

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Posgrados**

**Análisis de fragmentación de hábitats para la creación de corredores de conservación entre áreas protegidas utilizando herramientas SIG**

**Orlando Daniel Albán Tituaña**

**Richard Resl, Ph.D.(c)**

**Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito  
para la obtención del título de Magíster en Sistemas de Información Geográfica

Quito, noviembre 2015

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE POSGRADOS

**HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Análisis de fragmentación de hábitats para la creación de corredores de conservación entre áreas protegidas utilizando herramientas SIG**

**Orlando Daniel Albán Tituaña**

Firmas

Richard Resl, Ph.D.(c)

Director del Trabajo de Titulación

---

Pablo Cabrera, Ph.D.(c)

Miembro del comité de tesis

---

Richard Resl, Ph.D.(c)

Director del Programa de Maestría en  
Sistemas de Información Geográfica

---

Stella de la Torre, Ph.D.

Decano del Colegio de Ciencias Biológicas y  
Ambientales

---

Hugo Burgos, Ph.D.

Decano del Colegio de Posgrados

---

Quito, noviembre 2015

**© Derechos de Autor**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombre: ORLANDO DANIEL ALBÁN TITUAÑA

Código de estudiante: 00103690

C. I.: 1713521563

Lugar, Fecha Quito, noviembre 2015

## **DEDICATORIA**

A mis padres por brindarme hasta el día de hoy su ejemplo de perseverancia.

A mis hermanos por ser una parte fundamental de mi vida.

A mis sobrinos por darme alegría todos los días.

A mi esposa por todo el amor que me brinda.

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento muy especial para:

Mi tutor de tesis Pablo Cabrera, por saber guiarme en este proceso.

A la Fundación Ecociencia, quienes confiaron en mi para realizar el presente estudio.

A Carlos Boada (+), por ayudarme a conocer más sobre el tema de biocorredores y ser una persona que brindo su tiempo y ayuda para que el estudio pueda salir adelante.

## RESUMEN

La creciente actividad antropogénica a nivel general en el país, producto del incremento de los ejes viales, han ocasionado que la expansión de la frontera agrícola produzca una pérdida sustancial de las masas boscosas cerca de las áreas protegidas establecidas.

El presente documento, permite determinar a través de la metodología de Steenmans y Pinborg (2000), los cambios de cobertura y fragmentación que se han producido en el lapso de 8 años en una zona altamente delicada del país, como es la zona que enmarca los Parques Nacionales Cayambe-Coca, Sumaco-Napo-Galeras y la Reserva Ecológica Antisana,

El índice de fragmentación así como el cambio en la cobertura, establecen información cuantitativa y cualitativa importante, que una vez representadas en mapas y datos estadísticos, servirán como una herramienta valiosa para la toma de decisiones y plantear proyectos de conservación en las zonas más intervenidas.

Con este antecedente se podrá determinar varias opciones de corredores de conservación utilizando información proporcionada por sensores remotos y realizar su respectivo análisis espacial a través de Sistemas de Información Geográfica.

## **ABSTRACT**

The growth of the anthropogenic activity in the country, due to the increase of the vial axes , have caused that the agricultural boundary growth to produce a substantial loss of the forestry mass near the areas established as protected.

The present Document allows the determination of the changes that have occurred in land cover and fragmentation during the past 8 years in a highly delicate area in the country as is the Cayambe – Coca, Sumaco and Napo-Galeras National Parks and the Antisana Ecological Reserve through the methodology of Steenmans and Pinborg (2000)

The fragmentation index as well as the change in land cover, establishes quantifiable and qualitative information that once they are represented in maps and statistical information, can be used as a valuable decision maker tool that can help us to propose conservation projects in the more intervene areas.

With this background we can determine various options of conservation corridor using the available information from remote sensors and develop its spatial analysis through a Geographic Information System

## Tabla de contenido

RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
1 INTRODUCCIÓN .....	12
1.1 Antecedentes del problema .....	12
1.2 Objetivos y preguntas de investigación .....	14
1.3 Hipótesis .....	15
1.4 Justificación .....	16
1.5 Alcance .....	18
2 REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	20
2.1 Marco histórico .....	21
2.2 Marco teórico .....	24
2.2.1 <i>Fragmentación.</i> .....	24
2.2.2 <i>Índice de fragmentación.</i> .....	25
2.2.3 <i>Corredores de conservación.</i> .....	26
3 METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
3.1 Descripción de la zona de estudio .....	27
3.1.1 <i>Geomorfología.</i> .....	28
3.1.2 <i>Clima.</i> .....	29
3.1.3 <i>Cobertura vegetal y uso del suelo.</i> .....	29
3.2 Análisis índice de fragmentación .....	31
3.3 Clasificación del índice de fragmentación .....	34
3.4 Corredores de conectividad .....	39
4 ANÁLISIS DE DATOS .....	43
5 CONCLUSIONES .....	60
5.1 Conclusiones .....	60
6 RECOMENDACIONES .....	62
6.1 Recomendaciones .....	62
7 REFERENCIAS .....	64



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Tipos de Fragmentación .....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 2. Índice de Fragmentación del año 2000.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3. Tipo de Fragmentación .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 4. Índice de Fragmentación año 2008 .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 5. Tipos de Fragmentación año 2008 .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6. Cobertura Vegetal 2000.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 7. Cobertura Vegetal 2008.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 8. Fragmentación 2000.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 9. Fragmentación 2008.....</i>	<i>51</i>

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<i>Figura 1 Mapa Base Corredor.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2 Mapa Base Zona de Estudio .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3 Mapa Cobertura Vegetal y Uso del Suelo .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura, 4 Celdas usadas para el índice de fragmentación .....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 5 Metodología Steenmans y Pinborg.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 6. Mapa Índice de Fragmentación (año 2000) .....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7 Mapa índice de fragmentación año 2008.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 8 Mapa de Conectividad año 2000.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 9 Mapa de Conectividad año 2008.....</i>	<i>41</i>

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

<i>Gráfico 1. Porcentajes de Coberturas Área de Estudio .....</i>	<i>50</i>
<i>Gráfico 2. Porcentaje de Fragmentación año 2000.....</i>	<i>52</i>
<i>Gráfico 3. Porcentaje de Fragmentación año 2008.....</i>	<i>52</i>

# 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, debido a los procesos de destrucción y a las presiones humanas, se ha optado como mecanismos de conservación la creación de áreas naturales protegidas por el estado y en los últimos años, la creación de reservas comunitarias y privadas.

En un inicio estas áreas protegidas fueron creadas para mantener superficies representativas de regiones biológicas que aseguren la continuidad de los procesos evolutivos propios de la flora y fauna, de tal manera que la biodiversidad regule los procesos ambientales naturalmente.

Sin embargo estas áreas protegidas no se diseñaron considerando que las relaciones entre los elementos bióticos y abióticos de los sistemas naturales están en constante fluctuación (PRIMACK, 1993), por lo que muchas de estas reservas naturales no tienen la capacidad de mantener ecosistemas saludables a largo plazo. Esto se produce debido a la creciente destrucción o modificación de hábitats silvestres y a la pérdida de la continuidad ecológica de los ecosistemas contiguos no protegidos (Yerena, 1994).

## 1.1 Antecedentes del problema

En el país algunas de las áreas protegidas han experimentado un proceso vertiginoso de degradación, debido al aislamiento geográfico y biológico en las que se encuentran y a las presiones humanas a las que están expuestas. En el país la deforestación, la tala ilegal, la ampliación de la frontera agrícola, reforma agraria, ocupación de tierra y la presencia de proyectos de prioridad nacional (proyectos mineros, petroleros, hidroeléctricos, etc.) en

las últimas décadas han ocasionado que las zonas intermedias entre áreas protegidas sean alteradas, perdiendo de esta manera la conectividad que tenían entre si las áreas protegidas, es decir, esto ha devenido en procesos de fragmentación y pérdida de la continuidad ecológica de los ecosistemas no protegidos que hacen que las zonas que están bajo protección, tengan características de islas ecológicas por un acelerado proceso de aislamiento.

Las alteraciones y la fragmentación de estas áreas protegidas en el Ecuador (47 áreas protegidas por el estado) impiden que los procesos naturales de los organismos vivos se den de una forma adecuada, al estar rodeadas de zonas con una alta presión antrópica, sufren un considerable proceso de erosión genética debido a que sus poblaciones están aisladas y reducidas lo que impide un adecuado intercambio genético, vital para la viabilidad de especies a largo plazo (Primack, 1993), esta pérdida o amenaza incluso puede alcanzar a especies que hoy actualmente no corren riesgo alguno.

En este sentido la creación de corredores de conservación elaborados a partir de un análisis de fragmentación constituye una herramienta para evitar la reducción de los hábitats que sufren de una alta presión humana, pudiendo conocer los diferentes tipos de problemas que tienen los ecosistemas.

Las Áreas Protegidas Cayambe Coca, Sumaco Napo Galeras y Antisana, a pesar de ser prácticamente colindantes y poseer varios tipos de ecosistemas muy parecidos, en varios sectores se denota la ausencia temporal y en algunos casos permanente de especies (flora y fauna), si bien su presencia esta observada en otros sectores de estas áreas, en otros en

los que era habitual se ha perdido debido a la pérdida del bosque que históricamente conectaba estas zonas.

Algunas causas han ocasionado un proceso de fragmentación entre estas áreas, entre estas podemos anotar la creación de vías; las cuales se fueron implementando y ampliando a partir del hallazgo de petróleo en la zona oriental del país, estas vías cambiaron la dinámica de esta zona en particular, ya que a lo largo de estas vías empezaron a existir asentamientos humanos, los cuales generaron otras causas para que el proceso de fragmentación siga expandiéndose, estos asentamientos humanos para poder subsistir realizaron un cambio en el uso del suelo para poder contar con una frontera agrícola, la cual con el paso de los años se ha seguido incrementando, lo que a su vez ha ocasionado que se abran nuevas vías de segundo y tercer orden, lo cual ha ejercido una gran presión sobre los bosques existentes y en consecuencia una tala indiscriminada de los mismos, con lo que se ha perdido varios tipos de ecosistemas de transición generando la pérdida o ausencia de varias especies en algunos sectores.

## **1.2 Objetivos y preguntas de investigación**

El Ecuador posee una diversidad de ecosistemas, muchos de los cuales se encuentran en un proceso de degradación o están perdiendo su conectividad, es por eso que en este estudio se plantean los siguientes objetivos y preguntas de investigación.

### *Objetivo General*

Establecer una metodología para la creación de corredores entre áreas protegidas, analizando la fragmentación de hábitats con el uso de herramientas SIG.

### *Objetivos Específicos*

- Determinar la cobertura vegetal de la zona de estudio en dos tiempos diferentes
- Realizar un análisis de fragmentación y parches de vegetación entre las áreas protegidas ubicadas en el área de estudio.
- Determinar el índice de fragmentación del área de estudio y desarrollar un diagnóstico en base a dicho análisis.
- Determinar corredores de conectividad entre las áreas protegidas del área de estudio mediante los resultados obtenidos.

### Preguntas de Investigación

- ¿Cuál es el porcentaje de cambio en la cobertura vegetal entre los distintos tiempos para cada tipo de cobertura?
- ¿El análisis de fragmentación y parches de vegetación son elementos suficientes para determinar corredores de conservación?
- ¿De qué manera influye el cambio en la cobertura vegetal en los dos tiempos al análisis de fragmentación?
- ¿Los corredores de conectividad que tan útiles son en la conservación de áreas protegidas al no formar parte de ellas?

### **1.3 Hipótesis**

¿Las vías, asentamientos humanos y cambio de uso en el suelo entre las áreas protegidas de la zona han permitido que la fragmentación entre los hábitats de estas áreas haya incrementado con el paso del tiempo?

## 1.4 Justificación

Como se mencionó anteriormente, las áreas naturales protegidas sufren un proceso de erosión genética muy drástico debido a las presiones antrópicas, por lo que es de vital importancia identificar zonas fragmentadas o en proceso de fragmentación a través de metodologías simples, de esta manera se podrá tener una herramienta de gestión para posteriormente con la ayuda de estudios biológicos, socioeconómicos y ambientales que permitan proponer diseños ecológicos tales como zonas de amortiguamiento o corredores biológicos, con el fin de minimizar o bien revertir este impacto negativo.

A escalas más globales tanto la pérdida de cobertura boscosa como la fragmentación y la subsiguiente disminución de biomasa, incrementan las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero(Laurance, 1999); (Nepstad, 1992) .

La pérdida de superficie y la fragmentación de bosques, habitats o ecosistemas son dos factores considerados dentro de los principales causantes de grandes cambios en el ambiente físico-biótico, en donde la composición, estructura y función original de un ecosistema se han alterado (pérdida en la conectividad, creación de bordes sobre el hábitat, o aislamiento de fragmentos) provocando dinámicas muy diferentes sobre las poblaciones biológicas que allí se sustentan(Terborgh, 1989) ; (Whitcomb, 1981).

Para esto el uso de Sistemas de Información Geográfica ayuda de manera significativa en temas biológicos como el planteado, debido a la facilidad con la que se puede disponer de información de zonas extensas y de difícil acceso que es proporcionada por sensores remotos, esta información también puede ser obtenida para distintos años, con lo cual se



puede realizar estudios multitemporales y observar cuales han sido las dinámicas en la zona de estudio.

Los Parques Nacionales Cayambe-Coca, Sumaco-Napo-Galeras y la Reserva Ecológica Antisana que son parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas SNAP(Ecuador, 2015), se encuentran en una zona que tiene una alta vulnerabilidad antrópica, estas al estar colindando con vías principales del país (Quito-Nueva Loja, Quito-Tena), en algunos tramos estas van por dentro de las áreas protegidas, sufren un cambio del uso del suelo considerable, lo cual expone a la pérdida de especies de flora y fauna, a su vez estas vías han separado notablemente las zonas de desplazamiento de diferente especies, entre ellas el oso de anteojos.

Por estos motivos se necesita determinar, cuantificar e identificar las áreas intervenidas, no intervenidas, fragmentadas y no fragmentadas a fin de elaborar corredores que permitan la conectividad de estas áreas naturales protegidas y preservar especies bandera y emblemáticas de la zona y el país.

Como se mencionó anteriormente, las Áreas Protegidas en las cuales se realizara el análisis de fragmentación tienen mucha presión, la cual se derivada de la presencia de vías, estas Áreas Protegidas en concreto se encuentran ubicadas (área de estudio) en las provincias de Napo y Sucumbíos, con los cantones Quijos, El Chaco (Napo) y Gonzalo Pizarro (Sucumbíos), esta área va desde la parroquia de Papallacta hasta la parroquia Lumbaqui, cruzando además las parroquias de Cuyuja, Baeza, San Francisco de Borja, Sardinias, Linares, El Chaco, Santa Rosa, Gonzalo Díaz de Pineda, El Reventador, Gonzalo

Pizarro, Cosanga y Sumaco, y se encuentra en una altura desde los 69 m.s.n.m. y los 5669 m.s.n.m. (Figura 1)

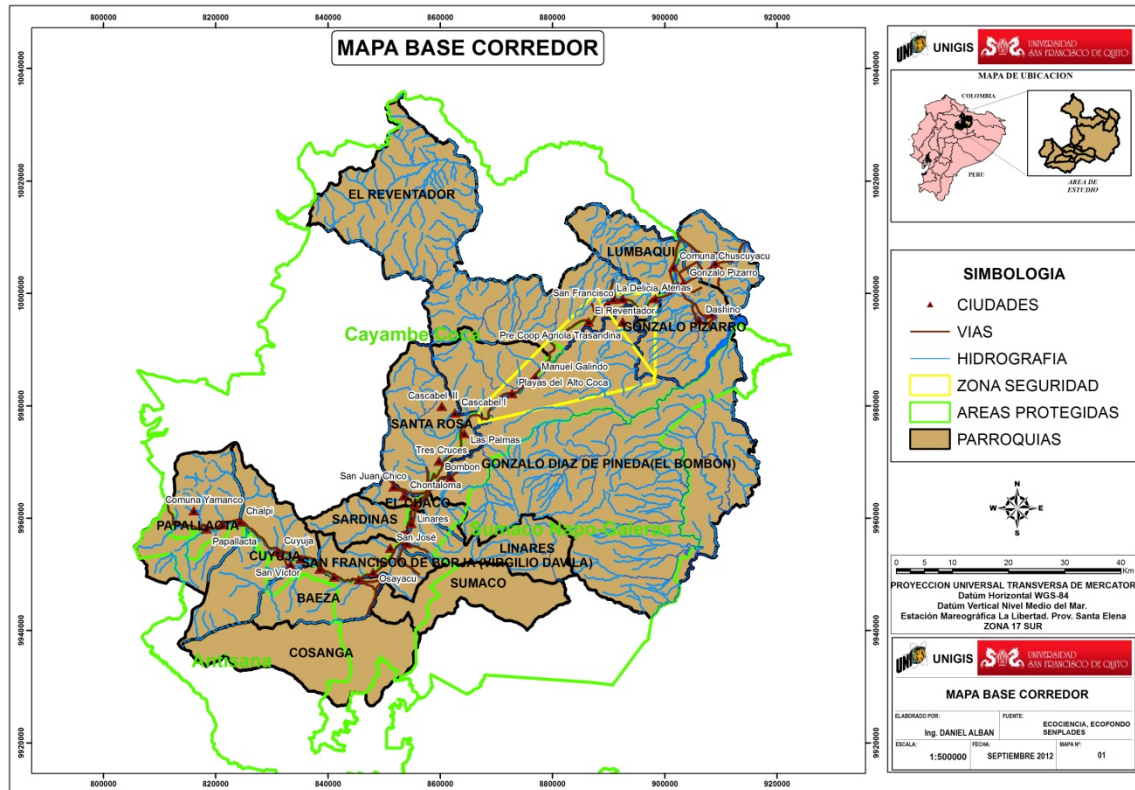


Figura 1 Mapa Base Corredor

## 1.5 Alcance

Con la ayuda de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) y los sensores remotos se puede evaluar y cuantificar con precisión los sitios que más presión tienen, identificar las zonas agropecuarias y con infraestructuras existentes, delimitar zonas que ya han perdido su cobertura natural o que estén degradadas y determinar zonas que pueden servir de conexión entre las Áreas Protegidas a fin de que estas sirvan como corredores que ayuden a que las distintas especies de la zona puedan tener una presencia continua en todo el sector.

Con los SIG, realizando un análisis detallado de la cobertura vegetal, junto con un análisis biológico, social, económico y de la situación actual, podrá generar varias soluciones para el problema de conectividad existente, determinando los sitios más aptos o con alto potencial para los corredores. Los SIG proporcionaran en este caso herramientas que ayudaran en la toma de decisiones y en la gestión de estos corredores.

De esta manera el estudio podrá arrojar datos sobre los cambios en la cobertura vegetal existente en la zona; determinará los distintos tipos de fragmentación existente en la zona de estudio y permitirá evaluar las distintas alternativas de conectividad entre las tres áreas protegidas.

## 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

La fragmentación de ecosistemas ha venido aumentando de una manera vertiginosa en el Ecuador, Sudamérica y el mundo en general(The Nature Conservancy, 2015), es por eso que varios países e investigadores han visto la necesidad de contar con estudios que ayuden a determinar la misma en las diferentes áreas que tienen diferentes tipos de presión.

Desde el punto de vista ecológico, el paisaje se concibe como un área que contiene un mosaico de parches o fragmentos; es decir, un conjunto heterogéneo de ecosistemas interactuantes que se repiten de manera similar hasta cierto punto o extensión (Marks, 1995)(MCGARIGAL, 1994) ; (Godron, 1986).

Este proceso conlleva cambios en la composición, estructura y función del paisaje y puede ser medida, con base en una caracterización previa de los ecosistemas presentes, mediante diversos tipos de índices de fragmentación(Terborgh, 1989) ; (Whitcomb, 1981).

Es así que, distintos estudios han profundizado en el análisis de reducción de área de vida, aislamiento geográfico, pérdida de heterogeneidad, efecto de borde, amenazas externas y extinciones secundarias entre otras, con el fin de determinar corredores ecológicos, los cuales puedan eliminar el retraimiento en algunas especies.(AEET, 2011)

Las áreas a conectarse deben cumplir con las siguientes características:

- Acceso a información primaria y secundaria actualizada de cobertura vegetal
- Semejanza biogeográfica y ecosistémica

- El aislamiento no debe ser muy drástico
- Identificar unidades de conservación
- Existir áreas protegidas ya establecidas.(SINAC, 2008)

Con estos antecedentes se procede a describir los distintos marcos mediante los cuales se pretende determinar varias alternativas para corredores de conservación.

## **2.1 Marco histórico**

Con la llegada de las imágenes satelitales y la posibilidad de manipular sus distintas bandas, se han generado mapas de cobertura vegetal y con estos se tiene una idea completamente clara de las dinámicas que año a año sufren los territorios.

Una vez que se ha tenido como insumo las imágenes satelitales nace la teledetección, la cual según Chuvieco, E. es la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales(Chuvieco, Fundamentos de Teledetección Espacial - Segunda Edición-, 1995).

La teledetección como tal empezó en la década de los 40 con pequeñas cámaras instaladas en propulsores (cohetes) fabricados por los Estados Unidos, posteriormente en la década de los 60 TIROS 1, primer satélite meteorológico con una cámara de televisión de baja resolución espacial, permite a los meteorólogos discriminar entre nubes, agua, hielo y nieve(Chuvieco, Emilio Chuvieco, Septiembre 1990, 1era edición). En el año de 1967, la NASA (National Aeronautics and Space Administration) emprende el inicio del programa National Aeronautics and Space Administration, comúnmente conocido como LANDSAT, con la llegada de este sensor hizo que la teledetección crezca

exponencialmente, contándose por miles los estudios que se han realizado con las imágenes proporcionadas por estos satélites.(MARBELO, 1999) Con el pasar del tiempo los sensores han ido mejorando paulatinamente, incrementado la operación en el espectro electromagnético, así como su resolución espacial y radiométrica, teniendo así distintos tipos de sensores con diferentes tipos de bandas trabajando a lo largo del espectro electromagnético.

Todo esto ha ayudado a generar una cantidad de información valiosa que puede ser procesada con los distintos softwares que existen en la actualidad; de esta manera se han elaborado con el pasar del tiempo (tomando periodos de años) mapas de cobertura vegetal y uso de suelo, los primeros resultados que se pueden obtener a simple vista en los distintos mapas de cobertura vegetal es que existe una clara presión antrópica en los bosques, teniendo una clara degradación de las masas de bosques. Esta degradación ha ocasionado que muchas especies, tanto en flora y fauna se estén perdiendo por los fraccionamientos existentes en las distintas áreas del país.

Si bien el estado ha tomado ciertas medidas para tratar de proteger la vida silvestre con la creación de áreas protegidas, la continua expansión de los núcleos poblacionales ha obligado a generar nuevos análisis para poder evitar que se sigan deteriorando estas áreas protegidas.

Steinhart (1999) plantea la implementación de un índice de hemerobia para el análisis de intervención antrópica en los ecosistemas, dicho índice considera todos los aspectos y variables que influyen en el perfecto desarrollo de un ecosistema para alcanzar su

equilibrio. Al tratar las distintas categorías de injerencia de las actividades humanas, calcula un valor número asociado a dichas actividades. Hay que tener en cuenta que la implementación de esta metodología presenta inconvenientes, ya que se necesitan datos sobre cada sector evaluado, clasificación fitosociológica, datos registrados en las parcelas analizadas, un desarrollo histórico (perturbaciones), que son datos con un grado de conceptos profundo, además que es indispensable complejas tecnologías para poder tener un resultado satisfactorio.

Otros estudios sobre la antropización se han centrado en factores biológicos específicos, pero no se han ajustado a las coberturas vegetales existentes en la zona de estudio.

Halffter y Arellano (HALFFTER, 2002) en sus estudios sobre escarabajos estercoleros, tomaron en cuenta valores cualitativos que reflejan la variación de la cobertura vegetal para determinar los distintos espacios de cambio que produjo la actividad antrópica. Esta actividad no solo la manejaron desde el punto de vista de la presencia humana, sino también a toda la intensidad antropogénica que apareció con ella, asignándoles 3 categorías (Alta, Media, Baja).

(Morón, 1993) Lobo y Morón, también analizaron las consecuencias de las actividades antrópicas en comunidades de coleópteros en distintos periodos de años en áreas protegidas, sin embargo ninguno de estos estudios trato las medidas cuantitativas de manera sistemática. Ninguno de estas metodologías se adapta al estudio que se propone en este documento.

Algunos estudios identificaron el efecto de un gradiente Urbano-Rural para estudiar determinados elementos biológicos, para esto identificaron un punto central en el gradiente y un área antrópica a partir de la cual generaron buffers. Análisis como estos tomaron en cuenta diversos factores como densidad e incremento poblacional, densidad urbana, ruido entre otros. El factor limitante en este tipo de estudios es que no logra cubrir en su totalidad las áreas de estudio que se requieren para el presente caso planteado.(Martínez-Dueñas, 2010)

Para esto, buscando una manera de utilizar los insumos que se obtienen a partir de las imágenes satelitales (incluso se llega a abaratar costos), el presente documento se basó en la metodología elaborada por Steenmans y Pinborg(STEENMANS, 2000), los cuales se concentran en la fragmentación en sí, la cual es una de las derivaciones de la antropización. Aquí se resalta el trabajo sobre las coberturas, dividiéndolas en dos (Naturales y No Naturales) y analizando si existe una conexión sensitiva entre cada celda que plantean en la metodología.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Fragmentación.**

Se puede empezar este capítulo por el concepto que engloba todo el estudio realizado en este documento, la fragmentación es la suma de varios eventos intrínsecos a los ecosistemas, al existir cambios en las estructuras y composición de estos ecosistemas se pueden generar procesos que lleven a la degradación de los mismos, de esta manera se



empieza a divisar fragmentos, divisiones o seccionamientos en áreas determinadas.  
(Ministerio de Agricultura España, 2014)

La fragmentación se origina expresamente por la presencia de actividades antrópicas en determinadas zonas, la construcción de obras de infraestructura como vías, represas, así como el cambio de uso del suelo y la ampliación de la frontera agrícola hacen que el paisaje se transforme de manera que se creen estos parches o fragmentos en los ecosistemas.

Al existir fragmentación se producen discontinuidades en el medio ambiente de varios organismos.(Ministerio del Ambiente España, 2010)

### ***2.2.2 Índice de fragmentación.***

Desde el punto de vista ecológico, el paisaje se concibe como un área que contiene un mosaico de parches o fragmentos; es decir, un conjunto heterogéneo de ecosistemas interactuantes que se repiten de manera similar hasta cierto punto o extensión Mc Garigal & Marks ; Forman & Godron.(McGarigal K. a., 1986, 1995).

De esta manera se puede expresar que el índice de fragmentación es aquel valor cuantitativo que nos permite ver el grado de afectación que una determinada zona posee.

Para poder evaluar coberturas de bosques, de una manera específica aspectos como distribución espacial, conectividad, forma, tamaño, rangos de aislamiento, diversidad, se puede decir que los índices de fragmentación nos darán los patrones fragmentados

basados en una caracterización matemática (FAO, 1995), con lo cual se determina la degradación que determinar en la relación perímetro – superficie de la zona en estudio.

Para este estudio y basado en el éxito, la adaptabilidad a diversas escalas de trabajo, el cálculo del índice, la aplicabilidad con los Sistemas de Información Geográfica y la facilidad de interpretación de resultados, se utilizó la metodología de (STEENMANS, 2000) , realizado para la Agencia Europea de Medio Ambiente.

### ***2.2.3 Corredores de conservación.***

Los corredores de conservación, se definen como aquellas superficies de terreno en donde existen remanentes de vegetación, hábitats o ecosistemas originales, lo cuales permiten las actividades y flujos de las distintas especies en determinada zona.

La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo define a un corredor biológico como “un espacio geográfico delimitado que proporciona conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitat, naturales o modificados, y asegura el mantenimiento de la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos”.

### **3 METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La metodología se acoplo al área de estudio, la cual se ubica en la región oriental del país, para esto se empezará describiendo la misma y se continuará con el desarrollo de la presente metodología.

#### **3.1 Descripción de la zona de estudio**

El área de estudio está ubicada en las provincias de Napo y Sucumbíos, con los cantones Quijos, El Chaco (Napo) y Gonzalo Pizarro (Sucumbíos), esta área va desde la parroquia de Papallacta hasta la parroquia Lumbaqui, cruzando además las parroquias de Cuyuja, Baeza, San Francisco de Borja, Sardinas, Linares, El Chaco, Santa Rosa, Gonzalo Díaz de Pineda, El Reventador, Gonzalo Pizarro, Cosanga y Sumaco, y se encuentra en una altura desde los 69 m.s.n.m. y los 5669 m.s.n.m. En este sector se encuentran ubicadas 3 áreas protegidas las cuales son: Parque Nacional Sumaco – Napo – Galeras, Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva Ecológica Antisana.

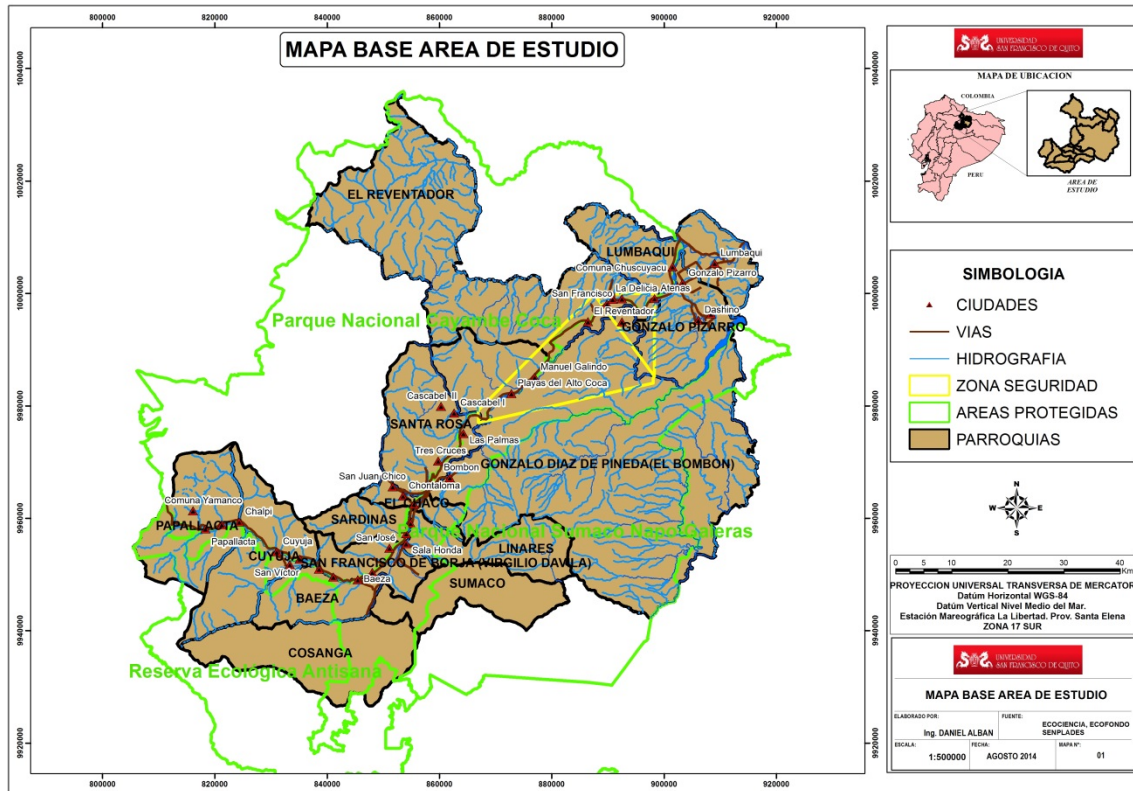


Figura 2 Mapa Base Zona de Estudio

### 3.1.1 Geomorfología.

El área de estudio comprende tres zonas geomorfológicas: la vertiente de la cordillera, la zona subandina y la llanura amazónica.

La vertiente cordillerana se halla formada principalmente por rocas ígneas y metamórficas. Presenta paisajes abruptos, con fuertes pendientes y alturas que varían de los 2 500 a los 5 000 msnm.

La zona subandina se localiza paralela a la vertiente en la parte sur, abarcando el levantamiento Napo. Se encuentra conformada por rocas sedimentarias de edad jurásica a cretácea y rocas volcánicas del Terciario-Cuaternario. Presenta en general paisajes

colinados con pendientes medianas a fuertes y estructuras volcánicas aisladas. Las alturas varían entre 800 y 3 000 msnm.

“La llanura amazónica abarca la mayor parte de la cuenca, comprende rocas sedimentarias del Terciario a Cuaternario y depósitos cuaternarios recientes. El paisaje es una planicie colinada con pendientes suaves; las alturas varían de 60 a 800 msnm” Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuenca de los Río San Miguel y Putumayo, (Comisión Mixta de Cooperación Amazónica - Ecuatoriano - Colombiana , 1995), Secretaria General De La Organización De Los Estados Americanos (Americanos, 1995),

### **3.1.2 *Clima.***

La zona de estudio presenta varios tipos de clima siendo estos los siguientes: Paramo lluvioso y muy lluvioso, temperado, subtemperada, sub tropical y muy húmedo tropical; la precipitación varía entre los 1000 mm y 3000 mm anuales y existe una temperatura que va desde los 6 grados centígrados en los páramos hasta los 26 grados centígrados en la zona tropicales

### **3.1.3 *Cobertura vegetal y uso del suelo.***

Para el presente estudio se utilizó la cobertura elaborado por el Ministerio del Ambiente para los años 2000 y 2008, los cuales están realizados con imágenes ASTER, obteniendo una escala 1:100.000.

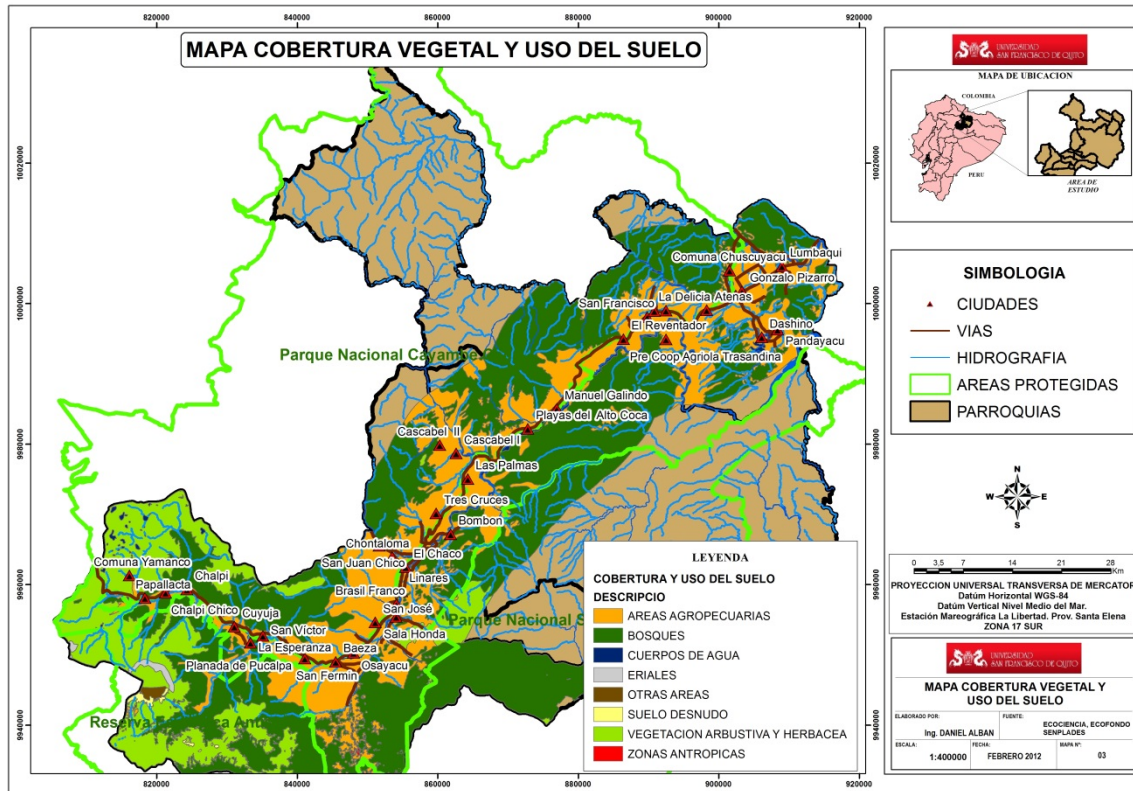
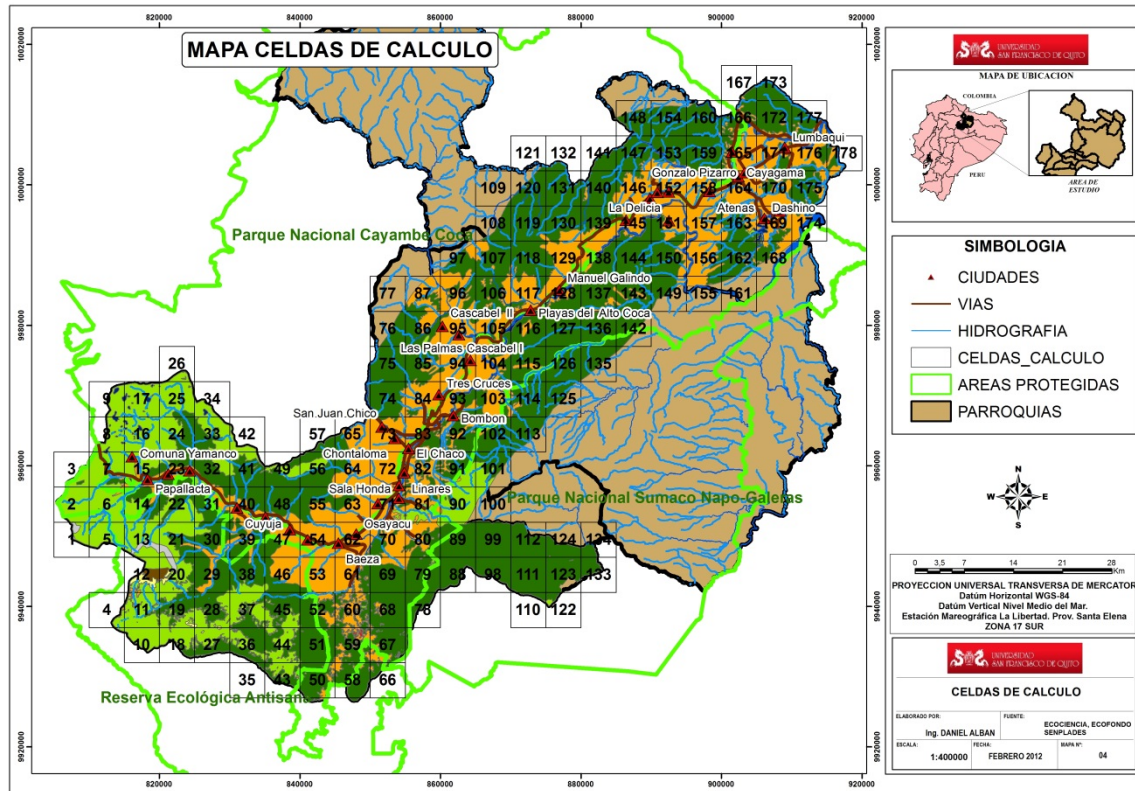


Figura 3 Mapa Cobertura Vegetal y Uso del Suelo

A esta cobertura se procedió a reclasificarla en dos variables que exige la metodología de Steenmans y Pinborg (2000), estas variables serán categorizadas como áreas naturales y como áreas no naturales (Figura 4). Este procedimiento se realizó para las dos coberturas, año 2000 y año 2008.

Posteriormente esta cobertura vegetal será rasterizada en píxeles de 50 x 50 metros. Luego se dividirá la zona de estudio en celdas de 5000 metros x 5000 metros (Figura 5).



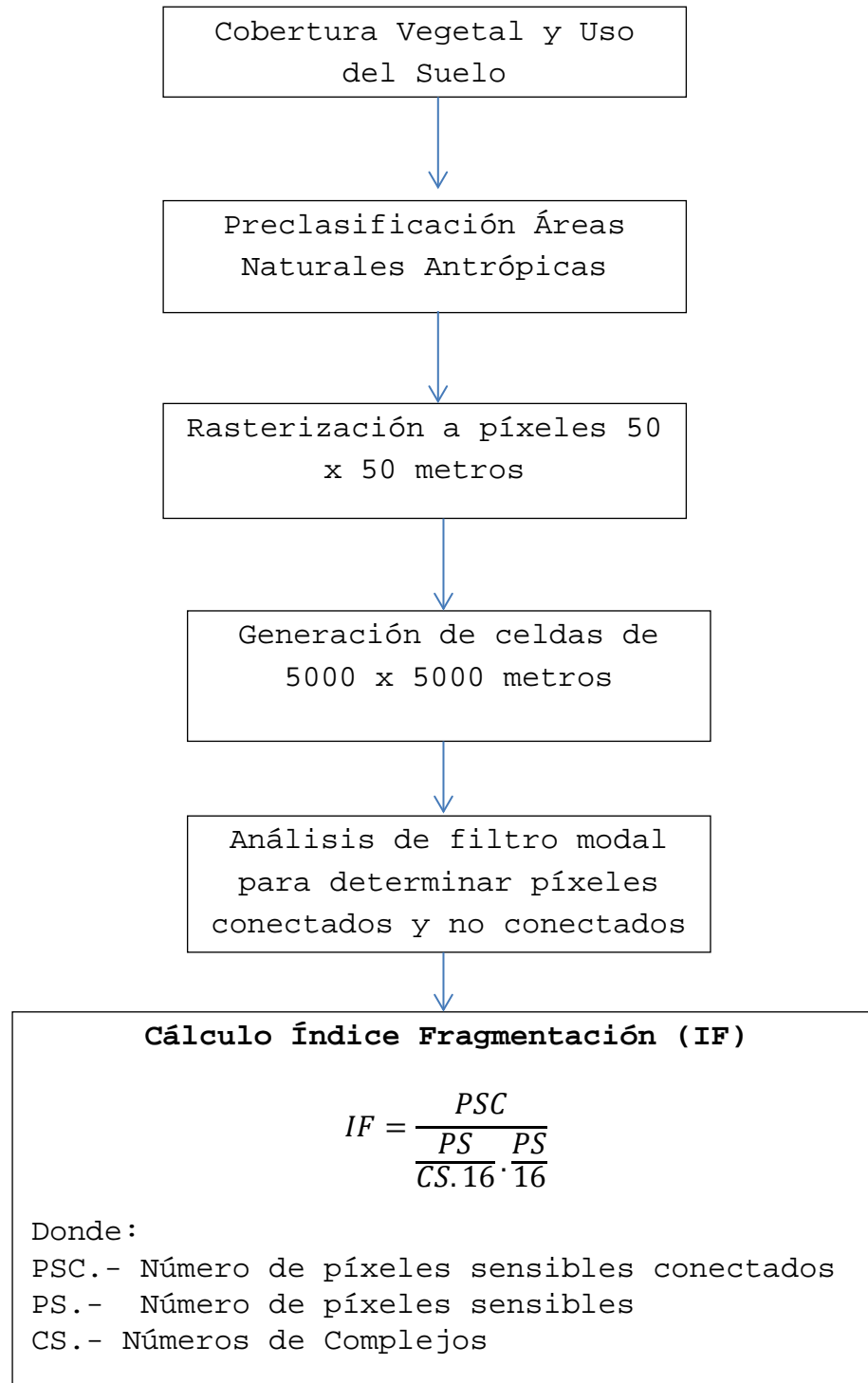
Figura, 4 Celdas usadas para el índice de fragmentación

### 3.2 Análisis índice de fragmentación

Posteriormente se aplica un filtro mayoritario a este raster para determinar cuáles complejos están conectados o no conectados. Si bien la metodología de Steenmans y Pinborg dice que se utilice un filtro binario para la determinación de complejos conectados, para el presente estudio se utilizó un filtro modal que dio mejores resultados al eliminar y/o conectar complejos sensibles, lo cual servirá posteriormente para la elaboración de corredores de conectividad entre áreas protegidas.

En la Figura 5 se puede visualizar los pasos seguidos en la presente metodología.

Figura 5 Metodología Steenmans y Pinborg





El número de complejos se determina en función de la superficie que se esté estudiando, y a su vez la grilla o celdas que se utilice para el análisis de dicha superficie.

Hay que tener en cuenta que para trabajar con esta metodología, se utilizan datos provenientes de las coberturas vegetales, el error en estos trabajos variaran según la escala del producto que se emplea; adicionalmente también se generará un error en la grilla a emplearse así como el tamaño del pixel para determinar cada uno de los complejos sensibles.

Originalmente Steenmans y Pinborg, elaboraron su metodología con un mapa de cobertura a escala 1:100.000, el cual servía para trabajar en la Unión Europea; al utilizar dicha escala se tiene que la unidad mínima cartografiable (UMC) es de 25 hectáreas, lo que supone un tamaño de pixel de 500 metros x 500 metros. Al momento de realizar el rezamplado para el cálculo (para el caso de esta metodología 50x50 metros) también se está perdiendo información.

Estudios anteriores han seleccionado tamaños de celdas no superiores a la UMC, y tampoco inferiores al tamaño del pixel del sensor utilizado para la elaboración de la cobertura, en este caso la resolución espacial del sensor ASTER es de 30 metros. Así en términos generales se ha podido obtener para el rezamplado de 50x50 metros que el error mínimo es del 5%.

### 3.3 Clasificación del índice de fragmentación

Los índices obtenidos fueron clasificados según la tabla No.1.

Tabla 1. Tipos de Fragmentación

Tipo de Fragmentación	Valor
Mínima	<0,01
Poca	0,01 – 0,1
Media	0,1 - 1
Moderada	1-5
Fuerte	5-10
Muy Fuerte	10 - 100
Extrema	>100

Se aplicó el análisis de fragmentación para los dos años, a fin de realizar un análisis comparativo de la fragmentación que se genera con el paso de los años y el cambio de uso de suelo en la zona. A continuación se presenta en la tabla 2 el índice de fragmentación para el año 2000.

Tabla 2. Índice de Fragmentación del año 2000

<b>Índice de Fragmentación del Año 2000</b>	
Superficie Analizada	445.000 Ha.
Tamaño de la Grilla	5.000 mts x 5.000 mts
# de Complejos	178
Resolución Espacial	30 mts
Índice Promedio	16,24
Media	6,62
Moda	4,56
Valor Mínimo	4,56
Valor Máximo	376,6
Desviación Estándar	44,43
Fragmentación Promedio	Muy Fuerte

De esta manera, realizado el análisis se puede visualizar en la figura 6.

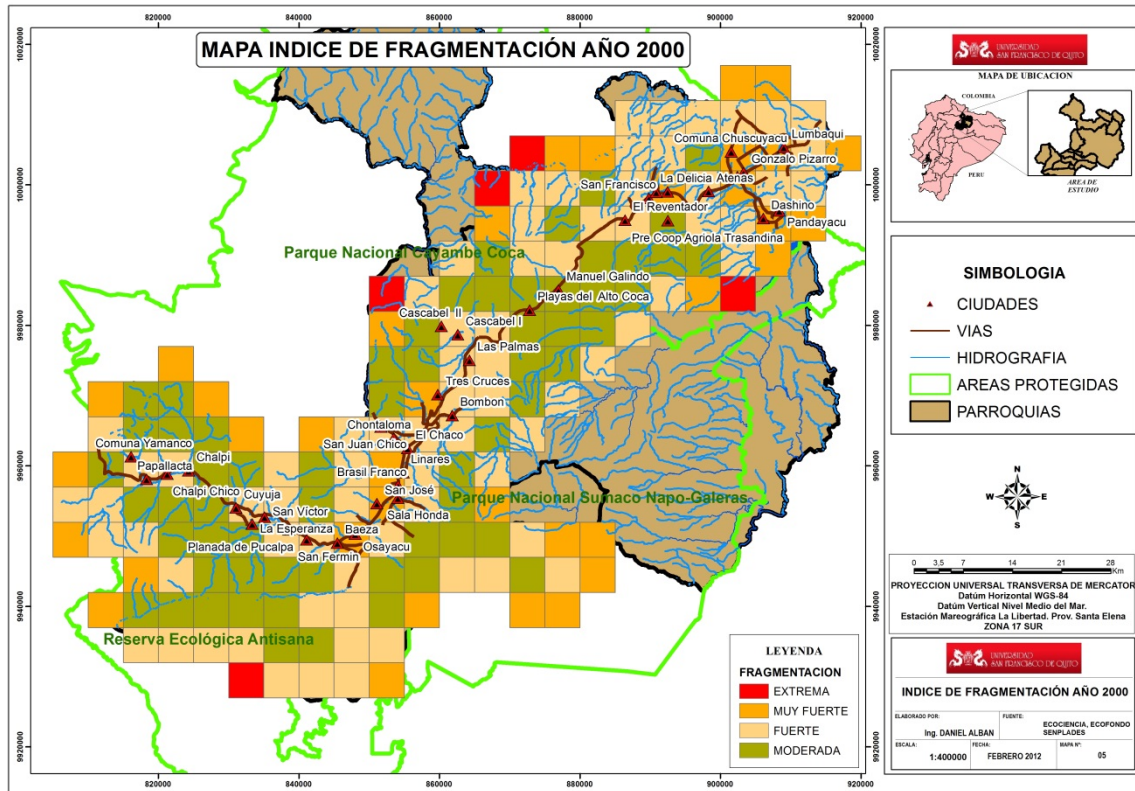


Figura 6. Mapa Índice de Fragmentación (año 2000)

Se realizó un recuento de cada clase del índice de fragmentación para el año 2000 obteniendo el siguiente resumen:

Tabla 3. Tipo de Fragmentación

TIPO DE FRAGMENTACIÓN	COMPLEJOS
EXTREMA	5
MUY FUERTE	36
FUERTE	75
MODERADA	62

Se puede observar en el mapa que la fragmentación moderada en los complejos del área de estudio ocupa un 34,83% del total, siendo la segunda categoría en porcentaje; la fragmentación fuerte ocupa el primero lugar con un 42,14% en toda el área.

En concordancia con los porcentajes, visualmente se puede observar que existe una gran cantidad de áreas naturales y que estas se hallan consolidadas en 3 grandes bloques que suponen los límites de las áreas protegidas cercanos a las vías.

Posteriormente se trabajó con la misma metodología para el año 2008, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 4. Índice de Fragmentación año 2008

<b>Índice de Fragmentación del Año 2008</b>	
Superficie Analizada	445.000 Ha.
Tamaño de la Grilla	5.000 mts x 5.000 mts
# de Complejos	178
Resolución Espacial	30 mts
Índice Promedio	20,88
Media	7,66
Moda	4,56
Valor Mínimo	4,54
Valor Máximo	438,15
Desviación Estándar	49,49
Fragmentación Promedio	Muy Fuerte

Los datos obtenidos para el análisis del año 2008 nos muestran una disminución en la fragmentación moderada y por ende un incremento en la fragmentación, con lo cual se

puede deducir fácilmente que ha existido un deterioro en las zonas naturales, producto de la ampliación de la frontera agrícola en la zona.

En la Figura 7 se indica el índice de fragmentación obtenido para la zona en el año 2008

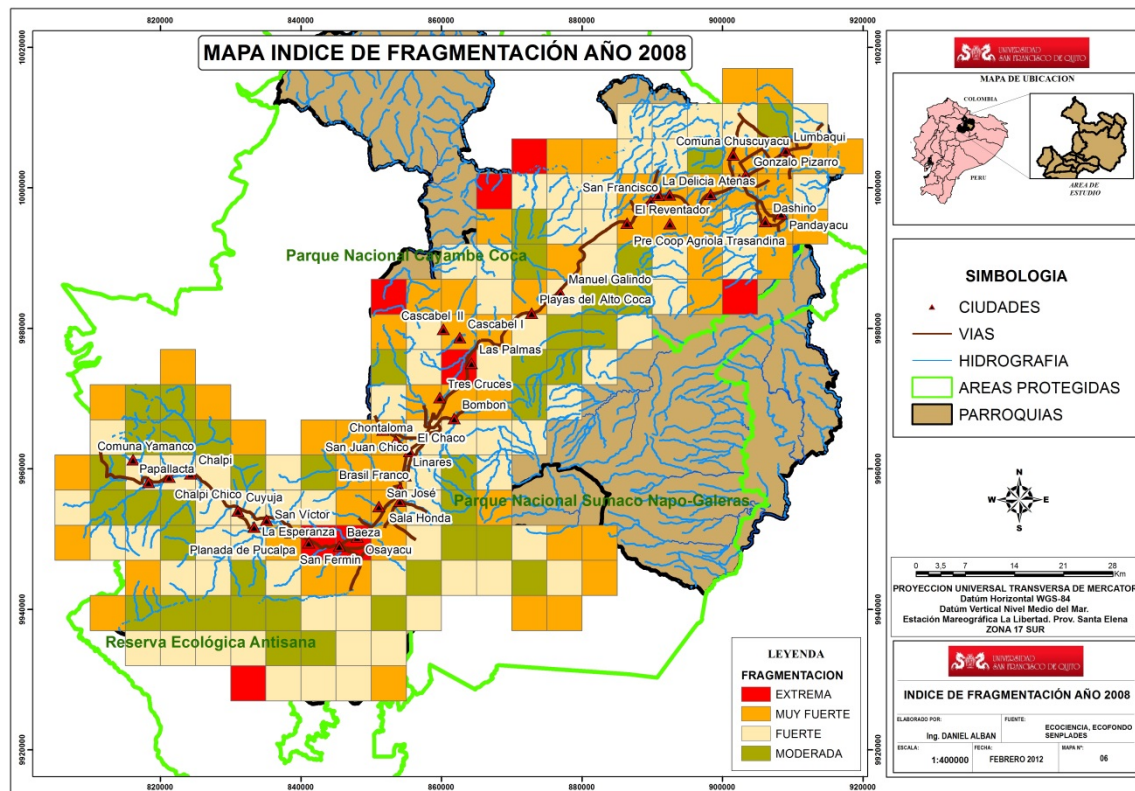


Figura 7 Mapa índice de fragmentación año 2008

Se puede observar claramente que los 3 grandes bloques consolidados de vegetación natural con fragmentación moderada han disminuido, en el caso del bloque sur este del Parque Nacional Cayambe Coca se observa que prácticamente ha desaparecido, con lo que se supone que todas aquellas especies que compartían un hábitad similar en el

Parque Nacional Sumaco Napo Galeras han quedado aisladas por la presencia de actividad antrópica.

El recuento del tipo de fragmentación para el año 2008 arroja los valores que confirman lo mencionado anteriormente.

**Tabla 5. Tipos de Fragmentación año 2008**

<b>TIPO DE FRAGMENTACIÓN</b>	<b>COMPLEJOS</b>
EXTREMA	8
MUY FUERTE	58
FUERTE	72
MODERADA	40

La fragmentación muy fuerte para este año ha incrementado su presencia en casi 13 puntos porcentuales, teniendo a este año un porcentaje de 32,58%; si bien la fragmentación fuerte se ha mantenido en el mismo nivel, la fragmentación moderada ha disminuido los mismo 13 puntos porcentuales que incremento la fragmentación muy fuerte. Esto nos hace suponer, que la actividad antrópica se ha incrementado de manera drástica en determinadas zonas.

### **3.4 Corredores de conectividad**

Una vez obtenidos los resultados del análisis de fragmentación se procede a elaborar los posibles corredores de conectividad para los dos años. Para la generación de dichos

corredores se procede a realizar la conexión de los complejos con fragmentación moderada

Para el año 2000 se puede apreciar en la figura 8 que prácticamente las 3 áreas protegidas poseen una conectividad entre sí, teniendo una amplia zona en la que se puede implementar un corredor de conservación, los procesos de ampliación de la frontera agrícola para este año no son tan abrasivos en la cobertura natural.

La mayor cantidad de complejos con fragmentación moderada están ubicados cerca de la vía principal, que hasta esta época no era de primer orden.

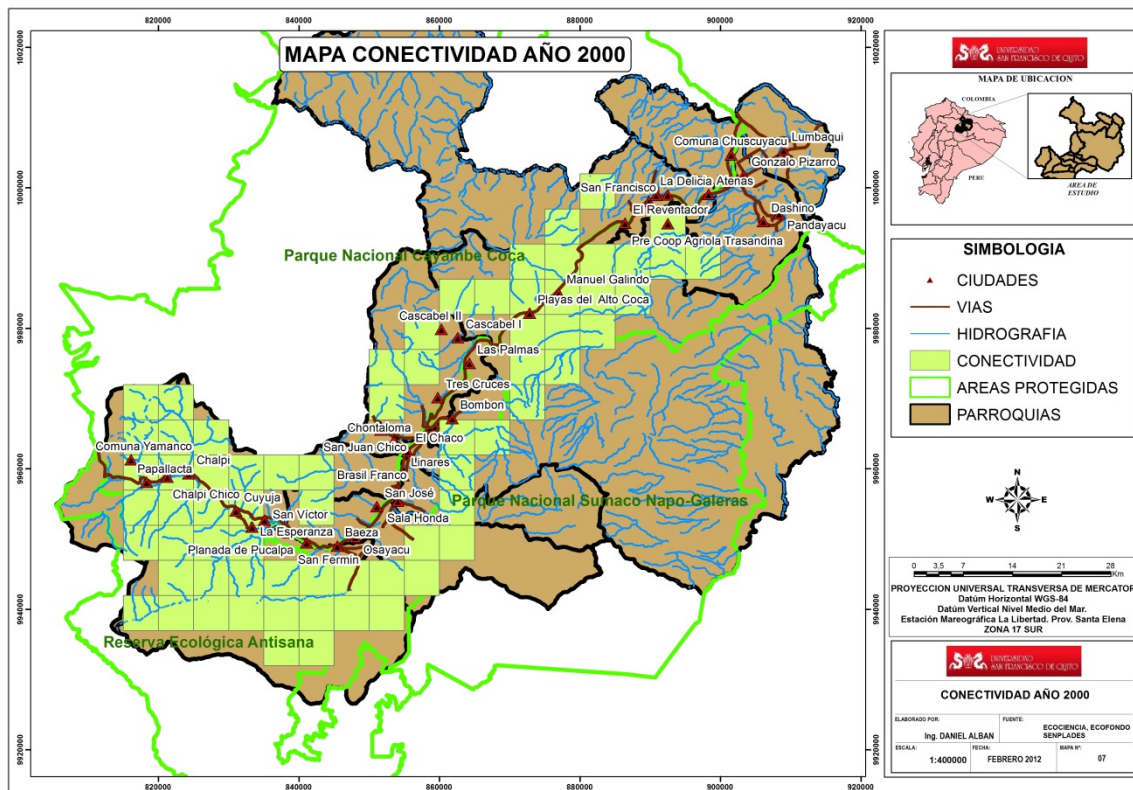


Figura 8 Mapa de Conectividad año 2000



Para el año 2008 se ve una importante degradación en la cobertura vegetal, resultado de esta degradación es la pérdida total de conectividad entre la Reserva Ecológica Antisana y el Parque Nacional Cayambe Coca, al igual que la conectividad entre este parque con el Parque Nacional Sumaco Napo Galeras.

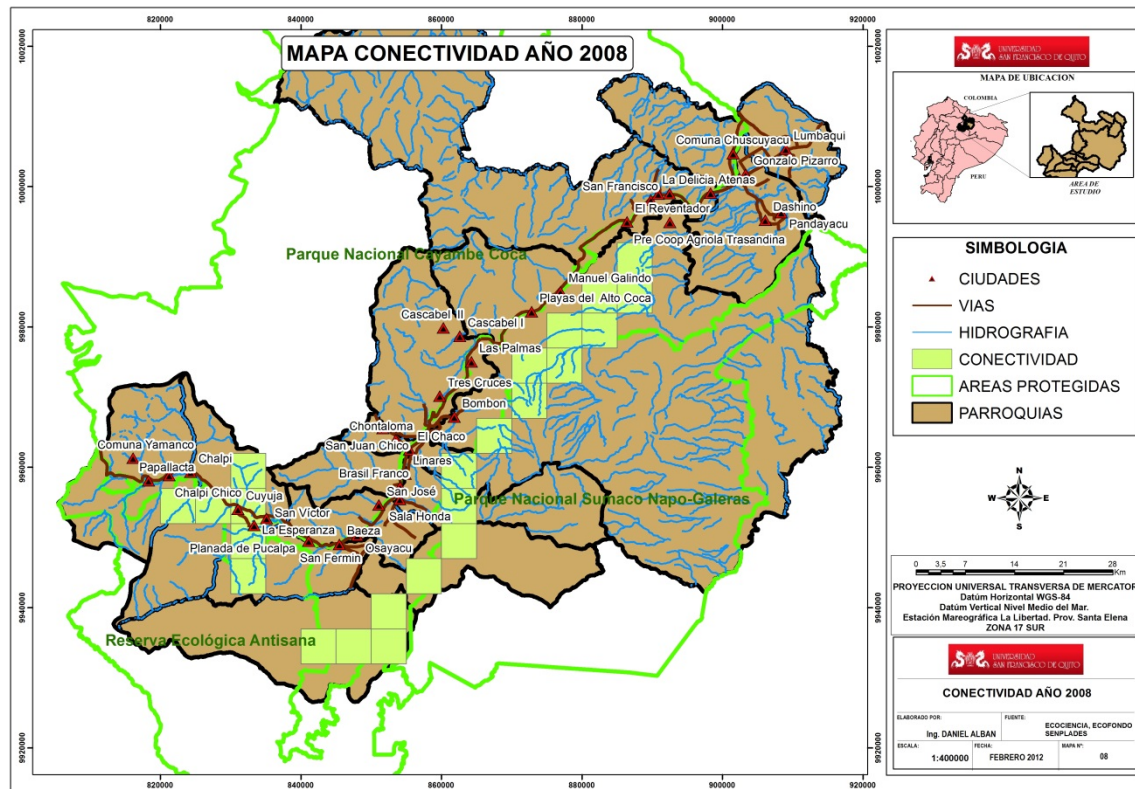


Figura 9 Mapa de Conectividad año 2008

Se han generado dos corredores de conectividad entre las tres áreas protegidas, teniendo en cuenta que para poder conectar la Reserva Ecológica Antisana y el Parque Nacional Cayambe Coca se utilizó complejos con una fragmentación muy fuerte. La conectividad

entre el Parque Nacional Sumaco Napo Galeras y el Parque Nacional Cayambe Coca ha desaparecido por completo.

Se ha pasado de tener casi 180.000 hectáreas aptas para una conectividad en la zona en el año 2000, a 58.000 hectáreas para el año 2008, reduciéndose a la tercera parte de zonas naturales que pueden ayudar a los ecosistemas de las áreas protegidas involucradas.

## 4 ANÁLISIS DE DATOS

En trabajos anteriores en la Unión Europea se ha aplicado a escalas superiores a 1:100.000, teniendo grillas de cálculo de 2.500 mts por 2.500 mts, y trabajando con una resolución espacial de 250 mts. También se dieron estudios con resoluciones espaciales de 50 mts con grillas mayores a los 10 km por 10 km. De esta manera se logró determinar que mientras más grande es la grilla y menor la resolución espacial menor será el error.

Teniendo como punto de partida datos de tipo raster, se puede generar un análisis espacial sustentado, realizando varios tipos de operaciones para poder calcular en términos de conectividad la fragmentación del espacio, teniendo así un indicador completamente coherente.

“Los análisis sobre la fragmentación de los hábitats en función de las especies animales y vegetales son una tarea extremadamente compleja, pudiéndose hacer una estimación más sencilla a partir de los usos de suelo.” (Triviño et al., 2007).

Partiendo de este concepto se han generado diversos tipos de estudios, en los cuales, se analiza de manera conjunta variables como son el uso del suelo, la conectividad en sus distintos grados y espacios (sean estos naturales o seminaturales) y las actividades antropogénicas, de manera estadística.

Como se mencionó anteriormente, para el cálculo del índice de fragmentación en este estudio se utilizó la metodología de (STEENMANS, 2000), el cual evalúa la conectividad existente en el área de estudio, en función del número de complejos o celdas resultantes

del ajuste de la grilla de cálculo, la cual variara dependiendo la extensión y forma del espacio geográfico en análisis, cabe indicar que es muy importante para el estudio la escala espacial de la información.

En el artículo “Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del índice de fragmentación de hábitats empleado por la agencia europea de medio ambiente” Triviño (Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G, 2007), se realiza un estudio a fondo de las variables inmersas en la metodología planteada por Steenmans y Pinborg , de donde se determinó que la variable predominante en este índice será la resolución la que de una mayor variación, mientras que la grilla de cálculo (celdas o complejos), no inciden de manera predominante en el cálculo del índice.

Realizando varios análisis para un mismo sector y utilizando distintos tipos de resolución espacial en la cobertura vegetal, este estudio determino que existen errores menores al utilizar una combinación entre grillas de cálculo superiores a los 10 x 10 kilómetros con resoluciones espaciales inferiores a los 50 metros que en combinaciones con celdas de cálculo o complejos de 2,5 x 2,5 kilómetros y resolución espacial superior a 100 metro. Un dato que es significativo al momento del resampleo en la resolución espacial, es la unidad mínima cartografiable que arroja la fuente de donde se ha tomado la cobertura (sean estas ortofotografías, ortoimágenes, etc.).

Steenmans y Pinborg (2000) utilizaron escalas medias, precisamente una escala 1:100.000, de la cual se puede extraer una unidad mínima cartografiable de 250 metros por lado, que deriva en una superficie de 6,25 hectáreas, esta resolución será el máximo permitido para

el análisis, y, donde el mínimo será de 625 metros de resolución que se puede obtener de sensores Landsat 7ETM + ASTER L1b.

A partir de este concepto se han desarrollado indicadores ambientales para evaluar las actividades antropogénicas que intervienen en la biodiversidad analizando los usos del suelo y el grado de conectividad tanto de los espacios naturales como de los seminaturales. El índice de fragmentación de Steenmans y Pinborg (2000) evalúa el grado de conectividad de los espacios sensibles de un área o zona que se ajustará a un cuadrado denominado grilla de cálculo. Esta grilla de cálculo dependerá de la extensión y forma del espacio geográfico, objeto de estudio y escala de trabajo.

Otro estudio sobre fragmentación y conectividad realizado por Phillips y Navarrete utiliza diferentes variables como son las cuencas hidrográficas y la infraestructura vial, a más de la cobertura del suelo (Navarrete, 2009). Derivadas de estas variables y utilizando el programa FRAGSTATS 3.3 (McGarigal et al. 2002) (McGarigal, Kevin & Sermin Tagil & Samuel A. Cushman, 2002), calcula y analiza varias categorías, las cuales las dividen en:

- Métricas de área, borde y densidad
- Métricas de forma
- Métricas de área núcleo
- Métricas de proximidad y aislamiento
- Métricas de Contraste
- Métricas de contagio y entremezcla, y
- Métricas de conectividad

Con estos datos, procedieron a realizar un muestreo de manera aleatoria en la zona de estudio, para lo cual tomaron en cuenta la distancia entre los puntos de muestreo no inferior a 2000 metros y una distancia de borde nunca mayor a 1000 metros, generando buffers de diferente distancias alrededor de los mismos. Este primer paso lo utilizan para poder calcular una superficie regular para establecer una grilla hexagonal en toda el área de estudio.

Posteriormente procedieron a calcular nuevamente las métricas señaladas anteriormente, esto para poder analizar la correlación que existía entre pares de métricas por hexágono; si alguno de los pares de métricas mostraba una fuerte correlación se eliminaba uno de ellos. De esta manera se reduce el conjunto original de métricas para poder establecer un análisis factorial para poder identificar un número relativamente pequeño de factores que pueden ser utilizados para presentar la relación existente entre un conjunto de variables.

Realizando a este insumo un análisis estadístico se logra reducir las métricas, para aplicar nuevamente un análisis factorial que permita identificar métricas con valores factoriales elevados en alguno de los factores, a fin de eliminar aquellos que tengan correlación alta. En un último paso y una vez que se obtiene las métricas sin correlación se procede a calcular el índice de fragmentación utilizando una ecuación planteada por Pfister (Pfister, 2004)

Esto supone un primer paso que servirá, junto con las variables de vías, cobertura vegetal y cuencas hidrográficas como insumo para el análisis de conectividad, para esto proponen 4 etapas:

- Selección de núcleos a conectar
- Creación de mapas de costo
- Modelaje de rutas de conectividad estructural potencial
- Creación de escenarios sintéticos de conectividad potencial

Realizando el análisis espacial de estas variables en las distintas etapas proceden a realizar un nuevo muestreo de las zonas núcleo, y encontrar mediante el mapa de costos la menor distancia entre estos puntos y por ultimo generar zonas buffer a lo largo de cada trayectoria.

Otra forma de realizar el análisis de fragmentación se reproduce en el artículo de la revista Ingenierías Universidad de Medellín, "(Gómez Mora, Anaya, & Álvarez Dávila, 2005)" para el cual utilizan la metodología planteada por Dinerstein et al.(Dinerstein, 1995), aquí los ecosistemas de una región y su estado son evaluados en dos categorías, una instantánea y una final, si bien la metodología original propone el uso de una variable de amenaza, que identifica y cuantifica los riesgos o peligros en los ecosistemas a corto plazo, como son los cambios en la frontera agrícola, megaproyectos, infraestructura, etc., este estudio en Colombia no utiliza dicha variable.

La evaluación parte de una métrica de paisaje(O'Neill, 1997), efectuada con FRAGSTATS.

Posterior a esto la metodología requiere el cálculo de las siguientes variables:

- Pérdida de bosque.- Se refiere principalmente al cambio en el uso del suelo
- Bloques de bosque nativo.- Cantidad de bosque original con una unidad mínima de superficie

- Fragmentación.- Mosaico de fragmentos discretos de uso del suelo, donde cada fragmento representa áreas con condiciones ambientales relativamente homogéneas a determinada escala (McGarigal K. , 2002).
- Conversión.- Se refiere a la tasa de deforestación
- Protección.- Área que se encuentra bajo alguna figura de protección.

Esta metodología utiliza en un primer momento también la herramienta FRAGSTATS 3.3 (McGarigal K. , 2002), a diferencia de la anterior metodología, esta no realiza el análisis factorial para, por correlación poder eliminar métricas con alto parecido. Para esta metodología se utiliza una ecuación para el cálculo de Índice de Calidad de Fragmento (ICF) que mide el grado de resistencia al flujo de especies.

$$ICF = \frac{+AREA * 6 + EDCON + 5 + DIF_{ALTA} * 4 + FRACT * 3 + CORE * 2 + NN_{MIN} * 1}{21}$$

Esta ecuación es una adaptación de otras utilizadas en estudios recientes (Naranjo, 2000), (Gómez Mora, Anaya, & Álvarez Dávila, 2005)

Posteriormente se realiza la modelación del corredor biológico en donde, con base al ICF calculado mediante la ecuación se categoriza cada fragmento, cada uno de los cuales tiene un valor de calidad de hábitat (Gómez et al., 2003). De esta manera el modelo permite determinar la ruta más corta que conecta la mayor cantidad de fragmentos con alto índice de calidad del hábitat.

El análisis del presente estudio para la creación del corredor de conectividad se lo hizo en dos momentos, uno para el año 2000 y otro para el año 2008, dado que esta zona es un



paso obligatorio desde la sierra hacia el oriente (zona petrolera), se observa que el incremento de la actividad antrópica ha sido vertiginoso. En un primer momento se presentan las superficies de coberturas existentes para los dos años. Dado que el análisis se lo realizó en dos variables (Zonas naturales, Zonas no naturales) los valores de superficie así como sus porcentajes también se expresarán para estos dos tipos en los siguientes cuadros.

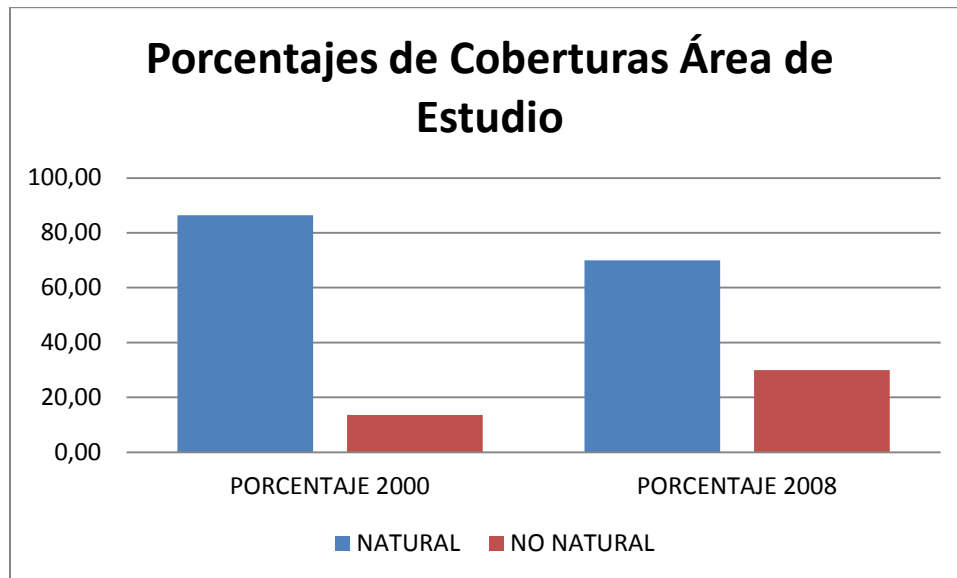
**Tabla 6. Cobertura Vegetal 2000**

<b>COBERTURA VEGETAL 2000</b>		
TIPO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE
NATURAL	307.131,92	86,45
NO NATURAL	48.142,42	13,55
TOTAL	355.274,34	100,00

**Tabla 7. Cobertura Vegetal 2008**

<b>COBERTURA VEGETAL 2008</b>		
TIPO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE
NATURAL	248.676,70	70,00
NO NATURAL	106.597,64	30,00
TOTAL	355.274,34	100,00

Gráfico 1. Porcentajes de Coberturas Área de Estudio



Se puede observar con los primeros datos que, el porcentaje de zonas no naturales se ha incrementado al doble en el lapso de 8 años, el primer indicio para establecer que al año 2008 la conectividad se poco representativa en las áreas de estudio.

Una vez obtenidos los resultados para los 178 complejos planteados en el presente estudio obtenemos los datos de superficie <sup>1</sup>del índice de fragmentación para los dos años, que se expresan en los cuadros a continuación.

<sup>1</sup> La superficie varían con la superficie de tipo de cobertura, ya que los complejos no necesariamente abarcan la cobertura escogida. Esta puede ser superior

Tabla 8. Fragmentación 2000

<b>FRAGMENTACIÓN 2000</b>		
TIPO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE
EXTREMA	12.500	2,81
MUY FUERTE	90.000	20,22
FUERTE	187.500,00	42,13
MODERADA	155.000,00	34,83
TOTAL	445.000,00	100,00

Tabla 9. Fragmentación 2008

<b>FRAGMENTACIÓN 2008</b>		
TIPO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE
EXTREMA	20.000	4,49
MUY FUERTE	145.000	32,58
FUERTE	180.000,00	40,45
MODERADA	100.000,00	22,47
TOTAL	445.000,00	100,00

Como se mencionó anteriormente la fragmentación muy fuerte es la que se ha incrementado en este lapso de tiempo.

Gráfico 2. Porcentaje de Fragmentación año 2000

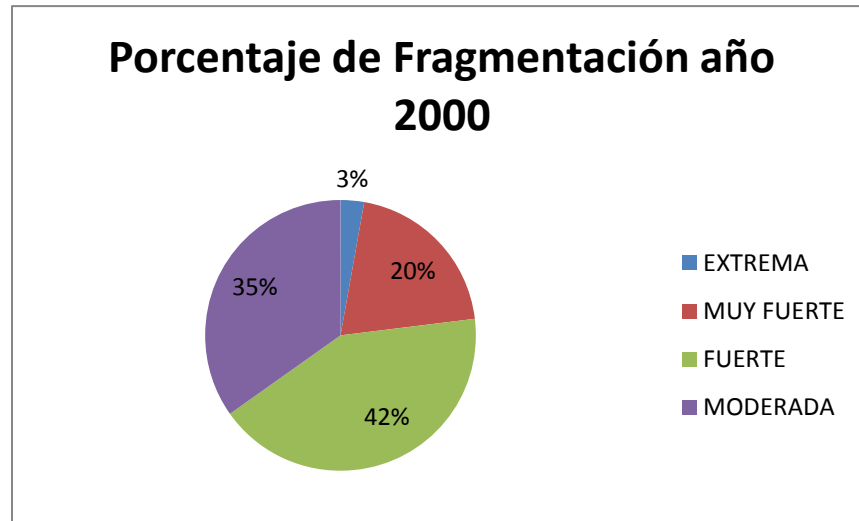
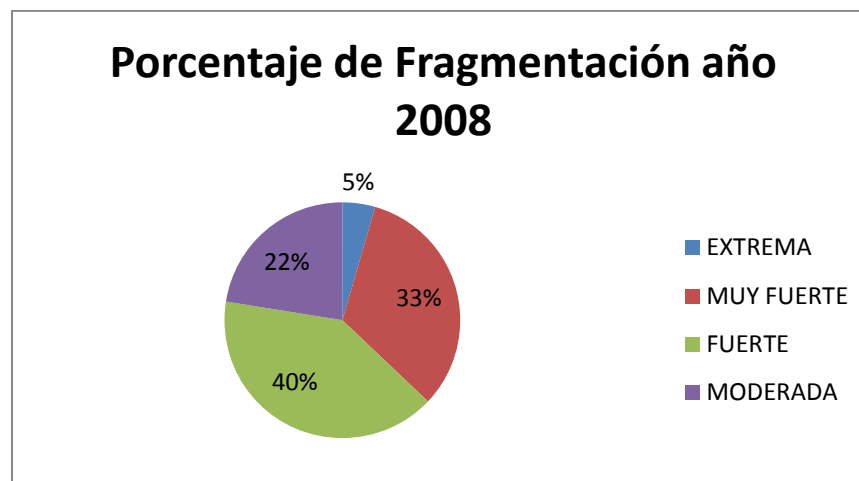


Gráfico 3. Porcentaje de Fragmentación año 2008



Comparando la metodología expuesta en el presente estudio, con metodologías realizadas en estudios anteriores se puede determinar que existen ciertas limitaciones en la misma, así se pueden anotar las siguientes:

- Es una metodología que requiere de información proveniente de insumos cartográficos con alta resolución espacial.
- Al no realizar una correlación de cada celda de cálculo o complejo se permite que cierta información pueda extrapolarse obteniendo errores al momento de determinar el grado de fragmentación de cada celda.
- El análisis estadístico es muy importante al momento de determinar la fragmentación, la herramienta FRAGSTATS permite obtener métricas altamente significativas en este tipo de estudios
- El incluir varias de estas métricas permite eliminar cierta información que podría ser redundante en el estudio
- El realizar muestreos para realizar el estudio permite obtener datos puntuales de zonas de estudio que abarquen grandes zonas de estudio
- Las métricas pueden ayudar a determinar corredores de conservación que conecten áreas de bosque en perfecto estado muy distantes entre sí.
- Existen metodologías que no se mencionan en este documento que incluyen el análisis paisajístico, así como también la actividad comercial e industrial, que los habitantes de las zonas de estudio realicen
- Existe otras variables que pueden revelar mayor información al momento de la toma de decisiones, como son la tasa de deforestación por ejemplo

Dependiendo de las zonas de estudio, así como la extensión de las mismas se puede determinar potencialidades utilizando la metodología planteada por Steenmans y Pinborg (STEENMANS, 2000), así podemos mencionar las siguientes:

- Es una metodología que utiliza como principal insumo la cobertura vegetal y uso del suelo obtenida de los diferentes sensores que hoy en día existen.
- La disponibilidad de nuevos sensores como RAPIDEYE, WORDVIEW, LANDSAT 8, ortofotos con GSD menores a 50 centímetros, permite obtener una alta resolución espacial, que es un dato fundamental en este estudio.
- Es una metodología que puede adaptarse a cualquier escala, si bien es aconsejable trabajar con escala medias, también se puede obtener datos con escalas mayores a 1:100.000, el error que arrojaran estas escalas será alto pero servirá para un primer diagnóstico.
- Al utilizar como principal variable a la cobertura vegetal el estudio se puede realizar con una información proporcionada por cualquier sensor en determinado año.
- Una potencialidad que tiene esta metodología frente a otras es que no requiere de una tasa de deforestación para proceder al análisis. Si bien la tasa de deforestación es una fuente de información se requiere de grandes periodos de tiempo para que esta pueda ser calculada, y a pesar de que ya se cuenta con imágenes satelitales desde hace más de 30 años, estas poseen una resolución espacial mínima, que de alguna manera arroja datos que pueden conducir a un error al mezclarlas con otras imágenes actuales de mejor resolución espacial.

- El utilizar celdas de cálculo o complejos permite evaluar toda el área de estudio, evitando generar sitios sin información.
- Permite obtener varias alternativas para el análisis en base al tamaño de cada complejo, teniendo una adaptabilidad extraordinaria a cada zona de estudio.
- El filtro utilizado en la presente metodología admite desde un inicio la conectividad entre pixeles sensibles.
- Es una metodología que arroja información precisa de primera mano, con resultados fáciles de entender y cuya aplicación es simple.
- Permite tener una idea clara al determinar los corredores de conservación que resultan del análisis de fragmentación.
- Es una metodología que ha sido probada en distintos tipos de ecosistemas, dando una información altamente confiable y muy importante para la toma de decisiones,
- Contar con un análisis en dos o más años de estudio permitirá tener una mejor apreciación de los procesos de degradación en las zonas de estudio.
- No requiere de largos periodos de tiempo para que se pueda realizar y obtener un cálculo preciso del índice de fragmentación.
- Al dividir la variable cobertura vegetal en dos categorías, permite incluir a todos los ecosistemas, dándole la misma importancia a cada uno de ellos.

Con todas estas potencialidades, se puede afirmar que es una metodología que se puede utilizar a nivel país. La República de Ecuador al ser un país megadiverso y con una creciente expansión de la frontera agrícola, principalmente en la amazonia, ha fomentado

la creación de áreas protegidas con sus distintos niveles de protección. Al crear estas áreas sobre sitios que ya han sufrido de un cambio importante en su uso de suelo, se tiene varios lugares con una fragmentación bien marcada, una ventaja primordial es que estas zonas no distan mucho unas de otras, con lo cual se puede generar corredores de conservación, que ayuden a la continuidad de especies en flora y fauna, evitando la pérdida de las mismas.

Un claro ejemplo de esto es la zona de estudio, en la que el núcleo principal para la expansión de la frontera agrícola es la troncal amazónica, al igual que los megaproyectos que se realizan en la zona.

Esta zona es una zona importante en la transición de los pisos climáticos, que van desde los páramos en las zonas altas de la Reserva Ecológica Antisana hasta los bosques húmedos del Parque Nacional Sumaco Napo Galeras.

La adaptabilidad de la metodología se puede utilizar para otras zonas con similares características, zonas boscosas con una arteria vial principal y una creciente expansión en la frontera agrícola, zonas como el Parque Nacional Sangay y el Bosque Protector Kutuku Shaimi, o los Parques Nacionales Yacuri y Podocarpus, con el Área Municipal Yacuambi. Estas ubicadas en la amazonia.

También sería muy importante y de gran ayuda utilizar esta metodología en la zona de los bloques forestales ubicados en la provincia de Esmeraldas, esta al ser una zona con una alta presión por la tala indiscriminada de bosque, es una zona en la que la metodología podría arrojar datos sobre la fragmentación creciente en la zona.



Otra zona en la que se puede replicar este estudio es entre el Parque Nacional Machalilla y el Bosque Protector Chongon Colonche, que es un área con remanentes de bosque seco que se están perdiendo.

Cada una de estas zonas en las distintas regiones del país está sujeta a fragmentación, la cual puede ser estudiada y analizada de manera inmediata con ayuda de imágenes satelitales de fácil acceso y con un costo relativamente bajo. Pudiendo servir como un insumo muy importante para la toma de decisiones que ayuden a la conservación de un recurso muy importante para el planeta, como son las masas boscosas y páramos.

Volviendo al caso de estudio en el actual documento, y con los datos obtenidos para el índice de fragmentación, se puede determinar los corredores de conectividad, como se ilustran en la figura 9, en el sitio la fragmentación en promedio es muy fuerte (ver tabla 8), esto debido a que el área de estudio está atravesado por los ejes viales hacia las ciudades Nueva Loja y Tena, que prácticamente son las que dividen las áreas protegidas en estudio (Parque Nacional Cayambe Coca, Parque Nacional Sumaco Napo Galeras y la Reserva Ecológica Antisana), siendo esta zona donde no existe conectividad. Sin embargo, ayudados por el filtro modal que se utilizó en el estudio se puede obtener datos para identificar de manera explícita los sectores donde se pueden implantar los corredores que conecten las áreas protegidas antes mencionadas (figura 8).

Identificando los complejos con conectividad se procede a determinar dos posibles corredores de distinta dimensión, la primera opción para conectar la Reserva Ecológica

Antisana-Parque Nacional Sumaco Napo Galeras, Parque Nacional Cayambe Coca, ubicado en las parroquias Cosanga, Sumaco, Linares y Gonzalo Díaz de Pineda consta con una superficie de 61.250 hectáreas aproximadamente. La segunda opción que conecta el Parque Nacional Cayambe Coca y la Reserva Ecológica Antisana con una extensión de 17.474 hectáreas.

Definidos una vez las opciones de corredores en el área de estudio, es importante continuar con los siguientes pasos, es decir, este insumo es una variable muy importante que sumada a las variables socio-económica, institucional y política se puede determinar la factibilidad para implementar los corredores de conservación, hay que tener en cuenta que las zonas por donde se plantea el corredor son zonas con una gran presión antrópica, la implementación del mega proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair ha incrementado la población en determinados sectores del eje vial. Además se ha formado una zona de seguridad en el área de estudio para este megaproyecto, que es una variable que también ha de considerarse en el momento de implantar el corredor que conecta las 3 áreas protegidas. Para el corredor de menor extensión existe mayor factibilidad, dado que es una zona que si bien tiene presión antropogénica, esta es menor que en el otro sector, es muy importante anotar que en el sector, la actividad productiva podría mermar, y deberán manejarse nuevas opciones para que los pobladores puedan tener ingresos sin que presionen el corredor una vez implantado.

La determinación de estos corredores permitirá tener una conectividad en esta zona muy importante para la biodiversidad del país, hay que tener en cuenta que parte de estas

áreas protegidas están inmersas en la denominada Reserva de Biosfera Sumaco. También las 3 áreas son parte de la macro cuenca del Amazonas que es una zona de vital importancia para el planeta.

Los esfuerzos que se realicen para la implementación de los corredores ayudaran a tener un incremento en la población de especies tanto de flora y fauna, asegurando una calidad de vida más ecológica para el país.

## 5 CONCLUSIONES

En el mundo, dentro de las más ricas y diversas, la flora del Ecuador se encuentra conformada por una amplia gama de tipos de vegetación (Lozano, 2002), es por esto que es importante anotar lo siguiente.

### 5.1 Conclusiones.

- a) El grado de conservación de los bosques varía según su localidad, tomando en cuenta que son bosques fuera de áreas protegidas, sin embargo, se puede apreciar que la fragmentación y deforestación que enfrentan los bosques, todavía se pueden encontrar remanentes de bosques que pueden presentar altos índices de biodiversidad y especies endémicas.
- b) La destrucción del bosque natural, ya sea por el cambio de uso de suelo o por tala ilegal, es la mayor amenaza, incluso mayor que el cambio podría ocasionar (Van der Hammen, 1995).
- c) Es muy importante tomar en cuenta el tipo de imagen u ortofotografía que se va a utilizar en estudios similar a este, la resolución espacial es significativo para el cálculo del índice de fragmentación
- d) La metodología de Steenmans y Pinborg se adaptó de buena manera al área de estudio, se puede observar en el índice de fragmentación que las zonas de amortiguamiento de las áreas protegidas son las que presentan mayor fragmentación

- e) En la comparación en los tiempos escogidos para el estudio (año 2000 y 2008) se puede observar una disminución en el porcentaje de masa boscosa para la misma zona, en 8 años se ha reducido un 15% aproximadamente de la misma, lo que indica que la ampliación de la frontera agrícola en la zona está creciendo de manera desmesurada y sin una correcta planificación
- f) La fragmentación se ha incrementado como consecuencia de la ampliación de la frontera agrícola, aumentado en un porcentaje casi similar a la pérdida de masa boscosa (12% aproximadamente).
- g) La presencia de infraestructura vial siempre va a incrementar la posibilidad de que se fragmenten zonas boscosas.

## 6 RECOMENDACIONES

### 6.1 Recomendaciones.

- a) Evitar trabajar con imágenes satelitales de distinto sensor, impedirá que se generen errores de homogenización radiométrica
- b) Para la generación de la capa de cobertura vegetal (insumo primordial en la metodología) será importante definir una correcta metodología, que permita identificar claramente el cambio de cobertura.
- c) Elaborar estudios al menos anuales que permitan controlar el cambio de cobertura en zonas de conservación importantes.
- d) De acuerdo al índice de fragmentación obtenido en la zona de estudio, en zonas con una fuerte fragmentación se recomienda establecer medidas que puedan mitigar las actividades humanas que estén causando dicha fragmentación.
- e) Los corredores de conectividad deben elaborarse en zonas con fragmentación moderada, de tal manera que las medidas para implementar dichos corredores no signifiquen un alto costo.
- f) Elaborar este tipo de estudios de manera temporal y espacial es importante para el manejo correcto de las áreas protegidas, su entorno y su conectividad, de tal manera que puedan servir para la toma de decisiones.

- g) Es de vital importancia realizar un seguimiento a cada una de las zonas con una alta fragmentación, para evitar que la degradación de los hábitats sea perjudicial para la flora y fauna.
- h) Si bien la metodología de Steenmans y Pinborg se adapta de muy buena manera a cualquier región del país, se puede utilizar otras metodologías que permitan evaluar distintas variables que no se tomaron en cuenta en el presente estudio.

## 7 REFERENCIAS

- AEET. (2011). Fragmentación del hábitat y desensamble. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 68-75.
- Americanos, S. G. (1995). Secretaria General De La Organización De Los Estados Americanos. EEUU.
- Chuvienco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial - Segunda Edición-*. Madrid: Ediciones Rialp, S.A.
- Chuvienco, E. (Septiembre 1990, 1era edición). *Emilio Chuvienco*. Madrid, <ftp://148.231.212.8/meza2012/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>: Ediciones Rialp S.A.
- Comisión Mixta de Cooperación Amazónica - Ecuatoriano - Colombiana . (1995). Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo. *Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo*. Ecuador-Colombia: <http://www.oas.org/>.
- Dinerstein. (1995). *A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean*. Washington.
- Ecuador, M. d. (2015). *SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS DEL ECUADOR - SNAP*. Recuperado el Octubre de 2015, de SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS DEL ECUADOR: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/info-snap>
- Godron, F. &. (1986). *Landscape Ecology*.
- Gómez Mora, A. M., Anaya, J. A., & Álvarez Dávila, E. (2005). Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central de los Andes Colombianos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 1-16.
- HALFFTER, G. &. (2002). *Response of dung beetle diversity to human-induced changes in a tropical landscape*. Biotropica.
- Laurance. (1999). *Predicting effects of habitat destruction on plant communities: a test of a model using Amazonian trees*. .
- Lozano. (2002). *Los tipos de bosque en el sur del Ecuador*. Quito: Ediciones Abya Yala.
- MARBELO. (1999). *Introducción a la Teledetección*. Recuperado el 2015, de Introducción a la Teledetección: <http://marbelo.webs.ull.es/rs1.pdf>



- Marks, M. a. (1995). *Relationship between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range*.
- Martínez-Dueñas, I. W. (Mayo de 2010). *ÍNDICE INTEGRADO RELATIVO DE ANTROPIZACIÓN: PROPUESTA*. Santa Marta, Santa Marta, Colombia.
- MCGARIGAL, K. (1994). *FRAGSTATS SPATIAL PATTERN ANALYSIS PROGRAM*. Recuperado el Octubre de 2005, de FRAGSTATS SPATIAL PATTERN ANALYSIS PROGRAM: <http://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>
- McGarigal, K. (2002). *Landscape pattern metrics, ENCYCLOPEDIA OF ENVIRONMENTAL METRICS VOLUME 2*. England: PIEGORSCH, EDS.
- McGarigal, K. a. (1986, 1995). *Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Portland: Pacific Northwest Research Station.
- McGarigal, Kevin & Sermin Tagil & Samuel A. Cushman. (2002). *Landscape pattern metrics*. Chichester: Wiley.
- Ministerio de Agricultura España. (2014). *Conectividad, fragmentación de habitats y restauración*. Recuperado el Octubre de 2015, de <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/>
- Ministerio del Ambiente España. (2010). *Indicadores de Fragmentación de Habitat. Indicadores de Fragmentación de Habitat*. Madrid, San Sebastián, Los reyes: Organismo Autónomo.
- Morón, J. M.-A. (1993). *La modificación de las comunidades de coleópteros*.
- Naranjo. (2000). *Diseño de corredores biológicos en el norte de Antioquia, Colombia*. Colombia.
- Navarrete, P. y. (2009). *Estudio de Fragmentación y Conectividad*.
- Nepstad. (1992). *Evaluation of a Conservation and Development Strategy*. USA.
- O'Neill. (1997). *Functional Assessment and Programme Development for Problem Behaviour A Practical Handbook*. Brooks/Cole Publishing Company.
- Pfister. (2004). *Índice de Fragmentación. Índice de Fragmentación*. Mexico, Mexico, Mexico.
- PRIMACK, R. (1993). *Essentials of Conservation Biology*. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
- SINAC. (2008). *Programa Nacional de Corredores Biológicos de Costa Rica*. Recuperado el Octubre de 2015, de [http://www.sinac.go.cr/corredoresbiologicos/documentacion/guia\\_oficializacion.pdf](http://www.sinac.go.cr/corredoresbiologicos/documentacion/guia_oficializacion.pdf)

- STEENMANS, C. A. (2000). *Anthropogenic fragmentation of potential semi-natural and natural area*. EUROSTAT.
- Terborgh, J. (1989). Where Have All the Birds Gone? *Where Have All the Birds Gone, Essays on the Biology and Conservation of Birds That Migrate to the American Tropics*. EEUU.
- The Nature Conservancy. (2015). *mundotnc.org*. Recuperado el 2015, de mundotnc.org:  
<http://www.mundotnc.org/donde-trabajamos/americas/ecuador/lugares/lugares-2.xml>
- Triviño Pérez, A., Vicedo Maestre, M. y Soler Capdepón, G. (2007). Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del Índice de Fragmentación de hábitats empleado por la Agencia Europea de Medio Ambiente. *GeoFocus*, 148-170.
- Whitcomb. (1981). *Effects of forest fragmentation on avifauna of the Eastern Deciduous Forest*. New York: Forest island dynamics in man-dominated landscapes.
- Yerena. (1994). *Corredores ecológicos en los Andes de Venezuela*. Venezuela: Stephan y Thora Amend, Editores.

## **Glosario de Términos**

Aspecto Biofísico.- Características bióticas y abióticas; ejemplo: Vegetación, agua, temperatura, etc.

Efectos Antrópicos.-Efecto causado por o para el hombre

L1B.- El pre procesamiento de nivel L1B de las imágenes satelitales ASTER, consiste en aplicar parámetros de correcciones radiométricas y geométricas. MAE.- Ministerio del Ambiente del Ecuador.

Píxel.- Es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital.

Teledetección.- Es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, superficie o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con él.

Hemerobia.- Es una medida para evaluar la influencia antropogénica sobre los ecosistemas considerando efectos antropogénicos que inhiben el desarrollo

SIG.- Sistemas de Información Geográfica:

Fragmentación.- proceso a nivel de paisaje en el cual un ecosistema se subdivide en porciones más pequeñas, geométricamente más complejas y más aisladas, como resultado tanto de procesos naturales como de actividades humanas

SNAP.- Sistema Nacional de Áreas Protegidas

Resolución Espacial.- Medida de nivel de detalle que puede verse en una imagen, define el tamaño del pixel.