



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE PAISAJE PARA
UN DIAGNÓSTICO BASE DE LA INTEGRIDAD ECOLÓGICA
DE LA SUBCUENCA DEL RÍO LA CHIMBA MEDIANTE EL
USO DE HERRAMIENTAS GEOINFORMÁTICAS Y DE
TELEDETECCIÓN**

PABLO FRANCISCO CABRERA BARONA

Sangolquí-Ecuador

Mayo del 2008

Certificación

Certificamos que el presente Proyecto de Grado titulado “Análisis de la Estructura actual de Paisaje para un Diagnóstico base de la Integridad Ecológica de la Subcuenca del Río La Chimba mediante el uso de herramientas geoinformáticas y de teledetección” ha sido elaborado en su totalidad por el señor Pablo Cabrera, bajo nuestra dirección.

Sangolquí, _____ de mayo del 2008.

Dr. Modesto Correoso
DIRECTOR

Ing. Oswaldo Padilla
CODIRECTOR

RESUMEN

El presente proyecto de grado trata sobre el análisis de estructura del paisaje de la Subcuenca del Río La Chimba, ubicada dentro de la Cuenca del Río Guayllabamba, Provincia de Pichincha. Este análisis se realiza a través de la aplicación de medidas de paisaje a las diferentes coberturas vegetales y no vegetales presentes en la zona de estudio.

La base teórica para la metodología aplicada, se basa en una parte de la teoría de ecología de paisaje, que explica que un paisaje puede expresarse como el conjunto de parches correspondientes a las diferentes coberturas existentes en un lugar, y que constituyen una variable indicadora clave de las características estructurales y funcionales de un paisaje. Por tal razón, se tomo como insumo para el análisis de paisaje, al mapa de cobertura vegetal y uso de suelo de la zona de estudio.

Para generar dicho mapa, se utilizó herramientas de teledetección y procedimientos de análisis digital de imágenes, para obtener las medidas de estructura de paisaje, se utilizó operaciones y procedimientos geoinformáticos en ArcGis y Fragstats, que permitieron obtener de manera muy eficiente y eficaz los resultados.

Estas medidas de paisaje, explican de una manera cuantificable la estructura de las coberturas vegetales y no vegetales de la cuenca, permitiendo obtener conclusiones sobre la funcionalidad ecológica del lugar, y por lo tanto, lograr tener una diagnóstico base de su integridad ecológica, como también, es un aporte para la ciencia de ecología de paisaje en el país.

El estudio realizado demostró que la Subcuenca presenta coberturas diversas, tanto naturales, como de origen antrópico, al mismo tiempo que cada cobertura presentó características estructurales específicas respecto a las métricas de paisaje analizadas.

SUMMARY

The present project is about the study of the landscape structure of La Chimba River Basin that is located in the Guayllabamba Basin, Pichincha Province. The project works with landscape metrics that are measure respective the natural and no natural covers in the study zone.

The theory base for the methodology that is used in this project, is related to the landscape ecology, that explains a landscape can be the conjunct of patches of different type of covers, understanding this covers as a key ecological variable of a landscape structural and functional characteristics. For this reason, I used the vegetation and land use map of the study zone for the landscape analysis.

To generate this map, I used teledetection tools and image digital analysis process, and to calculate the landscape metrics, I used process and operations of geoinformatic, using ArcGis and Fragstats software, in order to obtain effective and efficient results.

These landscape metrics quantifies the structure of natural and no natural covers on the study zone, and permit to have conclusions about the ecological functionality, and in consequence, to have a basic diagnostic of the ecology of the study zone. This study also contributes for the development of the science of landscape ecology in Ecuador.

The study demonstrates that the La Chimba Basin presents a diversity of covers, naturals and no naturals, and every cover have specific structural characteristics related with the analyzed landscape metrics.

DEDICATORIA

*A mi Familia, por
el cariño, dedicación y fortaleza que
siempre me han dado y la luz con la que han sabido guiar mi vida*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, abuelos y hermano, por su amor, confianza y apoyo, en todos los aspectos de mi vida

A todos quienes conforman la Corporación Grupo Randi Randi, en especial a Carla Gaviláñez, Carlos Ponce, César Cisneros, Paola Valenzuela y David Suárez, por su amistad, constante apoyo y valiosos consejos recibidos durante el desarrollo de mi Tesis

A Charles Cachipuendo y Roberto Cachipuendo de CODECHIM, por la ayuda logística recibida en los trabajos de campo y la facilitación de información para la realización de esta Tesis

Al Dr. Modesto Correoso y al Ing. Oswaldo Padilla, Director y Codirector de mi Tesis respectivamente, por su guía y revisión durante el desarrollo del presente Proyecto

A mis amigos y amigas en especial a Pablo, Carlos, Jorge, Fernanda, Verónica, María José, Pamela, Carolina y Jessica, por su sincera amistad, apoyo, y la satisfacción de estos años de haber crecido como personas, juntos

A María del Cisne, por su apoyo incondicional

A la Ing. Gioconda Remache (WCS), Ing. Christian Martínez (EcoCiencia), Ing. Susana Arciniegas e Ing. Edison Bravo (IGM), Ing. Guillermo Beltrán (ESPE), Ing. Luis Ordoñez (EcoPar) e Ing. Lino Verduga (CLIRSEN), por sus consejos.

PRÓLOGO

Caracterizar la estructura del paisaje ha sido en los últimos años una metodología muy utilizada para el estudio de la heterogeneidad y fragmentación de un territorio dado, características que contienen en sí repercusiones ambientales que intervienen en la ecología del lugar.

Durante muchos años el concepto de estructura de paisaje fue adquiriendo forma, y ya, en 1986, Forman y Godron establecen las pautas para su actual definición al exponer el concepto de paisaje como una matriz donde se encuentran elementos llamados parches y corredores los cuales son cuantificables en cuanto a su tamaño, forma y distribución espacial.

El interés que ha despertado en la comunidad conservacionista el tema de estructura de paisaje como una herramienta de evaluación, aunque general, pero, significativa, del estado ecológico de un lugar, ha impulsado a la Corporación Grupo RANDI RANDI¹ a plantear el estudio de estructura de paisaje en la Subcuenca del Río La Chimba para contar con información que permita evaluar la integridad ecológica de la Subcuenca, es decir, dará una idea de cómo se encuentra la ecología del lugar y que medidas tomar para una adecuada gestión ambiental.

En el país existen pocos estudios aplicativos que tienen que ver con el tema de análisis del paisaje, por lo que el presente proyecto es un aporte a la ciencia de ecología de paisaje en el país, y servirá como apoyo para los estudios territoriales y de conservación de la Subcuenca, que se puedan desarrollar a futuro.

¹ La Corporación Grupo Randi Randi (CGRR) es una institución que trabaja en proyectos de conservación y desarrollo sustentable con enfoque de género orientados al adecuado manejo de los recursos naturales. El nombre de la Corporación, Randi Randi, viene de una expresión kichwa que recoge el sentido de reciprocidad. Dirección: Calle Bourgeois N34-389 y Abelardo Moncayo, Quito. Telefax: (593-2)2434164/2431557. E-mail: administración@randirandi.org

GLOSARIO

Análogo: Correspondiente a algo físico, material, tangible.

Ángulo cenital: Es el ángulo comprendido entre la dirección de una onda radiada desde del sol y la normal de la superficie local.

Ángulo de elevación: Es el ángulo comprendido entre la dirección de una onda radiada desde el sol y la horizontal.

Antrópico: Relativo o debido al ser humano

Archivo Shape: Es un archivo de extensión .shp que contiene información en formato vector.

Área núcleo: Es el área interior de un parche que no se ve afectada por el efecto de borde del mismo parche.

Áreas de entrenamiento: Son las áreas en las cuales los valores de los píxeles que las conforman representan a una clase definida previamente.

Banda: Conjunto de longitudes de onda con características espectrales similares.

Corredor: Una porción alargada de territorio que guarda característica diferentes a la matriz que la rodea

CODECHIM: Consorcio para el Desarrollo Sustentable de la Subcuenca del Río La Chimba.

Cobertura Vegetal: Porcentaje de territorio cubierto por una formación vegetal específica

Efecto de Borde: Es la zona que se encuentra entre el límite externo del parche y el área núcleo y se caracteriza por ser una zona de transición entre la matriz paisajística y el interior del parche.

Espectro electromagnético: Gama o conjunto de las diferentes longitudes de onda que genera el sol.

Filtro: Matrices numéricas cuya finalidad es atenuar o acentuar los valores numéricos de una imagen determinada.

Fragmentación de hábitat: Reducimiento, aislamiento, reducción de la conectividad, de un espacio físico donde vive una especie.

Georeferenciado: Cualquier dato o información espacial que posee un sistema de referencia y un sistema de coordenadas específico.

GPS: *Global Positional System* (Sistema de Posicionamiento Global), sistema satelital que permite ubicar la posición de cualquier objeto sobre la superficie terrestre

Hábitat: Espacio físico donde vive una especie.

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

Irradiancia difusa: Es el flujo de energía reflejado por un objeto afectado por las distintas condiciones atmosféricas.

Mosaico paisajístico: Comprende el conjunto total de coberturas vegetales y no vegetales que aparecen en una imagen de una zona determinada.

Número digital: Es un valor que representa a un píxel en la imagen y es el resultado de la asignación numérica que un sensor le da a un valor de radiancia específica.

Parche: Un área o superficie con características distintas a la cobertura que la rodea

Píxel: Unidad mínima identificable en una imagen.

Radiancia: Total de energía radiada por ángulo sólido de medida y por unidad de área.

Reflectancia: Relación entre el flujo incidente y el flujo reflejado (de energía electromagnética) por una superficie.

Topología: Disciplina matemática que trata de la organización de un conjunto de elementos bajo reglas específicas de unión e intersección.

Transmisividad: Es la relación entre el flujo incidente de energía y el flujo transmitido por una superficie.

INDICE DE CONTENIDO

Capítulo I: GENERALIDADES	1
1.1 Objetivos y Metas	1
1.1.1 Objetivo General	1
1.1.2 Objetivos Específicos.....	1
1.1.3 Metas	2
1.2 Alcance	2
Capítulo II: MARCO TEÓRICO	3
2.1 Estructura de Paisaje: La Geografía aportando a la Ecología.....	3
2.2 Elementos estructurales del paisaje	4
2.2.1 Matriz	4
2.2.2 Parches	5
2.2.3 Corredores	6
2.3 Características estructurales-funcionales de los elementos de paisaje	7
2.4 Complejidad de un paisaje	9
2.5 La Fragmentación.....	9
2.6 Métricas de paisaje.....	10
2.6.1 Área Total de Clase	11
2.6.2 Porcentaje de Paisaje	11
2.6.3 Índice de Diversidad de Simpson	12
2.6.4 Compacidad (Razón de Circularidad)	12
2.6.5 Dispersión de Parches.....	13
2.7 Integridad Ecológica	14
2.8 Geoinformación y Teledetección	15
2.8.1 Representación de datos espaciales.....	15
2.8.2 La teledetección.....	16
2.8.2. Las imágenes satelitales	16
2.8.3 La Geoinformática.....	17

2. 8. 3. Análisis de Datos	17
Capítulo III: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
3.1 Sistema Hidrológico	19
3.2 Ubicación geográfica	19
3.3 Superficie	20
3.4 Clima	20
3.5 Relieve	21
3.6 Aspectos bióticos	21
3.6.1 Bosque Siempre Verde Montano Alto (Bsvma).....	21
3.6.2 Matorral húmedo montano (Mhm)	22
3.6.3 Páramo Herbáceo (Ph).....	22
3.6.4 Páramo de almohadillas y herbáceo (Pal_Ph)	22
3.6.5 Superpáramo (Sp)	22
3.6.6 Nival (Ni)	22
3.7 Aspectos socioeconómicos	22
Capítulo IV: METODOLOGÍA.....	24
4.1 Recopilación de información	24
4.2 Preparación de la Imagen	24
4.3 Mejoramiento de la georeferenciación.....	25
4.4 Corrección atmosférica	25
4.5 Clasificación.....	28
4.6 Edición de la imagen clasificada	33
4.7 Selección de métricas de paisaje	35
4.8 Proceso para el cálculo de métricas de paisaje en Fragstats 3.3	39
4.9 Cálculo del Área total de clase.....	41
4.10 Cálculo de Porcentaje de paisaje	42
4.11 Cálculo del Índice de Diversidad de Simpson.....	43
4.12 Cálculo de la métrica de Compacidad.....	44

4.13 Cálculo de la métrica de Dispersión.....	45
4.14 Análisis de Fragmentación.....	46
Capítulo V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
5.1 Área de Clase	48
5.2 Porcentaje de Paisaje.....	49
5.3 Índice de Diversidad de Simpson	52
5.4 Compacidad	53
5.5 Dispersión de parches	56
5.6 Análisis de Fragmentación.....	61
Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
6.1 Conclusiones	65
6.2 Recomendaciones	67

ANEXOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos para la corrección atmosférica.....	27
Tabla 2. NDVI's resultantes de coberturas.....	30
Tabla 3. Métricas propuestas para el estudio.....	35
Tabla 4. Métricas escogidas para el estudio.....	36
Tabla 5. Descripción y factibilidad de aplicación de las métricas aplicadas para la zona de estudio.....	37
Tabla 6. Máximos y mínimos de compacidad para cada clase.....	54
Tabla 7. Relación número parches con densidad de parches y distancia media entre parches.....	57
Tabla 8. Datos para el análisis de fragmentación del Bosque siempre verde montano alto.....	61
Tabla 9. Datos para el análisis de fragmentación asociación Matorral húmedo montano_Bosque siempre verde montano alto.....	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de la Estructura de Paisaje.....	7
Figura 2. Formato Vectorial.....	15
Figura 3. Formato Raster.....	16
Figura 4. Croquis de ubicación de la zona de estudio.....	20
Figura 5. NDVI de la imagen a clasificar.....	30
Figura 6. Imagen clasificada.....	33
Figura 7. Extracción del área de estudio a partir de la imagen convertida a vector.....	33
Figura 8. Contenido del archivo .fdc.....	40
Figura 9. Variable de Compacidad.....	56
Figura 10. Variable de Dispersión.....	60

INDICE DE FLUJOGRAMAS

Flujograma 1. Corrección Atmosférica.....	28
Flujograma 2. Proceso de obtención del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo.....	34
Flujograma 3. Cálculo del Área total de clase.....	41
Flujograma 4. Cálculo del Porcentaje de paisaje.....	42
Flujograma 5. Cálculo del Índice de Diversidad de Simpson.....	43
Flujograma 6. Cálculo de la métrica de Compacidad.....	44
Flujograma 7. Cálculo de la métrica de Dispersión.....	45

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Área de clase.....	48
Gráfico 2. Porcentaje de clase.....	49
Gráfico 3. Compacidad.....	53
Gráfico 4. Dispersión de parches.....	57

Capítulo I

GENERALIDADES

1.1 Objetivos y Metas

1.1.1 Objetivo General

Analizar el estado actual de la Estructura de Paisaje de la Subuenca del Río La Chimba para diagnosticar su integridad ecosistémica, a partir de técnicas de teledetección y geoinformática.

1.1.2 Objetivos Específicos

- 1) Establecer las métricas más afines para la zona de estudio para obtener cálculos confiables y representativos de su Estructura del Paisaje.
- 2) Elaborar una representación espacial del análisis estructural del paisaje de la zona de estudio para facilitar el entendimiento de las métricas calculadas.
- 3) Proponer mediante los resultados obtenidos recomendaciones generales dirigidas a restaurar o conservar los hábitats presentes en el área de estudio.

1.1.3 Metas

- 1) Generar el Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo de la Subcuenca del Río La Chimba a escala 1:50000
- 2) Elaborar una matriz de análisis de métricas de estructura de paisaje que exprese la factibilidad de su aplicación a la zona de estudio
- 3) Calcular los valores de las métricas de Área y Forma para la Subcuenca del Río La Chimba
- 4) Calcular los valores de las métricas de Diversidad y Fragmentación para la Subcuenca del Río La Chimba
- 5) Obtener el Mapa de Estructura del Paisaje de la Subcuenca del Río La Chimba a escala 1:50000
- 6) Recomendaciones generales dirigidas a restaurar o conservar los hábitats presentes en el área de estudio

1.2 Alcance

El presente trabajo abarca un análisis de ecología de paisaje en lo que respecta a la estructura de las diferentes coberturas de vegetación y uso de suelo de la Subcuenca del Río La Chimba, siendo este análisis una base para un diagnóstico ecológico de la zona ya que permite comprender distintos procesos ecológicos que se dan en y entre elementos del paisaje, procesos que están ligados con la calidad ambiental del territorio en estudio.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1 Estructura de Paisaje: La Geografía aportando a la Ecología

El tema de Estructura de Paisaje, es parte de la Ecología de Paisaje, que se refiere al estudio de la configuración espacial de los usos y cubiertas vegetales de una zona como medio para entender los procesos ecológicos que en la misma se desarrollan, es decir, se utiliza el estudio del análisis cuantitativo de los patrones de cubiertas vegetales y no vegetales lo cual sirve como herramienta de ayuda para la gestión ambiental de un área determinada.

El concepto de paisaje ha sido planteado bajo diferentes perspectivas, sin embargo, la ecología de paisaje aparece propiamente con la propuesta de combinar dos disciplinas: la ecología y la geografía², al relacionar lo funcional de un paisaje, es decir los procesos, con la dimensión horizontal del mismo, es decir las estructuras espaciales.

Es así que el paisaje llega a considerarse como un todo funcional donde la característica de coberturas vegetales y no vegetales son las integradoras de los procesos bióticos y abióticos que en él se desarrollan, siendo estas coberturas unidades espaciales visibles, perceptibles, cartografiables y cuantificables en el tiempo y en el espacio.

Como unidades espaciales a más de expresar su naturaleza (usos de suelo, tipos de vegetación), expresan atributos como tamaño, forma y configuración, y relaciones espaciales como vecindad, conectividad y proximidad³

² TROLL CARL, Ecología de Paisaje, www2.unia.es/nuevo_inf_academica/visualizar_file_Adjunto.asp?ID=1249, 02.02.2008.

³ FORMAN RICHARD, GODRON MICHEL, Landscape Ecology, 1.ª Edición, John Wiley & Sons, Estados Unidos, 1986

Por medio del análisis estructural de paisaje se obtiene datos muy acertados de la fragmentación de un lugar determinado, entendiendo que en la actualidad, la fragmentación de coberturas de un territorio es considerada en ecología como un factor clave para el estudio de alteración o reducción de la biodiversidad.

Otro aspecto clave que se logra determinar es la homogenización del paisaje, término referente, ya que puede haber coberturas homogéneas con connotaciones positivas, como en el caso de que un bosque nativo con alto grado de biodiversidad cubra la totalidad del paisaje de una zona; o puede haber coberturas homogéneas con connotaciones negativas, como por ejemplo cultivos que cubran la totalidad de una zona que solía tener bosque.

2.2 Elementos estructurales del paisaje

Según la teoría de Ecología de Paisaje, un mosaico paisajístico se encuentra conformado por tres elementos: la matriz, los parches y los corredores (Ver Figura 1)

Los elementos de paisaje son dependientes de la escala en la que se trabaje. Por ejemplo, un bosque podría ser una matriz o podría ser un parche, según el tipo de estudio que se quiera realizar.

A continuación se explica que es cada uno de estos elementos:

2.2.1 Matriz

Es el elemento que contiene o rodea a los parches y corredores. Es la cobertura más predominante, se puede afirmar que es la cobertura que abarca mayor área y que tiene un alto grado de conectividad es la matriz paisajística⁴. La matriz es el contexto geográfico que engloba a los demás elementos y su importancia ecológica funcional varía según la zona de estudio. Por ejemplo, una matriz con una alta importancia funcional sería un bosque, mientras que una matriz con una baja importancia funcional sería un suelo desnudo o deforestado.

⁴ Ibid

2.2.2 Parches

Son las unidades elementales del mosaico paisajístico, son los elementos que están inmersos dentro de la matriz. Poseen un área núcleo y un borde que hace de zona de transición entre el área núcleo y el ambiente fuera del parche.

Los parches son los elementos de la estructura de paisaje que determinan en sí la configuración del mosaico paisajístico, ya que son considerados las unidades paisajísticas básicas, las cuales según sus características de área, forma y dispersión, explican cuán fragmentado puede estar un ecosistema determinado.

Los parches pueden ser clasificados según sus orígenes tomando en cuenta sus mecanismos de formación⁵:

Parches Naturales: los parches naturales son aquellos que poseen características similares a los remanentes, pero con la diferencia de que estos no son resultado de alteraciones externas, sino que son zonas que se han mantenido conservadas dentro de una matriz sin alteración

Parches Remanentes: los parches remanentes son aquellos que se encuentran rodeados por una matriz alterada. Forman especies de islas de conservación de las propiedades ecológicas originales del mosaico paisajístico. Estos se originan cuando una cobertura, típicamente de vegetación nativa, es alterada. Los flujos ecológicos originarios se alteran y en una etapa inicial el grado de alteración hacia el parche remanente es tal, que éste no guarda la misma calidad ecosistémica original, teniendo que pasar un período de tiempo determinado para que el área remanente se adapte y se mantenga frente a la matriz alterada que lo rodea

Parches Perturbados: este tipo de parches se dan cuando el estado original de los mismos ha sido alterado por causas o factores ya sea de origen natural u origen humano, por ejemplo, una tormenta que afecte a un sembrío es un caso de parche perturbado por factores ambientales naturales, por otro lado, un zona cuya

⁵ Ibid

cobertura vegetal ha sido arrancada o afectada por extracción minera es un ejemplo de perturbación de parche por factores antropogénicos.

Parches Antrópicos: son aquellos que son originados por acción del ser humano, como por ejemplo, zonas urbanas, cultivos, plantaciones forestales, entre otros. Son parches que son introducidos en un ambiente natural y su importancia no radica en el aspecto de biodiversidad, sino en el cultural, social y económico.

2.2.3 Corredores

Son los elementos del paisaje que sirven de conexión física-funcional entre parches sirviendo como medios de difusión, barrera, filtro y hábitat de organismos. Mediante los corredores se garantiza el flujo e intercambio de materia y energía entre dos áreas, muy relevante para cualquier estudio ecológico. Los corredores pueden ser naturales como por ejemplo la vegetación de ribera de un río, artificiales, como por ejemplo, una red de carreteras, o de naturaleza intermedia como los setos o cercas vivas.

Su funcionalidad determina el estado ecológico de una zona, ya que así como pueden ser elementos que contrarresten la fragmentación también pueden convertirse en barreras que impidan la movilización de especies.⁶

Determinar que área geográfica constituye un corredor, depende de la escala de análisis, y de los propósitos del proyecto en el cual se este trabajando.

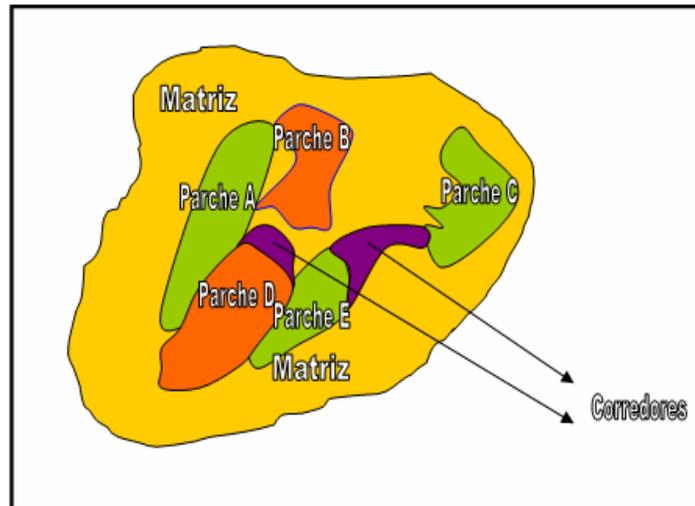
A nivel regional se puede hablar de grandes corredores biogeográficos que abarcan extensas áreas, como por ejemplo el Corredor Biológico Mesoamericano⁷, zona de alta biodiversidad y valor cultural, que se extiende a través de Centroamérica hasta el sur de México. Un ejemplo de corredor a escala media es el caso del Corredor de Conservación Comunitaria entre la Reserva Ecológica El Ángel y el Bosque Protector Golondrinas, zona en la que la Corporación Randi Randi ha trabajado con el fin fortalecer a las comunidades

⁶ Ibid

⁷ El Corredor Biológico Mesoamericano, una plataforma para el desarrollo sostenible regional, www.biomeso.net/GrafDocto/Plataforma.pdf, 2002, 04.04.08

locales como actores sociales de la protección de los recursos naturales existentes en el sector. También se da el caso de corredores a escalas con mayor detalle, por ejemplo, las cercas vivas presentes en una zona de predominancia agrícola, que generalmente funcionan como corredores biológicos entre parches de bosque nativo o plantaciones forestales

Figura 1. Elementos de la Estructura de Paisaje



Fuente: Elaboración propia

2.3 Características estructurales-funcionales de los elementos de paisaje

En un mosaico paisajístico se presentan bajo una visión de topología de estructura de paisaje, las siguientes características: tamaño, forma, composición y distribución de parches⁸, cada característica se relaciona con aspectos funcionales ecológicos.

La **composición** de parches es el contenido de parche, de qué tipo de vegetación o uso de suelo está compuesto. Existen algunas clasificaciones de composición pero en general podemos afirmar que existen parches naturales (como bosques, lagunas, etc) y parches introducidos (urbano, cultivos, etc). La composición nos muestra la variedad dentro de un mosaico paisajístico.

⁸ Ibid

El **tamaño** de los parches es directamente proporcional a la cantidad de materia y energía que los mismos contienen. El tamaño de los parches indica cuan homogéneo o heterogéneo se encuentra un mosaico de paisaje, parches grandes pueden demostrar bajos índices de fragmentación y son indicios de una baja perturbancia del ambiente exterior del parche. Desde una perspectiva biogeográfica, se puede afirmar que en cuanto mayor el área de un parche, mayor número de especies de especies, mayor biodiversidad.

La **forma** de los parches sirve para determinar el grado de alteración de los mismos, generalmente zonas más irregulares corresponden a parches de origen natural mientras que formas más homogéneas corresponden a parches de origen antrópico. Existen distintas medidas para medir la forma de parches de un territorio dado, por ejemplo, la dimensión fractal, que relaciona área con el perímetro del parche, o también medidas que relacionan el área y perímetro de un parche con el área y perímetro de una figura geométrica considerada en su forma como compacta, como en el caso del círculo⁹

La forma de un parche también se relaciona con lo que se llama efecto de borde, formas más irregulares poseen mayor efecto de borde. Se entiende como borde de parche a la zona de transición entre la matriz y el interior del parche¹⁰. Un parche que posee una forma irregular, es más vulnerable a influencias externas que pueden provenir de la matriz paisajística, el efecto de borde es mayor.

La **distribución espacial** de los parches responde a factores de diversa índole: sociales, económicos, políticos y biofísicos. Estos factores son el resultado de procesos configurativos que se desarrollan a través del tiempo. La distribución espacial nos muestra el nivel organizacional del mosaico paisajístico.

La manera como los diversos elementos el mosaico paisajístico están distribuidos develará una influencia en los fenómenos que se desarrollen en la zona y al mismo tiempo son un indicativo del tipo de origen del parche y del grado de influencia humana en el lugar.

⁹ CHUVIECO EMILIO, Teledetección Ambiental, la observación de la Tierra desde el Espacio, 1.ª Edición, Ariel Ciencia, España, 2002

¹⁰ FORMAN RICHARD, GODRON MICHEL, Landscape Ecology, 1.ª Edición, John Wiley & Sons, Estados Unidos, 1986

El arreglo espacial de parches funcionalmente pueden intervenir como factor de propagación (por ejemplo, un cultivo, como medio de propagación de plagas) o como factor de barrera (una laguna, como barrera de propagación de incendios).

2.4 Complejidad de un paisaje

La complejidad de un paisaje esta dada por el grado de heterogeneidad de sus componentes. Los factores que influyen en la complejidad de un paisaje operan a una gran diversidad de escalas.

En sí se puede afirmar que un paisaje es complejo cuando existe un alto contraste entre sus componentes y cuando dichos componentes varían unos de otros en cuanto a su forma, área y configuración espacial.

El paisaje constituye un sistema complejo, y como sistema, busca el equilibrio entre los diferentes procesos que en el mismo se realiza. Las influencias antrópicas en un territorio dado, da lugar a un encuentro entre el medio natural y el medio humano, lo cual ha dado lugar a un desbalance de los flujos normales de materia y energía en y entre ecosistemas.

La gran heterogeneidad del paisaje es un indicador de su complejidad, la complejidad depende de características estructurales paisajísticas de los parches y matriz; valorar esta complejidad permite establecer bases para ubicar espacios de conservación.

Estos espacios de conservación ya no solamente están limitados a áreas estrictamente naturales, ahora también se toma en cuenta las redes ecológicas no tradicionales, como aquellas que se dan en áreas de agricultura, ganadería, y hasta en áreas urbanas (ecología urbana).

2.5 La Fragmentación

La fragmentación puede ser definida como el reducimiento y aislamiento de parches de características similares¹¹. La fragmentación da lugar a la alteración de los ecosistemas de la zona afectada, ya que, por el aislamiento de los parches, se reduce la conectividad entre los mismos, lo cual puede causar una reducción de la biodiversidad.

La fragmentación se puede expresar con diversas medidas que brindan una idea del “parcelamiento” que una determinada cobertura vegetal tiene.

La idea de fragmentación generalmente se orienta a las coberturas de bosques, en las cuales parches boscosos se presentan aislados unos entre otros, generalmente rodeados por una matriz agrícola. La deforestación de bosques es la principal causa de fragmentación en el mundo.

Sin embargo puede haber fragmentaciones naturales, como por ejemplo en el caso de algunos páramos donde la configuración topográfica, clima y tipos de suelos, condicionan la aparición de islas de bosques montanos que conforman ecosistemas arbóreos únicos dentro de una matriz de páramo generalmente compuesta de pajonales.

Los parches aislados de una cobertura vegetal determinada, quedan expuestos a la influencia de la matriz donde el efecto de borde toma un papel preponderante al incrementar su papel de barrera entre el hábitat fragmentado y la matriz circundante. En espacios fragmentados, toman gran importancia la presencia de especies capaces de soportar dicha fragmentación, especies que gozan de una alta movilidad a través de la matriz o por medio de corredores, estas especies en general son aves y pequeños mamíferos.

2.6 Métricas de paisaje

Métricas de paisaje se denomina al conjunto de medidas e índices que describen los patrones de un mosaico paisajístico determinado, ya sea a nivel de parche, clase o de paisaje mismo. La premisa básica de su utilidad radica en que cuantitativamente expresan tamaño, porcentaje, forma y configuración de los

¹¹ GURRUTXAGA MIKEL , Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco, www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-3074/es/contenidos/informe_estudio/indicadores_biodiversidad/es_doc/adjuntos/fragmentacion_2003.pdf , 2003, 12.09.07

elementos que aparecen en un paisaje, lo cual ayuda a mejorar el entendimiento de los procesos ecológicos del mismo. Las métricas pueden ser clasificadas según su nivel paisajístico de aplicación: parche, clase o mosaico paisajístico

El determinar qué métrica es la adecuada para un estudio de estructura paisajística depende del área de estudio y de los objetivos de la investigación.

Las métricas escogidas deben ser lo más explicativas posibles, entendibles y que representen con un alto grado de eficacia lo que se quiere representar.

En base a esto, se utilizaron las métricas de paisaje que se detallan a continuación:

2.6.1 Área Total de Clase

Es una medida de la composición del paisaje que especifica cuanto de paisaje está inmerso en un tipo de parche en particular. Es una métrica muy general, pero básica para el estudio paisajístico.

Simplemente se calcula sumando las áreas de todos los parches de un determinado tipo.

$$ATC = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad [1]^{12}$$

Donde,

a_{ij} = área del parche ij

2.6.2 Porcentaje de Paisaje

Calcula la abundancia proporcional de cada tipo de parche en el paisaje. Se lo calcula con la siguiente fórmula muy simple:

$$PP = \frac{ATC}{A} 100 \quad [2]^{13}$$

¹² MCGARIGAL KEVIN, FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure Versión 3.3

¹³ Ibid

Donde,

ATC= área total de clase

A= área total del paisaje

2.6.3 Índice de Diversidad de Simpson

El Índice de Diversidad de Simpson, es un índice ecológico de diversidad, que en este caso lo vamos a aplicar como una medida de diversidad de parches de un paisaje. Este índice es una probabilidad de que, dos puntos o píxeles seleccionados al azar estén en diferentes tipos de parche. Este índice sería igual a cero si el paisaje tuviera un solo parche, y tenderá a 1 cuando el número de los diferentes tipos de parches aumente y cuando la distribución de todos los tipos de parche en el paisaje sea más equitativa.

Se expresa de la siguiente forma:

$$IDS = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad [3]^{14}$$

Donde,

p_i =proporción de paisaje ocupado por el tipo de parche i

2.6.4 Compacidad (Razón de Circularidad)

Es muy utilizado para medir la forma de los parches de un determinado tipo. Este índice tenderá a 1 cuando las formas sean más compactas, a mayor compactación menor posibilidad de que un parche sea afectado por algún agente externo al mismo. Se lo calcula con la siguiente fórmula:

$$C = \sqrt{\frac{ap}{ac}} \quad [4]^{15}$$

¹⁴ Ibid

¹⁵ CHUVIECO EMILIO, Teledetección Ambiental, la observación de la Tierra desde el Espacio, 1.ª Edición, Ariel Ciencia, España, 2002

Donde,

a_p = área de parche

a_c = área de la circunferencia con igual perímetro que el parche

Para calcular a_c se siguen los siguientes pasos partiendo de las fórmulas del área y el perímetro de una circunferencia:

$$p = 2\pi r \quad [5]$$

$$a = \pi r^2 \quad [6]$$

Despejando r de [5],

$$r = \frac{p}{2\pi} \quad [7]$$

Reemplazando [7] en [6]:

$$a = \frac{p^2}{4\pi}$$

↓

$$a_c = \frac{p^2}{4\pi} \quad [8]$$

Donde p es el perímetro del parche

2.6.5 Dispersión de Parches

Se relaciona con la agregación de una clase determinada en un paisaje. Se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$DISP = 2DMVC(DP / \pi) \quad [9]^{16}$$

Donde:

DMVC= media entre las distancias al parche más cercano para todos los parches de una clase, es decir, la distancia media al vecino más cercano

DP= densidad de parches, expresa el número de parches por unidad de área:

$$DP = \frac{n_c}{A} 100 \quad [10]^{17}$$

Donde,

n_c = número de parches de una clase determinada

A= área total del paisaje

2.7 Integridad Ecológica

Este término puede llegar a tener una gran variedad de interpretaciones, pero dentro del estudio de estructura de paisaje lo vamos a definir como el grado de calidad de características estructurales-funcionales de una zona determinada, características que dependen de la forma y área de parches, grado de fragmentación y distribución en el mosaico de paisaje.

La configuración paisajística rige en los procesos ecológicos a escala territorial, al relacionar lo estructural, con lo funcional. La adecuada interrelación entre la estructura de paisaje y las funciones ecológicas, ayudan a concebir de mejor manera los bienes ambientales de la zona de estudio y asegurar una adecuada gestión ambiental.

La integridad ecológica puede ser analizada por medio de las métricas de paisaje, determinar que medidas son las más adecuadas depende del objetivo de estudio y de la realidad de la zona de estudio, pero principalmente de la disponibilidad de datos que se tenga.

¹⁶ GURRUTXAGA MIKEL, Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco, www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-3074/es/contenidos/informe_estudio/indicadores_biodiversidad/es_doc/adjuntos/fragmentacion_2003.pdf , 2003, 12.09.07

¹⁷ Ibid

2.8 Geoinformación y Teledetección

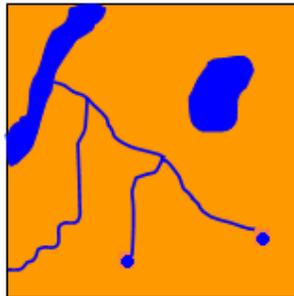
2.8.1 Representación de datos espaciales

Los datos que representan un espacio geográfico determinado pueden estar en dos tipos de formato: formato vectorial y formato raster

Formato Vectorial: En este tipo de formato los datos se presentan gráficamente a través de tres elementos básicos: puntos, líneas y polígonos (Ver Figura 2). Estos elementos están basados posicionalmente en pares ordenados de coordenadas, así, un punto se define mediante un par de coordenadas. Una línea se define por medio de dos puntos y un polígono por medio de al menos tres líneas.

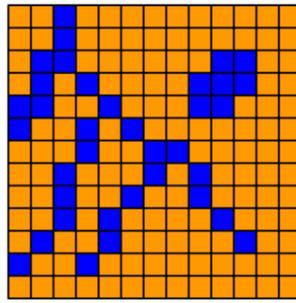
Los elementos del formato vectorial deben mantener relaciones específicas de vecindad y conexión. A esto lo llamamos topología. Un conjunto de elementos que topológicamente estén bien estructurados están aptos para ser ingresados en un SIG

Figura 2. Formato Vectorial



Fuente: Elaboración propia

Formato Raster: El formato raster representa al espacio por medio de la unión de pequeñas celdas llamadas píxeles, la posición de cada píxel está definida por un par de coordenadas (Ver Figura 3). El tamaño del píxel determina la resolución de una imagen determinada

Figura 3. Formato Raster

Fuente: Elaboración propia

2. 8. 2 La teledetección

La teledetección es la ciencia que estudia la adquisición, procesamiento e interpretación de información de objetos ubicados en un lugar lejano o inaccesible del que se encuentra el observador de dichos objetos.

Las imágenes de satélite han sido instrumentos eficaces y eficientes para el estudio del globo terrestre. La teledetección ambiental se sirve de este tipo de imágenes para el análisis de los fenómenos que se producen tanto en la superficie terrestre, en los océanos y en la atmósfera, es decir, todo lo que constituye el ambiente.

2. 8. 2. Las imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son generadas a partir de los sensores presentes en los satélites, que a su vez están formados por detectores que captan las diferentes bandas del espectro electromagnético.

Los satélites poseen sensores que captan la reflectancia de la energía electromagnética proveniente de la superficie de la Tierra, esta señal se almacena como números digitales los cuales son traducidos como colores, niveles de grises (para el espectro visible) u otros valores espectrales (infrarrojo, térmico, etc).

Existen diversos tipos de imágenes según el sensor a partir del cual fueron tomadas. Un tipo de imagen que mas es utilizado para estudios ambientales son las imágenes ASTER. En el presente proyecto se utiliza una imagen ASTER por lo que se va a detallar mejor las características de este tipo de imagen.

El sensor ASTER (Advance Spaceborn Termal Emision and Reflection Radiometer) es producto de un programa coordinado por el Gobierno de Japón, que fue puesto en órbita en los satélites TERRA (1999). Fue desarrollado para la toma de datos con el fin de realizar estudios de impactos ambientales. Trabaja en tres subsistemas:

VNIR, con dos bandas en el espectro visible (0.52 a 0.69 μm) y una en el infrarrojo cercano (0.78 a 0.86 μm) . Todas las bandas VNIR tienen resolución espacial de 15 m.

SWIR, con seis bandas en el infrarrojo medio (1.60 a 2.365 μm), resolución de las seis bandas: 30m

TIR, con cinco bandas en el infrarrojo termal (8.125 a 11.65 μm), resolución de las cinco bandas: 90 m

El sensor ASTER tiene un ancho de barrido de sesenta kilómetros y una resolución temporal de dieciséis días, es decir, pasa sobre un mismo punto cada dieciséis días.

2. 8. 3 La Geoinformática

La Geoinformática es la aplicación de la teoría de sistemas hacia los datos geográficos por lo que se encarga de la validación, estructuración, procesamiento y presentación digital de información geográfica.

2. 8. 3. Análisis de Datos

El análisis de datos comprende todas las operaciones analíticas que se puede realizar sobre la información geográfica. Estas operaciones se pueden resumir de la siguiente manera:

Operaciones de Medición: Para determinar medidas de área, distancia, forma, etc.

Selección y Búsqueda: selecciona o busca elementos de un mapa que cumplan con condiciones específicas.

Clasificación: Para clasificar un mapa en función de los atributos de sus partes.

Sobreposición o combinación de capas.

Operaciones de Vecindad: Para cálculos de proximidad, áreas aledañas, análisis de dispersión de elementos.

Capítulo III

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Sistema Hidrológico

La Subcuenca del Río La Chimba forma parte del sistema hidrológico del Río Guayllabamba, que a su vez forma parte de la Cuenca del Río Esmeraldas. Las fuentes de agua de la Subcuenca se originan en los páramos de la Cordillera Oriental y finalmente vierte sus aguas en el Río San José a la altura de la parroquia de Ayora.

3.2 Ubicación geográfica

Se encuentra ubicada en la parte nor-oriental de la Provincia de Pichincha, cantón Cayambe.

La localización geográfica de la zona de estudio está comprendida entre las siguientes coordenadas:

Límite superior izquierdo:

$X_1 = 816\,743,302$

$Y_1 = 10\,021\,884,230$

Límite inferior derecho:

$X_2 = 838\,775,361$

$Y_2 = 10\,003\,521,085$

(Proyección UTM,
Datum WGS84,
Zona 17 Sur)

Según datos de la estación meteorológica de Olmedo operada por el INMAHI, la temperatura en la zona de estudio varía de fría a templada: con una temperatura media que redondea los 12°C, existe una variación entre temperaturas mínimas de 1° C a 1.5° C hasta máximas de 20° a 22°C. La humedad relativa es alta y puede llegar hasta el 80% de humedad.

La precipitación media anual redondea los 800 mm.

3.5 Relieve

Existen zonas pertenecientes al valle interandino, y zonas altas pertenecientes al páramo y media montaña, presentándose una altitud mínima de 2790 msnm, y una máxima de 4800 msnm.

3.6 Aspectos bióticos

La mayor parte del sector occidental del área de estudio corresponde a zonas agrícolas y ganaderas. Otra gran parte del área corresponde a zonas de páramo, sobre todo de tipo herbáceo. Existe áreas aisladas de bosque nativo sobre todo en lugares de alta pendiente, constituyendo los últimos remanentes de bosque de la zona. También se presentan formaciones de matorral montano, sobretodo en quebradas de fuerte pendiente y asociadas también a formaciones boscosas.

Según Sierra¹⁸, estas formaciones de vegetación natural (páramos y bosques) poseen características específicas, las cuales se detallan a continuación:

3.6.1 Bosque Siempre Verde Montano Alto (Bsvma)

Son bosques de alto contenido de humedad donde abundan epifitas y musgos, presentes en un rango altitudinal de 1500 a 4000 msnm, en zonas de fuertes pendiente.

¹⁸ BAQUERO FRANCISCO, et al. , La Vegetación de los Andes del Ecuador , 1.ª Edición EcoCiencia/CELSA/EcoPar/MAGSIGAGRO/CDC-Jatunsacha/División Geográfica-IGM, Quito, 2004

3.6.2 Matorral húmedo montano (Mhm)

Son formaciones vegetales cuyos remanentes en los valles interandinos se encuentran en zonas de fuertes pendientes, y muchas veces asociadas a formaciones de bosque. Se encuentran en un rango altitudinal que va de entre 2500 a 3500 msnm.

3.6.3 Páramo Herbáceo (Ph)

Son páramos compuestos principalmente de pajonales, presentes en un rango altitudinal de entre 2500 y más de 4500 msnm

3.6.4 Páramo de almohadillas y herbáceo (Pal_Ph)

En este tipo de páramo aparecen principalmente las almohadillas, así también como arbustos pequeños y formaciones aisladas de chuquiragua. Se ubican en un rango altitudinal de entre 3000 a 4500 msnm.

3.6.5 Superpáramo (Sp)

En esta clase de páramo las plantas superiores casi no existen, habiendo presencia solamente de líquenes y musgos. Se encuentra en un rango altitudinal de entre 3500 y 4500 msnm.

3.6.6 Nival (Ni)

Esta clase de formación comienza en el límite de las nieves, con una altura media de 4976 m, esporádicamente podemos encontrar líquenes. No hay presencia de plantas superiores.

3.7 Aspectos socioeconómicos

En la Subcuenca del Río La Chimba se encuentra ubicada la parroquia de Olmedo, que posee una población de 6439 habitantes, de los cuales 4557 son indígenas, 1671 son mestizos, 177 blancos, y 30, afroecuatorianos¹⁹.

¹⁹ SISTEMA INTEGRADO DE INDICADORES SOCIALES DEL ECUADOR (SIISE 4.5), Cd-Rom, Ministerio de Coordinación del Desarrollo Social

Dentro de la parroquia Olmedo se encuentran diversas comunidades como La Chimba, Paquiestancia y Cariacu.

Los pobladores de estos sectores se dedican principalmente a labores de distribución y comercialización de leche, como también a la agricultura, principalmente se siembra cebada, papa y cebolla. A parte de las labores agropecuarias, también existe actividad económica relacionada con la industria florícola²⁰.

²⁰ CUARAN FREDDY, Diagnostico comparativo de las tecnologías disponibles de los cultivos de papas (*solanum tuberosum*) y cebada (*hordeum distichum*), en la Parroquia Olmedo, Subcuenca del Río La Chimba, Tesina de Tecnología. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Politécnica Salesiana. Cayambe, 2004

Capítulo IV

METODOLOGÍA

4.1 Recopilación de información

Se realizó la búsqueda y recopilación de información y herramientas necesarias para realizar el estudio:

Cartografía a escala 1:50000 correspondiente a hidrografía y límite de la Subcuenca del Río La Chimba proporcionada por el Laboratorio de SIG de la Corporación Grupo Randi Randi y CODECHIM

Imagen Satelital ASTER del 5 de Febrero del 2007 composición en RGB de 3N-2-1 (infrarrojo cercano, rojo, verde) proporcionada por la Corporación Grupo Randi Randi

Carta Topográfica de Cayambe escala 1:50000 análoga y escaneada en formato TIFF

Cartas Topográfica de Nevado Cayambe y de San Pablo del Lago escala 1:50000 en formato análogo

Los parámetros cartográficos para el presente trabajo son los siguientes: Datum WGS84, proyección UTM, Zona 17 Sur.

4.2 Preparación de la Imagen

Se realizó un corte sobre la zona de estudio en la imagen, definiendo un área que cubra la totalidad de la Subcuenca de La Chimba. La imagen ASTER ya viene geocodificada, es decir, con georeferenciación.

Como se decidió trabajar en proyección UTM, Zona 17 Sur, datum WGS84, se reproyectó la imagen a este sistema de coordenadas.

4.3 Mejoramiento de la georeferenciación

Se superpuso la carta topográfica escaneada y georeferenciada con el archivo *shape* de ríos, se comparó estas dos capas observando que coincidían muy bien, constatando que el archivo *shape* de ríos estaba bien georeferenciado.

Posteriormente se comparó la imagen ASTER con el archivo *shape* de la hidrografía y se vio que existía un desplazamiento de alrededor de 100 metros. Se procedió a mejorar la georeferencia de la imagen tomando puntos de referencia del archivo *shape* de ríos, identificables en la imagen ASTER, lo cual corrigió el desplazamiento de alrededor de 100 metros que existía en la georeferencia de la imagen.

4.4 Corrección atmosférica

La influencia de la atmósfera afecta la reflectividad de los objetos, la radiancia que recibe el sensor del satélite se encuentra alterada por la atmósfera, debido a la irradiancia difusa, y a la alteración de la transmisividad del flujo ascendente como descendente, factores que produce valores de radiancia diferentes de los que realmente provienen de un objeto²¹.

Contar con una imagen con valores corregidos atmosféricamente suple la relatividad que pueden tener los números digitales (ND) en una imagen, permitiendo con estos valores realizar una mejor comparación entre bandas e incluso comparar con imágenes de otros sensores.

Se utilizó la fórmula de Chávez²² para corrección radiométrica, la cual utiliza valores estándar de transmisividad atmosférica:

²¹ CHUVIECO EMILIO, Teledetección Ambiental, la observación de la Tierra desde el Espacio, 1.ª Edición, Ariel Ciencia, España, 2002

²² Ibid

$$\rho_k = \frac{D\pi(L_{sen,k} - L_{a,k})}{E_{0,k} \cos \theta_i \tau_{k,i}} \quad [11]$$

- D es el factor de corrección de la distancia entre el Sol y la Tierra y se lo calcula de la siguiente forma:

$$D = (1 + 0,01674(\text{sen}(2\pi(J - 93,5)/365)))^2 \quad [12]$$

Donde J es el día Juliano

- $L_{sen,k}$ es la radiancia espectral de una banda específica expresada en $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{um}^{-1}$ y que se define con la fórmula:

$$L_{sen,k} = a_{0,k} + a_{1,k}ND_k \quad [13]$$

Donde $a_{0,k}$ y $a_{1,k}$ son los parámetros de calibración de la imagen y ND_k el nivel digital de la imagen

- $L_{a,k}$ es un valor de radiancia estimada que toma en cuenta el número digital mínimo de cada banda:

$$L_{a,k} = a_{0,k} + a_{1,k}ND_{\min} \quad [14]$$

- $E_{0,k}$ es la irradiancia solar en la parte superior de la atmósfera, los valores de este parámetro para cada banda se pueden obtener de las tablas solares
- θ_i es el ángulo cenital entre la vertical del terreno y el flujo incidente proveniente del sol

$$\theta_i = 90 - \beta \quad [15]$$

Donde β es el ángulo de elevación que viene en los metadatos de la imagen

- $\tau_{k,i}$ corresponde a los valores de transmsividad para cada banda

Si reemplazamos las fórmulas [13] y [14] en [11] obtenemos la fórmula [16]: para la corrección atmosférica:

$$\rho_k = \frac{D\pi a_{1,k}(ND - ND_{\min})}{E_{0,k} \cos \theta_i \tau_{k,i}} \quad [16]$$

En la Tabla 1 se especifican los parámetros de calibración y valores de transmisividad e irradiancia solar necesarios para la fórmula [16]

Tabla 1. Datos para la corrección atmosférica

Banda	$a_{0,k}$	$a_{1,k}$	$E_{0,k}$	$T_{k,i}$
1	-0.676	0.676	1846	0.78
2	-0.708	0.708	1555	0.85
3	-0.862	0.862	1120	0.91

Fuente: Ing. Oswaldo Padilla, Cartografía de áreas quemadas a escala local, Universidad de Alcalá de Henares

Los números digitales mínimos (ND_{\min}) de cada banda de la imagen que se utilizó fueron:

Banda 1 → 39

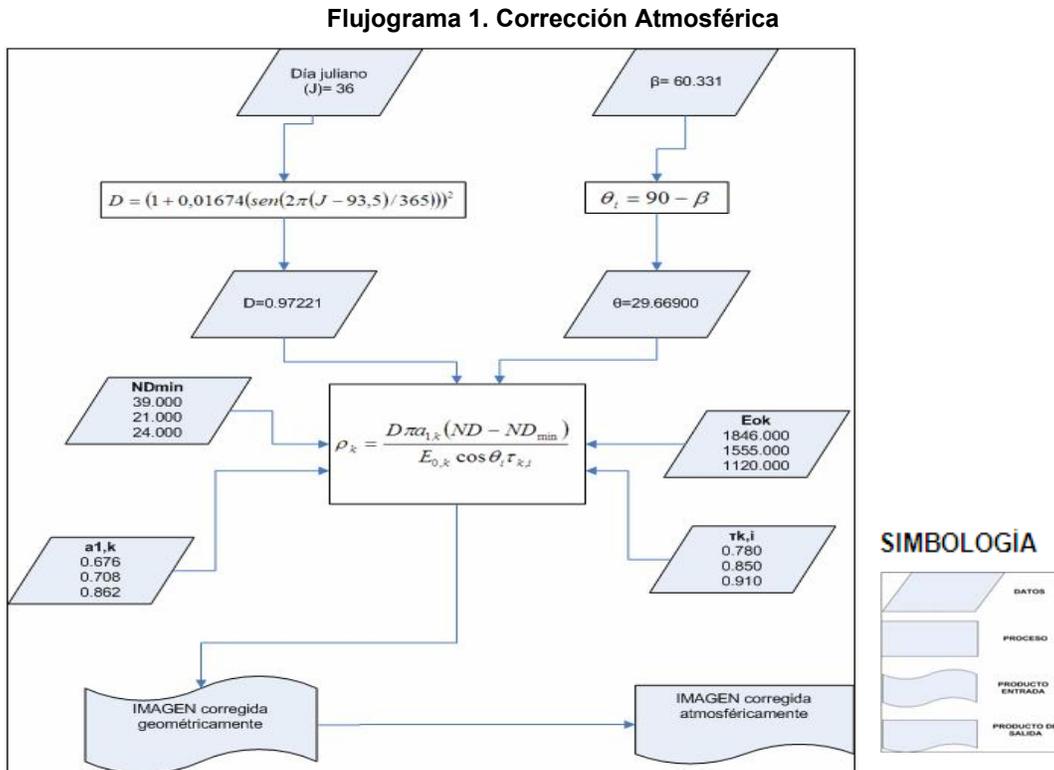
Banda 2 → 21

Banda 3 → 24

La fecha de toma de la imagen fue el cinco de febrero del dos mil siete (05/02/2007) que corresponde al día juliano N° treinta y seis (36). Se reemplazo este valor en la fórmula [12] del factor de corrección Tierra-Sol (D) y se obtuvo el valor de 0.97221 para este factor.

El ángulo β de elevación solar de la imagen utilizada tiene un valor de 60.3310 expresado en grados, reemplazando este valor en la ecuación [15] se obtiene un valor para θ_i de 29.669

Contando con todos estos datos se procedió a calcular la fórmula [16] para la corrección radiométrica (atmosférica):



4.5 Clasificación

Se utilizó una clasificación supervisada, cuyas áreas de entrenamiento fueron definidas a partir de los siguientes recursos informacionales:

- 1) Conocimiento previo de la zona de estudio
- 2) Información bibliográfica y cartográfica existente relacionada con el área de estudio
- 3) Recorrido de campo: en el cual se realizó toma de puntos GPS en las zonas donde logísticamente se pudo acceder, se entrevistó a personas

residentes en la zona de estudio, y, se realizó un análisis visual de los lugares que se recorrió

Se tomo como guía inicial para la definición de clases a ser utilizadas para la clasificación a Corine Land Cover que es una propuesta de leyenda para uso y cobertura de la tierra utilizada en la Unión Europea²³.

En las clases que era factible hacerlo, se reemplazó la leyenda inicial por el nombre que utiliza Sierra para describir las formaciones vegetales en la Región Andina.

La leyenda utilizada para la clasificación fue la siguiente:

- ◆ Zonas urbanas (Zu)
- ◆ Zonas de invernaderos (Zi)
- ◆ Tierras de cultivo (Tc)
- ◆ Pastizales (P)
- ◆ Páramo Almohadillas y Herbáceo (Pa_Ph)
- ◆ Plantaciones Forestales (Pf)
- ◆ Bosque Siempre Verde Montano Alto (Bsvma)
- ◆ Matorral Húmedo Montano y Bosque Montano alto(Mhm_Bsvma)
- ◆ Superpáramo (Sp)
- ◆ Páramo Herbáceo (Ph)
- ◆ Nival (N)

Antes de realizar la clasificación, para tener una mejor idea para aplicar las áreas de entrenamiento para la clasificación, se obtuvo el NDVI de la imagen, que es el índice de vegetación de diferencia normalizada el cual facilita enormemente la discriminación entre suelos descubiertos y suelos con vegetación, como también brinda información sobre el vigor vegetal de una zona determinada²⁴.

Se lo calcula de la siguiente forma:

²³ Ibid

²⁴ Ibid

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R} \quad [17]$$

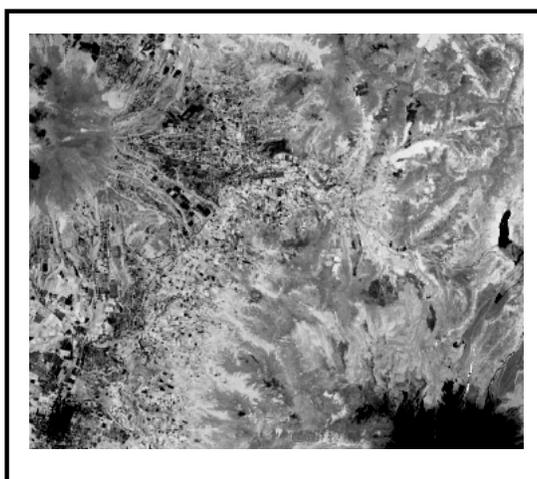
Donde IRC representa el valor del píxel en el infrarrojo cercano y R en el rojo. Cuando una zona tiene valores de -1 a 0 quiere decir que no posee vegetación, mientras que valores de 0 a 1 corresponden a zonas con vegetación. Además se puede afirmar que mientras los valores más se acercan a uno existe mayor vigor vegetal.

Los resultados a partir del NDVI fueron los siguientes:

Tabla 2. NDVI's resultantes de coberturas

Coberturas	NDVI
Bosques y matorrales	0.7-0.9
Páramo herbáceo y de almohadillas	Alrededor de 0.7
Pasto	0.6-0.9
Páramo herbáceo	0.4-0.6
Superpáramo	0.2-0.4
Tierras de cultivo	0.15-0.2

Figura 5. NDVI de la imagen a clasificar



La vegetación correspondiente a bosques, matorrales, pastos y páramos herbáceos y de almohadillas presenta valores positivos de intermedios a altos,

esto debido a que todas estas formaciones al momento de la toma de la imagen presentaron alto vigor vegetal.

El caso del páramo herbáceo, los valores son medios, sin embargo esto no quiere decir que no exista alta cobertura vegetal, el resultado de estos valores se podría atribuir a que este tipo de páramo está constituido en su mayoría por hierbas en penacho que poseen bajas concentraciones de clorofila, factor que es directamente proporcional al valor del NDVI.

Las zonas de superpáramo y tierras de cultivo dan lugar a valores bajos ya que se nota claramente la interacción entre suelo y vegetación, este aumento de proporción del suelo reduce el valor del NDVI.

Una vez analizado el NDVI para poder diferenciar de mejor manera los distintos cambios de coberturas vegetales que se daban en la imagen se procedió a realizar la clasificación.

Se realizó la clasificación supervisada de la imagen satelital del área de estudio con los clasificadores de máxima similitud, distancia de Mahalanobis y mínima distancia.

Debido a que los clasificadores de Mahalanobis y máxima similitud trabajan con imágenes con valores enteros, y la imagen corregida atmosféricamente es de tipo flotante, con valores de 0 a 1, se aplicó la fórmula de expansión lineal de los valores de reflectividad a valores de ND²⁵:

$$ND = \frac{r - GLOB_MIN}{GLOB_MAX - GLOB_MIN} \times 255 \quad [18]$$

Donde,

r es el valor de reflectividad,

GLOB_MIN y GLOB_MAX son los valores mínimo y máximo de reflectividad respectivamente.

²⁵ Ibid

En las tres pruebas con los clasificadores de máxima similitud, Mahalanobis y mínima distancia se apreció visualmente una constante confusión de clases correspondientes a la vegetación.

Esto se puede deber a que tanto vegetación arbustiva como arbórea, al momento de la toma de la imagen tenían un estado de salud muy bueno, demostrado por una alta relectividad general para toda la vegetación en el infrarrojo cercano.

La vegetación nativa tanto arbórea como de matorral demostraron una respuesta espectral muy similar, en tanto, los bosques cultivados tuvieron una respuesta espectral diferente a la vegetación nativa, pero se generó confusiones con zonas de sombra.

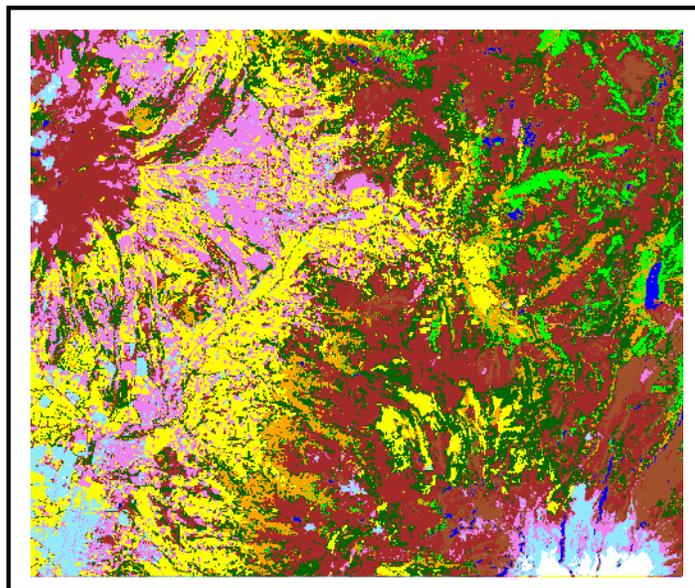
Visualmente se apreció que los clasificadores de máxima similitud y distancia de Mahalanobis confundían más pasto con terrenos de cultivo que las clasificación de mínima distancia, así también, confundían totalmente las clases de nival y zona intervenida.

Debido a esto, y a que en general todos los clasificadores mezclaban casi de la misma manera vegetación, se escogió la clasificación a partir de mínima distancia.

A esta clasificación se le aplicó un filtro de 3x3 con el fin de reducir el efecto de “sal y pimienta” de la clasificación, es decir, para eliminar píxeles aislados que se encuentran rodeados por píxeles de otra clase.

Se optó por este filtro ya que conservaba al máximo la forma de las distintas coberturas, factor importante para los objetivos del presente estudio, a diferencia de los filtros de 5x5 o 7x7 que en cambio tendían a generalizar más los bordes entre distintas clases generando una simplificación de las formas de las mismas.

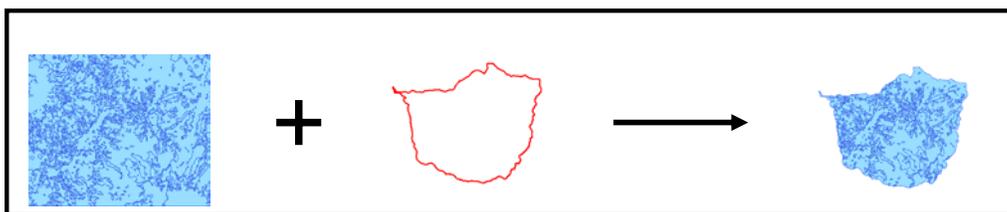
Figura 6. Imagen clasificada



4.6 Edición de la imagen clasificada

En esta fase, se transformó la imagen ya clasificada y filtrada a formato vector. Se eliminaron los polígonos menores a 1 hectárea. Esto se debe a que cartográficamente, la unidad mínima mapeable es de 4 mm^2 ²⁶, que a la escala de trabajo de 1:50000 la unidad equivale a 1 hectárea. Posteriormente se aplicó una disolución de polígonos para agregar en uno solo todos los polígonos correspondientes a una clase específica. Una vez aplicado la disolución, se realizó un cruce de mapas entre el archivo convertido a vector y limpiado y el archivo *shape* del límite de la Subcuenca, de manera que nos quede un nuevo archivo de tipo polígono que contenga las coberturas definidas en la clasificación pero dentro de los límites de la Subcuenca del Río La Chimba que es el área de estudio escogida.

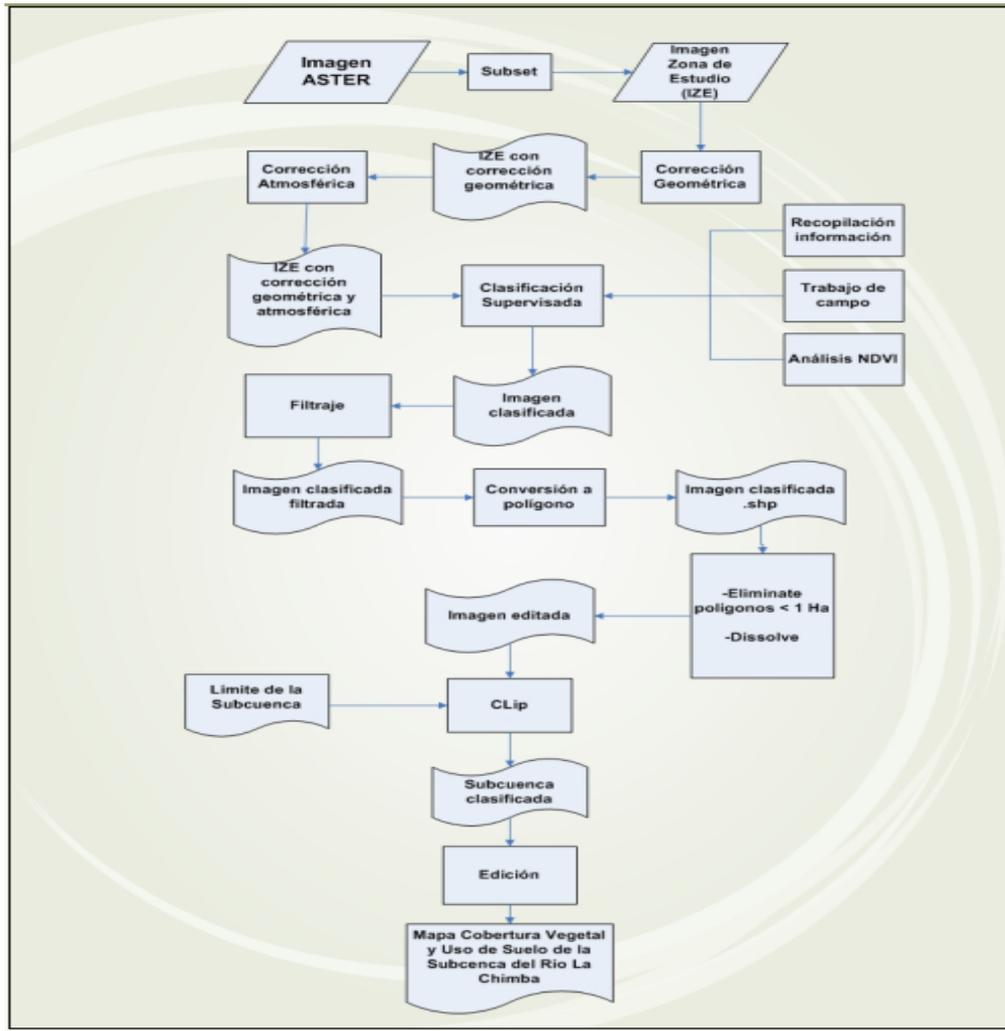
Figura 7. Extracción del área de estudio a partir de la imagen convertida a vector



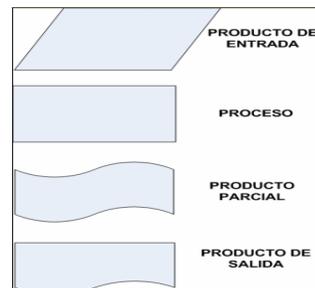
²⁶ Ibid

A continuación se procedió a corregir los errores de clasificación comparando este archivo con la imagen original y la carta topográfica escaneada, se editó los polígonos con errores con el fin de asociarlos a la clase adecuada, para finalmente obtener el Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo

Flujograma 2. Proceso de obtención del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo



SIMBOLOGÍA



Fuente: Elaboración propia

4.7 Selección de métricas de paisaje

Para seleccionar que métrica es la más adecuada de aplicar en una determinada zona es preciso tener los siguientes criterios previos a la selección de las medidas más adecuadas:

- Que la métrica sea lo más representativa posible del fenómeno que se quiera explicar.
- Que sea fácil de interpretar, es decir, que sea entendible y objetiva.
- Que para su cálculo se dispongan de datos y herramientas suficientes
- Que cumpla con los objetivos del estudio que se quiera realizar

Se elaboró una lista de métricas de paisaje preliminares (Ver Tabla 3) la misma que fue analizada en función de los criterios expuestos anteriormente, con el fin de encontrar las métricas más adecuadas que cumplan con los objetivos del estudio.

Tabla 3. Métricas propuestas para el estudio

Métrica	Variable
Radio de Giro	Área
Área-Porcentaje	Área
Compacidad (Razón de Circularidad)	Forma
Índice de dimensión fractal	Forma
Índice de diversidad de Shannon	Diversidad
Índice de diversidad de Simpson	Diversidad
Índice de proximidad	Dispersión, Fragmentación
Dispersión	Dispersión, Fragmentación

Una vez evaluada la lista preliminar, se escogieron las métricas más adecuadas para el estudio (Ver Tabla 4)

Tabla 4. Métricas escogidas para el estudio

Métrica	Variable
Área-Porcentaje	Área
Compacidad (Razón de Circularidad)	Forma
Índice de diversidad de Simpson	Diversidad
Dispersión	Dispersión, Fragmentación

A continuación se especifican los criterios por los cuales no se escogieron algunas de las métricas propuestas inicialmente:

Radio de Giro: Es una medida de extensión del parche, pero en función de su forma, es la distancia media entre cada píxel del parche y el centroide del parche. No se escogió esta métrica ya que al depender de la forma del parche, no se obtiene una medida directa del área del parche

Índice de dimensión fractal: La dimensión fractal es una medida aplicada a un objeto fractal a diferentes escalas, en un paisaje, esta medida se utilizaría con parches de diferentes tamaños a una misma escala, lo cual puede dar resultados erróneos²⁷.

Índice de diversidad de Shannon: Se prescindió de esta medida porque no tiene un límite definido, es decir, el rango que varía va desde 0 hasta sin límite, factor que limita un mejor análisis de diversidad en la zona de estudio. Es una medida de diversidad, en este caso paisajística, al igual que el índice de diversidad de Simpson, pero a diferencia de esta última medida, no tiene una escala de valores definida.

Índice de proximidad: Este índice mide el grado de aislamiento entre parches, sin embargo, para su cálculo, se necesita definir una distancia máxima entre parches, distancia que debe estar en función de desplazamientos máximos de una especie específica. Debido a que el presente proyecto analiza la ecología de la zona de estudio de forma general, sin considerar especies animales específicas como referencia, y por la falta de información sobre estudios de

²⁷ MAS JEAN-FRANCOIS, CORREA JORGE, Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida "Los Petenes", www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol43/b43art3.pdf, 2000, 13.09.07

desplazamientos de especies que se hayan realizado dentro del país, y afines a la zona de estudio, no se encontró aplicable esta medida.

Las métricas escogidas son métricas fáciles de calcular, interpretar, utilizar y se sirven de los datos y herramientas disponibles para la realización de este estudio

Las métricas que se calcularon se aplicaron a nivel de paisaje, clase y parche. La siguiente tabla resume cada métrica utilizada y su factibilidad de aplicación dentro de la zona de estudio.

Tabla 5. Descripción y factibilidad de aplicación de las métricas aplicadas para la zona de estudio

Métrica	Rango	Nivel de aplicación	Comentarios	Factibilidad de aplicación
Área total de clase(ATC)	DE>0, sin limite	Clase	Cuantifica áreas de cobertura	<i>Medida muy fácil de calcular e interpretar, explica objetivamente la extensión de una clase determinada. La medida no se ve influenciada por la forma de los parches, la cual es muy variable en la zona de estudio</i>

<p>Porcentaje de Paisaje (PP)</p>	<p>$0 < PP \leq 100$</p>	<p>Clase</p>	<p>Cuantifica porcentajes de cobertura respecto al total del paisaje</p>	<p><i>Medida muy fácil de calcular e interpretar, explica objetivamente el porcentaje de cobertura de una clase determinada. La medida no se ve influenciada por la forma de los parches, la cual es muy variable en la zona de estudio</i></p>
<p>Índice de Diversidad de Simpson (IDS)</p>	<p>$0 \leq IDS < 1$</p>	<p>Paisaje</p>	<p>Cuantifica la heterogeneidad global del paisaje</p>	<p><i>Aplicable a la diversidad o variabilidad paisajística de la zona de estudio, y comparable a una escala de valores específica</i></p>
<p>Compacidad (C)</p>	<p>$0 \leq C \leq 1$</p>	<p>Parche, Clase</p>	<p>Cuantifica la forma de parches respecto a la figura geométrica del círculo de la que se asume posee una forma ideal</p>	<p><i>Medida sencilla y fácil de interpretar, fundamentada en criterios de forma que se adaptan a las variaciones de tamaño y forma de parches de un mismo tipo de vegetación</i></p>

<p>Dispersión (DISP)</p>	<p>DISP>0</p>	<p>Clase</p>	<p>Es una medida del grado de agregación espacial entre clases en función del número de parches, área total del paisaje y distancias entre parches</p>	<p><i>Mide dispersión de cualquier tipo de cobertura vegetal o no vegetal (zonas urbanas, cultivos, etc), al mismo tiempo que brinda una mejor idea de aislamiento entre coberturas boscosas. Además toma en cuenta número de parches y distancia entre parches, medidas básicas en ecología de paisaje.</i></p>
---------------------------------	------------------	--------------	--	--

Para calcular las distintas métricas se utilizó el programa ArcGis 9.2 y el programa Fragstats 3.3.

4.8 Proceso para el cálculo de métricas de paisaje en Fragstats 3.3

Fragstats trabaja con formato raster. Para esto, se transformó el mapa de formato vector a raster

La imagen resultante es de 8 bits de tipo *unsigned* (sin signo), es decir de 0 a 255. Fragstats trabaja con imágenes de tipo *signed* (con signo), por lo que se convirtió la imagen que se obtuvo a tipo *signed*.

A esta imagen se recodificó los valores de los diferentes grupos de píxeles que representaban las distintas clases a nuevos códigos con valores enteros positivos correspondientes a cada clase en el paisaje. Al fondo de la imagen también se le asignó un valor para que sea reconocido posteriormente por Fragstats y no incluirlo en los cálculos.

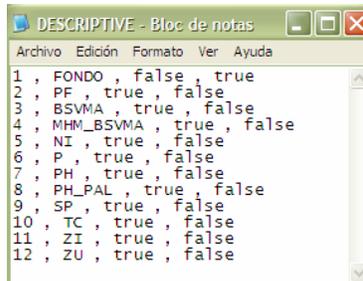
Con el fin de organizar los datos de entrada, Fragstats necesita de un archivo .fdc llamado archivo de propiedades de clase el cual debe contener la siguiente sintaxis para cada tipo de clase:

Identidad de Clase, Nombre de Clase, Estado, Fondo

En Identidad de Clase ubicamos el valor para cada tipo de clase que se escogió en la recodificación previa de la imagen.

En Nombre de Clase ubicamos la leyenda correspondiente a cada valor de clase. En Estado, escribimos la palabra "*true*" para todas las clases y "*false*" para el fondo. En Fondo, al contrario que en el caso anterior, escribimos la palabra "*false*" para cada clase y "*true*" para el caso del fondo. Esto se realiza para que el programa Fragstats no considere dentro del análisis de las métricas, al fondo del archivo raster que contiene el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo, es decir, si no se realiza este procedimiento el programa reconoce al fondo como una cobertura adicional lo cual ocasionaría resultados erróneos en las medidas aplicadas.

Figura 8. Contenido del archivo .fdc



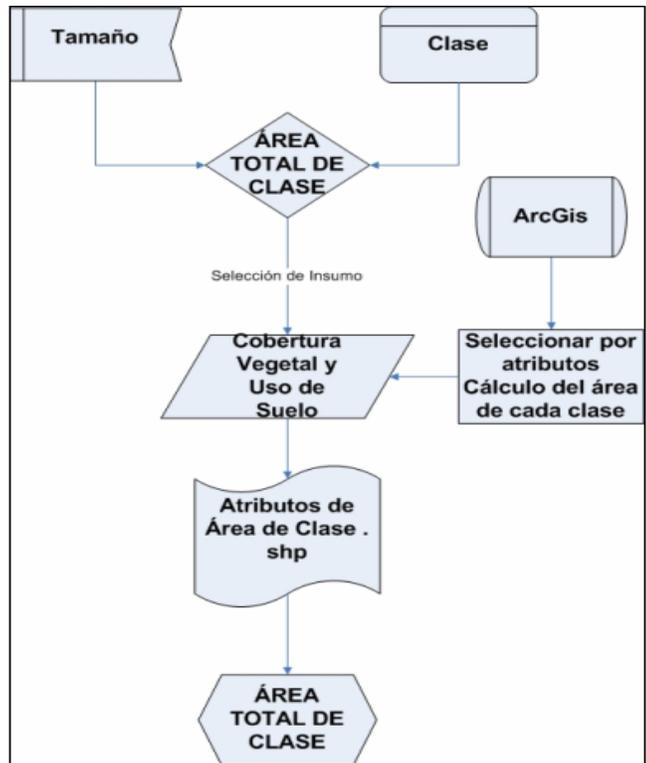
```
1 , FONDO , false , true
2 , PF , true , false
3 , BSVMA , true , false
4 , MHM_BSVMA , true , false
5 , NI , true , false
6 , P , true , false
7 , PH , true , false
8 , PH_PAL , true , false
9 , SP , true , false
10 , TC , true , false
11 , ZI , true , false
12 , ZU , true , false
```

Fuente: Elaboración propia

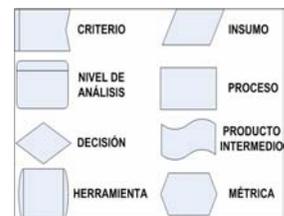
4.9 Cálculo del Área Total de Clase

Se realiza un cálculo del área de cada clase de cobertura (Ver fórmula [1], Pág. 11) tomando como insumo el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo de la Subcuenca (Ver Flujograma 3)

Flujograma 3. Cálculo del Área total de clase



SIMBOLOGÍA

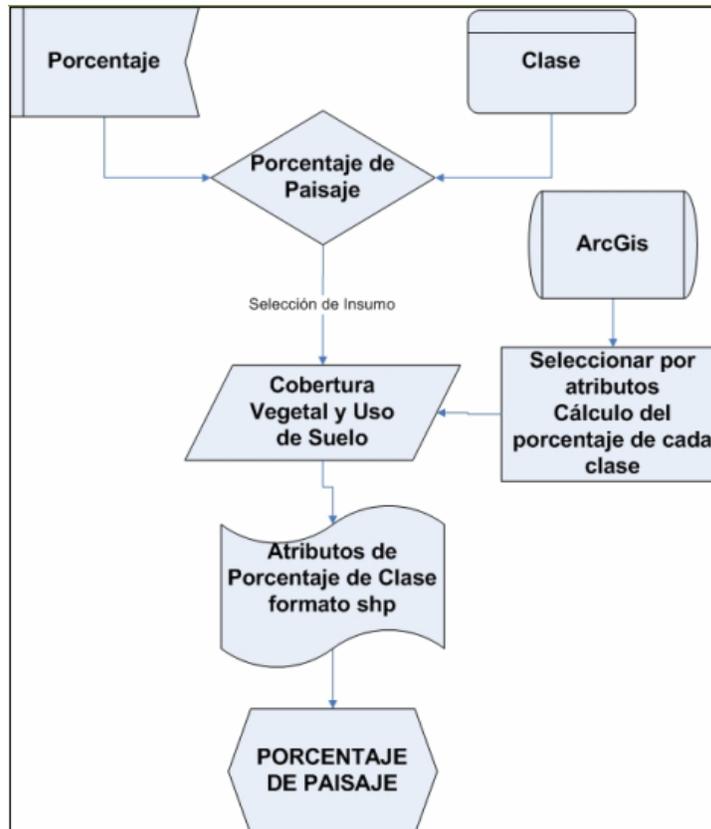


Fuente: Elaboración propia

4.10 Cálculo de Porcentaje de Paisaje

Utilizando las áreas calculadas anteriormente y el área total de la Subcuenca se realiza el cálculo del porcentaje (Ver fórmula [2], Pág. 11) que ocupa cada tipo de cobertura vegetal y no vegetal (Ver Flujograma 4).

Flujograma 4. Cálculo de Porcentaje de paisaje



SIMBOLOGÍA

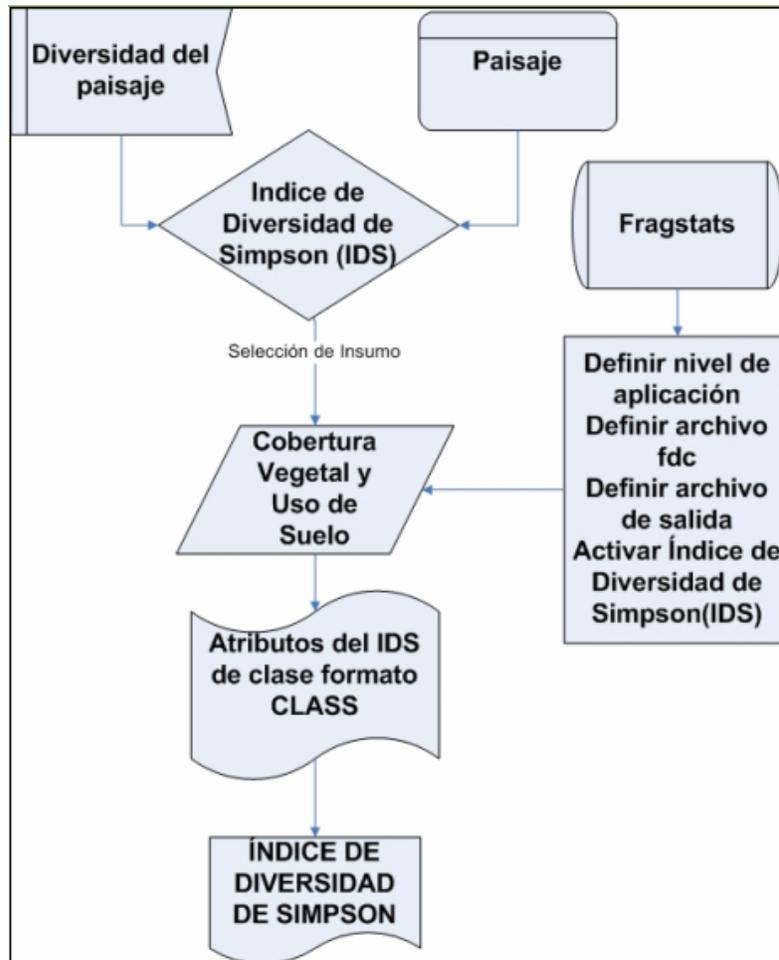


Fuente: Elaboración propia

4.11 Cálculo del Índice de Diversidad de Simpson

Este índice es calculado por medio del programa Fragstats 3.3 (Ver fórmula [3], Pág. 12, y Flujoograma 5).

Flujoograma 5. Cálculo del Índice de Diversidad de Simpson



SIMBOLOGÍA

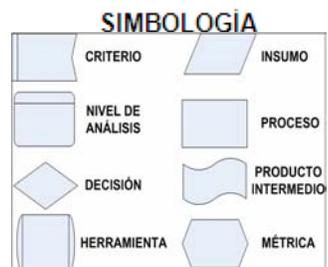
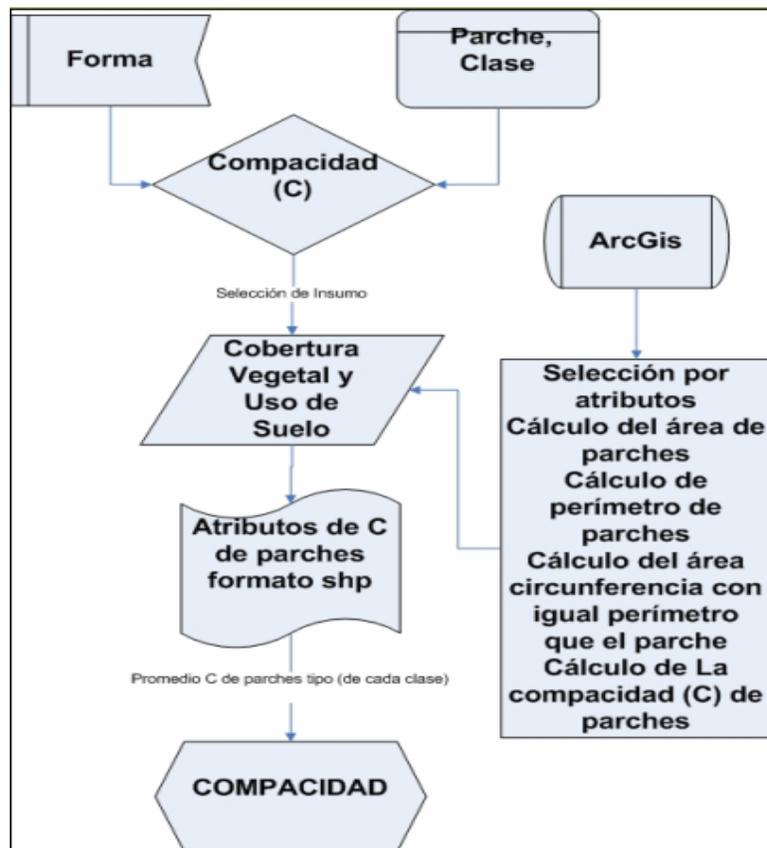


Fuente: Elaboración propia

4.12 Cálculo de la métrica de Compacidad

Se realizó el cálculo del área y del perímetro de cada parche de cada clase. Después se calculó el área de la circunferencia de igual perímetro para cada parche de cada clase. Con estos datos se calculó la compacidad para los parches de cada clase (Ver fórmulas de la [4] a la [8], Págs. 12 y 13). El promedio de compacidad de los parches para cada clase es la métrica de compacidad para cada clase (Ver Flujoograma 6).

Flujoograma 6. Cálculo de la métrica de Compacidad

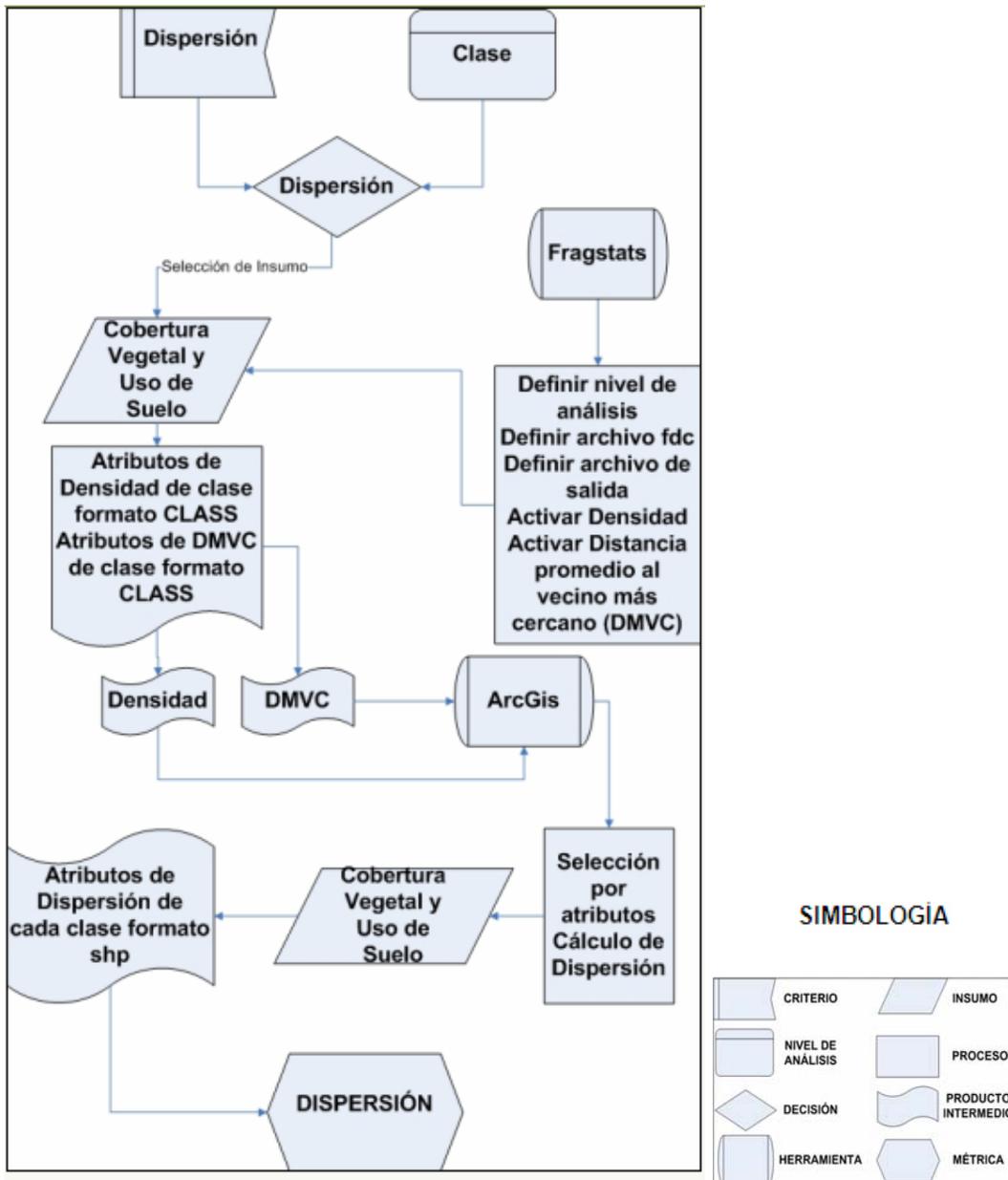


Fuente: Elaboración propia

4.13 Cálculo de la métrica de Dispersión

Se calculó Densidad de parches y Distancia media al vecino más cercano en el programa Fragstats 3.3 para después ingresar estos datos en ArcGis 9.2 con los cuales se calcula de dispersión de parches para cada clase (Ver fórmulas [9] y [10], Pág.14, y Flujoograma 7).

Flujoograma 7. Cálculo de la métrica de Dispersión



Fuente: Elaboración propia

4.14 Análisis de Fragmentación

Para la zona de estudio se va a realizar un análisis de fragmentación enfocado las coberturas de bosque montano alto y de matorral_bosque montanos.

Las demás clases relacionadas con vegetación han sido excluidas de este análisis más detallado debido a diversas razones:

Para la zona de cultivos y pastos resultaría un análisis de fragmentación a otra escala de trabajo, mucho mayor, ya que se enfocaría mas bien a formaciones vegetales aisladas como arbustos o árboles dispersos entre los cultivos y pastizales

Los páramos no son susceptibles a ser analizados desde un punto de vista de fragmentación ya que si bien pueden aparecer como ecosistemas fragmentados, en realidad no lo son, ya su aislamiento se debe mas bien a razones altitudinales.

Las plantaciones forestales, debido a su origen, no son formaciones vegetales en las que convendría un análisis de fragmentación, ya que cuando hablamos de fragmentación estamos hablando del continuo reducimiento y aislamiento de coberturas arbóreas naturales frente a perturbaciones antrópicas. Estas plantaciones, en cambio fueron hachas en una zona de uso agrícola en las que el bosque natural desapareció hace ya siglos.

Debido a la falta de índices de fragmentación que tengan una escala predefinida que sea susceptible de comparar, se realizó un análisis de fragmentación a partir de los datos de los resultados de las métricas aplicadas, ya que la fragmentación es determinada a partir del reducimiento del área de parches (tamaño), de su densidad (número de parches por unidad de área), de su grado de aislamiento (distancia euclidiana al vecino más cercano) y el grado de variación de sus bordes (forma)

Para un mejor análisis se realizan las siguientes especificaciones para el conjunto de parches tipo (clase) que se analiza:

- ◆ Número de Parches
- ◆ Área mínima, el área máxima y el área promedio
- ◆ Número de parches de tamaño de 1 a 10 hectáreas (Ha)
- ◆ Número de parches de tamaño de 10 a 50 hectáreas (Ha)
- ◆ Número de parches de tamaño mayor a 50 hectáreas (Ha)
- ◆ Compacidad mínima, máxima y promedio
- ◆ Compacidad promedio para parches de 1 a 10 hectáreas (Ha)
- ◆ Compacidad promedio para parches de 10 a 50 hectáreas (Ha)
- ◆ Compacidad promedio para parches mayores a 50 hectáreas (Ha)
- ◆ Densidad
- ◆ Distancia media euclidiana al vecino más cercano

Capítulo V

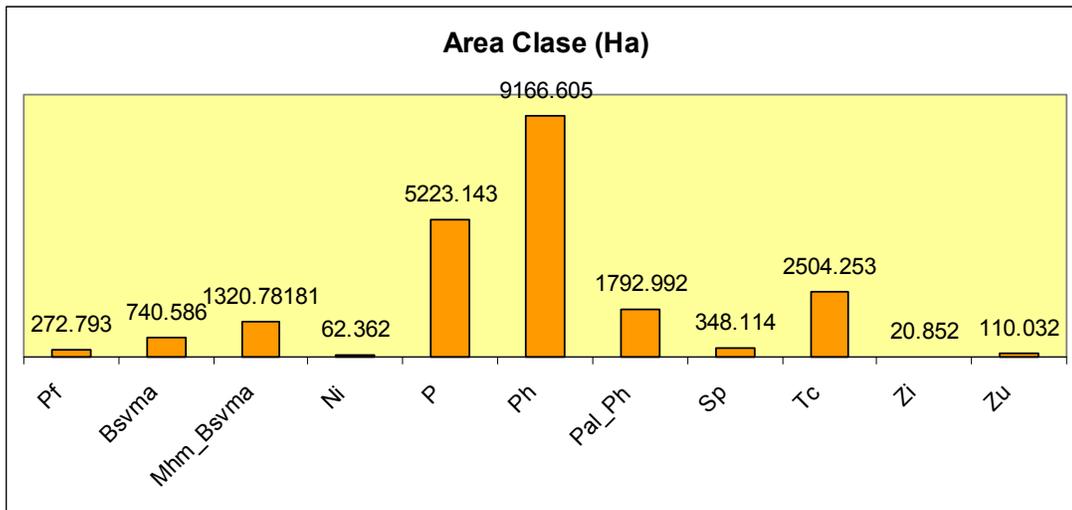
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio incluye el análisis de las diversas características estructurales que estudia la ecología de paisaje: número de parches, tamaño de las distintas coberturas, forma, aislamiento entre parches de la misma clase y diversidad del paisaje.

A continuación se indican los resultados obtenidos de las medidas de paisajes calculadas y se realiza un análisis de las mismas tomando en cuenta conceptos de ecología de paisaje.

5.1 Área de Clase

Gráfico 1. Área de clase

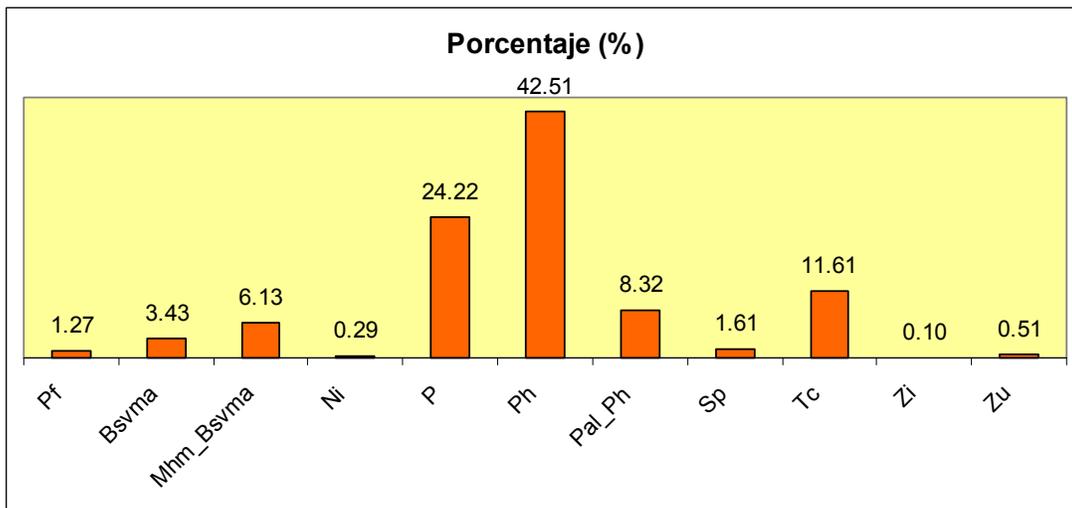


Pf=Plantaciones forestales	Sp= Superpáramo
Bsvma= Bosque siempre verde montano alto	Tc= Terrenos cultivados
Mhm_Bsvma=Matorral húmedo montano_ Bosque siempre verde montano alto	Zi= Zonas de invernaderos
Ni=Nival	Zu= Zonas urbanas
P=Pasto	
Ph= Páramo herbáceo	
Pal_Ph= Páramo de almohadillas y herbáceo	

El Gráfico 1 y el Gráfico 2 explican las extensiones de cada cobertura en la zona de estudio, en donde se observa claramente una mayor extensión de lo que respecta a páramos, pasto y tierras de cultivo. Siguen en orden de extensión los bosques siempre verdes montanos altos, la asociación matorral húmedo montano_ bosque siempre verde montanos alto y plantaciones forestales, y por último, las coberturas con menor extensión a nival, superpáramo, invernaderos y área urbanas.

5.2 Porcentaje de Paisaje

Gráfico 2. Porcentaje de clase



Pf=Plantaciones forestales	Sp= Superpáramo
Bsvma= Bosque siempre verde montano alto	Tc= Terrenos cultivados
Mhm_Bsvma=Matorral húmedo montano_ Bosque siempre verde montano alto	Zi= Zonas de invernaderos
Ni=Nival	Zu= Zonas urbanas
P=Pasto	
Ph= Páramo herbáceo	
Pal_Ph= Páramo de almohadillas y herbáceo	

A continuación se realiza una explicación más detallada de cada cobertura, tomando en cuenta las áreas de las mismas y características ecológicas generales de las mismas.

Del total del área de la Subcuenca (21562.514 Ha) el área que abarca mayor porcentaje es el páramo herbáceo, por lo que se considera esta cobertura como la

matriz paisajística de la zona de estudio, ya que la cobertura cuya extensión es la mayor entre todas las coberturas existentes en un paisaje, es la matriz²⁸.

En este tipo de páramo abundan los pajonales como los géneros *Calamagrostis* y *Festuca*, también aparecen formaciones arbustivas aisladas.²⁹ En todo el país, este tipo de páramo ha sido constantemente afectado por quemas y pastoreo por lo que se pueden encontrar lugares con poca presencia de vegetación, en estado de recuperación.

Actualmente en la Subcuenca de La Chimba, el páramo está protegido, ya que forma parte de la Reserva Ecológica Cayambe- Coca, sin embargo, existe pastoreo vacuno, sobre todo de toros de lidia. La presencia de almohadillas es aislada en la mayor parte del páramo de la Subcuenca hasta llegar a la zona correspondiente a los cerros de Shucshayora y Angahuachana donde existe una alta presencia de almohadillas con formaciones aisladas de chuquiragua. Esta parte del páramo denota un mayor grado de conservación, debido principalmente a su difícil acceso. Este páramo corresponde a la clase Pal_Ph, asociación páramo de almohadillas y herbáceo, y ocupa el 8.23 % del total de la Subcuenca.

Le suceden altitudinalmente a esta formación el superpáramo, Sp ,y el nival, Ni, ocupando cada uno el 1.61% y el 0.29 % respectivamente. Estas dos clases de coberturas carecen casi por completo de formaciones vegetales, aparecen solamente líquenes y musgos.

Dentro de la matriz de páramo herbáceo sobresalen los parches de bosque siempreverde montano alto, Bsvma, y las asociaciones matorral-bosque montanos, Mhma_Bsvma. Si bien estas dos coberturas cubren áreas pequeñas respecto al total de la Subcuenca, (740.6 Ha para Bosque montano alto y 1320.8 Ha para la asociación matorral-bosque montanos), su valor ecológico es el más elevado debido a la variedad de especies vegetales nativas que albergan.

No es conocido con precisión las extensiones originales que tenían los bosques nativos montanos en el Ecuador, pero si se puede afirmar que

²⁸ FORMAN RICHARD, GODRON MICHEL, Landscape Ecology, 1.ª Edición, John Wiley & Sons, Estados Unidos, 1986

²⁹ BAQUERO FRANCISCO, et al. , La Vegetación de los Andes del Ecuador , 1.ª Edición EcoCiencia/CELSA/EcoPar/MAGSIGAGRO/CDC-Jatunsacha/División Geográfica-IGM, Quito, 2004

abarcaban extensiones mucho mayores, desde los valles interandinos hasta los límites del superpáramo. Actualmente estos bosques los encontramos sobre todo en zonas de fuertes pendientes. El avance agrícola en la parte inferior de los antiguos límites, y muchas veces las quemadas en los páramos, en la parte superior de estos bosques, son las principales causas de su reducción.

En la zona de estudio, la clase Mhma_Bsvma, es una zona que actúa realmente como un límite entre las clases de pastos y tierras de cultivo y el páramo. La gran cantidad de arbustos presentes en esta clase, como también de especies arbóreas de bajo crecimiento, hace creer que el bosque original de esta zona tuvo un alto grado de presión antrópica en el pasado, seguramente debido a la cercanía de distintas comunidades como Paquiestancia, Cariacu y Santo Domingo.

En la actualidad las propias comunidades han tomado conciencia del alto valor ecológico del bosque y tienden a actuar de mejor manera en el uso de los recursos que provee el mismo.

La clase de Bsvma, se ubica al noreste de la Subcuenca, y forma parte íntegra de la Reserva Ecológica Cayambe Coca. Las formaciones arbóreas son muy desarrolladas, sobresale el Bosque de la zona de Chalpar, en donde se ha identificado especies nativas bien desarrolladas como el Borracho (*Hedyosmum* sp), Tupial (*Myrsine dependez*), Maticalcana (*Hypericum laricifolium*), Matache (*Weinmannia pinnata*), entre otros³⁰. La distribución de los parches de Bsvma forman verdaderas islas de alto grado de biodiversidad frente a la matriz de páramo herbáceo que los rodea.

La segunda cobertura con mayor extensión después de páramo herbáceo es la de pasto (24.22 %), seguida de tierras de cultivos(11.61%). El alto porcentaje de cobertura de pasto presente se debe principalmente a factores económicos, la principal actividad económica de la zona es la producción de leche. Existen áreas de cultivos y de pastos de muy pequeño tamaño, unas a continuación de otra, que

³⁰ CATUCUAMBA MARÍA PIEDAD, "Inventario de árboles y arbustos del Bosque Nativo de Chalpar con fines medicinales, Pichincha-Cayambe", Tesina de Tecnología, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Politécnica Salesiana, Cayambe, 2004

hace complicada la discriminación de uno y otro a la escala con la que se trabajó. Sin embargo se aprecia una dominancia de cultivos en toda la zona al occidente de los principales poblados, Olmedo, La Chimba y Pesillo.

Estos tres poblados conforman el área urbana de la Subcuenca, ocupando el 0.51% de la misma. El pasto ocupa prácticamente el resto de las zonas bajas de la Subcuenca.

Se puede deducir una presencia mayoritaria de especies exóticas afines a esta “matriz” agrícola-ganadera o especies tolerantes a altos grados de heterogeneidad paisajística, como por ejemplo, presencia de roedores como ratones, conejos, y aves, como gorriones, mirlos, entre otros.

Las plantaciones forestales, que ocupan solo el 1.27 %, aparece en la zona agrícola y se conforma principalmente de Eucalipto y también aparecen bosquetes de Pino. Estas plantaciones aparecen principalmente a lo largo de las vías y cursos de aguas, en lomas cercanas a caseríos pero también asociados a cultivos.

Se presentan dos parches correspondientes a invernaderos (Zi) que ocupan solo el 0.1 % de la Subcuenca, ubicados al extremo suroccidental de la misma, cercanos a Cayambe. La actividad florícola es también intensa en este cantón.

5.3 Índice de Diversidad de Simpson

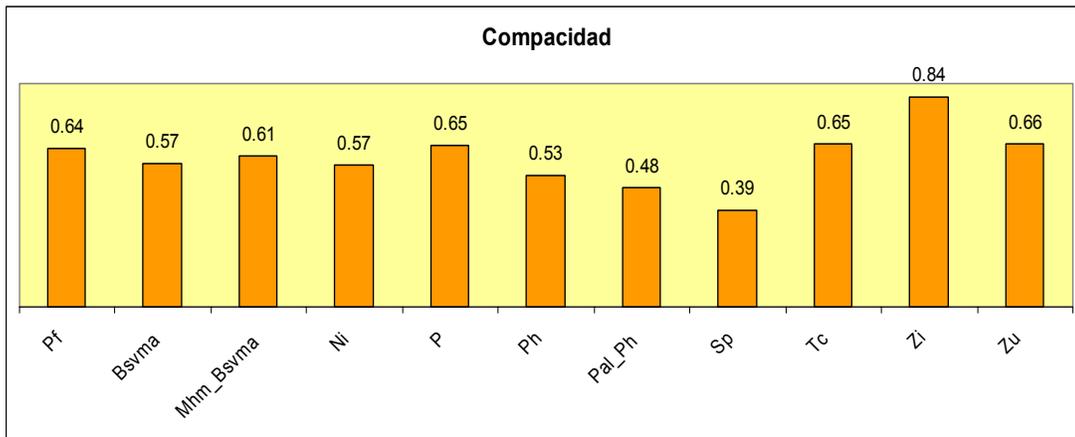
Esta métrica fue aplicada a nivel de paisaje, y tiene un valor límite de 1. La gran variabilidad paisajística de la zona de estudio, se debe a los diferentes tipos de coberturas vegetales y no vegetales existentes (páramos, bosques, cultivos, pastos, áreas urbanas y de invernaderos). Debido a esta diferencia grande de coberturas dentro de la Subcuenca, el resultado del índice de diversidad de Simpson aplicado a paisajes fue de 0.7643. Esto demuestra cuantitativamente que el paisaje dentro de la Subcuenca es muy heterogéneo, que ecológicamente, puede significar mayor número de interacciones entre ecosistemas diferentes. Esto se puede explicar con el siguiente ejemplo, tomando tres clases de coberturas existentes en la zona de estudio: los cultivos y pastos con la cobertura de matorral húmedo montano_bosque siempre verde montano alto.

Estas tres coberturas varían significativamente en cuanto a su función y composición, pero en la zona de estudio aparecen unas a lado de otras. Esta yuxtaposición entre coberturas diferentes, en este caso, puede causar mayor interacción entre especies especialistas y no especialistas. Por ejemplo, existe el riesgo que el matorral húmedo montano_bosque siempre verde montano alto sirva de refugio a especies invasivas de la zona agrícola ganadera, o al contrario, especies nativas pueden salir del bosque nativo para encontrarse en un ambiente inhóspito de pastos y cultivos. Esta interacción de especies entre distintos ambientes es causada por la heterogeneidad del paisaje.

En conclusión, la alta heterogeneidad paisajística de la zona de estudio significa mayor interacción entre diferentes ecosistemas, por lo tanto, mayor dinámica en el flujo de materia y energía entre los mismos.

5.4 Compacidad

Gráfico 3. Compacidad



Pf=Plantaciones forestales	Sp= Superpáramo
Bsvma= Bosque siempre verde montano alto	Tc= Terrenos cultivados
Mhm_Bsvma=Matorral húmedo montano_ Bosque siempre verde montano alto	Zi= Zonas de invernaderos
Ni=Nival	Zu= Zonas urbanas
P=Pasto	
Ph= Páramo herbáceo	
Pal_Ph= Páramo de almohadillas y herbáceo	

El Gráfico 3 muestra los valores de compacidad obtenidos para cada cobertura, en general se ve valores más altos en coberturas de origen antrópico, mientras que en coberturas naturales se dan valores menores (Ver también

Figura 9). Mientras los valores más se acercan a 1 explican formas más homogéneas, al alejarse de 1 formas más irregulares

La Tabla 7 muestra los valores máximos y mínimos de compacidad de todos los parches de cada clase. Es necesario especificar estos valores, ya que en la zona de estudio se observó un gran variabilidad de valores de compacidad entre la mayoría de coberturas.

Tabla 6. Máximos y mínimos de compacidad para cada clase

Clase	Min	Max
Pf	0.37	0.89
Bsvma	0.25	0.86
Mhm_Bsvma	0.16	0.93
Ni	0.49	0.67
P	0.08	0.89
Ph	0.07	0.77
Pal_Ph	0.23	0.71
Sp	0.34	0.43
Tc	0.14	0.90
Zi	0.82	0.87
Zu	0.51	0.75

A continuación se detalla el análisis de compacidad para cada cobertura:

Los valores de compacidad varían notablemente entre parches de una misma clase (Ver Tabla 7), excepto en las clases de nival (Ni), superpáramo (Sp), zonas de invernaderos (Zi) y zonas urbanas (Zu). Para estas dos últimas clases, el índice demuestra cuantitativamente su naturaleza antrópica (0.84 para Zi y 0.66 para Zu), ya que presentan formas rectangulares y compactas.

El páramo herbáceo, presenta una baja compacidad, esto se debe a que por su condición de matriz posee una alta densidad de bordes, siendo más irregular, y también debido a la alta porosidad de coberturas de bosque sobre la misma. El páramo de almohadillas-herbáceo presenta también una baja compacidad (0.48),

esta cobertura pose una forma irregular, está inmersa en la matriz de páramo herbáceo, y debido a la irregularidad de sus bordes puede ser vulnerable frente a perturbaciones externas como por ejemplo las quemas.

Las coberturas de pasto y cultivos obtuvieron un mismo valor de 0.65, el cual es mayor a los valores obtenidos de la vegetación nativa, pero aun así es un valor mas bien bajo si consideramos que estas coberturas son mas bien de carácter antrópico. Para ambos casos esto se explica por la presencia de grandes parches de cultivos dentro de los cuales aparecen parches más pequeños de pasto o viceversa, dentro de grandes extensiones de pasto aparecen parches de cultivos. Además son coberturas grandes en el área de estudio con gran cantidad de bordes.

La alta variabilidad de las clases boscosas: Pf, Bsvma, Mhm_Bsvma indican que en las tres clases existen parches con formas desde muy cercanas a un círculo hasta parches bien alargados. Se podría pensar que las plantaciones forestales, debido a su origen no natural deberían tener valores de forma altos que tiendan a uno, pero en el caso de la zona de estudio no es así, ya que en general estos bosques poseen formas alargadas que siguen los cursos de ríos o carreteras.

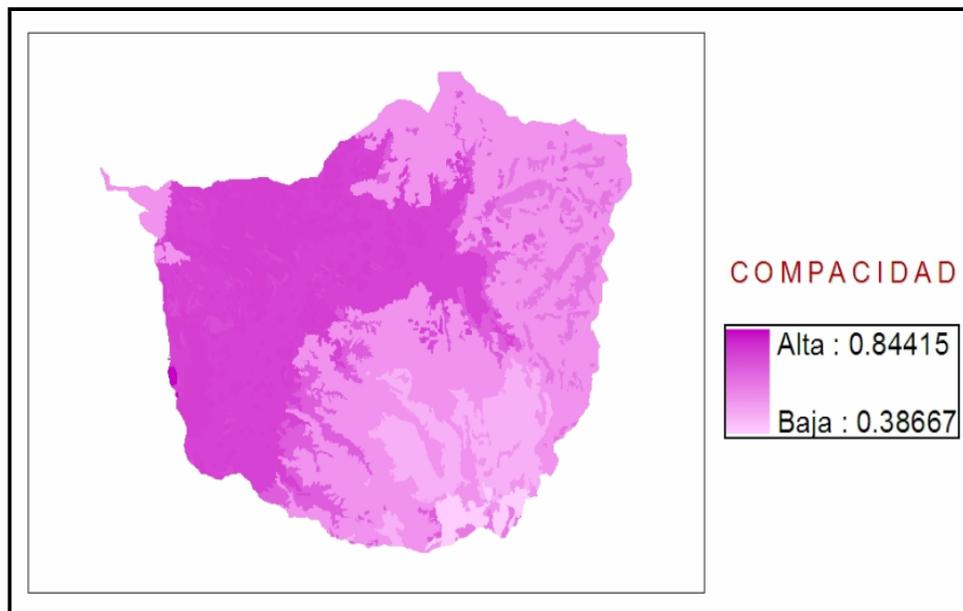
Para los bosques nativos la baja compacidad denota su origen natural, esta coberturas presentan parches alargados y debido a su condición de albergar especies vegetales y animales nativas es importante tomar en cuenta algunas implicaciones ecológicas dependientes de la forma que presentan. La compacidad promedio de valor mas bien bajo de parches de las clases de bosque montano como de matorral/bosque montanos denotan a nivel general una mayor longitud de borde e interacción con la matriz. Esta condición aumenta su vulnerabilidad frente a perturbaciones externas, como quemas y deforestación, principalmente causadas por el hombre, por motivos de la extensión de la frontera agrícola y ganadera o por aprovisionarse de plantas medicinales o leña para uso doméstico.

Otro punto a tomar en cuenta es que con formas alargadas estas clases boscosas tenderían a tener mayor presencia de especies de borde, generalmente

mucho más fuertes que las especies de interior, dando lugar a un decrecimiento de estas especies de interior al aumentar el efecto de borde.

Si bien el efecto de borde aumenta al aumentar el alargamiento de un parche específico, esta condición también puede traer efectos positivos en el movimiento de ciertas especies, ya que estas coberturas boscosas funcionarían como corredores para el desplazamiento de las mismas, así también como refugio frente a condiciones adversas en la matriz

Figura 9. Variable de Compacidad



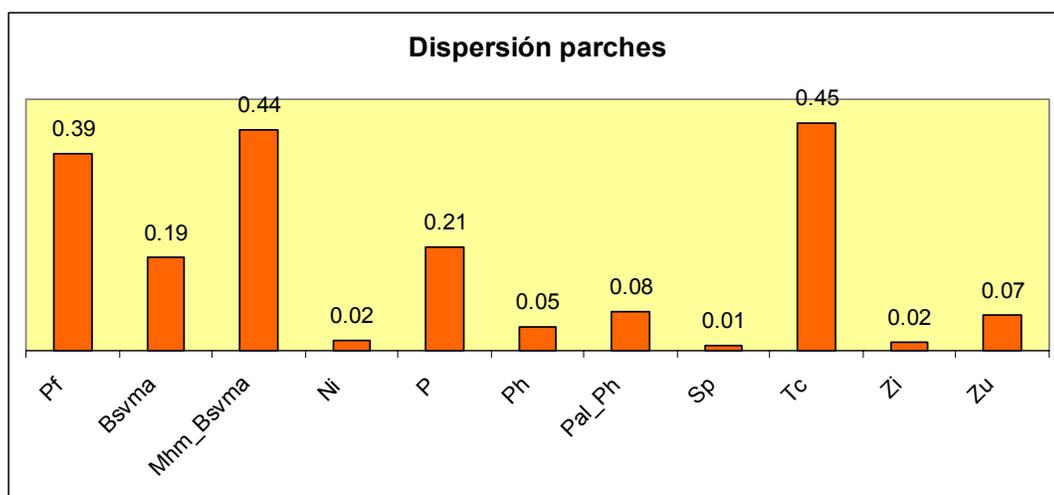
5.5 Dispersión de parches

Esta métrica es una función de la distancia media al vecino más cercano entre parches y la densidad de parches, la cual a su vez es proporcional al número de parches de cada clase. La Tabla 8 muestra los valores del número de parches, densidad de parches y distancia euclidiana media al vecino más cercano, los cuales determinan la dispersión de parches para cada clase.

Tabla 7. Relación número parches con densidad de parches y distancia media entre parches

Clase	Número de Parches	Densidad parches	Distancia euclidiana media al vecino más cercano (m)
Tc	124	0.58	123.44
Mhm_Bsvma	76	0.35	196.11
P	65	0.30	108.06
Pf	56	0.26	236.59
Bsvma	45	0.21	140.22
Ph	19	0.09	87.13
Pal_Ph	6	0.03	438.46
Ni	4	0.02	172.63
Zu	3	0.01	817.47
Zi	2	0.01	258.94
Sp	2	0.01	150

Gráfico 4. Dispersión de parches



Pf=Plantaciones forestales
 Bsvma= Bosque siempre verde montano alto
 Mhm_Bsvma=Matorral húmedo montano_ Bosque siempre verde montano alto
 Ni=Nival
 P=Pasto
 Ph= Páramo herbáceo
 Pal_Ph= Páramo de almohadillas y herbáceo
 Sp= Superpáramo
 Tc= Terrenos cultivados
 Zi= Zonas de invernaderos
 Zu= Zonas urbanas

El Gráfico 4 muestra los valores de dispersión de parches para cada clase. Se observa una dispersión menor en las clases de páramos y las clases que ocupan áreas menores como nival, superpáramo, zonas urbanas y zonas de invernadero. Las clases de bosque nativo, plantaciones forestales y tierras de cultivo poseen un grado de dispersión mayor (Ver figura 10).

A continuación se explica detalladamente los siguientes valores, como también la interpretación ecológica para cada uno de ellos:

Se observa que la mayor dispersión presenta tierras de cultivo (Tc). Esto se explica ya que esta clase se caracteriza por la presencia de un gran número de parches en la zona de estudio. Las tierras de cultivo, al tener mayor dispersión de parches conlleva repercusiones ecológicas que pueden alterar la calidad ecosistémica de la zona, por ejemplo, un parche de cultivo puede ser el foco de propagación de una plaga.

Lo mismo sucede con la clase de pasto, alto número de parches, disgregados en toda la zona de alta influencia antrópica.

De igual manera una gran cantidad de parches de pasto, altamente dispersos, asegura una predominancia de especies herbáceas introducidas usadas para pastoreo, que tienen más rápido crecimiento que especies herbáceas nativas, afectando la regeneración natural de dichas especies y haciendo que estas tiendan finalmente desaparecer.

Tomando en cuenta la calidad ecológica de un ambiente antrópico de predominancia de cultivos y pastos, la presencia de plantaciones forestales es un factor importante, ya que pueden servir de refugio de ciertas especies generalistas que tienen que atravesar continuamente pastos y cultivos.

En la zona de alta influencia antrópica se presentan 56 parches de plantaciones forestales, con una alta dispersión para la zona de estudio del 0.39. En general existen criterios encontrados a cerca del papel positivo o negativo que pueden tener las plantaciones forestales de especies exóticas en un ambiente determinado, para el caso de la zona de estudio, son plantaciones principalmente de eucalipto. Sin embargo, en una evaluación general, se puede concluir un

papel mas bien favorable de este tipo de coberturas en la zona de estudio, que principalmente cumplen funciones de protección de suelos de la erosión y como cortavientos.

La alta dispersión de plantaciones forestales de eucalipto, puede interpretarse como algo positivo, ya que las mismas se encuentran no en zonas de páramo sino en zonas agrícolas y de pastoreo. En estas áreas antropizadas, donde generalmente ya se ha dado un proceso de erosión y pérdida de suelos humíferos, estas plantaciones pueden contribuir a proteger el suelo contra más deterioro, debido a otros usos de suelo como el pastoreo, a más de suplir demandas de uso de leña evitando que los bosques nativos sean deforestados por esta causa³¹.

La asociación matorral-bosque montano también poseen alta dispersión, se entiende por el grado de densidad que presentan, si bien presentan parches grandes, hay también la presencia se parches pequeños diseminados en la matriz de páramo, lo que aumenta el grado de densidad y dispersión de los mismos, lo cual explica un mayor grado de fragmentación de esta cobertura, debido principalmente a la presión a la que fue sometida por estar prácticamente en contacto con la parte antropizada de la Subcuenca .

Un mayor grado de dispersión de vegetación nativa, hace más complicada la dispersión de especies tanto vegetales como animales.

La baja dispersión de bosque montano se debe a que este se encuentra localizado en un sector específico de la zona de estudio, prácticamente inmersa en un área protegida, los parches los encontramos más próximos unos de otros, lo cual es beneficioso para la dispersión de especies, ya que distancias cercanas entre parches optimiza el flujo de materia y energía en el ecosistema.

La baja dispersión de las clases de páramo herbáceo (Ph, Ph_Pal) se debe a que éstas se constituyen en general de poco número de parches grandes que cubre gran parte del área de estudio. La baja dispersión de estas clases

³¹ JARA, LUIS, "Impacto de la Forestación en la Zona Andina del Ecuador, Seminario-Taller del Impacto de la Forestación en la Zona Andina del Ecuador, Quito, 23 al 25 de julio de 1997

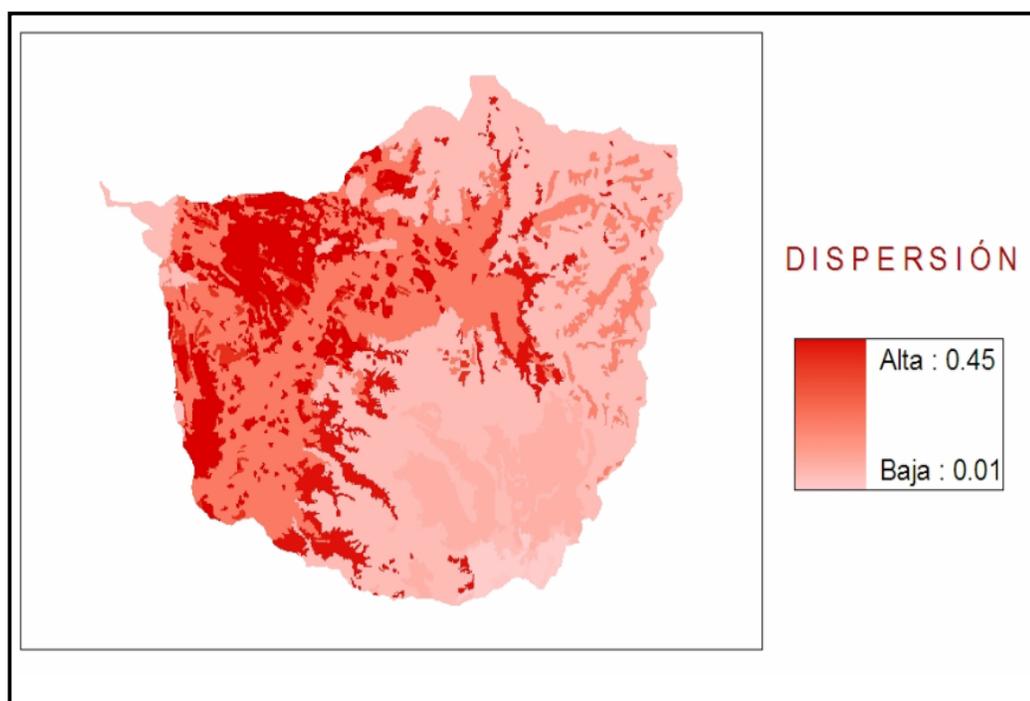
demuestra una alta cohesión de las mismas, reflejándose en la continuidad de la matriz de páramo.

Nival presenta una baja dispersión ya que lo constituye solo 4 parches igual que la clase correspondiente a superpáramo, que es una clase formada por solo dos parches.

La baja dispersión de zonas urbanas (Zu) y zonas de invernadero (Zi), con solo tres y dos parches respectivamente tiene mas bien una connotación ecológica positiva, ya que se podría afirmar que una baja densidad y dispersión de esta clase de coberturas tiende a minimizar la afectación que áreas pobladas pueden tener para con el ambiente que las rodea, como por ejemplo la degradación de cursos de aguas o la deforestación.

El grado de influencia por contaminación se reduce con una baja dispersión de áreas urbanas, y en el caso del área de estudio esta influencia es menor debido a que dichas áreas son pequeñas y funcionalmente no ejercen mayor presión sobre el ambiente, ya que sus pobladores se dedican principalmente a la ganadería y agricultura, siendo nula la existencia de grandes fábricas o industrias que en el caso de las grandes ciudades pueden afectar la calidad ambiental.

Figura 10. Variable de Dispersión



5.6 Análisis de Fragmentación

A continuación se indican los resultados de las variables enfocadas a la fragmentación de las coberturas de bosque nativo presentes en el área de estudio. La Tabla 9 corresponde a los datos obtenidos de la clase de bosque siempre verde montano, mientras que la Tabla 10 indican los datos obtenidos de la clase matorral húmedo montano_bosque siempre verde montano alto

Tabla 8. Datos para el análisis de fragmentación del Bosque siempre verde montano alto

Clase (Formación vegetal)	Variable	Valor
Bosque siempre verde montano alto (Bsvma)	Número de Parches	45
	Área mínima	1
	Área máxima	124.36
	Área promedio	16.5
	Número de parches con tamaño de 1-10 Ha	30
	Número de parches con tamaño de 10-50 Ha	12
	Número de parches con tamaño > a 50	3
	Compacidad mínima	0.25
	Compacidad máxima	0.86

Bosque siempre verde montano alto (Bsvma)	Compacidad promedio	0.57
	Compacidad promedio de parches de tamaño de 1-10 Ha	0.700
	Compacidad promedio de parches de tamaño de 10-50 Ha	0.440
	Compacidad promedio de parches con tamaño > 50 Ha	0.270
	Densidad	0.21
	Distancia media euclidiana al vecino más cercano	140.22

Tabla 9. Datos para el análisis de fragmentación asociación Matorral húmedo montano_Bosque siempre verde montano alto

Clase (Formación vegetal)	Variable	Valor
Matorral húmedo montano_Bosque siempre verde montano alto (Mhm_Bsvma)	Número de Parches	76
	Área mínima	1
	Área máxima	227.22
	Área promedio	17.38
	Número de parches con	57

Matorral húmedo montano_Bosque siempre verde montano alto (Mhm_Bsvma)	tamaño de 1-10 Ha	
	Número de parches con tamaño de 10-50 Ha	13
	Número de parches con tamaño > a 50	6
	Compacidad mínima	0.16
	Compacidad máxima	0.93
	Compacidad promedio	0.61
	Compacidad promedio de parches de tamaño de 1-10 Ha	0.658
	Compacidad promedio de parches de tamaño de 1-10 Ha	0.443
	Compacidad promedio de parches con tamaño > 50 Ha	0.265
	Densidad	0.35
	Distancia media euclidiana al vecino más cercano	196.11

Observando las características correspondientes a Bsvma y Mhm_Bsvma, se aprecia una similitud en los datos obtenidos a partir de la medición de su estructura. En las dos coberturas existen una gran cantidad de parches de pequeño tamaño y una menor cantidad de parches de mayor tamaño. Los parches de tamaño pequeño varían en áreas desde 1 hectárea a 10 hectáreas, los de tamaño medio de 10 a 50 hectáreas y los de tamaño grande mayores a 50 hectáreas.

En general, para los dos casos, se observa que los parches de mayor tamaño tienen formas más alargadas mientras que los parches pequeños guardan formas circulares. Sabiendo que un valor de compacidad que tienda a 1 equivale a formas compactas, observamos que mas bien existen predominancia de valores medios que tienden a 0.5.

Las distancias entre parches de ambas categorías también es corta, no más de 200 metros.

Dando un sentido de fragmentación para todos los datos anteriores se observa un sentido ecológico positivo en cuanto a la corta distancia que separa los parches, los valores altos de compacidad de los parches pequeños que los vuelve mas estables frente a posibles perturbaciones externas, y finalmente el caso de los parches grandes, que si bien tienen formas alargadas, su notable extensión minimiza el efecto de borde y mantiene áreas núcleo estables.

Capítulo VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La Ecología de Paisaje estudia tres aspectos en un paisaje: la configuración y distribución espacial de sus componentes (estructura), los flujos de energía y materia que se dan respecto a esta distribución y configuración espacial (función), y por último, las dinámicas y los cambios del paisaje a través del tiempo (cambio).
- Dentro de la Ecología de Paisaje, el estudio de la estructura espacial de las diferentes coberturas vegetales y no vegetales, son de gran importancia para lograr entender los procesos ecológicos que se dan sobre dichas coberturas.
- El modelo estructural de paisaje que se aplicó es el de matriz, parche y corredor, a partir del mapa de cobertura vegetal y uso de suelo de la zona de estudio
- Para la zona de estudio las coberturas de mayor tamaño son las correspondientes a páramo herbáceo (matriz paisajística) y pastizales, existen coberturas de tamaño medio como las que corresponden a cultivos y formaciones boscosas nativas, y coberturas que ocupan áreas pequeñas respecto al área de estudio que son de tipo antrópico como son zonas urbanas y zonas de invernaderos.
- Los valores de compacidad para la mayoría de las coberturas en la zona de estudio son valores medios que demuestran una variabilidad alta en la

forma de dichas coberturas, presentándose desde formas alargadas a manera de corredores, hasta formas muy compactas que tienden a asemejarse a formas de círculos.

- El paisaje de la zona de estudio demostró ser cuantitativamente muy diverso, ya que se presentan coberturas de origen y uso humano, en el sector del valle interandino, hasta coberturas de vegetación natural como son los bosques y páramos.
- Los bosques montanos altos dentro de la zona de estudio se encuentran en un estado de conservación aceptable, debido a las siguientes razones: tienen un alto grado de proximidad, cumplen funciones estructurales tanto de corredores como de espacios núcleo para especies nativas, además que se encuentran formando parte de la Reserva Ecológica Cayambe Coca, en zonas de alta pendiente de difícil acceso
- La asociación matorral_bosque montanos es una cobertura de bosque nativo que en el área de estudio cumple con dos funciones muy importantes: sirve de barrera entre las coberturas de pasto y cultivos con las de páramo, y debido a sus formas en su mayoría alargadas, como corredor potencial para las distintas especies.
- Respecto a las variables analizadas se puede afirmar que la Subcuenca del Río La Chimba presenta un estado ecológico estable, con zonas agrícolas y ganaderas, que presentan plantaciones forestales que cumplen funciones de cortavientos y de protección de la erosión, estas zonas presentan áreas urbanas consolidadas pequeñas y poco dispersas, respecto al total del área de la Subcuenca, que no significan un gran impacto para el ambiente. Las zonas de páramo y bosque están bien conservadas y estructuralmente cumplen con funciones ecológicas que ayudan al normal flujo de materia y energía que mantiene una estabilidad ecológica de las especies nativas presentes

- Este estudio es un aporte para desarrollar la ciencia de Ecología de Paisaje en el país, se revela como un trabajo que hace uso de métricas de paisaje muy fáciles de entender y aplicar y útiles para cualquier profesional que trabaje en el área de conservación. También permite ver la factibilidad de realizar un análisis de fragmentación utilizando medidas básicas prescindiendo de índices elaborados que muchas veces no son comparables a una escala definida o no son comparables entre sí.

6.2 Recomendaciones

- En la Subcuenca del Río La Chimba se pueden realizar programas de forestación en la zona agrícola. Para esta zona, se puede reforestar con especies exóticas como el eucalipto, con el fin de completar los corredores de plantaciones de eucaliptos ya existentes.
- En las zonas donde se encuentra bosque nativo, por ser zonas poco accesibles y poco alteradas, se recomienda, mantener su estado de conservación con el fin de que el bosque siempre verde montano alto se mantenga estable, y en el caso de la asociación matorral húmedo montano_bosque siempreverde montano, para que mantenga su capacidad de regeneración, con el fin de alcanzar un buen desarrollo de la especies arbóreas.
- Se sugiere implementar proyectos de educación ambiental para las comunidades que se asientan en la Subcuenca, con el fin de mejorar sus conocimientos sobre el estado ecológico del bosque nativo y del páramo y realizar una revalorización de estos recursos como reservas de agua, frente a posibles conflictos por escasez de agua que se puedan dar en el futuro.
- En estudios futuros sobre ecología de paisaje en la zona de estudio, se recomienda aplicar la metodología del presente proyecto, a un estudio multitemporal, para así tener una mejor idea de los cambios de estructura

de paisaje que se han desarrollado en la Subcuenca durante los últimos años.

- También se podría realizar un estudio que relacione las métricas analizadas con otras variables como por ejemplo geomorfología, clima, etc., mediante modelos que asignen pesos específicos a cada variable que se vaya a utilizar.

- Se puede mejorar los conocimientos respecto a la forma de los distintos parches de bosque nativo presentes en la zona de estudio, mediante estudios ecológicos de efecto de borde.

ANEXOS

A1. Río La Chimba

A2. Bosque Siempreverde Montano Alto

A3. Matorral Húmedo Montano

A4. Matorral Húmedo Montano_Bosque Siempreverde Montano Alto

A5. Páramo Herbáceo

A6. Páramo de Almohadillas y herbáceo

A7. Pastos, tierras de cultivos y plantaciones forestales

A8. Bosque nativo y pastizales

A9. Bosque nativo y páramo herbáceo

A10. Páramos de la comunidad de La Chimba, sector de Shucshayora

A 11. Superpáramo y Nival, Nevado Cayambe

A 12. Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo de la Subcuenca del Río La Chimba

A 13. Mapa de Análisis Estructural de Paisaje de la Subcuenca del Río La Chimba

A1

Fotografía: El Autor

A2

Fotografía: El Autor

A3

Fotografía: El Autor

A4

Fotografía: El Autor

A5

Fotografía: El Autor

A6

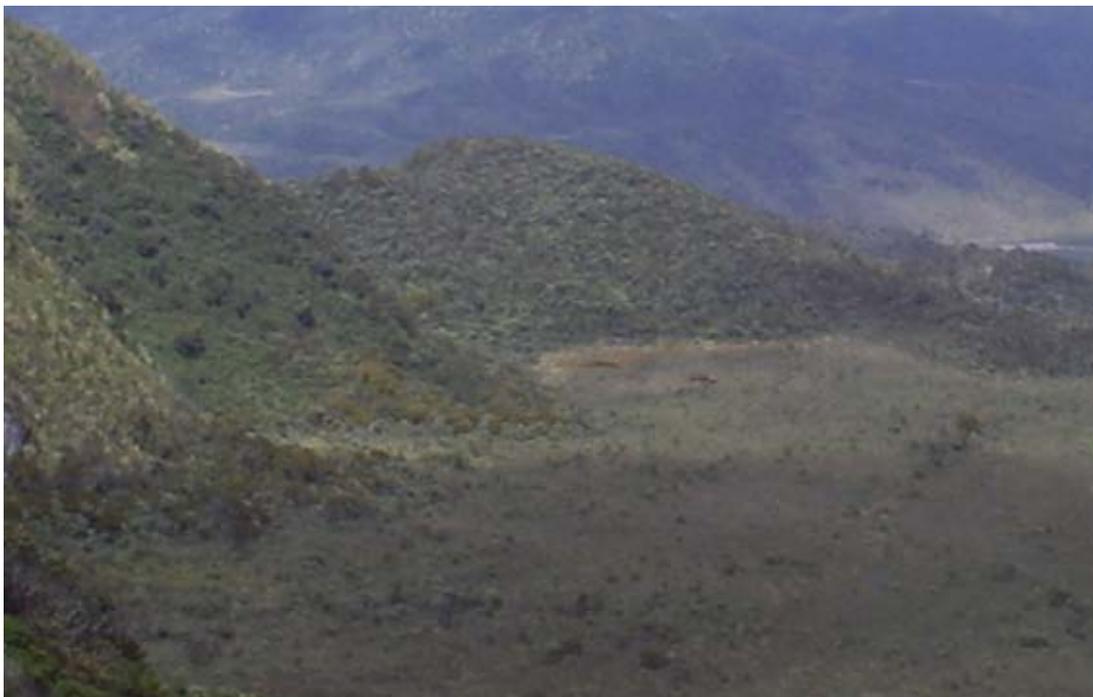
Fotografía: El Autor

A7

Fotografía: El Autor

A8

Fotografía: El Autor

A9

Fotografía: El Autor

A10

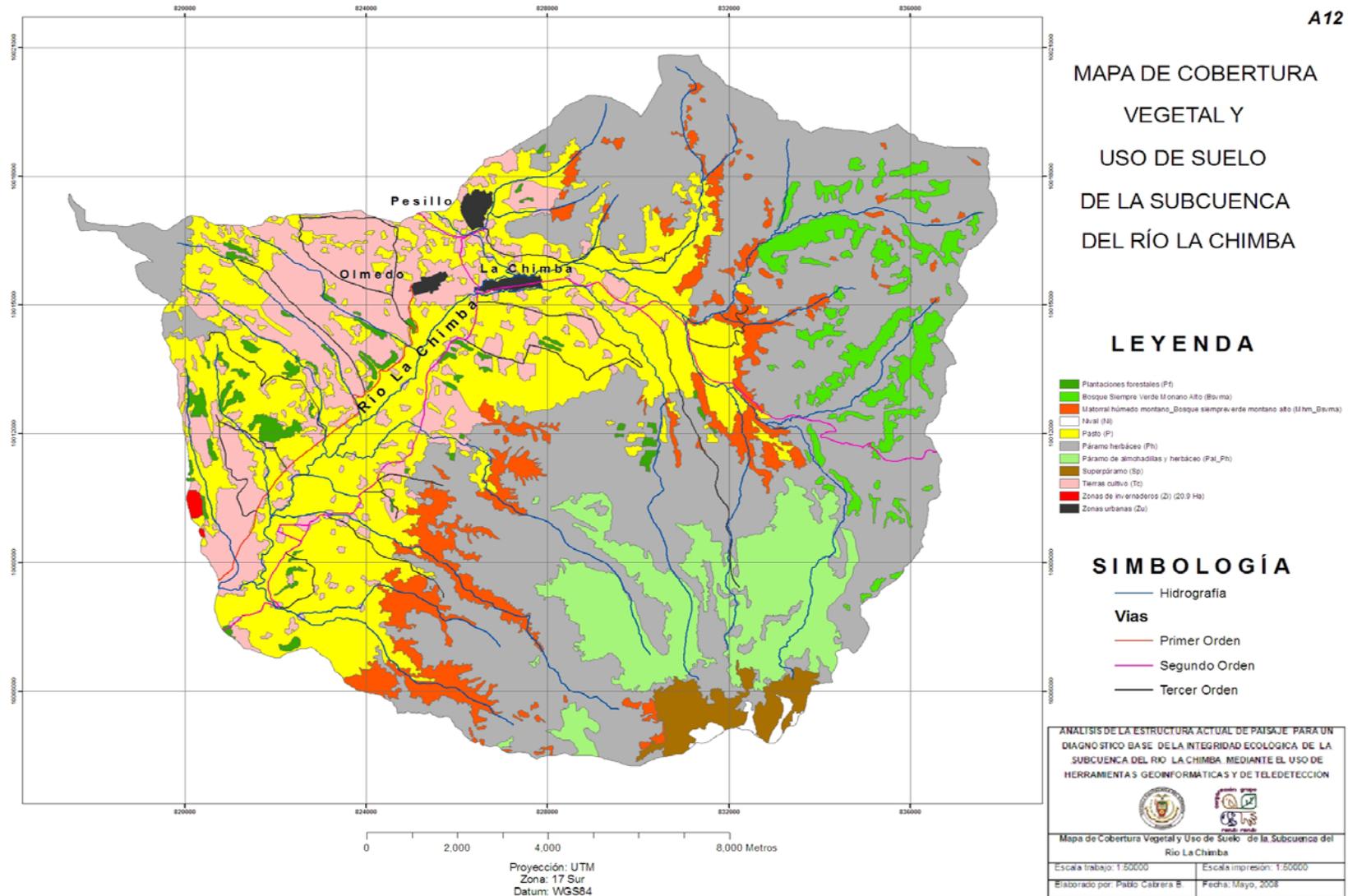
Fotografía: El Autor

A11

Fotografía: El Autor

A12

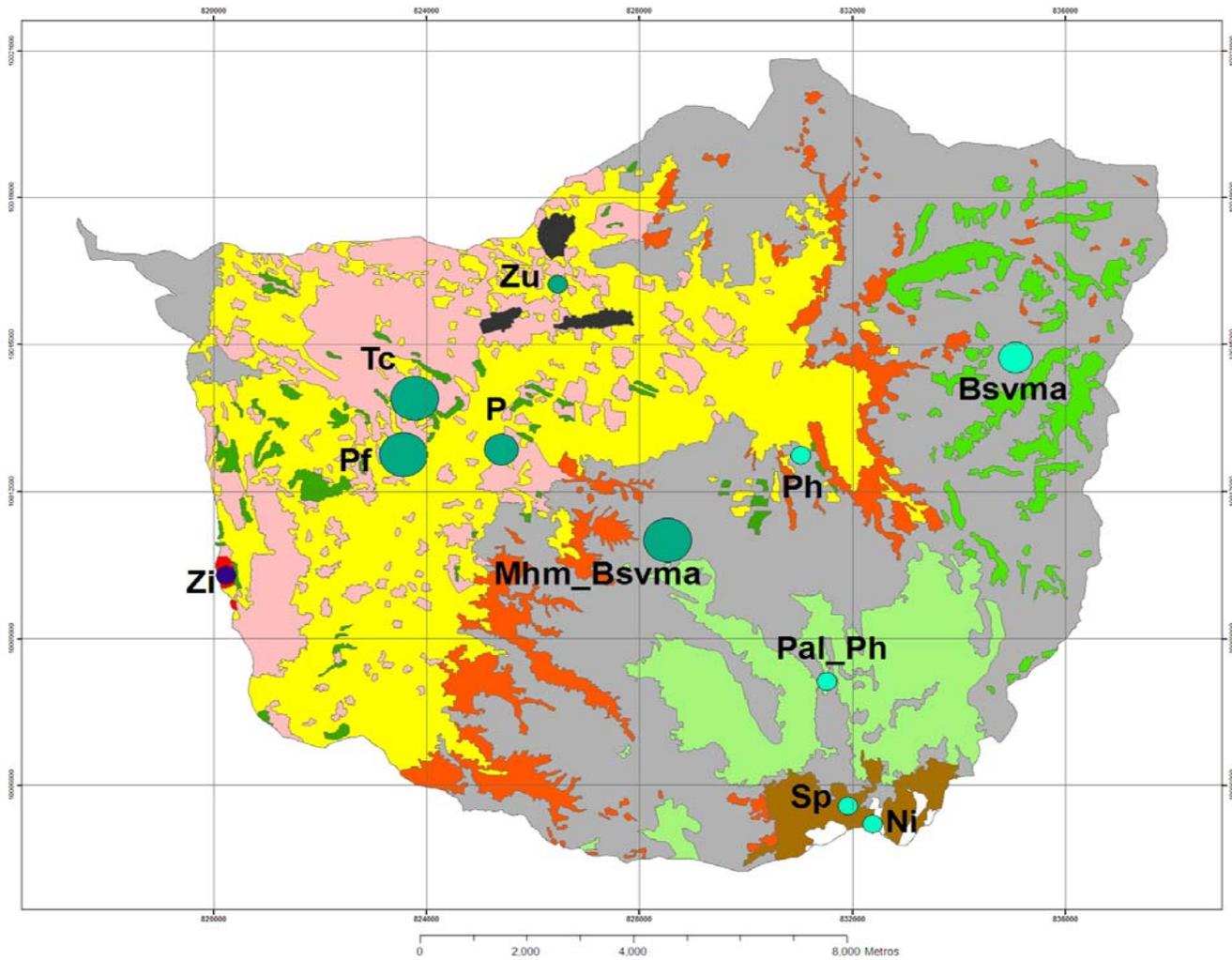
A12



A13

A 13

MAPA DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PAISAJE DE LA SUBCUENCA DEL RÍO LA CHIMBA



CLASE (ÁREA)

Pf (272.8 Ha)
Bsvma (740.6 Ha)
Mhm_Bsvma (1320.8 Ha)
Ni (62.4 Ha)
P (5223.1 Ha)
Ph (9166.6 Ha)
Ph_Pal (1792.99 Ha)
Sp (348.1 Ha)
Tc (2504.3 Ha)
Zi (20.9 Ha)
Zu (110.03 Ha)

COMPACIDAD

0.38667 - 0.52797
0.52798 - 0.65578
0.65579 - 0.84415

DISPERSION

0.01000 - 0.08000
0.08001 - 0.21000
0.21001 - 0.45000

Proyección: UTM
Zona: 17 Sur
Datum: WGS84

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE PAISAJE PARA UN DIAGNÓSTICO BASE DE LA INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO LA CHIMBA MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS GEOINFORMÁTICAS Y DE TELEDETECCIÓN

Mapa de Análisis Estructural de Paisaje de la Subcuenca del Río La Chimba

Escala Trabajo: 1:50000	Escala Impresión: 1:50000
Elaborado por: Pablo Cabrera B.	Fecha: Mayo, 2008

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAQUERO, FRANCISCO, et al. , *La Vegetación de los Andes del Ecuador* , 1.ª Edición EcoCiencia/CELSA/EcoPar/MAGSIGAGRO/CDC-Jatunsacha/División Geográfica-IGM, Quito, 2004

BOSMAN, A.F., et al., “Ecology of paramo cushion mire”, *Journal of Vegetation Science*, 4, 633-640, 1993

CASCO, SYLVINA, et al. , Análisis cuantitativo del paisaje como base para el diagnóstico de la biodiversidad, www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2001/6-Biologicas/B-034.pdf, 18.10.07

CATUCUAMBA, MARÍA PIEDAD, “Inventario de árboles y arbustos del Bosque Nativo de Chalpar con fines medicinales, Pichincha-Cayambe”, Tesina de Tecnología, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Politécnica Salesiana, Cayambe, 2004

CORREA, CAMILO , Análisis de la Estructura del Paisaje en el área metropolitana de Buenos Aires (Argentina), mediante el tratamiento visual y digital de imágenes satelitales, Tesis de Especialización, Universidad Nacional de Luján, Luján, Argentina, www.gepama.com.ar/images/Tesis-Correa-Ayram.pdf, 2005, 12.09.07

CUARAN, FREDDY , Diagnostico comparativo de las tecnologías disponibles de los cultivos de papas (*solanum tuberosum*) y cebada (*hordeum distichum*), en la Parroquia Olmedo, Subcuenca del Río La Chimba, Tesina de Tecnología. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Politécnica Salesiana, Cayambe, 2004

CUARAN, LUIS , “Recuperación y conservación de la fuente de agua que provee de agua potable a la parroquia Olmedo, Pichincha – Cayambe - Olmedo”, Tesina

de Tecnología, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Politécnica Salesiana, Cayambe, 2004

CHEN, JIQUAN, et al. , “Comparision of abiotic and structurally defined patch patterns in a hypothetical forest landscape”, *Conservation Biology*, 3-10, 854-862, 1996

CHUVIECO, EMILIO, et al. (2006): “Curso de Teledetección aplicada a la observación e información territorial. Tema 5”. *Curso de Teledetección aplicada a la observación e información territorio*, Madrid, 3 al 28 de julio de 2006

CHUVIECO, EMILIO. , *Teledetección Ambiental, la observación de la Tierra desde el Espacio*, 1.ª Edición, Ariel Ciencia, España, 2002

DIDHAM, RAPHAEL, **LAWTON**, JOHN, “Edge Structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments”, *Biotropica*, 31-1, 17-30, 1999

El Corredor Biológico Mesoamericano, una plataforma para el desarrollo sostenible regional, www.biomeso.net/GrafDocto/Plataforma.pdf, 2002, 04.04.08

FORMAN, RICHARD, **GODRON**, MICHEL , *Landscape Ecology*, 1.ª Edición, John Wiley & Sons, Estados Unidos, 1986

GRAU, RICARDO, Tema1. Ecología Regional y Ecología de Paisaje: Introducción, www.ecologiadelpaisaje.googlepages.com/Tema1.pdf, 12.09.07

GURRUTXAGA, MIKEL , Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco, www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-3074/es/contenidos/informe_estudio/indicadores_biodiversidad/es_doc/adjuntos/fragmentacion_2003.pdf , 2003, 12.09.07

HOFSTEDE, ROBERT, “El Impacto Ambiental de Plantaciones de Pinus en la Sierra del Ecuador, Resultados de una Investigación Comparativa”, 1.ª Edición, Universidad de Ámsterdam, Ámsterdam, 1997

HOLT, ROBERT, et al. , “Vegetation dynamics in an experimentally fragmented landscape”, *Ecology* , 76-5, 1610-1624, 1995

JARA, LUIS, “Impacto de la Forestación en la Zona Andina del Ecuador”, *Seminario-Taller del Impacto de la Forestación en la Zona Andina del Ecuador*, Quito, 23 al 25 de julio de 1997

KREBS, CHARLES, *Ecología, Estudio de la Distribución y la Abundancia*, 2.ª Edición, Universidad de Columbia Británica, México, 1985

LAURANCE, WILLIAM, “Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities”, *Ecology* , 79-6, 2032-2040, 1998

MALCOLM, JAY , “Edge effects in central Amazonian forest fragments” , *Ecology* 75-8, 2438-2445, 1994

MAS, JEAN-FRANCOIS, **CORREA**, JORGE, Análisis de la fragmentación del paisaje en el área protegida “Los Petenes”, , www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol43/b43art3.pdf, 2000, 13.09.07

MCGARIGAL, KEVIN , FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Versión 3.3

MONEDERO, CARLOS, **GUTIÉRREZ**, MYLENE, Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso tropical El Ávila. , En: http://www.saber.ula.ve/db/ecotropicos/Edocs/vol14_n1/articulo3.pdf, 2001, 12.09.07

MONEDERO, CARLOS, Línea de Investigación: Geoecología- Ecología de Paisaje, CENAMB-UCV. , http://www.ucv.ve/cenamb/cenamb_php/paginas/ecologia/geoecologia.pdf., 2005, 12.09.07

PADILLA, OSWALDO, “Cartografía de Áreas Quemadas a Escala local”, Universidad de Alcalá de Henares, 2005

PINTO, JESÚS, Evolución del paisaje y estado de conservación de la Reserva forestal El Choré, www.museonoelkempff.org/Kempffiana/Kempffiana_No2/45-56.pdf, 2006, 14.09.07

RANTA, PERTTI, et al. , “The fragmented atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments”, *Biodiversity and Conservation*, 7, 385-403, 1998

REMACHE, GIOCONDA, “Análisis estructural de paisajes en zonas aledañas al Parque Nacional Podocarpus”, *Revista Geoespacial* , 3, 1-11, 2006

REMACHE, GIOCONDA, Identificación de areas prioritarias para acciones de conservación en zonas aledañas al Parque Nacional Podocarpus mediante el uso del SIG, Tesis de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente – Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2006

ROMERO, MARILYN, Cambios en la Estructura del Paisaje del Alt Empordá en el período 1957-200, Tesis Doctoral, Departament de Geografia, Història i Història de l'Art - Universitat de Girona. Catalunya, España. En: www.tesisenxarxa.net/TESIS_UdG/AVAILABLE/TDX-0503105-155938//Tmrv01de08.pdf, 2004, 12.09.07

SALOMON, MARIO, at al. , Segundo Informe de avance- Estudio de caso sitio piloto Mendoza, Departamento de Lavalle- Evaluación de degradación de tierras en zonas áridas, Inventario y Análisis preliminar: Paisaje. ,

www.ambiente.gov.ar/archivos/web/DCSyLD/File/Anexo%203%20Paisaje.pdf,
2005, 12.09.07

SARMIENTO, FAUSTO, **FROLICH**, LARRY. "Andean Cloud Forest Tree Lines",
Mountain Research and Development 3-22, 278-287, 2002

SCHUMAKER, NATHAN, "Using Landscape Indices to predict Habitat
Connectivity", *Ecology*, 77-4, 1210-1225, 1996

SISTEMA INTEGRADO DE INDICADORES SOCIALES DEL ECUADOR (SIISE
4.5), Cd-Rom, Ministerio de Coordinación del Desarrollo Social

SORIA, PAOLA, Sistema Biogeográfico del centro de datos para la conservación
para la reserva ecológica Mache Chindul, Tesis de Ingeniería, Carrera de
Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Escuela Politécnica del Ejército,
Sangolquí, 2005

THIOLLAY, JEAN-MARC, "Distributional patterns of raptors along altitudinal
gradients in the northern Andes and effects of forest fragmentation", *Journal of*
Tropical Ecology, 12, 535-560, 1996

TROLL, CARL, Ecología de Paisaje,
www2.unia.es/nuevo_inf_academica/visualizar_file_Adjunto.asp?ID=1249,
02.02.2008

TUQUERRES, PILAR, Inventario de árboles y arbustos del bosque primario de la
comunidad Paquiestancia sector Buga y Ucshapamba, enfocando hacia
proyecciones eco turísticos Ayora - Cayambe – Pichincha, Tesina de tecnología.
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Politécnica
Salesiana, Cayambe, 2004

VELÁZQUEZ, ALEJANDRO, **BOCCO**, GERARDO, La ecología del paisaje y su
potencial para acciones de conservación de ecosistemas templados de montaña,

[www2.unia.es/nuevo_inf_academica/visualizar_file_Adjunto.asp?ID=1245,](http://www2.unia.es/nuevo_inf_academica/visualizar_file_Adjunto.asp?ID=1245)

14.09.07

ZHENG, DAOLAN, **CHEN**, JIQUAN , “Edge effects in fragmented landscapes: a generic model for delineating area of edge influences (D-AEI)”, *Ecological Modelling*, 132, 175-190, 2000