UNIVERSIDAD DEL AZUAY

DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL II VERSION

Título del trabajo de graduación:

Criterios para establecer un programa de investigación de biodiversidad y ecosistemas con fines de formación académica y conservación del sur del Ecuador

Título a obtener: Magister en Gestión Ambiental

Autor:

Edwin Zárate Hugo

Tutor:

Jacinto Guillén García

Cuenca, Ecuador 2014

DEDICATORIA:

Estefanía, Alejandra y Juan Daniel

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a la Universidad del Azuay en la persona del Ing. Jacinto Guillén, por el apoyo a los proyecto de investigación y a los colegas biólogos de la Escuela de Biología, Ecología y Gestión, con los cuales discutimos diariamente criterios, conceptos y prioridades de estudios para propender a la conservación de los ecosistemas del sur del Ecuador.

Resumen

Criterios para establecer un programa de investigación de biodiversidad y ecosistemas con fines de formación académica y conservación del sur del Ecuador.

Resumen

Procesos exitosos de manejo y restauración de ecosistemas dependen de la comprensión de la dinámica de éstos. Su complejidad en los trópicos obliga a realizar priorizaciones temáticas para atender problemas urgentes. Tres ejes prioritarios han sido identificados relacionados con el funcionamiento de ecosistemas, los efectos de actividades humanos, y los motores sociales detrás de dichas actividades. Indicadores referenciales son necesarios para mostrar el desenvolvimiento de cualquier situación. Los indicadores ecológicos de uso tradicional no explican las tendencias de los ecosistemas debido a que estos presentan una gran heterogeneidad y están sujetos a constantes cambios de origen antrópico y natural. Nuevos indicadores que presentan varias ventajas en relación a los indicadores tradicionales han sido desarrollados. Este trabajo realiza una revisión las prioridades temáticas, indicadores ecológicos y los criterios necesarios para tomar decisiones técnicas y políticas, imprescindibles para diseñar una efectiva investigación o monitoreo de ecosistemas naturales.

Palabras claves: indicadores ecológicos, ecosistemas, regiones biogeográficas, zonal 6 Ecuador, prioridades de conservación.

Ing. Jacinto Guillén
Director

Ecol. David Siddons MSc.
Tribunal

Blgo. Vinicio Santillán MSc
Tribunal

Blgo. Edwin Zárate
Maestrante

Abstract

Criteria to establish a biodiversity and ecosystem investigation program with the aim of academic formation and conservation of Southern Ecuador.

Abstract

Successful management and restoration of ecosystem processes depend on the understanding of their dynamics. Their complexity in the tropics obliges making thematic prioritizations to deal with urgent problems. Three core priorities have been identified: functionality of ecosystems, the effects of human activities, and the social motors behind said activities. Referential indicators are necessary to demonstrate the development of any given situation. Traditional ecological indicators do not explain the tendencies of ecosystems due to their high heterogeneity and their being subject to constant change from natural and anthropogenic origins. New indicators with various advantages over traditional indicators have been developed. This work revises the thematic priorities, ecological indicators and the criteria necessary to take technical and political decisions, indispensable in designing effective investigation or monitoring of natural ecosystems.

Key words: ecological indicators, ecosystems, biogeographic regions, Zone 6 Ecuador, conservation priorities.

Ing. Jacinto Guillén
Director

Ecol. David Siddons MSc.
Tribunal

Blgo. Vinicio Santillán MSc
Tribunal

Blgo. Edwin Zárate
Maestrante

Translated by
Rafael Argudo

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTOS iii
Resumen iv
Abstract v
ÍNDICE DE FIGURAS vii
INTRODUCCIÓN 1
OBJETIVOS 2
General 2
Específicos 2
CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS 2
1.1 Área de Estudio 2
1.2 Métodos 3
CAPÍTULO 2: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 4
2.1 Prioridades de investigación 4
2.2 Análisis geográfico de ecosistemas de la Zonal 6 (Z6) 7
2.3 Selección de Indicadores apropiados para diagnosticar y determinar tendencias en los ecosistemas 10
2.4 Factor de estrés vs. Variables de respuesta 12
2. 5 Múltiples factores de estrés 13
2.6 Las especies como indicadores ecológicos 14
2.6.1 Especies bandera 15
2.6.2 Especies Paraguas 15
2.6.3 Especies clave 16
2.7. Escalas espaciales y temporales 16
CAPITULO 3: CONCLUSIONES 17
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de la región 6 del país dentro del contexto nacional y regional 3
Figura 2. Superficie en porcentaje de las regiones presentes en la Zonal 6 del Ecuador 8
Figura 3. Superficie en porcentaje de sectores biogeográficos de la Zonal 6 del Ecuador 9

Edwin Javier Zárate Hugo

“Trabajo de graduación”

Jacinto Guillén García

Junio, 2014

Criterios para establecer un programa de investigación de biodiversidad y ecosistemas con fines de formación académica y conservación del sur del Ecuador.

INTRODUCCIÓN

La Constitución Política del Ecuador es la primera en el mundo en reconocer los derechos de la naturaleza y busca garantizar que la vida se desarrolle en ambientes adecuados y saludables. Situación novedosa y muy exigente puesto que implica la adecuada interpretación del estado de nuestros ecosistemas, que aportan importantes beneficios (servicios ecosistémicos) a las poblaciones humanas. Sin embargo, hoy en día la destrucción de los ecosistemas ha llegado a niveles alarmantes principalmente por la deforestación que alcanza altas tasas anuales (-1.7 %) en toda América Latina (Mosandl y Günter 2008).

Siendo importante entrar en procesos de restauración de áreas afectadas y conservación de los espacios naturales remanentes, que, si bien, en nuestro País los esfuerzos en relación a este tema se han incrementado en los últimos años aún son insuficientes.

Conscientes de esta realidad y de la falta de conocimientos, las universidades e institutos de investigación, han visto la necesidad de emprender procesos de investigación que permitan recopilar elementos de juicio para diseñar acciones de conservación. Sin embargo, al estar en el trópico, los ecosistemas de nuestra región son complejos, por lo que estudiar todos los elementos se vuelve casi imposible, siendo necesario hacer priorizaciones sobre algunas temáticas que requieren de una investigación urgente.

Se requiere, entonces, insertar a estas prioridades dentro de un sistema de líneas temáticas o líneas de investigación que generen conocimientos derivados de estudios biológicos eficientes, que considere los indicadores, las escalas temporales y

espaciales adecuadas a nuestro medio. Que constantemente publique resultados y que pongan a disposición de la sociedad para que pueda ser utilizada.

Por ello las universidades deben dar respuesta a esta responsabilidad social, determinando como prioritaria la consolidación de procesos de investigación y generación de conocimiento como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en materia de conservación y mantenimiento de los servicios ecosistémicos, a la vez que forma profesionales críticos y comprometidos con la sociedad.

Por lo expuesto la pregunta que se pretende responder con este trabajo es ¿Qué criterios debe tomar en cuenta un programa de investigación para que contribuya a la formación de profesionales y a la generación de conocimientos útiles para la gestión y conservación de la biodiversidad y ecosistemas del sur del Ecuador?

OBJETIVOS

General

Establecer criterios para estructurar un programa de investigación considerando prioridades de estudios que propendan a la generación de conocimientos y conservación de ecosistemas de la Región 6 del Ecuador.

Específicos

- Identificar prioridades regionales de investigación y generación de información que propendan a la conservación.
- Identificar prioridades geográficas de investigación y conservación de ecosistemas.
- Identificar requerimiento de laboratorios y herramientas que almacenen y analicen información, que permita ofrecer un servicio a la comunidad científica y sociedad en general.

CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Área de Estudio

Este programa pretende dar criterios y direccionar las investigaciones de biodiversidad en la región sur del Ecuador, particularmente la Zonal 6 (Azuay, Cañar y Morona Santiago) que presenta características especiales: por la variedad de regiones climáticas y biogeográficas (MAE 2013); por su historia y características geológicas; es la zona donde inicia la depresión de Huncabamba de la cordillera de los Andes, incluye

los límites geográficos del volcanismo antiguo y reciente (Hall, 1977;Balslev, 1988); y presenta la barrera de migración de especies vegetales marcada por los valles Girón-Paute(Jorgensen et al. 1995). Esta zona está considerada como uno de los puntos más diversos del planeta (hotspots), sobre todo por la gran diversidad de plantas vasculares y de aves (Barthlot et al. 2007; Brummit and Lughadha 2003; Jorgensen and Ulloa 1994; Orme et al. 2005; en Bendix et al. (eds.) 2013), sin menospreciar la diversidad de otros grupos biológicos.

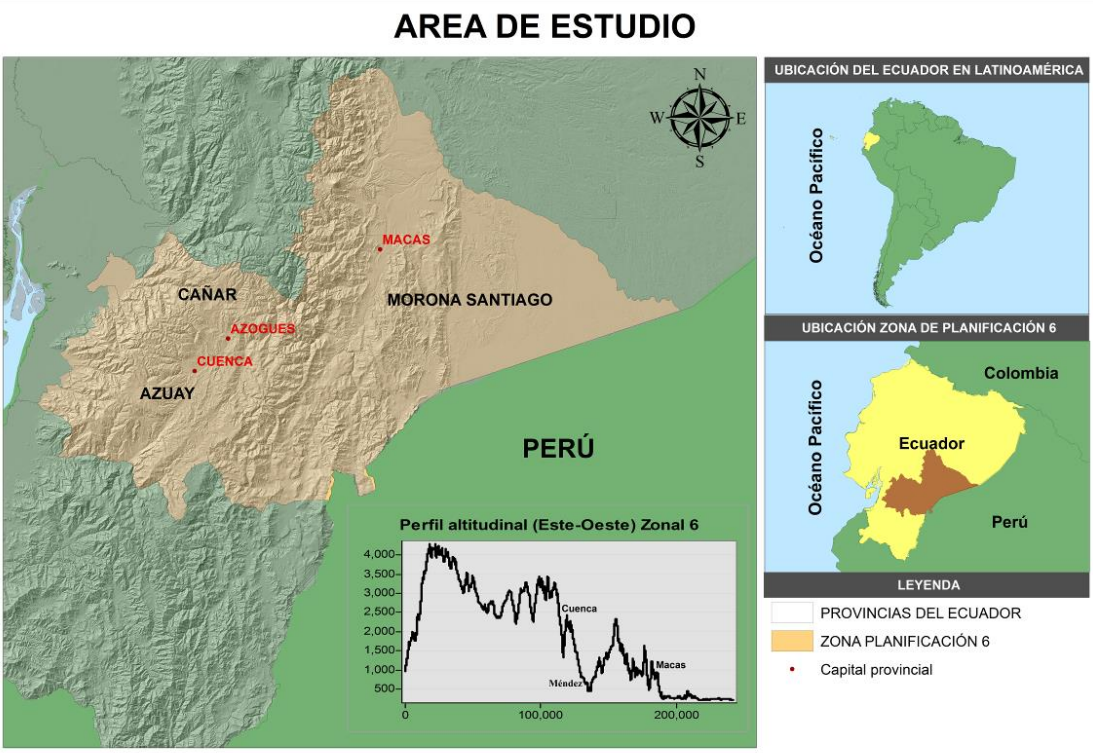


Figura 1 Mapa de la región 6 del país dentro del contexto nacional y regional

Fuente: MAE, 2013

1.2 Métodos

Dadas las características de nuestro medio, para identificar prioridades regionales de investigación, es necesario establecer prioridades temáticas, por lo que para cumplir con este objetivo fue necesario hacer una investigación bibliográfica y además establecer claramente diferencias entre algunos factores como los tipos de indicadores necesarios para la investigación y monitoreo de ecosistemas.

Para identificar prioridades geográficas de investigación y conservación de ecosistemas el análisis, se basó en las características de la Zonal 6, identificando los ecosistemas presentes. Se utilizó el Sistema de Información de Biodiversidad de la Universidad del Azuay y cartografía temática (MAE 2013).

CAPÍTULO 2: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante entender claramente que lo que se conoce se conserva, porque es más fácil tomar conciencia y de igual forma es posible tomar mejores decisiones. También es importante saber que los ecosistemas se mantienen gracias a que existen procesos o interacciones que se dan entre los diferentes componentes que los conforman. Desafortunadamente, muchos procesos no son visibles y aún son ignorados o no han recibido la importancia que se merecen, por lo que es muy importante, cuando se trata de hacer programas de conservación y diseñar estudios, no solamente hacer inventarios de biodiversidad (es lo más visible), sino también abarcar los ciclos y procesos que mantienen la dinámica de los ecosistemas y hacen posible que se mantengan los servicios que benefician a las poblaciones humanas.

Por la complejidad de nuestros ecosistemas y por los recursos limitados, surgieron muchas preguntas como mecanismo para priorizar los estudios o los temas, como: ¿Cuáles son los principales problemas ambientales que se presentan en la región?; ¿Cuáles son los indicadores bióticos que deben ser estudiados para mantener programas de monitoreo e investigación y que reflejen las condiciones de los ecosistemas y sus servicios?; y ¿A que escala se deben hacer los estudios?, entre otras.

2.1 Prioridades de investigación

En cuanto a las ciencias, estas se consideran maduras cuando, dentro de su propio dominio, resuelven los principales problemas sociales sin descuidar los aspectos importantes de la investigación básica. Dentro de este contexto es inútil hablar de ciencia pura o ciencia aplicada, sino más bien de ciencia relevante o ciencia irrelevante (Toledo y Castillo 1999).

Desde este punto de vista podemos decir que la ciencias biológicas y ecológicas en los países de América Latina han sido irrelevantes debido a que no han podido resolver los problemas de la degradación de los recursos naturales, resultado de muchas actividades que causan principalmente contaminación y deforestación que en Latinoamérica alcanza tasas anuales alarmantes (-1.7 %) (Mosandl y Günter 2008).

Bajo esta lógica es necesario hacer un análisis de los principales ecosistemas, recursos naturales y servicios a los cuales se les debe proteger. Sin embargo, La realidad es que existe una grave carencia de información, lo que consecuentemente conlleva a la necesidad urgente de emprender procesos de investigación que permitan recopilar elementos de juicio para iniciar acciones necesarias para la conservación ambiental.

El entorno descrito induce a la ejecución de múltiples estudios, cuyo desarrollo, en muchas ocasiones, rebasa la capacidad instalada en las instituciones involucradas, siendo necesario diseñar estrategias de investigación que identifique prioridades, fortalezas y debilidades (temáticas y ecogeográficas) para orientar los esfuerzos de investigación y desarrollo académico, que tendría como fin la resolución de los principales problemas ecológicos a diferentes escalas (Toledo y Castillo 1999).

Al respecto, y en cuanto a la temática de las investigaciones, la Asociación para la Biología y Conservación Tropical (http://www.tropicalbio.org) ha impulsado la identificación de prioridades, y para el efecto en el año 2004 logró reunir a más de 150 biólogos tropicales de todo el mundo, científicos que en 3 talleres (Panamá, Washington y Escocia) fijaron prioridades de investigación, las mismas que fueron publicadas en el artículo: "Enfrentando los retos de la biología tropical en el siglo XXI" (Kamaljit et al., 2004). El referido documento identifica tres líneas o ejes temáticos prioritarios sobre los que se debe investigar en ecosistemas tropicales:

1. Investigación básica en ecosistemas tropicales: Estructura y funcionamiento de ecosistemas en términos de diversidad, productividad, servicios y otros atributos con valor social.
2. Efectos de las actividades humanas en los ecosistemas tropicales: Naturaleza y magnitud de efectos antropogénicos sobre los ecosistemas y qué relación tienen con elementos con atributos de valor social.

3. Motores (impulsores) sociales de la degradación de ecosistemas y respuestas sociales para la conservación, manejo y restauración. Incluye desarrollo de estrategias socio-políticas para la conservación, restauración y manejo sustentable de ecosistemas tropicales.

Estos tres grandes ejes pretenden direccionar los estudios para entender el funcionamiento de los sistemas ecológicos y como estos son afectados por las actividades humanas para ofrecer información útil para propender al uso sustentable, es decir al apropiado ordenamiento, manejo, conservación y restauración de los ecosistemas (Toledo y Castillo 1999). Esto conlleva a un reto grande para los biólogos o ecólogos, sobre la forma tradicional de realizar las investigaciones. Si se pretende resolver problemas ambientales, ya que estos tienen en casi todos los casos orígenes humanos, se debe diseñar estudios que deben estar dentro de un contexto holístico, por lo que la ecología debe unirse con otras disciplinas de naturaleza socioeconómica.

Estos ejes aun resultan grandes, entre otras, por la necesidad de hacer nuevos análisis para el establecimiento de prioridades adaptadas a las particularidades de cada región. Si se analiza estos componentes, al momento de hacer o diseñar estudios, cada uno tiene sus particularidades, aunque un estudio puede englobar más de un eje.

Si tomamos el primer eje “estructura y funcionamiento de ecosistemas”, que podemos mencionar es netamente biológico, debemos primeramente saber cuáles son los ecosistemas presentes en la zona y cuáles son las características de cada uno. Considerando siempre los componentes de los ecosistemas (poblaciones, comunidades, flujos de materia y energía) y sus procesos (ecológicos y evolutivos).

El funcionamiento de los ecosistemas depende de los procesos que dentro de ellos se dé y su complejidad varía según muchos factores, como biodiversidad, clima, recursos, ciclos biogeoquímicos. Estudiar esto es complejo y debe enfocarse, entre otras, en la diversidad funcional, patrones de biodiversidad (distribución, movilidad, conectividad), dinámica de ecosistemas (polinización, dispersión de semillas). En cuanto a los procesos evolutivos de los ecosistemas, se basan en la premisa que existen muchos que aún se dan y que la evolución no se detiene, sin embargo es necesario recurrir a disciplinas como la biogeografía, macroecología, biología molecular, que pretende determinar en qué lugares aún se dan estos procesos y de qué forma, de mucha utilidad son los estudios filogenéticos de las especies. Se trata de encontrar, los mecanismos de evolución, centros de endemismo, nodos de biodiversidad, especies nuevas y ancestrales, etc.

El segundo eje “efecto de las actividades humanas sobre los ecosistemas”, en la concepción de los estudios está muy relacionado con el primer eje, en la medida que trata de describir como los ecosistemas y la biodiversidad está afectada por las actividades antropogénicas; implica conocer las actividades humanas, describirlas y verificar que disturbios o impactos causan en los componentes, procesos y servicios de los ecosistemas.

El tercer eje “motores sociales de la degradación y respuestas sociales para la conservación” implica la verificación de la eficacia de las medidas de restauración o las tomadas para evitar daños a los ecosistemas. Para esto se requiere del establecimiento de indicadores eficientes de seguimiento y evaluaciones constantes.

Para cualquiera de los ejes descritos se requieren procesos de investigación y monitoreo. Sin embargo inicialmente se debe partir de investigaciones básicas para conocer los componentes, interacciones, funcionamiento y servicios derivados de los ecosistemas. Lo ideal es que un programa de investigación y monitoreo englobe estos tres componentes, que al final pretenden aportar con información para proponer escenarios para el manejo sustentable de ecosistemas.

Por otro lado, el contexto geográfico y la escala es muy importante considerar al momento de instalar un programa de investigación y monitoreo. Los estudios generalmente tratan de buscar indicadores que respondan o den información sobre el estado de los ecosistemas o procesos estudiados, por lo que hay que considerar la heterogeneidad, en espacio y tiempo, de los ecosistemas; esto ha obligado a los científicos a ser muy exigentes en la búsqueda de indicadores y diseños de los estudios (de campo y estadísticos) que respondan las preguntas o necesidades planteadas. Además, para fines de planificación es necesario hacer estudios a escalas adecuadas para lo que adicionalmente se requiere información cartográfica apropiada y la utilización de nuevos métodos de teledetección.

2.2 Análisis geográfico de ecosistemas de la Zonal 6 (Z6)

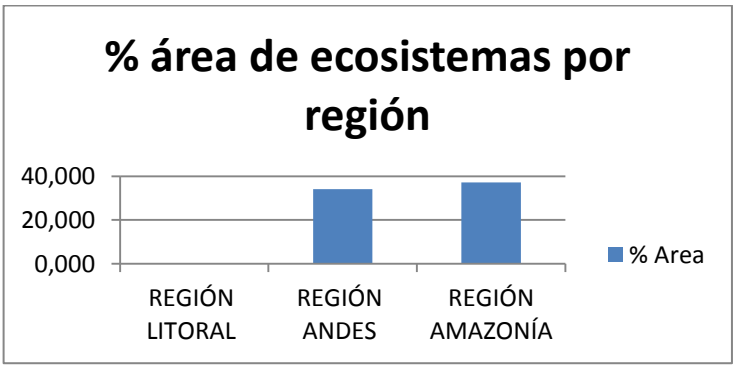
América Latina y el Ecuador en particular se caracterizan por la gran biodiversidad (ecosistémica, de especies y genética) debido a que se encuentra en la zona tropical y porque está atravesada por la cordillera de los Andes, que genera una variedad de ambientes (heterogeneidad) y por consecuencia una gran biodiversidad.

Dentro de este contexto, el sur del País presenta características especiales y es una de las regiones de mayor diversidad en el mundo debido a la presencia de la depresión de Huancabamba (Andes), donde esta ruptura de la cordillera ha dado lugar a la fragmentación de hábitats. Estas particularidades convierten a esta región en un laboratorio natural para el estudio de procesos ecológicos y evolutivos, por ejemplo los de radiación adaptativa de especies de flora y fauna.

Según el Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental (MAE 2013) en la zona sur, en la Z6 (provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago) se encuentran aproximadamente 45 ecosistemas de los 91 reportados en esta publicación para el Ecuador y que a su vez están dentro de 10 sectores biogeográficos en tres regiones (Amazonía, Andes y Litoral). Posee 8 pisos bioclimáticos (tierras bajas, piemontano, montano bajo, montano, montano alto, montano alto superior, subnival).

Realizando un análisis de los ecosistemas presentes en la Z6 se nota claramente que existen ecosistemas del norte y obviamente del sur del Ecuador, lo que refleja que la Z6 es una zona de transición o de confluencia de ecosistemas (norte-sur) lo que hace que exista un fuerte recambio de especies y constituye una barrera natural de dispersión (Jorgensen et al. 1994)

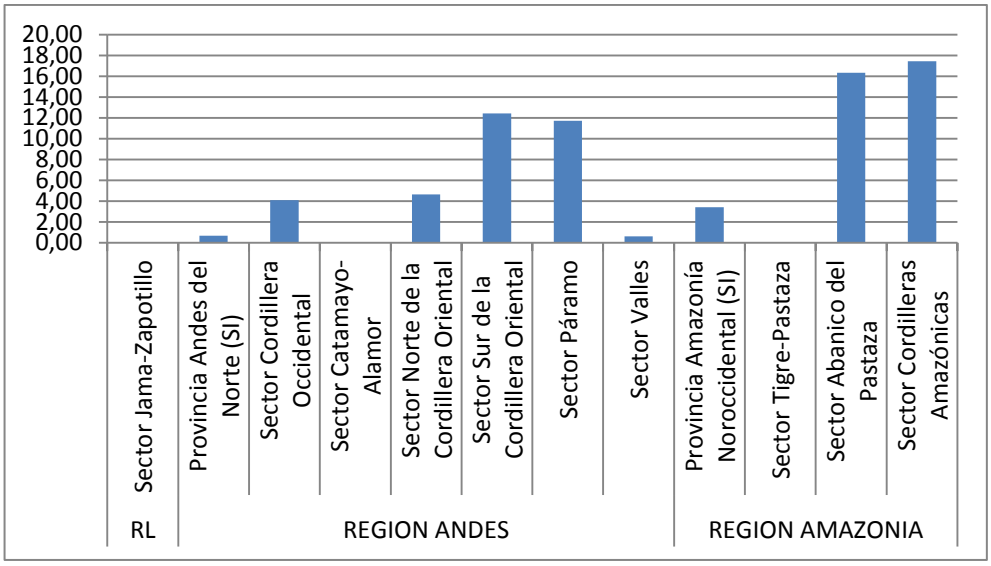
En la Figura 2 se puede ver que la Región 6 principalmente contiene ecosistemas del sector Andes y Amazonía, la región Litoral está muy poco representada, apenas con aproximadamente 300 ha.



Fuente: MAE, 2013

Figura 2. Superficie en porcentaje de las regiones presentes en la Zonal 6 del Ecuador

Lo ideal sería que los estudios traten de ser muy específicos y saquen la mayor cantidad de información de cada ecosistema, pero considerando la heterogeneidad y la cantidad de éstos (45 ecosistemas) reportados para la Z6, no es muy factible; por lo que se sugiere más bien tratar de englobarlos, y una estrategia puede ser analizar por sectores biogeográficos (MAE 2013), porque básicamente estamos considerando continuos de ecosistemas que presentan gradientes ambientales.



Fuente: MAE, 2013

Figura 3. Superficie en porcentaje de sectores biogeográficos de la Zonal 6 del Ecuador

En cuanto a los sectores biogeográficos, para la Z6 se han reportado 12, con superficies muy diferentes. En la Figura 3 se puede ver claramente que existen algunos que están espacialmente poco representados; en algunos casos debido a que son los extremos (remanentes finales de la distribución u ocupacional normal) de sectores biogeográficos presentes y bien representados en otras regiones del País, como es el caso de Sector Jama Zapotillo (ecosistema predominantemente de la Región Litoral - sur); Sector Catamayo – Alamor (Región Andes del Sur) y Sector Tigre-Pastaza (Región Amazonía del norte).

También debemos aclarar que existen ecosistemas que a nivel de País son raros debido a que se encuentran sometidos a condiciones ambientales únicas o especiales que hacen de estos ecosistemas, en términos biológicos, evolutivos y espaciales, muy escasos o endémicos de ciertas regiones, como son los ecosistemas deciduos o desérticos del Sector Valles (presente en el límite entre las provincias de Azuay y Loja) y los ecosistemas, de la Provincia Biogeográfica Andes del Norte. Este último presenta

ecosistemas escasos tanto en el norte como en el sur del Ecuador. Debido a estas características los ecosistemas nombrados dentro de estos dos sectores biogeográficos (Valles y Andes del Norte), se transforman en rarezas que merecen mucha atención por parte de gestores y científicos, para propender su conservación.

Los 7 sectores biogeográficos restantes, (Sectores: Cordillera Occidental, Norte de la Cordillera Oriental, Sur de la Cordillera Oriental, Páramo, Abanico del Pastaza y Cordilleras Amazónicas) en términos espaciales están relativamente mejor representados. Sin embargo, no están debidamente protegidos y están sometidos a altas tasas de deforestación y degradación por actividades humanas, por lo que se les debe prestar mucha atención al momento de diseñar programas de investigación y conservación por parte de universidades e instituciones públicas y privadas.

2.3 Selección de Indicadores apropiados para diagnosticar y determinar tendencias en los ecosistemas

Indicadores son medidas referenciales que muestran de manera cualitativa o cuantitativa el desenvolvimiento de un proceso o la evaluación de una situación dada. Cualquier indicador debe poseer características como; precisión, confiabilidad, demostrables, y sobre todo, fácil de obtener. Estos indicadores deben posibilitar precisar la magnitud, intensidad, evolución y pronóstico de cambios o efectos de cambios en el ámbito de estudio. En biología y afines dos términos frecuentemente están usados indistintamente; indicadores ambientales e indicadores ecológicos, aunque los posteriores realmente son un subconjunto de indicadores dentro las indicadores ambientales (Niemi & McDonald 2004).

Indicadores ambientales engloban una cantidad grande de elementos ligados a impactos relacionados a actividades humanas y sirven para detectar cambios a escalas tanto pequeñas como a nivel planetario. Son muy utilizados para la toma de decisiones y para el diseño de acciones de control ambiental; como los índices de sustentabilidad ambiental (ESI, por sus siglas en ingles) que han sido desarrollados para establecer comparaciones de condiciones ambientales internacionales y trabajan principalmente en cinco categorías: Sistemas ambientales, reducción de tensiones ambientales, reducción de la vulnerabilidad humana, capacidad social e institucional, y custodia o control global (World Economic Forum 2002).

Los indicadores ecológicos, correctamente definidos, constituyen un subconjunto de los indicadores ambientales, son las características medibles de la estructura (ej. genética, poblaciones, comunidades, patrones de paisaje), composición (ej. genética, poblaciones, comunidades, y tipos de paisaje), o funcionamiento (genética, demográfica/ historia de vida, ecosistemas y patrones de disturbio de paisaje) de sistemas ecológicos (Niemi & McDonald 2004). Estos indicadores pueden ser subdivididos en categorías como condiciones bióticas, características físicas y químicas, procesos ecológicos y disturbio natural o antropogénico o divididos en indicadores ecológicos de estado, como variables de respuesta (ej., macroinvertebrados, anfibios, aves,) e indicadores de presión como factores de estrés (ej. concentraciones de fósforo y nitrógeno, sustancias tóxicas, fluctuaciones climáticas, cambios de caudales de agua). Sin embargo, según Niemi y McDonald (2004), el rol principal de los indicadores ecológicos es medir las respuestas de los sistemas ecológicos a disturbios antropogénicos y no necesariamente medir los factores estresantes específicos.

La información obtenida de los indicadores ecológicos puede ser usada para pronosticar las condiciones ambientales, como diagnóstico de las causas de cambios ambientales, medir la eficacia de actividades de remediación implementadas y para diseñar actividades de restauración o prevención de impactos. La complejidad y los costos aumentan si aumentan las escalas espaciales y temporales y también cuando se trata de especificar más las relaciones entre el indicador y el factor de estrés, lo que constituye un reto importante para los científicos(Niemi & McDonald 2004).

Para el uso eficaz de indicadores, se requiere la clara definición de objetivos, escalas espaciales y temporales, variabilidad estadística, precisión y exactitud de los indicadores, enlaces con estresores específicos, además de acoplamiento con indicadores sociales y económicos. También deben ser sensibles a los cambios producidos por actividades humanas y predecir si existieran cambios en ecosistemas no intervenidos o que se encuentran en buen estado de conservación. Es importante también considerar los costos de los programas de monitoreo (Niemi & McDonald 2004).

Los indicadores ecológicos generalmente son desarrollados por científicos y que en los últimos años han mejorado y/o aumentado por la incorporación de tecnología como técnicas moleculares, sistemas computacionales como sistemas de información geográfica y bases de datos; sin embargo, estos muchas veces no son entendidos y los promotores y políticos necesitan que los indicadores sean entendidos por el público en general (Niemi & McDonald 2004).

Si bien los indicadores deben cumplir con varios requisitos (rendimiento científico, relevancia política, aceptación del público), el criterio final de elección es el que permita responder la pregunta planteada y contar con la base científica subyacente (Niemi & McDonald 2004). Los costos de los sistemas de monitoreo e investigación con métodos tradicionales y que miden muchas variables, pueden ser muy costosos. Por lo que en la actualidad, existe una tendencia de incorporar técnicas cada vez más sofisticadas que miden parámetros ambientales y que tiene una amplia aplicabilidad a través del tiempo, espacio y organización biológica (Cottingham 2002). Estos nuevos indicadores incluyen variables de respuestas novedosas y nueva tecnología; por ejemplo, índices de integridad biológica (Karr et al. 1986), diversidad funcional (Mason & Mouillot 2013; Schleuter et al. 2010; Tilman 2001), análisis de pigmentos (Hill 2013), análisis genéticos (técnicas moleculares)(Ujvari & Belov 2011; O'Brien 1994), patrones de distribución y movilidad de especies (Halloy & Barratt 2007), y bioacústica (Blumstein et al. 2011; Acevedo & Villanueva-Rivera 2006).

Las preguntas, metas y objetivos de los proyectos de investigación y monitoreo, determinan los indicadores ecológicos que deben ser usados que pueden ir desde el nivel genético de individuos al nivel de paisaje o hasta el mundo entero.

2.4 Factor de estrés vs. Variables de respuesta

Las dificultades que presenta el uso de indicadores incluye: encontrar indicadores que a su vez reflejen con precisión los efectos de los factores de estrés, separar los factores de origen antropogénico de aquellos que son de disturbios o cambios naturales, y medir o cuantificar los efectos de factores de estrés que presentan toxicidad a los indicadores.

Una buena opción para cuantificar las respuestas de indicadores frente el estrés es mezclar experimentos de laboratorio con experimentos de campo. Sin embargo, esto solo ha funcionado cuando recién se inicia en la construcción del indicador en un sitio dado pero a medida que se aplica el indicador a escalas espaciales más grandes o en sitios no debidamente caracterizados, se suele necesitar enfoques adicionales. Enfoques estadísticos multivariados, nuevas técnicas de modelado, y/o agregación de otros indicadores, brindan valiosas perspectivas en el comportamiento de los indicadores (Niemi et al. 2004).

Los experimentos controlados en laboratorio y de campo, para los factores de estrés susceptibles de manipulación (por ejemplo, sustancias tóxicas, nutrientes, turbidez), no son aptos para todos los factores de estrés. Para los factores de estrés de gran escala, tales como la introducción de especies exóticas, el cambio climático, la pérdida de hábitat, o cambios en el paisaje como la fragmentación, que no son fácilmente susceptibles de

manipulación, son necesarios diseños experimentales de campo que permitan tener respuestas adecuadas frente a las gradientes de afección relacionados con los diferentes factores de estrés y frente a los niveles de estrés que se podrían presentar de tal forma que se permita entender la acción del factor perturbador con la respuesta ecológica (Danz et al. 2005). Por lo que, acoplar los enfoques de los métodos de laboratorio y de campo son esenciales para el futuro desarrollo de indicadores de respuesta apropiados (Niemi et al. 2004).

2. 5 Múltiples factores de estrés

En todos los ecosistemas el estrés es debido a la presencia combinada de perturbaciones de origen antropogénico y natural. Los de origen antropogénico principalmente se debe al cambio de usos de suelo, destrucción de hábitat y la contaminación por actividades productivas, mientras que las de origen natural podemos decir son eventos climáticos inusuales o extremos, aunque también podemos agregar al calentamiento climático como un efecto combinado pero de escala global y que se manifiesta de formas aún desconocida en cada una de las regiones del planeta.

Lógicamente, estas perturbaciones deberían ser estudiadas por separado para apreciar sus efectos individuales pero es muy complicado hasta imposible, excepto a escalas pequeñas o muy locales. Muchas veces se presentan efectos sinérgicos o antagónicos sobre las repuestas biológicas que hace la caracterización de los efectos de múltiples factores de estrés en cualquier ecosistema una de las tareas más difíciles que enfrentan los científicos hoy en día. Por lo que esclarecer los diversos efectos probablemente requerirá una combinación de experimentos controlados de laboratorio, estudios a gran escala sobre los gradientes multidimensionales de estrés, y la modelización detallada de las respuestas de los ecosistemas y el cambio (Niemi et al. 2004)

Por estas dificultades, en las últimas décadas se ha incrementado el uso de indicadores novedosos que ofrezcan la posibilidad de representar efectos individuales y sinérgicos de los factores de estrés, entre los que podremos mencionar a los biomarcadores que representan respuestas funcionales, fisiológicas o bioquímicas a nivel celular o interacciones moleculares que un organismo, una población o una comunidad refleja frente a agentes de estrés potencial, sea químico, físico o biológico (Toro-Restrepo 2011). Aunque a mayor nivel de organización la sensibilidad, especificidad y precisión de las respuestas medidas a través de los biomarcadores suelen disminuir, la relevancia ecológica de los mismos aumenta (Bozo et al. 2007).

Muchas de estas especies han sido consideradas como indicadoras por ser carismáticas, por tanto han despertado estados de alerta en la sociedad preocupados por su conservación lo que ha sido aprovechado para generar proyectos de manejo y conservación. Existen varios tipos de especies sucedáneas siendo las más conocidas las especies indicadoras, banderas, paraguas, y claves (Noss 1990; Isasi-Catalá 2011).

2.6 Las especies como indicadores ecológicos

Debido a la dificultad de medir la biodiversidad de algún ecosistema, o comparar un área con otra, a nivel de especies, los indicadores ecológicos más comunes son las denominadas especies sucedáneas o indicadoras (Isasi-Catalá 2011; Lewandowski et al. 2010). Estas son usadas como indicadoras del estado de los ecosistemas y/o de sus componentes bajo el supuesto que el buen estado de sus poblaciones están encadenadas con la presencia de un gran número de especies de otros taxones relacionados y con hábitats en buen estado de conservación (Noss 1990; Lewandowski et al. 2010).

Debido a que existe una confusión en sus definiciones, alcances y en muchos casos no está verdaderamente comprobado su funcionamiento como indicadoras (Favreau et al. 2006), se ha generado una polémica en cuanto a su uso. Algunos autores defienden su utilidad como herramientas de seguimiento y para resolver problemas de conservación, mientras que otros mencionan que son solo símbolos y no resuelven los verdaderos problemas de conservación en los sistemas biológicos naturales, porque no se está de acuerdo en lo que realmente indican por falta de exactitud y porque aún no se resuelve cuáles son las mejores especies indicadoras (Simberloff 1998). Sin embargo, su uso es común gracias a sus características de sensibilidad frente a factores de estrés y pueden ser utilizadas para estimar las condiciones ambientales o el estado de otras especies. Según su uso pueden ser clasificadas como: i) indicadoras de cambios ambientales o de salud de los ecosistemas, ii) indicadoras de cambios poblacionales, iii) e indicadoras de alta biodiversidad.

Inicialmente estas especies fueron utilizadas para señalar problemas de contaminación o toxicidad dada su sensibilidad, los primeros indicadores fueron los líquenes, invertebrados y peces (Isasi-Catalá 2011). Su uso se ha expandido para medir la salud de ecosistemas, esencialmente para caracterizar resultados de otras actividades antropogénicas como la perdida de hábitats, donde son muy utilizadas las aves, insectos y briofitas.

Cambios de poblaciones dentro un ecosistema puede ser difícil a medir debido a que algunas especies no se prestan para contar y medir fácilmente. Indicadores más fáciles de cuantificar pueden ser utilizados para estimar las variaciones de otras poblaciones de especies con las que coexisten debido al solapamiento de nichos, por que pertenecen al mismo gremio o grupo funcional, o porque están muy relacionadas debido a relaciones mutualistas o predador-presa (Noss 1990; Isasi-Catalá 2011).

Las especies indicadoras de biodiversidad son consideradas como tal debido a que los patrones de distribución de éstas ocupan áreas con alta riqueza de especies, especificidad de hábitat, y cuya presencia es un buen estimador de especias simpátricas. Dentro de este grupo destacan las aves, mariposas, escarabajos, briofitas y plantas vasculares (Isasi-Catalá 2011).

2.6.1 Especies bandera

Estas especies son carismáticas y que despiertan los estados de alerta y preocupación de la sociedad y de los gobiernos. Son pocos los atributos que tienen como indicadores en sí pero son de gran utilidad al momento de atraer donantes y fondos gubernamentales para la implementación de programas de conservación aunque su uso puede mejorar si son sensibles a algún tipo de perturbación. Los mejores ejemplos son el lobo (*Canis lupus*), tapir (*Tapirus spp*), puma (*Puma concolor*) y el panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*).

2.6.2 Especies Paraguas

Estas especies son seleccionadas como tal ya requieren grandes extensiones de terreno para el mantenimiento de poblaciones mínimas viables, por lo que garantizar la conservación de éstas supone la conservación de otras especies simpátricas del mismos gremio y que comparten los mismo hábitats (Favreau et al. 2006). Han sido muy utilizadas para el diseño y delimitación de áreas protegidas, como es el caso, en parte, del parque Nacional Llanganates y el área de distribución del Oso Andino (*Tremarctos ornatus*)(Josse et al. 2000). En algunos casos las áreas requeridas para proteger estas especies son demasiados grandes por lo que no se ha podido proteger todo lo necesario, como es el caso del oso pardo (*Ursus arctos*) ya que sería el costo muy alto y podría, por ejemplo, abarcar el 34 % de todo el estado de Idaho EEUU. (Noss 1990).

Estas especies debido a sus amplios rangos de distribución ofrecen la posibilidad del establecimiento de corredores biológicos para conectar reservas relativamente aisladas. En general las especies consideradas de este tipo son grandes, sensibles a perturbaciones antropogénicas, y con largos tiempos generacionales, como es el caso de las aves carnívoras grandes. Este también es el caso del oso andino (*Tremarctos ornatus*) que ha sido propuesto como especie paraguas para el diseño de corredores para que integren áreas protegidas en los Andes de Sudamérica (Yerena 1994).

2.6.3 Especies clave

Estas especies son las que ejercen influencia no solo sobre otras poblaciones, sino también sobre la estructura y función de los sistemas naturales (Simberloff 1998). Estas son capaces de controlar poblaciones con potenciales de ser plagas, permitir que otras especies se desarrollen, modificar ecosistemas (como el caso de los castores que crean represas), y proveer recursos. Sin embargo, para que las especies claves sean sucedáneas deben tener otras características como presentar una sensibilidad estable a las perturbaciones ambientales (Isasi-Catalá 2011).

El valor de las especies sucedáneas en el monitoreo, evaluación y conservación de ecosistemas son difíciles de manejar, y estas especies pueden presentar, no solo una de las características manifestadas, sino varias, por lo que se debe tomar en cuenta muy bien los objetivos que se persiguen para seleccionar alguna especie como sucedania.

2.7. Escalas espaciales y temporales

Es necesario considerar que en la naturaleza existe una gran heterogeneidad y presupone que su funcionamiento está explicado por procesos que se llevan a cabo en diferentes escalas espacio-temporales y que los procesos ecológicos son dependientes de la escala (Galicia & Zarco 2002). Por ende, el entendimiento y explicación de la dinámica y estructura de los ecosistemas requiere conocimientos de fenómenos que ocurren en diferentes escalas espacio-temporales (Holling 1992).

Para determinar tendencias o patrones que suceden en la naturaleza se requieren indicadores y métodos con poder de generalización a estas diferentes escalas, lo que constituyen un reto grande ya que se necesita desarrollar técnicas de muestreo y modelización apropiados. Los métodos tradicionales (hipotético - deductivo) han tenido enfoques reduccionistas ya que se pensaba que el entendimiento de una de las partes de la naturaleza ofrece la comprensión de la misma como un todo y ha concebido una naturaleza, estática y homogénea (Galicia & Zarco 2002). Estos estudios realizados a escalas locales si han servido para establecer relaciones causa-efecto de algunos procesos ecológicos y

sirven para iniciar la construcción de un determinado indicador, pero a medida que este indicador se aplica a escalas espaciales más grandes para determinar tendencias o patrones, a veces debido a la heterogeneidad innata de la naturaleza no presta el servicio adecuado y más bien se manifiesta como un indicador aislado, por lo que se necesitan enfoques adicionales que pueden incluir estadísticas multivariados, nuevas técnicas de modelado o agregación de varios indicadores (Niemi & McDonald 2004; Niemi et al. 2004).

Sin embargo, debido a la falta de recursos la mayoría de programas de monitoreo de ecosistemas son establecidos en sitios estratégicos a una escala pequeña y se obtienen tendencias solo de estos sitios que a menudo son aislados. La mayoría de esta información sirve para medir variabilidad temporal y relaciones mecanicistas en el sitio de trabajo. Por la falta de recursos los investigadores, hoy en día, están obligados a integrar una selección de indicadores ecológicos en su diseño inicial del estudio para facilitar la inferencia de tendencias a escalas más grandes, con datos obtenidos de experimentos ubicados en lugares estratégicos (Niemi et al. 2004) .

CAPITULO 3: CONCLUSIONES

La Zonal 6 (Azuay, Cañar y Morona Santiago) presenta características especiales por la variedad de regiones climáticas y por su historia y características geológicas. Esta zona está considerada como uno de los puntos más diversos del planeta (hotspots) y es muy heterogenia, lo que obliga a los científicos a ser muy creativos al momento de diseñar estudios ecológicos para abarcar las escalas espaciales y temporales adecuadas, además que deben estar dentro de un plano holística dadas las connotaciones socioeconómicas y culturales que reviste la conservación.

Según kamaljit et al. (2004) se establecieron tres ejes prioritarios para establecer estudios útiles para la conservación: Estructura y funcionamiento de ecosistemas; efectos de las actividades humanas en los ecosistemas tropicales; y motores (impulsores) sociales de la degradación de ecosistemas y respuestas sociales para la conservación, manejo y restauración.

Según el Ministerios del Ambiente en su publicación Mapa de Vegetación del Ecuador Continental (MAE 2013) se encontraron 45 ecosistemas en la Zonal 6, de los 91 reportados para el Ecuador y que a su vez están dentro de 10 sectores biogeográficos en tres regiones (Amazonía, Andes y Litoral).

Realizar estudios pormenorizados en cada ecosistema no es práctico por lo que se podría englobar considerando pisos bioclimáticos o por sectores biogeográficos. Se identificó la presencia de 2 sectores biogeográficos raros en la Zonal 6, que se considera prioridades de estudio y conservación, sin que esto signifique que el resto de sectores biogeográficos no sean importantes de proteger, sobre todo considerando la cantidad de servicios que aportan a la sociedad.

Las preguntas, las metas y los objetivos de los proyectos de investigación y monitoreo son los que determinan los indicadores ecológicos que deben ser usados. Que pueden ir desde el nivel genético a nivel de paisaje. Sin embargo, los criterios finales para escoger los indicadores son el que responda la pregunta planteada y que tenga el respaldo científico subyacente.

Las escalas espaciales y temporales son aspectos que hoy en día no se pueden descuidar. Los cambios que se dan en la naturaleza y sus respuestas pueden suceder muy lentamente y muchas veces las respuestas no son mecanicistas ni lineales por lo que establecer procesos de investigación y monitoreo son fundamentales. Sobre todo para determinar las tendencias y adaptaciones del medio frente al cambio climático y disturbios.

Se requiere hacer énfasis que en los últimos años existe un cambio de métodos y variables a ser medidos al momento de diseñar estudios y programas de monitoreo. Antes se daba mucho énfasis a la riqueza y abundancia de las especies y se consideraba que estas variables eran las más importantes y que podían dar respuestas a las preguntas planteadas. Sin embargo hoy se sabe o se da mayor importancia a nuevos indicadores que ofrecen ventajas en la precisión de las respuestas frente al cumplimiento de objetivos y respuestas a las preguntas planteadas. Por ejemplo, los estudios de diversidad funcional de los ecosistemas, que depende de la ocupación de nichos por parte de las especies; la estructura de comunidades y patrones de distribución de las especies, ya que depende de la disponibilidad de recursos e interacciones bióticas; estudio de interacciones y dinámica de ecosistemas, como los procesos de polinización, dispersión de semillas, uso de recursos; uso de biomarcadores al momento de establecer los efectos de agentes estresantes que ingresan a los ecosistemas; estudios moleculares para establecer efectos de toxicidad, aislamiento, hibridación y pérdida de variabilidad genética de poblaciones.

Debemos estar claros que el buen funcionamiento o el equilibrio de la naturaleza provee los servicios ecosistémicos y que el monitoreo de éstos debe iniciar con el monitoreo de indicadores de la integridad de los ecosistemas y no solamente el monitoreo de los servicios como tal, que pueden tener solo una visión utilitaria, como cantidad y calidad de agua, tipo y cantidad de madera de un bosque, entre otras. Esto es importante considerar para que se

refleje en las decisiones técnicas, políticas y al momento de diseñar programas de investigación por parte de universidades e institutos de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, M.A. & Villanueva-Rivera, L.J., 2006. Using Automated Digital Recording Systems as Effective Tools for the Monitoring of Birds and Amphibians. *Wildlife Society Bulletin*, 34(1), pp.211–214. Available at: http://doi.wiley.com/10.2193/0091-7648(2006)34[211:UADRSA]2.0.CO;2 [Accessed April 15, 2012].

Balslev, H. 1988. Distribution pattern of Ecuadorian plant species. Taxon 37: 567 – 577.

Bendix J., Beck E., Brauning A., Makeschin F., Mosandl R., Scheu S., W. Wilcke, (eds) 2013. Ecosystem Services, Biodiversity and Environmental Change in a Tropical Mountain Ecosystem of South Ecuador. Ecological Studies, vol 221. Springer, Berlin, pp. 440

Blumstein, D.T. et al., 2011. Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), pp.758–767. Available at: http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2664.2011.01993.x [Accessed March 20, 2014].

Bozo, L. et al., 2007. Biomarcadores de contaminación química en comunidades microbianas. *Interciencia*, 32(1), pp.8–13. Available at: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es [Accessed April 16, 2014].

Cottingham, K.L., 2002. Tackling Biocomplexity: The Role of People, Tools, and Scale. *BioScience*, 52(9), p.793. Available at: http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Tackling+Biocomplexity+:+The+Role+of+People+,+Tools+,+and+Scale#3 [Accessed April 23, 2014].

Danz, N.P. et al., 2005. Environmentally stratified sampling design for the development of Great Lakes environmental indicators. *Environmental monitoring and assessment*, 102(1-3), pp.41–65.

Favreau, J.M. et al., 2006. Recommendations for Assessing the Effectiveness of Surrogate Species Approaches. *Biodiversity and Conservation*, 15(12), pp.3949–3969.

Galicia, L. & Zarco, A.E., 2002. El concepto de escala y la teoría de las jerarquías en ecología. *Ciencias*, (67), pp.34–40.

Hall, M.L. 1977. El Volcanismo en el Ecuador. Biblioteca Ecuador, Quito

Halloy, S.R.P. & Barratt, B.I.P., 2007. Patterns of abundance and morphology as indicators of ecosystem status: A meta-analysis. *Ecological Complexity*, 4(3), pp.128–147.

Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1476945X0700058X [Accessed April 23, 2014].

Hill, M.J., 2013. Vegetation index suites as indicators of vegetation state in grassland and savanna: An analysis with simulated SENTINEL 2 data for a North American transect. *Remote Sensing of Environment*, 137, pp.94–111. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425713001971 [Accessed April 7, 2014].

Holling, C.S., 1992. Cross-Scale Morphology, Geometry, and Dynamics of Ecosystems. *Ecological Monographs*, 62(4), p.447. Available at: http://www.jstor.org/stable/2937313?origin=crossref [Accessed April 16, 2014].

Isasi-Catalá, E., 2011. LOS CONCEPTOS DE ESPECIES INDICADORAS , Y ABUSO EN ECOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN. *Interciencia*, 36, pp.31–38.

Jorgensen, P.M., C. Ulloa Ulloa, J.E. Madsen & R. Valencia. 1995. A Floristic Analysis of the High

Andes of Ecuador. Pages 221 – 237 in Churchil, P.S., H. Balslev, E. Forero & J.L. Luteyn (eds.),

Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests. The New York Botanical Garden

Josse, C., Mena Vásconez, P. & Medina, G. eds., 2000. *La biodiversidad de los Páramos. Serie Páramo 7.* Serie Pára., Quito: GTP/Abya Yala.

Karr, J.R. et al., 1986. Assessing biological integrity in running waters: A Method and its Rationale. *Illinois Natural History Survey Special Publication 5*, p.28. Available at: http://limnoreferences.missouristate.edu/assets/limnoreferences/Karr_et_al._1986.pdf [Accessed April 23, 2014].

kamaljit S., Kress W., Nadkarni N., 2004. Beyond Paradise-Meeting the Challenges in Tropical Biology in the 2lSt Century. BlOTROPICA 36(3): 276-284. USA.

Lewandowski, A.S., Noss, R.F. & Parsons, D.R., 2010. The effectiveness of surrogate taxa for the representation of biodiversity. *Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology*, 24(5), pp.1367–77. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20455907 [Accessed March 20, 2012].

Mason, N.W.H. & Mouillot, D., 2013. Functional Diversity Measures. In E.-C. S. A. Levin, ed. *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)*. Academic Press, pp. 597–608. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123847195003567.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2013. Metodología para la Representación Cartográfica

de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.

Mosandl R, Günter S, 2008. Sustainable management of tropical mountain forest in Ecuador. In: Gradstein SR, Homeier J, Gansert D (eds). Biodiversity and ecology series 2, pp177-193.

Niemi, G. et al., 2004. Rationale for a New Generation of Indicators for Coastal Waters. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), pp.979–986. Available at: http://www.ehponline.org/ambra-doi-resolver/10.1289/ehp.6903 [Accessed March 20, 2014].

Niemi, G.J. & McDonald, M.E., 2004. APPLICATION OF ECOLOGICAL INDICATORS*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(1), pp.89–111.

Noss, R.F., 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conservation Biology*, 4(4), pp.355–364. Available at: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x/abstract [Accessed March 22, 2012].

O'Brien, S.J., 1994. A role for molecular genetics in biological conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(13), pp.5748–5755.

Schleuter, D. et al., 2010. A user's guide to functional diversity indices. *Ecological Monographs*, 80(3), pp.469–484. Available at: http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/08-2225.1 [Accessed August 16, 2013].

Simberloff, D., 1998. Flagships, umbrellas, and keystones: Is single-species management passe in the landscape era? In *Biological Conservation*. pp. 247–257.

Tilman, D., 2001. Functional diversity S. A. Levin, ed. *Encyclopedia of Biodiversity*, 3(3), pp.109–120. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-59702009000300009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt.

Toro-Restrepo, B., 2011. Uso de los Biomarcadores en la Evaluación de la Contaminación. *Luna Azul*, (32), pp.121–127. Available at: http://200.21.104.25/lunazul/downloads/Lunazul32_09.pdf [Accessed April 16, 2014].

Ujvari, B. & Belov, K., 2011. Major histocompatibility complex (MHC) markers in conservation biology. *International journal of molecular sciences*, 12(8), pp.5168–86. Available at: http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3179158&tool=pmcentrez&rendertype=abstract [Accessed March 27, 2014].

World Economic Forum, 2002. 2002 Environmental Sustainability Index. *Annu. Meet., Global Leaders of Tomorrow Environment Task Force, World Economic Forum. Yale Center for Environmental Law and Policy, Yale University. Center for International Earth Science Information Network, Columbia University.*, p.82. Available at: http://sedac.ciesin.columbia.edu/es/esi/ESI2002_21MAR02a.pdf [Accessed April 23, 2014].

Yerena, E., 1994. *Corredores Ecológicos en los Andes de Venezuela*, Caracas: Editorial Torino.