y especificidad de estos ecosistemas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La clasificación supervisada presenta niveles aceptables de separabilidad fue un 87% mejor de lo esperada. El producto final fue un mapa de cobertura vegetal de año 2008, que incluye una tabla de atributos en la que consta el detalle de la cobertura vegetal y la superficie que estas ocupan dentro del Parque Nacional Cajas.

Al momento de generar información mediante imágenes satelitales se recomienda obtener una imagen que abarque toda el área del PNC, ya que al momento de realizar los procedimientos resulta muy extenso trabajar en este caso con tres imágenes y repetir el mismo proceso para cada una.

Se debe prestar principal atención a la calidad de las imágenes porque la presencia de nubes limita mucho la calidad final del trabajo y el resultado puede verse alterado.

Las imágenes ASTER utilizadas para la generación del mapa de cobertura vegetal 2008 fueron de alta resolución y se logró clasificar las diferentes categorías con un índice de fiabilidad global del 90% que indica que 9 de cada 10 categorías fueron clasificadas correctamente.

A pesar que la teledetección es una herramienta de gran alcance tiene sus limitantes, si bien es de gran utilidad para realizar observaciones generales de la vegetación en sitios en donde es difícil el acceso, esto debe ser reforzado con la verificación en el campo, es por eso que la información generada a partir de las imágenes satelitales tiene que ser comprobada in situ para obtener una confiabilidad del 100%.

Los resultados obtenidos no pretender ser definitivos, ya que son derivados de la información disponible, en un futuro se obtendrán imágenes con mejor resolución que permitan generar información con más detalle y precisión.

Es necesario que se actualiza cada cierto tiempo (lo recomendable es cada 10 años), los cambios que ocurren en la cobertura vegetal para llevar un monitoreo de lo que ocurre

con la vegetación, cuales son los factores que influyen y con esta información poder definir necesidades de conservación y protección que se incluyan en el Plan de Manejo del Parque Nacional Cajas.

La superficie de bosques de *Polylepis* presenta una pérdida de 22 ha. en porcentaje es prácticamente imperceptible esta pérdida, sin embargo en los próximos años probablemente la disminución de superficie sea más visible ya que los bosques de *Polylepis* son ecosistemas de alta especificidad y presentan un crecimiento lento por lo tanto su recuperación tomaría décadas.

La pérdida de superficie de bosques de *Polylepis*, es un proceso que se viene dando en los últimos 40 años ocurre principalmente por las malas prácticas agrícolas desarrolladas por los habitantes de los altos andes entre ellas el pastoreo con densidades de ganado muy superiores a la capacidad sostenible del ecosistema, las actividades extractivas y la quema de pastizales por lo que la regeneración de los bosques se ve restringida y en el transcurso del tiempo los bosques desaparecen.

Se debe prestar principal atención a las zonas de amortiguamiento; Huagrahuma, Miguir, Patul, pues la implementación de agroecosistemas en estos lugares sumado al pastoreo y actividades extractivas representan una amenaza para el equilibrio ecológico de los bosques aledaños.

Las actividades turísticas llevadas a cabo dentro del PNC deben ser mejor controladas, se debe evitar que sea desordenado y regular la cantidad y frecuencia de la guianza con caballos para evitar el pisoteo excesivo y mantener un equilibrio con la capacidad de

Una de las principales ventajas al momento de utilizar las PPM fue el carácter de permanencia que tienen ya que el trabajo duro se lo realiza solamente una vez, al momento de establecerla y realizar el marcaje de los individuos ya que los monitoreos se los puede realizar de forma periódica y no se necesitara realizar nuevamente el marcaje

y la delimitación , los costos de la parcela resultan ser de cierto modo un limitante, pues es indispensable que exista financiamiento para realizar este tipo de monitoreos.

Para que las Parcela permanentes de monitoreo cumplan con la función con la que fueron establecidas es necesario que Una vez pasada la etapa de recuperación del bosque, se continúe con el monitoreo con cierta frecuencia, para obtener información que permita analizar la ecología de los bosques y del ecosistema en general y permita evaluar las influencias de las actividades de manejo sobre aspectos ecológicamente importantes de la estructura y composición del bosque y la respuesta de las especies, esto permitirá determinar si las prácticas que se están ejecutando provocan impactos ecológicamente inaceptables, y si es probable que tales impactos ocurran, es necesario modificar el plan de manejo para evitarlos en el futuro.

Es necesario que se tenga un numero alto de muestras para que disminuya el error del muestreo, también es necesario antes de establecer las PPM, determinar los indicadores que se medirán pues la sensibilidad de medición tenderá a variar entre indicadores las características de los bosques varían con el tiempo y cambian con la sucesión, el desarrollo y los disturbios naturales por eso las mediciones de los atributos del bosque en dos momentos o lugares diferentes probablemente van a diferir en alguna medida.

BIBLIOGRAFÍA

ASTER. Servicios de Información geográfica, Imágenes satelitales. <http://www.geosat.com>. 2007. [Consulta 19 marzo 2010].

ASTUDILLO, P., TINOCO, B., GRAHAM, C. Análisis de las poblaciones del picocono gigante (*oreomanes fraseri*) en el parque nacional cajas, especie amenazada restringida a los bosques de *Polylepis*. Abril 2008. Pp. 22.

BRENES. G. “Parcelas de muestreo permanente, una herramienta de investigación de nuestros bosques”. Programa de Restauración y Silvicultura del bosque seco. 1997.

BELTRÁN B. “Composición florística y estructurada del bosque primario en Mazán”. Tesis previa a la obtención del título de Biólogo. Universidad del Azuay. Cuenca Ecuador. 2001. 55pp.

BATISTA Enrique. Empleo de imágenes satelitales para el descifrado y clasificación en la creación y actualización de los mapas Topográficos.. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. ISSN: 1.131-9.100. <http://www.mappinginteractivo.com> Enero 2009. [Consulta 23 Septiembre 2010].

CALDERON, R. LOZADA, V. “Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*”. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Universidad Politécnica Nacional. Quito Ecuador, Abril 2010. 144 pp.

Cartografía básica IGM, Cedido por ETAPA, 12/2002/Mapa Físico del Parque Nacional Cajas/Proyecto: Plan de Manejo del Parque Nacional Cajas/Escala de impresión 1:150.000, Escala original 1:50.000. Datum: Provisional de Sud-América 1956.

CIEJACKS, A., N. K. RUHR, K. WESCHE Y I. HENSEN. 2007. Effects of altitude and livestock on the regeneration of two tree line forming *Polylepis* species in Ecuador. *Plant Ecology*.

CHACÓN, G. Un amazón ecocrítico par el contexto andino: Cuestionando Dogmas para el manejo ambiental. 2006.

CHACÓN,G., GAGNON,D. y PARÉ,D.2006. Comparison of soil properties of native forest, *Pinus patula* plantations, and their adjacent pastures, in the Andean highlands of southern Ecuador: land use history or recent vegetation effects? Diciembre 2009, 25, 427-433.

CEMAPRIMES. Plan de Manejo Integral del Parque Nacional Cajas. <http://www.etapa.com.ec/pag/PNC/descripciónbiofisica>.2005. [Consulta 27 Agosto 2010].

CRESCO, V. PINOS, N. “Determinación del Rango de Variación del Índice de Vegetación con imágenes satélite en el Parque Nacional Cajas”. Tesis previa a la obtención del título de Biólogo. Universidad del Azuay. Cuenca Ecuador. 2007. 142pp.

DIFORPA. Diversidad Forestal de la Cuenca del Río Paute . 2001. Informe técnico UDA-Fundacyt.

ECOCIENCIA. Distribución Espacial y Caracterización florística de los Ecosistemas de Páramo del Ecuador.2009.

FREILE, J. F. Y T. SANTANDER. 2005. Áreas Importantes para la conservación de las aves en Ecuador. Pp283-470 en BirLife Internacional y Conservation Internacional. Áreas importantes para la conservación de las aves en los Andes tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. BirdLife Internacional. Quito, Ecuador.

GRANIZO, T., C. PACHECO, M. B. RIBADENEIRA, M. GUERRERO, L. SUÁREZ. (Eds.). 2002. Libro rojo de las aves del Ecuador. SIMBIOE -Conservación Internacional – Eco Ciencia - Ministerio del Ambiente - UICN. Serie Libros Rojos del Ecuador, tomo2 Quito, Ecuador. Pp. 462.

HOFSTEDE. R., SEGARRA. P y MENA, (Eds). 2003. Los Páramos del Mundo. P. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/ NC-UICN/Ecociencia. Quito.

JENSEN, J.R. 1996. “Introductory digital image processing: a remote sensing perspective”. 2nd. Ed., Prentice Hall Series in Geographic Information Science, Upper Saddle River, New Jersey.

KESSLER, J. 2002. The *Polylepis* problem: Where do we stand? Ecotropica. Pp.110.

KESSLER, J. Y P. DRIESCH. 1993. Causas e historia de la destrucción de los bosques altoandinos en Bolivia. Ecología en Bolivia 21: 1-18.

MINGA, D., VERDUGO A., CLAVIJO X., CHACÓN G. Composición Florística, Productividad y Regeneración natural en Bosques de quínoa (*Polylepis spp.*) En el parque Nacional Cajas. Cuenca Ecuador 2008, 37 pp.

MOLINA, M. 1988. Parcelas de Bosque Permanente en Bosque Natural. Tenoforest del Norte, S.A. (Mimeo). 11 pp

PRO AVES. Colombia. 2007. “Esperanza para los bosques de Polylepis: Lineamientos estratégicos para la conservación de los bosques de *Polylepis* en Colombia”. Pp. 20

PROYECTO PÁRAMO. Páramos en el Ecuador <http://www.paramo.org>. 2007. [Consulta 23 diciembre 2010].

RODRIGUEZ, S. 2007. Plan de zonificación y manejo recreacional y turístico. Parque Nacional Cajas. Etapa. Cuenca, Ecuador.

SPERANZA. F. y H. Zerda. Clasificación digital de coberturas vegetales a partir de datos satelitales multiespectrales. Córdova Argentina. 2001.

ULLOA. C, ÁLVAREZ. S, JORGENSEN. P Y MINGA.D. Cien plantas silvestres del páramo. Parque Nacional Cajas – Etapa_ Missouri Botanical Garden. Cuenca, Ecuador. 2004.

ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico de especies asociadas a *Polylepis* sp.



Werneria Pumila.



Hypericum aciculare.



Polylepis Incana.



Polylepis Reticulata.



Miconia Salicifolia.



Aa.



Diplostegium glandulosum.



Epidendrum tenuicaule.



Hackelia mexicana.



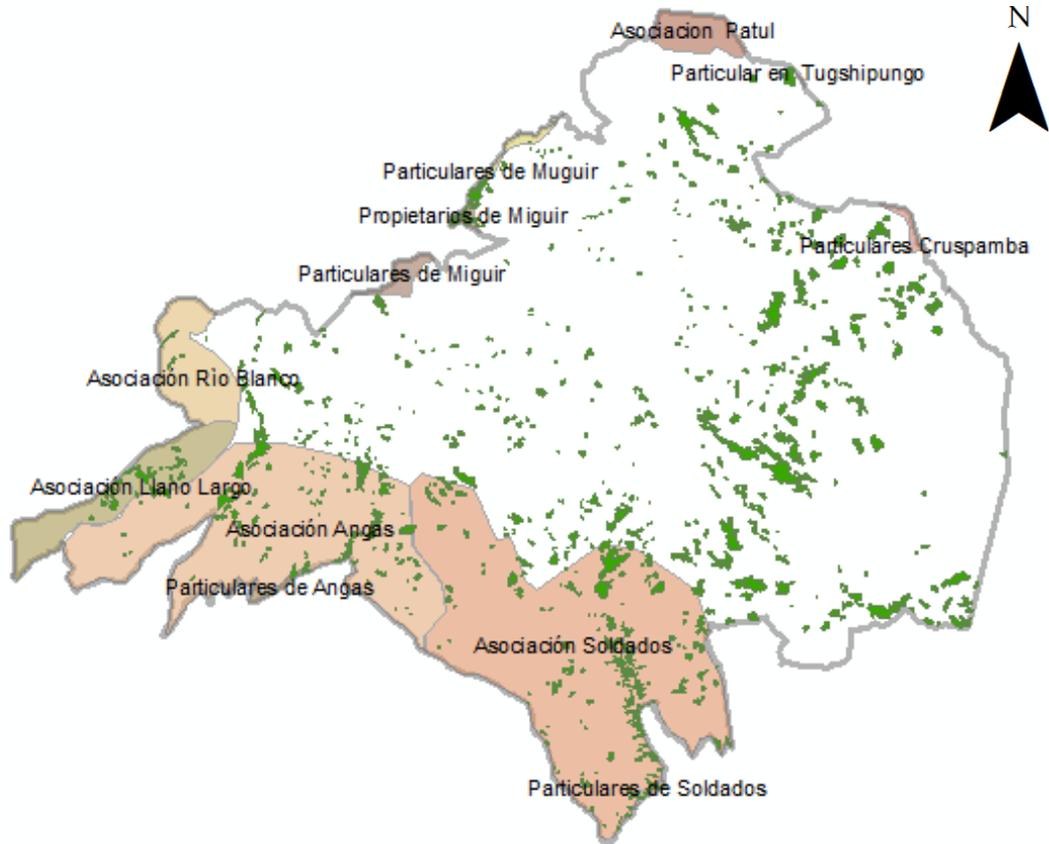
Berberis Lutea.

Anexo 2. Especies asociadas a *Polylepis* sp.

FAMILIA	ESPECIE
ALSTROEMERIACEAE	Bomarea sp.
APIACEAE	Arracacia elata H. Wolf.
	Arracacia elata H. Wolf
ASPLENIACEAE	Asplenium
ASTERACEAE	Mikania
	Diplostephium glandulosum Hieron.
	Baccharis sp.
	Gynoxys cuicochensis Cuatrec.
	Gynoxys sp.
	Diplostephium ericoides (Lam.)
	Diplostephium sp.
	Loricaria thuyoides (Lam.) Sch. Bip.
	NI
	Pentacalia arbutifolia (Kunth) Cuatrec.
	Werneria pumila Kunth
BERBERIDACEAE	Berberis lutea Ruiz & Pav.
BLECHNACEAE	Blechnum luxense
BORAGINACEAE	Hackelia mexicana (Schltdl. & Cham.) I.M.Jhonst.
BUDDLEJACEAE	Buddleja incana Ruiz & Pav.
CARYOPHYLLACEAE	Stellaria recurvata Willd.Ex Schltdl.
CLUSIACEAE	Hypericum Aciculare
COMPOSITAE	Taraxacum officinale Weber ex F.H.Wigg.
CYATHEACEAE	Cyathe sp
DRYOPTERIDACEAE	Elaphoglossum sp.
	Elaphoglossum sp. 2
	Polystichum sp.
ERICACEAE	Vaccinium floribundum Kunth.
	Pernettya prostrata (Cav.) DC.
FABACEAE	Lupinus mycrophyllus Desr.
GENTIANACEAE	Gentianella longibarbata (Gilg) Fabris
	Gentianella hyssopifolia (Kunth) Fabris
GERANICACEAE	Geranium reptans
GRAMMITIDACEAE	Grammitis sp.
HYMENOPHYLLACEAE	Trichomanes sp.
	Hymenophyllum sp.
LOPHOSORIAACEAE	Lophosoria quadripinnata (J.F.Gmel.) C.Chr.
LYCOPODIACEAE	Huperzia sp.
	Lycopodium sp.
MELASTOMATAACEAE	Miconia salicifolia (Bonpl. ex Naudin) Naudin.
	Miconia chionophila Naudin.
	Brachyotum jamesonii Triana
MYRCINACEAE	Myrsine dependens (Ruiz&Pav). Spreng
ORCHIDACEAE	Epidendrum tenuicaule F. Lehm. & Kraenzl.
	Aa
OXALIDACEAE	Oxalis lotoides Kunth
PIPERACEAE	Peperomia graveolens Rauh&Barthlott

POACEAE	Broumus catharicus
	Neurolepis Villosa L.G. Clark.
	Calamagrostis intermedia (J. Presl) Steud
POLYGONACEAE	Rumex acetosella
	Paspalum Bonplandianum Fluggé
POLYGALACEAE	Monnina crassifolia (Bonpl.) Kunth
POLYPODIACEAE	Campyloneurum sp.
	Polypodium sp. 1
PTERIDACEAE	Jamesonia goudotii (Hieron).
ROSACEAE	Hesperomeles obtusifolia (Pers.) Lindl
	Polylepis reticulata Hieron.
	Lachemilla orbiculata (Ruiz & Pav.) Rydb.
	Polylepis incana Kunth
RUBIACEAE	Arcytophyllum vernicosum Standl.
	Galium hypocarpium (L.) Endl. ex Griseb
SAXIFRAGACEAE	Ribes lehmannii Jancz.
SOLANACEAE	Salpichroa Diffusa
	Budleja incana
VALERIANACEAE	Valeriana hirtella Kunth
	Hackelis costarricensis

Anexo 3. Mapa de Presiones del PNC.



Fuente: SIA. Parque Nacional Cajas 2001.

Anexo 4. Distribución geográfica del género *Polylepis* en el Ecuador.

Espece	Distribución en Ecuador	Altitud msnm	Cordilleras	Distribución por País
<i>P. incana</i>	Azuay, Bolívar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha, Tungurahua	2700– 4300	Occidental y Oriental	Ecuador y Perú
<i>P. lanuginosa</i>	Azuay, Bolívar, Cañar, Chimborazo	2800– 3250	Occidental	Endémica de Ecuador
<i>P. microphylla</i>	Chimborazo	3500– 4100	Occidental	Ecuador y Perú
<i>P. pauta</i>	Carchi, Cotopaxi, Imbabura, Napo, Pichincha	3800– 4200	Oriental	Ecuador y Perú
<i>P. reticulata</i>	Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Pichincha, Tungurahua	2750– 4300	Occidental y Oriental	Ecuador y Perú
<i>P. serícea</i>	Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, El Oro, Loja, Napo, Pichincha	3500– 4140	Occidental y Oriental	Venezuela hasta Perú
<i>P. weberbaueri</i>	Azuay, Cañar	3500– 4100	Occidental	Ecuador y Perú

Fuente: Romoleroux *et al.* 2008.

Anexo 5. Sistemas y características del sensor ASTER.

SENSORES ASTER						
Subsistema	Banda	Rango espectral (μm)	Resolución radiométrica	Precisión absoluta	Resolución espacial	Niveles de cuantización de la señal
VNIR	1	0.52 -060	NE Δp 0.5%	$\leq \pm 4\%$	15m	8 bits
	2	0.63-069				
	3N	0.78-0.86				
	3B	0.78-0.86				
	4	1600- 1700	NE $\Delta p \leq 0.5\%$	$\leq \pm 4\%$	30m	8 bits
	5	2145- 2185	NE $\Delta p \leq 1.3\%$			
	6	2185- 2225	NE $\Delta p \leq 1.3\%$			
SWIR	7	2235- 2285	NE $\Delta p \leq 1.3\%$			
	8	2295- 2365	NE $\Delta p \leq 1.0\%$			
	9	2360- 2430	NE $\Delta p \leq 1.3\%$			
	10	8.125- 8475	NE $\Delta p \leq 0.3\%$		90m	12 Bits
TIR	11	8475- 8825		$\leq 3\text{K}$ (200- 240K)		
	12	8925- 9275		$\leq 2\text{K}$ (240- 270K)		
	13	1025- 1095		$\leq 1\text{K}$ (270- 340K)		
	14	1095- 1165		$\leq 2\text{K}$ (340- 370K)		

Fuente: GEO SAT 2009

