

UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM



Facultad de Ciencias de la Vida

Carrera de Ingeniería en Ecosistemas

*Evaluación de los servicios ecosistémicos y cuantificación de la estructura en paisajes protegidos altamente cambiantes*

Jonathan Josue Reisancho Heredia

Tena, marzo 2022

Napo, Ecuador.

## **Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad**

Tena, 10 de diciembre de 2021

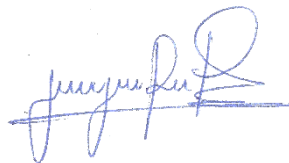
Yo, Jonathan Josue Reisancho Heredia con documento de identidad N° 0503148058, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título de Ingeniera en Ecosistemas, son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en la presente investigación son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,

Firma:



---

Jonathan Josue Reisancho Heredia

## **Certificado de dirección de trabajo de integración curricular**

Certifico que el trabajo de integración curricular titulado: Evaluación de los servicios ecosistémicos y cuantificación de la estructura en paisajes protegidos altamente cambiantes, en la modalidad de: artículo original, fue realizado por: Jonathan Josue Reisancho Heredia, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiám, para su entrega y defensa.

Tena, 10 de diciembre de 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:  
**PABLO RODRIGO  
CUENCA CAPA**

---

PhD. Pablo Cuenca Capa  
C.I: 1714282801

## **Agradecimientos**

A toda mi familia, especialmente a mis padres Santiago Reisancho y Betty Heredia quienes me apoyaron y motivaron a cumplir mis sueños, a mis hermanos Santiago y Edwin que siempre mostraron su apoyo incondicional.

Un agradecimiento especial a mi tutor Pablo Cuenca por apoyar esta idea, por la confianza en mis habilidades y por sus buenos consejos que son y serán de ayuda en toda mi vida.

A todos quienes conforman la Universidad Regional Amazónica IKIAM, desde el primer día que se abrieron las puertas han brindado su apoyo y confianza. A mis profesores que me acompañaron en toda la carrera, les agradezco por compartir su conocimiento y experiencias, sin duda han hecho que esta aventura sea aún más extraordinaria.

Al proyecto de investigación ECU-MAES por darme la oportunidad de demostrar mis habilidades y conocimientos, esta investigación fue financiada por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) en nombre de Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) y el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

Finalmente, y no menos importante a mis amigos que conocí en la universidad, quienes hicieron de esta travesía una experiencia inolvidable.

## **Dedicatoria**

A mis padres Santiago y Betty, por ser mis grandes ejemplos de esfuerzo y perseverancia, por su amor infinito que nunca me ha hecho falta. A mis hermanos Santiago y Edwin que han sido ejemplos de coraje y valentía.

A mi abuelita Luz a quien quiero mucho y siempre ha sido uno de mis motivos para culminar esta etapa. Y a mis abuelitos Oswaldo, Cesar y Rosalía que los extraño mucho y los llevo en mi corazón.

## INDICE GENERAL

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad .....	ii
Certificado de dirección de trabajo de integración curricular .....	iii
Agradecimientos .....	iv
Dedicatoria.....	v
INDICE GENERAL .....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	vii
INDICE DE TABLAS .....	vii
Resumen .....	viii
Abstract.....	ix
1. Introducción .....	1
2. Materiales y métodos.....	4
2.1. Área de estudio .....	4
2.2. Evaluación de la estructura del paisaje .....	5
2.2.1 Métricas del paisaje.....	5
2.3. Evaluación del estado de los Servicios Ecosistémicos .....	6
2.3.1 Análisis multicriterio.....	6
2.3.2. Mapas de ecosistemas y uso de suelo .....	8
2.3.3. Matriz de Análisis .....	10
2.3.4. Análisis espacialmente explícito en la plataforma de GISCAMÉ .....	11
3. Resultados.....	12
3.1. Estructura del Paisaje .....	12
3.2. Evaluación de Servicios Ecosistémicos .....	14
3.2.1. Análisis Multicriterio.....	14
3.2.2. Matriz de Evaluación .....	15
3.2.3. Evaluación de SE mediante análisis espacialmente explícito .....	18
4. Discusión .....	20
4.1. Estructura del paisaje .....	20
4.2. Evaluación de servicios ecosistémicos.....	21
4.2.1. Análisis multicriterio.....	21
4.2.2. Evaluación de SE mediante análisis espacialmente explícito.....	21
5. Conclusiones .....	23
Referencias.....	24
Anexos.....	31
Encuesta A1.....	31
Encuesta A2.....	36

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Áreas protegidas (APs) en la zona Norte de la Amazonía Ecuatoriana.....	5
<b>Figura 2.</b> Esquema del proceso metodológico para la evaluación de SE.....	7
<b>Figura 3.</b> Agrupación de tipo de ecosistema/uso de suelo en el área de estudio .....	9
<b>Figura 4.</b> Área total (CA) y Área Núcleo total (TCA) de cobertura vegetal.....	13
<b>Figura 5.</b> A = Numero de parches (NP); B = Índice de forma promedio (SHAPE_MN); C = Distancia euclidiana promedio (ENN_MN); D = Porcentaje del paisaje (PLAND).....	14
<b>Figura 6.</b> Cantidad de provisión de cada SE en la zona Norte del bioma Amazonía .....	17
<b>Figura 7.</b> Gráfico de araña para mostrar el equilibrio de servicios ecosistémicos .....	19

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Servicios ecosistémicos seleccionados con base al análisis multicriterio .....	8
<b>Tabla 2.</b> Definiciones de los tipos de ecosistemas y cobertura de suelo.....	10
<b>Tabla 3.</b> Cambios en la cobertura vegetal en 1990, 2000, 2010, 2014, 2016, 2018. ....	12
<b>Tabla 4.</b> Relación entre los tipos de ecosistemas/usos de suelo y su potencial para proporcionar los servicios ecosistémicos. ....	16
<b>Tabla 5.</b> Evaluación del estado actual de los SE en la zona norte del bioma Amazonía .....	20

## Resumen

La degradación de la cobertura vegetal en la zona Norte del bioma Amazonía del Ecuador es evidente, a pesar de los esfuerzos por conservar paisajes. Consecuentemente, la información sobre los efectos de estos cambios a nivel de servicios ecosistémicos (SE) es escasa. En este estudio evaluamos el estado de los SE y proporcionamos indicadores cuantitativos mediante métricas del paisaje para contribuir al manejo y conservación de los recursos naturales a escala local. El estudio consideró once áreas protegidas (APs) distribuidas a lo largo de la sierra y amazonia. Las métricas de paisaje empleadas para medir la cobertura vegetal fueron: Área Total por Clase (CA), Número de Parches (NP), Índice de forma promedio (SHAPE\_MN), Distancia euclidiana promedio al vecino más cercano (ENN\_MN), Porcentaje del Paisaje (PLAND) y área núcleo (TCA). En el periodo entre 1990-2018, el porcentaje de cobertura vegetal se mantuvo sobre el 95% en áreas protegidas y disminuyó un 20% en áreas no protegidas. Para la evaluación de SE empleamos un análisis multicriterio con base en encuestas a expertos y un análisis espacialmente explícito en la plataforma GISCAM. Según las encuestas se identificaron 10 SE como relevantes para el área de estudio siendo los de mayor importancia la purificación de agua y agua potable, por el contrario, el servicio de educación ambiental fue el de menos importancia en el área de estudio. Los ecosistemas con mayor potencial de provisión de SE fueron los bosques siempreverdes tanto de tierras bajas, piemontano y montano en la cordillera Oriental y Galeras. En general, en la zona Norte del bioma Amazonía la regulación de calidad de aire es el SE con mayor capacidad de provisión. Sin embargo, la fragmentación que se reporta en el presente estudio es alta en las áreas no protegidas. Si esta tendencia se mantiene, la biodiversidad y la capacidad de los ecosistemas de proveer servicios estará amenazada.

**Palabras clave:** estructura del paisaje; áreas protegidas; análisis espacialmente explícito



## **Abstract**

The degradation of vegetation in the northern region of the Amazon biome of Ecuador is evident, despite efforts to conserve landscapes. However, information about the effects of these changes on the level of ecosystem services (ES), which is important for conservation actions, is still scarce. In this study, we assessed the status of the ES and provided quantitative indicators based on landscape metrics in order to contribute to the management and conservation of natural resources at a local level. The study covered eleven protected areas (PAs) in the northern part of Ecuador in the Andes and the Amazon biome. The landscape metrics used to measure the characteristics of vegetation cover were: Total Area by Class (AC), Number of Patches (NP), Average Shape Index (SHAPE\_MN), Average Euclidean distance to the nearest neighbour (ENN\_MN), Percentage of Landscape (PLAND) and Core Area (TCA). For the assessment of ES, we used a multi-criteria analysis based on expert surveys and a spatially explicit analysis using the modelling platform GISCAM. In the period between 1990-2018, the percentage of vegetation cover almost remained the same in protected areas but declined by 20% in non-protected areas. As a result of an expert survey, 10 ES were identified as relevant for the study area, and water purification and drinking water were perceived as most important ES, whereas the environmental education service was the least important in the study area. The ecosystems with the greatest potential for the provision of ES were the evergreen lowland, piedmont and montane forests in the Cordillera Oriental (Eastern ranges of the Andes) and Galeras. In the northern part of the Amazon biome, the regulation of air quality is the ES with the highest provision capacity. However, the fragmentation reported in this study is high in the non-protected areas. If this trend continues, biodiversity and the capacity of ecosystems to provide services will be threatened.

**Keywords:** landscape structure; protected areas; spatially explicit analysis

## **1. Introducción**

Los ecosistemas pueden proporcionar una gran variedad de bienes y servicios valiosos que contribuyen al mantenimiento de la naturaleza y el bienestar humano [1]. Según la Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES) los servicios ecosistémicos (SE) son definidos como los bienes y beneficios que contribuyen los ecosistemas al bienestar humano, y han sido clasificados como principales los servicios de aprovisionamiento, regulación y cultural [2]. Los procesos y funciones ecológicas mantienen la capacidad de proveer beneficios a los seres vivos, no obstante, la cantidad y calidad de los beneficios depende del tipo y las condiciones a las que se encuentre un ecosistema [3].

A pesar de la gran contribución de SE para apoyar el bienestar humano [1], los SE a menudo se modifican por el cambio de uso de la tierra, sistemas de producción e intensidad de uso de la tierra [4]. Las alteraciones como la deforestación y la degradación de la cobertura vegetal, causan cambios en la provisión de SE [5]. Las alteraciones en los ecosistemas para satisfacer las crecientes necesidades económicas de la población humana son muy aceleradas y significativas, siendo factores importantes que ponen en riesgo la sostenibilidad y resiliencia ecológica [6-8]. Por lo tanto, es importante, el reconocimiento de los SE para mejorar la comprensión de las relaciones que existen entre el ser humano y la naturaleza, de tal forma que ayude a la conservación de la biodiversidad, la gestión de ecosistemas y desarrollo sostenible [9].

El desarrollo de la investigación aplicando instrumentos de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el uso y cobertura del suelo han abierto nuevos campos para la investigación de los SE [1], dando lugar a una amplia lista de métodos disponibles para la evaluación de SE [10]. Existen métodos para evaluar los SE que han sido clasificados en evaluaciones económicas convencionales, que implica costos monetarios de los SE de un lugar [11-13]; por otro lado, están los métodos de evaluación no monetaria que se basan en opiniones de expertos o análisis de partes interesadas [14, 15]. Se entiende por partes interesadas aquellos individuos que tienen la capacidad y voluntad de compartir

constructivamente sus opiniones y su capacidad para difundir información e ideas, sumado su capacidad de influir a diferentes niveles en las decisiones sobre el uso y conservación de la tierra a una escala espacial pertinente [14]. Por lo tanto, involucrar la participación de las partes interesadas ayuda a relacionar el rol del ecosistema con el bienestar humano [16], esto ha hecho que últimamente aumente el interés en incluir conceptos de SE en la planificación del paisaje, conservación y manejo forestal.

Desde 1976 Ecuador viene mejorando en temas de conservación con la regularización de las primeras nueve áreas protegidas, en 1998 se implementó el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), que en la actualidad incluyen sesenta y dos áreas protegidas (APs) y cubren cerca de 18 mil hectáreas en el país. Las APs constituyen la solución natural más efectiva a nivel global para contrarrestar los procesos de deforestación y evitar cambios significativos en la estructura del paisaje [17-20]. Debido al reconocimiento a nivel internacional de las APs se han realizado estudios desde varios campos de la ciencia. Investigaciones utilizan enfoques y métodos a entender la fragmentación de los bosques protegidos [21] con indicadores cuantitativos tales como las métricas del paisaje (área de cada elemento, cantidad de elementos, índices de conectividad, índices de forma, diversidad de elementos, entre otros). De tal forma que se pueda observar la evolución y cambios que tienen lugar en un paisaje protegido desde una perspectiva temporal y espacial considerando los cambios en la composición y configuración del paisaje [22, 23]. Otros estudios usan enfoques econométricos [24], ecológicos y de biodiversidad [25-27] para destacar la necesidad de implementar de manera efectiva las APs.

A pesar el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) mantiene una alta concientización sobre la importancia de los servicios ecosistémicos [20, 28, 29], hasta el momento son escasos los estudios que evalúen los SE a una escala local, y las muy pocas investigaciones existente se enfocan a una evaluación biofísica [15] o la valoración económica de los SE [30, 31]. Para aportar a este vacío de conocimiento, la presente investigación es pionera en analizar y evaluar el rol de las áreas protegidas en los servicios ecosistémicos integrando dos poderosos enfoques, la evaluación de los SE y la cuantificación de la estructura del paisaje para proporcionar un mejor entendimiento del

estado del paisaje y aportar a mejorar la toma de decisiones a múltiples escalas en paisajes altamente cambiantes.

Para poner a prueba las preguntas de investigación del presente estudio seleccionamos la zona Norte del bioma Amazonía del Ecuador por ser considerado un paisaje altamente cámbiate, protegido y con altos índices de biodiversidad [32]. Entre los elementos que empujan un rápido proceso de cambio en la zona Norte del Ecuador está las altas tasas de deforestación, debido a procesos de cambio de uso del suelo y procesos de degradación de sus ecosistemas forestales iniciados con la reforma agraria desde 1960, seguido por la explotación del petróleo [28]. Además, la zona Norte del Ecuador es clave por su importancia para la Economía, lo cual ha provocado que se constituya la principal fuente de ingresos económicos para el Producto Interno Bruto (PIB) del país. El desarrollo de actividades extractivitas en lugares con ecosistemas frágiles y asentamientos de pueblos indígenas podría generar elevados costos, tanto humanos como para la alta biodiversidad y servicios ecosistémicos presentes en el lugar [29, 33]. Mientras que la alta protección del paisaje seleccionado, se evidencia en las once áreas protegidas presentes en la zona, que representan alrededor del 50% de la protección de los bosques que reporta el Ecuador, sumado la protección que ejercen las nueve nacionalidades indígenas, que dependen de este paisaje y de los beneficios que este provee [34, 35].

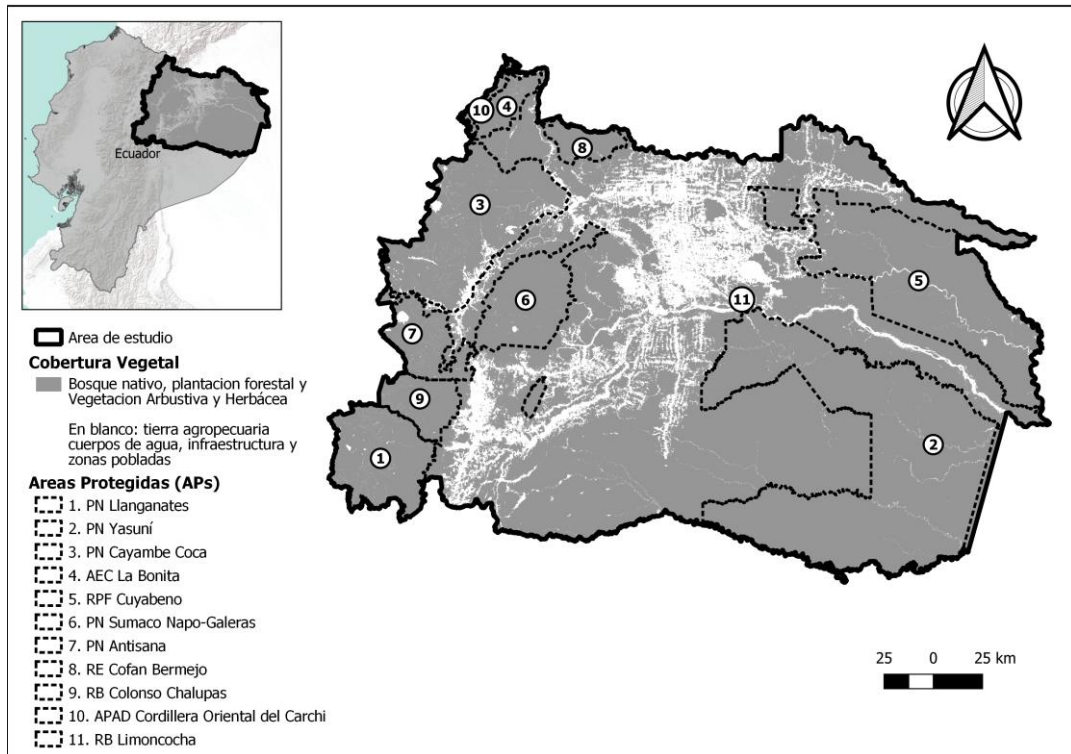
El presente estudio mediante la integración de un análisis multicriterio, indicadores cuantitativos de los patrones del paisaje y una evaluación espacialmente explícita de los SE en los últimos 30 años, planteó las siguientes preguntas de investigación: i) las áreas protegidas en paisajes altamente cambiantes son eficaces en evitar o reducir la dinámica de cambio del paisaje dentro y fuera de sus límites; ii) cuál es el estado de aprovisionamiento de los servicios ecosistémicos en paisajes altamente protegidos y cambiantes?. Los resultados de la presente investigación permitirán generar información empírica robusta que contribuya al manejo y conservación de la biodiversidad a una escala local.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Área de estudio**

El área de estudio está ubicada en la zona Norte del bioma Amazonía del Ecuador, según los límites políticos comprende cuatro provincias de la región Amazónica (Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza) y cinco provincias de la región Sierra (Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua). El área de estudio ocupa 6 232 733 ha, de las cuales el 45% (2 804 799 ha) son 11 áreas protegidas (APs) que pertenecen al SNAP (Figura 1) y el 55% (3 427 934 ha) son áreas no protegidas (AnPs). Las reservas de la biosfera Sumaco y Yasuní, dos de las siete reservas de la biosfera a nivel nacional se encuentran en esta área, aunque no toda la extensión de estas reservas está dentro del SNAP. Estas zonas se encuentran dentro de los denominados “hot-spots” de biodiversidad [32], según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha denominado estos territorios como ecosistemas valiosos por lo que se consideran importantes para la conservación [36, 37].

A pesar de que nuestra zona de estudio tiene el 50% aproximado de espacio protegido terrestre del Ecuador, presenta fuertes procesos de degradación y fragmentación en sus ecosistemas. Por lo que, es un área clave para poner a prueba nuestro análisis de comparación con zonas no protegidas, tomando en cuenta dinámicas temporales principalmente de actividades antrópicas que históricamente sucedieron en la zona de estudio.



**Figura 1.** Áreas protegidas (APs) en la zona Norte de la Amazonía Ecuatoriana. Categorías de las APs: Parque Nacional (PN), Área Ecológica de Conservación (AEC), Reserva de Producción de Fauna (RPF), Reserva Ecológica (RE), Área Protegida Autónoma Descentralizada (APAD) y Reserva Biológica (RB).

## 2.2. Evaluación de la estructura del paisaje

### 2.2.1 Métricas del paisaje

Las métricas del paisaje aportan información de la evolución y cambios de un paisaje determinado, siendo útil para comparar diferentes paisajes y así poder proponer estrategias para mitigar los impactos de la degradación de ecosistemas, la pérdida de hábitats y la fragmentación [23]. Mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG) específicamente QGIS v3.20.1, se usaron capas de cobertura vegetal de los años 1990, 2000, 2008, 2014, 2016 y 2018 disponibles en el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). A partir de un análisis espacial detallado se realizó una reclasificación de las categorías de cobertura y uso de la tierra de cada año, utilizando la metodología de clasificación del MAATE, hemos agrupado como cobertura vegetal a la categoría bosque en el que consta bosque nativo y plantaciones forestales con la categoría vegetación arbustiva y herbácea incluido el páramo. Las demás categorías como tierra agropecuaria, cuerpos de

agua, zona antrópica y otras áreas no fueron tomadas en cuenta para el análisis de métricas del paisaje.

Para este análisis se usó un programa (FRAGSTATS v4) que permitió obtener de forma sencilla un amplio conjunto de métricas del paisaje [23, 38]. Las métricas se calcularon a nivel de clase, es decir, aquellos fragmentos que tienen el mismo valor y representan el mismo tipo de cobertura del suelo. Para valorar la evolución de la cobertura vegetal, seleccionamos el siguiente conjunto de métricas del paisaje que aportarán información suficiente y necesaria acerca de la fragmentación, forma y dispersión de la cobertura vegetal.

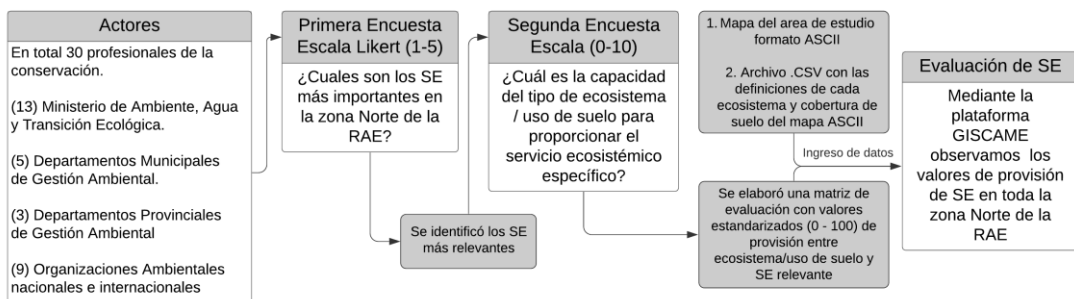
El Area total (CA) es el área total de cada clase y ayuda a medir la composición del paisaje, por otro lado, tenemos el Número de Parches (NP) que nos ayuda a conocer la cantidad de parches que posee una determinada clase del paisaje, así mismo usamos el índice de forma promedio (SHAPE\_MN), el cual aporta con información de la complejidad geométrica de los parches, entre mayor sea el índice, mayor complejidad tendrán los parches de cobertura de vegetal. La distancia euclidiana promedio al vecino más cercano (ENN\_MN) indica la distancia promedio al fragmento más cercano de la misma clase, aportando información acerca del grado de aislamiento de los parches que componen una clase; El porcentaje del paisaje (PLAND) es el porcentaje de espacio que ocupa una clase en el paisaje de análisis, también usamos la métrica de Área núcleo total (TCA) de toda la cobertura vegetal, es la superficie interior del parche que no está afectada por los bordes, es decir, no está afectada por las perturbaciones existentes. Para más información sobre las métricas ver McGarigal 2013 [39].

## **2.3. Evaluación del estado de los Servicios Ecosistémicos**

### **2.3.1 Análisis multicriterio**

Siguiendo a Koo et al. (2018) para evaluar servicios ecosistémicos realizamos un análisis multicriterio con las partes interesadas [14]. En este estudio establecimos contacto con departamentos de gestión ambiental de gobiernos provinciales, gobiernos municipales,

instituciones gubernamentales y organizaciones ambientales internacionales, de los cuales participaron 30 profesionales de la conservación que trabajan de manera directa o indirecta con SE (Figura 2). El objetivo de incluir las partes interesadas en la investigación es porque cumplen la tarea de monitoreo e implementación de planes de conservación en la zona Norte de la Amazonía, además cumplen un rol de enlace entre la sociedad y los responsables de la formulación de políticas y estrategias ambientales, por lo tanto, las partes interesadas seleccionadas tienen los conocimientos más apropiados y representativos ya que sus opiniones influyen significativamente en la toma de decisiones a nivel local.



**Figura 2.** Esquema del proceso metodológico para la evaluación de SE.

Las encuestas fueron realizadas de forma virtual (6) y también en reuniones presenciales (24). Seleccionamos la lista general de SE para realizar la primera encuesta de acuerdo a la Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES) [2], en el cual indican los SE de aprovisionamiento, regulación y mantenimiento, y cultural. En la primera encuesta se pidió a las partes interesadas su percepción mediante una escala Likert (1-5) (Encuesta A1 en Anexos), consultamos cuáles de los servicios ecosistémicos son más relevantes en la zona Norte de la Amazonia del Ecuador (Tabla 1). Los valores de cada SE en todas las encuestas se promediaron y se seleccionaron SE con un valor mayor o igual a 4,5.



**Tabla 1.** Servicios ecosistémicos seleccionados con base al análisis multicriterio proveniente de la primera encuesta

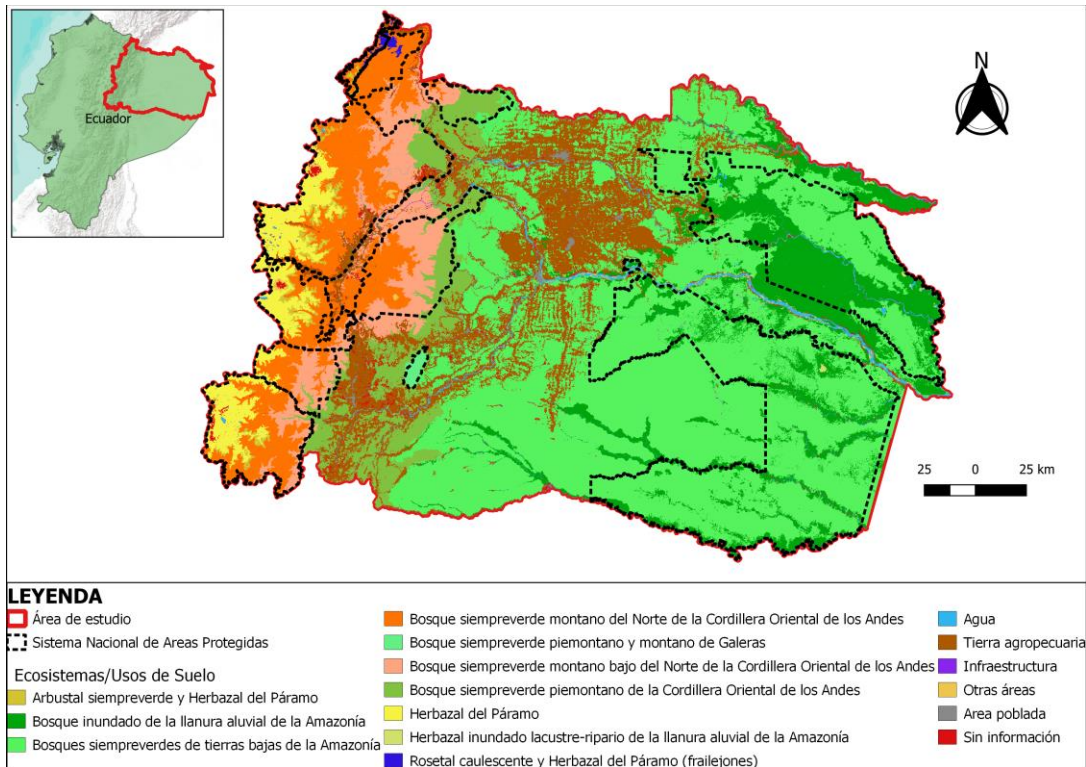
<b>Clasificación</b>	<b>Servicio Ecosistémico</b>
Aprovisionamiento	Alimento
	Material genético de toda la biota
	Agua potable
Regulación y mantenimiento	Regulación de la calidad del aire
	Control de la erosión del suelo
	Purificación de agua
	Regulación del flujo de agua
	Polinización y dispersión de semillas
Cultural	Regulación del macro clima
	Educación Ambiental

A partir del reconocimiento de los SE más relevantes del área, se realizó una segunda encuesta a los mismos expertos (Encuesta A2 en Anexos), en la cual indicaron mediante una escala desde cero (0) (la capacidad mínima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar los servicios ecosistémicos específicos) hasta diez (10) (la capacidad máxima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar los servicios ecosistémicos específicos) (Figura 2).

### **2.3.2. Mapas de ecosistemas y uso de suelo**

Mediante consulta a expertos nacionales que participaron en la clasificación de ecosistemas del Ecuador, logramos realizar la agrupación de ecosistemas necesarios para nuestro análisis, los 36 ecosistemas principales fueron agrupados por la similitud en sus características biofísicas y unidad de superficie representativa (Figura 3).

Los datos espaciales que contienen información sobre los ecosistemas y uso de suelo fueron preparados en formatos compatibles con la plataforma GISCAM. Preparamos los datos en el sistema de información geográfica QGIS v3.20.1. El tipo de datos de la información fue ráster en formato ASCII con referencia geográfica WGS 84 / UTM zona 17S.



**Figura 3.** Agrupación de tipo de ecosistema/uso de suelo que están dentro de la zona Norte del bioma Amazonía

Definimos los tipos de ecosistemas y uso de suelo según las identificaciones del mapa en el archivo ASCII, luego exportamos una tabla en formato .CSV que es compatible con la mayoría de los programas de cálculo en tablas. La tabla consta de cuatro columnas: El color de cada ecosistema/uso de suelo en código hexadecimal, descripción corta de cada ecosistema/uso de suelo, descripción opcional larga o especificación adicional de cada ecosistema/uso de suelo y el número de identificación en el mapa (Tabla 2).

**Tabla 2.** Definiciones de los tipos de ecosistemas y cobertura de suelo en la zona Norte de la Amazonía del Ecuador

Color	Descripción	ID
84FFA1	Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo	1
00751E	Bosque inundado de la llanura aluvial de la Amazonía	2
314200	Bosques siempreverdes de tierras bajas de la Amazonía	3
007A49	Bosque siempreverde montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	4
00FFBA	Bosque siempreverde piemontano y montano de Galeras	5
5B7000	Bosque siempreverde montano bajo del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	6
CFFF00	Bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes	7
FCFF00	Herbazal del Páramo	8
00F6FF	Herbazal inundado lacustre-ripario de la llanura aluvial de la Amazonía	9
C6EA00	Rosetal caulescente y Herbazal del Páramo (frailejones)	10
0000FF	Agua	11
755600	Tierra agropecuaria	12
FF0000	Infraestructura	13
F428FF	Otras áreas	14
4C0084	Area poblada	15
000000	Sin información	16

### 2.3.3. Matriz de Análisis

Se preparó la matriz de evaluación que contiene información sobre el potencial para proporcionar SE de cada tipo de ecosistema y uso de suelo. Para ello fue necesario armonizar los valores obtenidos en las encuestas usando procesos de normalización. Utilizando la siguiente ecuación:

$$Inorm = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} * 100 \quad (1)$$

**Ecuación 1.** Transformación de indicadores (I) en una escala relativa de 0 - 100 ( $I_{norm}$ ) utilizando los más bajos y más altos valores de los indicadores ( $I_{min}$  y  $I_{max}$  respectivamente), donde el valor más alto es el que

contribuye con el mayor potencial dentro de una región para proporcionar el respectivo SE [40]. El valor más bajo, en cambio, representa el menor potencial entre todos los tipos de ecosistema/uso de suelo para proporcionar los respectivos SE.

Estandarizamos todos los valores de SE en un rango entre 0 (el potencial mínimo para proporcionar un beneficio) y 100 (el potencial máximo para proporcionar un beneficio). Los valores estandarizados los utilizamos posteriormente en una matriz de evaluación que muestra la relación entre los tipos de ecosistema y su capacidad para suministrar SE.

#### **2.3.4. Análisis espacialmente explícito en la plataforma de GISCAME**

La capacidad de un ecosistema para proveer servicios ecosistémicos puede ser evaluada a través del reconocimiento y la cuantificación de los beneficios ecosistémicos [41], esto es clave para contribuir a mejorar las decisiones de actores relevantes en materia de cuidado de los recursos naturales renovables y no renovables.

A continuación, para evaluar los servicios que provee cada ecosistema existente en la zona de estudio, se utilizó una plataforma de modelado llamada GISCAME [42] que consta de un módulo SIG y un módulo multicriterio. Con la matriz elaborada, se importó un archivo .CSV en el módulo multicriterio y se vinculó la matriz de evaluación con el mapa de tipos de ecosistemas/cobertura de suelo que ya había sido ingresado previamente. La matriz de evaluación representa el elemento central del sistema mediante el cual GISCAME entregará mapas de capacidad del servicio del ecosistema y equilibrios de todos los servicios del ecosistema [14, 42] (figura 2).

Este programa ha sido puesto a prueba en varios países de ecosistemas templados y tropicales por su capacidad de analizar diferentes componentes tales como la visualización de impactos en alternativas de planificación del uso del suelo, el soporte de decisiones espaciales explícitas, la simulación de escenarios de planificación alternativos, entre otros [43].

### 3. Resultados

#### 3.1. Estructura del Paisaje

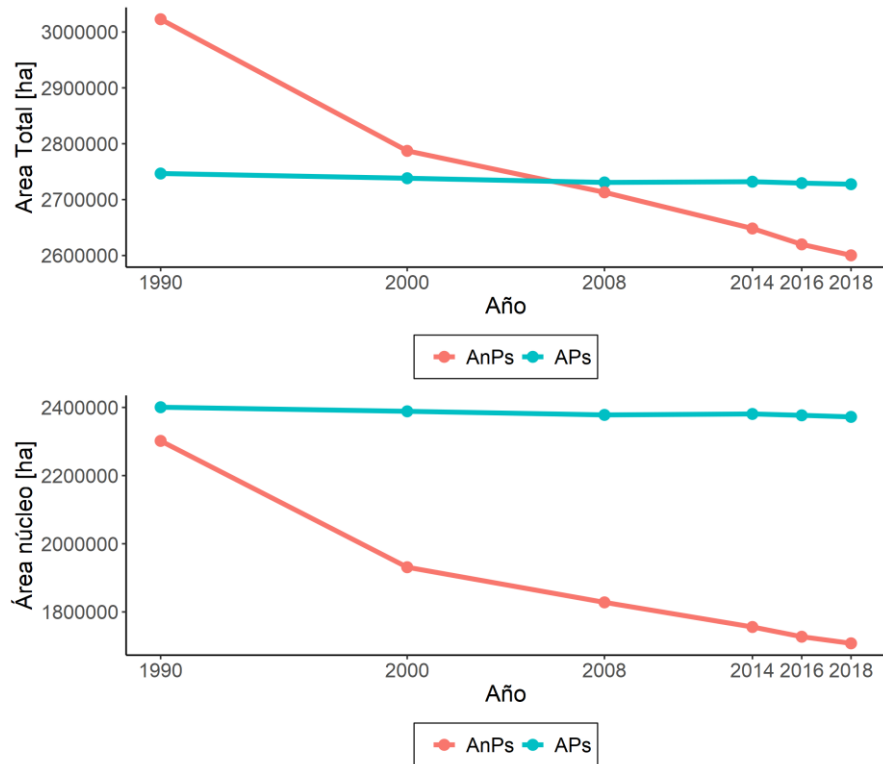
Observamos una pérdida significativa de cobertura vegetal en las áreas no protegidas (AnPs), tiene las tasas de cambio más altas. En el periodo 1990 – 2018, las áreas sin protección han perdido alrededor de 400 000 ha, los primeros 10 años (1990 - 2000) de análisis es donde hubo cambios drásticos y más rápidos con una tasa de cambio de 0,81 la mayor de todas (Tabla 3). Por otro lado, en las APs no se observaron cambios negativos importantes en la cobertura vegetal, las tasas de cambio son muy bajas, incluso se observa una recuperación de cobertura vegetal en el periodo 2010 – 2014

**Tabla 3.** Cambios en la cobertura vegetal en 1990, 2000, 2010, 2014, 2016, 2018.

<b>Año</b>	<b>Cobertura vegetal de áreas protegidas (ha)</b>	<b>Tasa de cambio de la cobertura vegetal de áreas protegidas (% por año)</b>	<b>Cobertura vegetal de áreas no protegidas (ha)</b>	<b>Tasa de cambio de la cobertura vegetal de áreas protegidas (% por año)</b>
<b>1990</b>	2 746 700		3 022 822	
		0,03 (1990 - 2000)		0,81 (1990 - 2000)
<b>2000</b>	2 738 230		2 787 235	
		0,03 (2000 - 2010)		0,34 (2000 - 2010)
<b>2010</b>	2 730 728		2 713 062	
		-0,01 (2010 - 2014)		0,40 (2010 - 2014)
<b>2014</b>	2 732 059		2 648 327	
		0,05 (2014 - 2016)		0,54 (2014 - 2016)
<b>2016</b>	2 729 518		2 619 892	
		0,04 (2016 - 2018)		0,37 (2016 - 2018)
<b>2018</b>	2 727 582		2 600 290	

Las AnPs en todo el análisis muestran una tendencia a la disminución de superficie, en los valores de área total y área núcleo, la tendencia no muestra signos de estabilidad como es el caso de las APs (Figura 4). El Area núcleo (TCA) es la métrica con mayor diferencia entre áreas. Mientras que en las APs la diferencia entre área total y área núcleo es de 350 000 ha

por el efecto que tiene el borde, en cambio en las AnPs la diferencia entre área total y área núcleo es aproximadamente 700 000 ha, debido a que estas áreas están más fragmentadas y existe mayor efecto en el borde que no debe ser considerado para obtener el área núcleo.



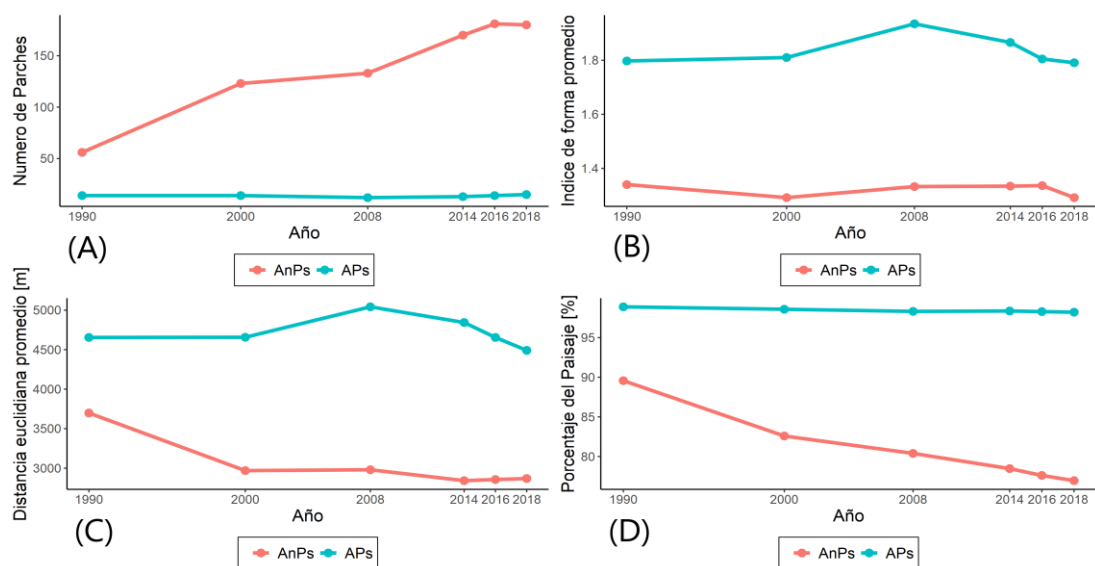
**Figura 4.** Área total (CA) y Área Núcleo total (TCA) de cobertura vegetal en las últimas tres décadas tanto en APs (azul) y AnPs (rojo).

En las AnPs la tendencia de aumento de número parches es clara con un patrón de cambios rápidos y fuertes, a pesar de que en los últimos dos años se nota una ligera estabilidad. En contraste con las APs la estabilidad en el número de parches es permanente (Figura 5A). Hay una clara diferencia en el índice de forma promedio, la forma de los fragmentos de cobertura vegetal en las APs son más irregulares que en las AnPs (Figura 5B).

En las AnPs durante el periodo 1990 – 2000, la distancia euclidiana entre parches de la misma clase bajó rápidamente y en el último periodo 2000 – 2018 la distancia se ha mantenido, si lo relacionamos con el número parches, esto tiene sentido, los parches más grandes han ido fragmentándose por lo tanto la distancia entre parches ahora es mínima. Por el contrario, las APs han mantenido una estabilidad en la distancia entre parches en

todo el periodo de análisis (Figura 5C), aunque la distancia entre parches es mayor, la cantidad de parches es mínima lo que significa que hay parches más grandes, pero están más alejados entre sí.

El porcentaje del paisaje de la cobertura vegetal se ha mantenido en APs por arriba del 95%, en contraste con las AnPs, la cobertura vegetal en espacio no protegido ha disminuido desde 1990 hasta el 2018 un 20% aproximadamente y no muestra una posible estabilidad (Figura 5D).



**Figura 5.** A = Numero de parches (NP); B = Índice de forma promedio (SHAPE\_MN); C = Distancia euclidiana promedio (ENN\_MN); D = Porcentaje del paisaje (PLAND).

## 3.2. Evaluación de Servicios Ecosistémicos

### 3.2.1. Análisis Multicriterio

En la primera encuesta realizada para conocer los SE más relevantes de la zona Norte del bioma Amazonía, de la lista seleccionada de acuerdo con la clasificación CICES, los expertos dieron mayor valor solo a 10 SE, estos SE obtuvieron valores que pasaron el rango de 4,5/5 a excepción del SE cultural de educación ambiental el cual solo obtuvo 4,4 pero se añadió al análisis para abarcar todas las tres clasificaciones aprovisionamiento, regulación y cultural.

La diferencia más notable es el número de SE por clasificación, los SE de regulación y mantenimiento obtuvieron seis SE como relevantes de ocho iniciales, seguido de los servicios de aprovisionamiento que fueron reconocidos tres SE como relevantes. Con respecto a los SE culturales, solo uno fue considerado como relevante (Tabla 2).

Los SE que involucran agua fueron valorados como los SE más relevantes. El SE de agua potable y el de purificación de agua comparten el primer lugar con 4,8. Las declaraciones de los expertos se centraron en lo necesario que es el agua para el consumo. Los SE como alimento, control de la erosión del suelo, polinización y dispersión de semillas son los segundos más valorados con 4,7.

### **3.2.2. Matriz de Evaluación**

En la zona Norte del bioma Amazonía, los tipos de ecosistemas bosques siempreverdes tanto de tierras bajas, piemontano y montano en la cordillera Oriental y Galeras mostraron un mayor potencial de provisión de SE en general. Los valores más altos de potencial provisión es el SE de material genético de toda la biota y la regulación de la calidad del aire (Tabla 4).

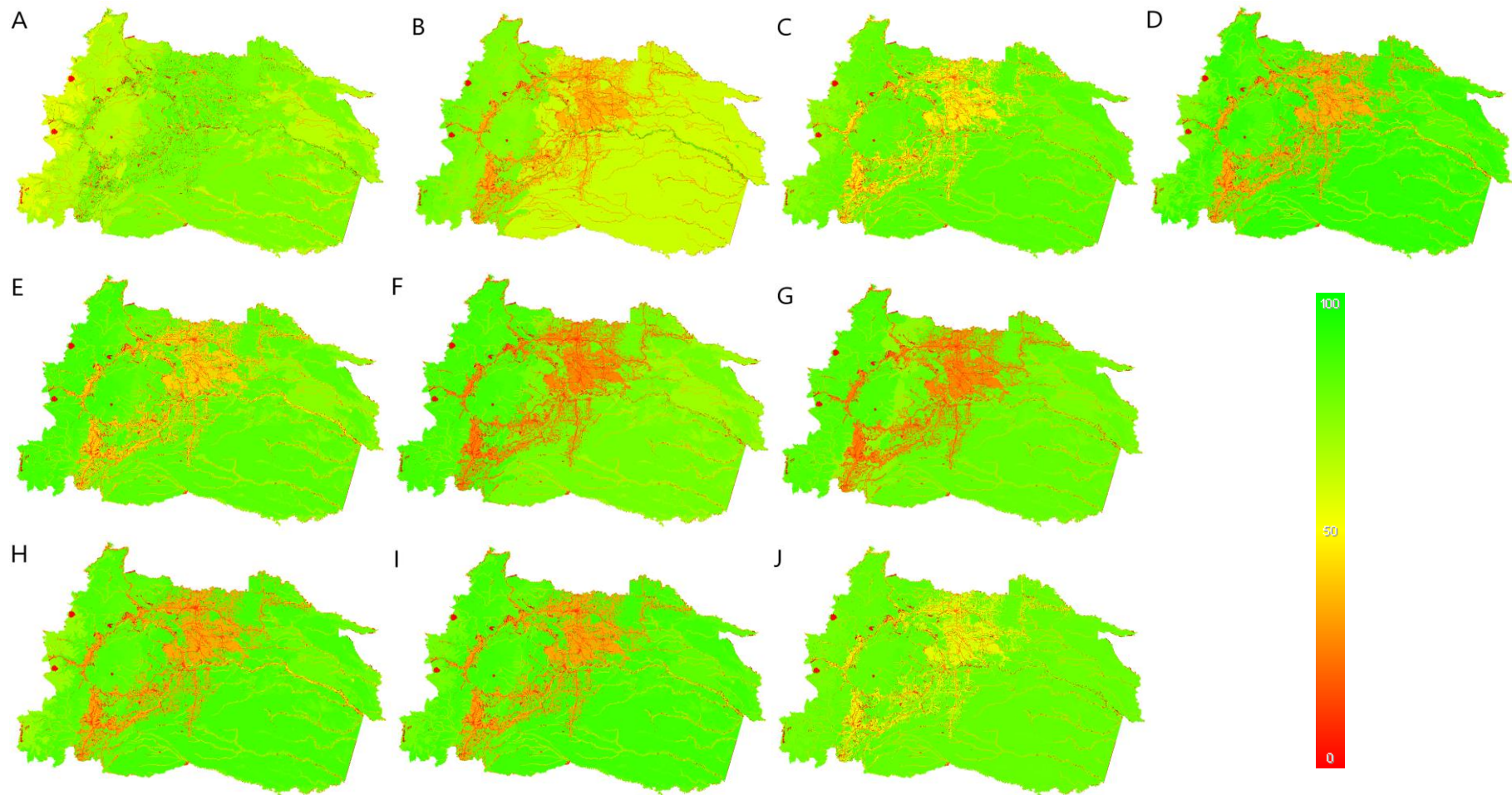
En particular, el bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía mostró el valor más alto para la regulación de la calidad del aire. Por otra parte, los tipos de cobertura de suelo como agua y tierra agropecuaria tienen un potencial de provisión de alimento más alto. Con respecto a la provisión de agua que puede ser usado para el consumo, los páramos son los ecosistemas con mayor potencial de provisión, específicamente el herbazal de paramo. Pero hay que recalcar que la cobertura de agua que se refiere a ríos, lagos y lagunas tiene el mayor potencial de provisión de agua con 92/100.

El SE de educación ambiental muestra un equilibrio de provisión tanto en los diferentes tipos de ecosistemas así como en los tipos de uso de suelo. El área poblada e infraestructura a pesar de tener los valores más bajos de provisión en los demás SE, poseen altos valores para proporcionar espacios para educación ambiental.



**Tabla 4.** Relación entre los tipos de ecosistemas/ usos de suelo y su potencial para proporcionar los servicios ecosistémicos seleccionados dentro de una escala de 0 (sin provisión) a 100 (el nivel más alto de provisión) en el área de estudio.

Tipo de ecosistema / Tipo de cobertura del suelo	Alimento	Agua potable	Material genético de toda la biota	Regulación de la calidad del aire	Control de la erosión del suelo	Purificación de agua	Regulación del flujo de agua	Polinización y dispersión de semillas	Regulación del macro clima	Educación Ambiental
Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo	51	78	70	79	87	87	87	70	78	77
Bosque inundado de la Llanura aluvial de la Amazonía	64	59	79	85	74	70	77	80	82	79
Bosques siempreverdes de tierras bajas de la Amazonía	77	61	84	91	83	78	81	87	88	81
Bosque siempreverde montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	67	76	81	90	88	88	85	85	88	81
Bosque siempreverde piemontano y montano de Galeras	61	77	84	86	86	86	85	83	84	82
Bosque siempreverde montano bajo del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	64	73	83	85	85	85	85	83	86	81
Bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes	68	77	82	86	81	86	74	82	83	83
Herbazal del Páramo	57	80	74	78	86	87	84	72	79	78
Herbazal inundado lacustre-ripario de la Llanura aluvial de la Amazonía	59	66	76	76	75	73	77	73	78	81
Rosetal caulescente y Herbazal del Páramo (frailejones)	55	77	77	78	79	88	87	76	79	81
Agua	87	92	73	60	52	77	70	48	66	84
Tierra agropecuaria	83	36	48	36	42	27	27	34	33	56
Area poblada	36	31	29	25	24	19	22	19	19	40
Infraestructura	18	21	18	16	18	17	19	12	16	26



**Figura 6.** Mapas con la cantidad de provisión de cada SE en la zona Norte del bioma Amazonía; (A) Alimento, (B) Agua potable; (C) Material genético de toda la biota; (D) Regulación de la calidad del aire; (E) Control de la erosión del suelo; (F) Purificación de agua; (G) Regulación del flujo de agua; (H) Polinización y dispersión de semillas; (I) Regulación del macro clima; (J) Educación Ambiental.

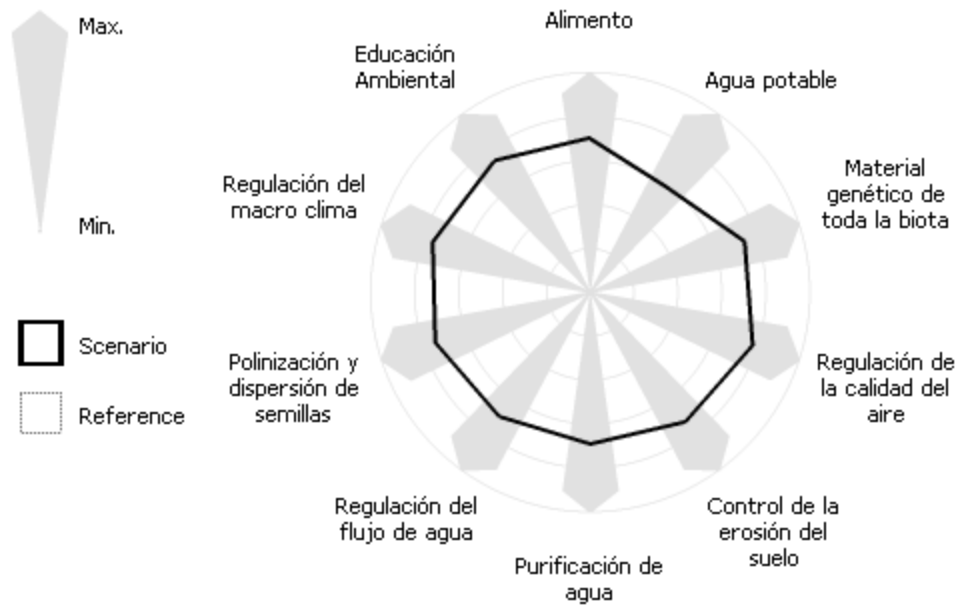
De acuerdo a los mapas SE por cada ecosistema/uso de suelo obtenidos por la plataforma GISCAM (Figura 6), observamos que en el mapa del SE de alimento (Figura 6A), tanto los diferentes tipos de ecosistemas como los usos de suelo tienen un equilibrio considerable en la provisión de alimento en toda el área.

En relación con la provisión de agua potable (Figura 6B) los ecosistemas de la cordillera de los Andes obtuvieron valores más altos, en contraste con un potencial bajo de provisión en las tierras bajas del bioma Amazonía. En cambio, la regulación de la calidad del aire es el SE con mayor provisión en toda el área, y todos los ecosistemas muestran uniformidad en la provisión de este servicio (Figura 6D).

La regulación del flujo de agua (Figura 6G) y purificación de agua (Figura 6F) muestran una elevada diferencia en el potencial de provisión de SE entre los ecosistemas y el uso de suelo, los ecosistemas tienen mayor potencial de proveer estos servicios a diferencia de los usos de suelo que tienen valores bajos de provisión. Sin embargo, hay SE que no tienen muchas diferencias, los ecosistemas tienen mayor potencial de provisión que los usos de suelo, pero la diferencia no es considerable como es el caso de los servicios de educación ambiental y material genético de toda la biota (Figura 6C).

### **3.2.3. Evaluación de SE mediante análisis espacialmente explícito**

De acuerdo con los resultados generales de toda la zona Norte en el bioma Amazonía, todos los SE están en un rango entre 69 – 78 de potencial de provisión en toda la zona Norte del bioma Amazonía. A excepción del SE de agua potable, ya que se observó en el gráfico de araña que no se forma un pico en el aprovisionamiento de agua potable (Figura 7) siendo el SE con menor potencial de provisión con 59/100. Los demás SE forman picos que indican valores mayores, especialmente el SE de regulación de la calidad del aire que evidentemente es el SE con mayor potencial de provisión.



**Figura 7.** Gráfico de araña para mostrar el equilibrio de servicios ecosistémicos en la zona Norte del bioma Amazonía del Ecuador

Con base a las 30 encuestas realizadas y mediante el análisis multicriterio en GISCAM. En general, en la zona Norte del bioma Amazonía los tipos de ecosistemas y uso de suelo en el escenario actual ayudan más en la regulación de la calidad del aire con un potencial de provisión de 78/100 (Tabla 5), Además, el segundo valor más alto es de regulación de macro clima, es decir, la zona Norte tiene mucha influencia en el clima global.

Esta área tiene la capacidad de mantener el SE de polinización y dispersión de semillas de manera similar que el SE de material genético de toda la biota, comparten los mismos valores 74/100, estos SE están muy relacionados al momento de mantener la biodiversidad.

**Tabla 5.** Evaluación del estado actual de los SE en la zona norte del bioma Amazonía

<b>Clasificación</b>	<b>Servicios ecosistémicos</b>	<b>Escenario actual</b>
Aprovisionamiento	Alimento	70
	Agua potable	59
	Material genético de toda la biota	74
Regulación y mantenimiento	Regulación de la calidad del aire	78
	Control de la erosión del suelo	73
	Purificación de agua	69
	Regulación del flujo de agua	70
	Polinización y dispersión de semillas	74
	Regulación del macro clima	75
Cultural	Educación Ambiental	74

## 4. Discusión

### 4.1. Estructura del paisaje

En este estudio observamos una considerable reducción del área de la cobertura vegetal en áreas no protegidas, lo que implica la reducción de la disponibilidad del hábitat para la flora y fauna [20, 28]. Mediante las métricas observamos un aumento en el número de los parches de cobertura vegetal fuera de las áreas protegidas, en contraste con las áreas protegidas en las cuales la fragmentación del paisaje es mínima. Con base a esto podemos asumir un efecto positivo del SNAP en evitar la fragmentación, este resultado se corrobora con lo reportado por Van Der Hoek [20] y Cuenca [24].

En las AnPs el número de parches y la distancia euclidiana entre parches muestran que la fragmentación del paisaje aumentó considerablemente en los últimos 30 años, el incremento de la fragmentación es debido a un procesos de cambio de uso de suelo que inició fuertemente en la década de 1960 por la explotación petrolera y la reforma agraria [44], seguidamente el incremento de carreteras y expansión demográfica, motores que también son evidencia en otras partes del país [24, 28, 29].

El fortalecimiento del SNAP en los últimos años y el aumento de incentivos a la conservación como el programa Socio Bosque [45], han resultado en índices de

fragmentación bajos en las APs. Sin embargo, se debe tomar en cuenta otros factores como la ubicación de las áreas protegidas, muchas áreas protegidas se encuentran en zonas de poca accesibilidad por lo que puede evitar el aprovechamiento de los recursos [46, 47], aspectos que deberían ser tratados en futuras investigaciones.

## **4.2. Evaluación de servicios ecosistémicos**

### **4.2.1. Análisis multicriterio**

Nuestro estudio va más allá del reconocimiento de SE, no solo por la escala, sino que también integramos los tipos de ecosistemas/uso de suelo con la participación de partes interesadas involucradas en la conservación de esta zona, logrando identificar la distribución espacial y el estado actual de la provisión de los SE en la zona Norte del bioma Amazonía. Anteriormente Delgado et al. (2017) [15] presentaron una evaluación participativa para reconocer los SE más relevantes y lugares de aprovisionamiento de estos SE en la Reserva de la Biosfera Sumaco (provincia de Napo).

Uno de los papeles cruciales de la evaluación ambiental es vincular la ciencia con los tomadores de decisiones, mostrando el estado de los SE en los ecosistemas y usos de suelo de la zona se puede sugerir estrategias de conservación [48, 49]. En este sentido, las encuestas de reconocimiento de los SE relevantes y la percepción de provisión de los SE fue útil para comunicarse entre los diferentes actores y transmitir la necesidad de conocimiento sobre los SE y mencionar la falta de gestión adecuada de los ecosistemas y usos de suelo en la zona [50, 51]. Las partes interesadas informaron que es importante y necesario abordar métodos de evaluación de SE de la zona e implementarla en la planificación territorial local.

### **4.2.2. Evaluación de SE mediante análisis espacialmente explícito**

La relevancia del aprovisionamiento de agua puede mostrar la necesidad y acceso que tiene la población [52]. La capacidad de provisión de agua potable en toda el área es muy baja. En este sentido, muchos de los expertos enfatizaron en la importancia de cuidar las fuentes hídricas especialmente en la zona oeste de nuestra área de estudio donde se encuentra la cordillera de los Andes y es de donde existe mayor aprovisionamiento de agua potable. El

SE de agua potable fue reconocido por los expertos como el más relevante pero con menor potencial de provisión, lo que corrobora Caballero et al. (2017) [53] en su estudio realizado en una parroquia de la zona Sur del bioma Amazonía, al igual que en otras áreas de bosque tropical [54, 55].

El alimento también está entre los SE más relevantes de la zona Norte de la Amazonía del Ecuador, los expertos mencionan que las comunidades son altamente dependientes del bosque para obtener diferentes alimentos como plantas, frutas y animales, información que es respaldado por Valarezo et al (2017) [56] en el Plan de Manejo de la Reserva de Biosfera Sumaco.

Pero en nuestro estudio la provisión de alimento es equilibrada entre los ecosistemas y los diferentes usos de suelo, estudios muestran que las zonas pobladas también tienen la capacidad de suministrar alimento por medio de mercados en donde se comercializan diferentes alimentos, y los habitantes lo ven como un beneficio [15, 57]. Con respecto al alimento, estudios realizados en la zona indican que la caza es una actividad que se realiza con menos frecuencia [58], una de las razones es la ley para la preservación de áreas protegidas que prohíbe la caza, pesca y captura de animales dentro de estas áreas, exceptuando el uso de sistemas tradicionales para la pesca de subsistencia por parte de pueblos indígenas[59].

La evaluación espacialmente explícita de SE en GISCAME reveló que el servicio de regulación de la calidad del aire es el SE con mayor capacidad de aprovisionamiento en toda el área de estudio, los expertos encuestados reconocieron este SE en todos los ecosistemas por su conocimiento y experiencia en la zona, al igual que en otros estudios en la zona Sur de la Amazonía del Ecuador [53] en el cual el 80% de profesionales encuestados reconocieron a la regulación de calidad del aire como muy relevante. Los expertos para la valoración se basaron en la cantidad cobertura de bosque existente en la zona Norte de la Amazonía, sabiendo que la capacidad de un ecosistema para regular la calidad del aire depende principalmente de la cobertura de bosque [60], los valores altos de capacidad de regulación de la calidad de aire en nuestro estudio son consistentes con

otras investigaciones en los bosques tropicales del Amazonas [61] y en bosques tropicales en otras partes del mundo [62-65].

## **5. Conclusiones**

La fragmentación en AnPs del Norte del bioma Amazonía del Ecuador es alta. Si esta tendencia se mantiene la biodiversidad en sus diferentes niveles estará amenazada. La evidencia de la presente investigación corrobora que las áreas protegidas son una estrategia clave para enfrentar la pérdida de bosque tropical. Sin embargo, las áreas protegidas tienen limitaciones para evitar la fragmentación más allá de sus límites, por lo que, es necesario incluir otras estrategias, como la planificación de paisajes multifuncionales que permita integrar paisajes de conservación con paisajes de desarrollo presentes en nuestra área de estudio.

La evaluación espacialmente explícita de los SE identificó la regulación de la calidad del aire como el servicio con mayor potencial de aprovisionamiento en toda el área. Los otros SE se mantuvieron relativamente equilibrados, aunque el SE agua potable obtuvo el menor valor de aprovisionamiento en el área de estudio. Por lo tanto, es urgente en la zona Norte del bioma Amazonía del Ecuador, frenar el rápido cambio en el paisaje en términos de su composición y configuración, debido a que si esta tendencia se mantiene pone en riesgo el rol de las APs en evitar la pérdida de los SE.

Finalmente, la presente evaluación de los SE y de las APs ha podido integrar de manera novedosa el conocimiento de expertos y profesionales de la conservación, los patrones espaciales del paisaje y la evaluación espacialmente explícita de los SE. En este proceso destacamos que la participación de los expertos fue fundamental para comprender las perspectivas de las partes interesadas sobre la capacidad de cada ecosistema y uso de suelo como proveedores de SE, sumado al uso de herramientas de análisis potentes como GISCAM.



## Referencias

1. Sharma R, Rimal B, Baral H, Nehren U, Paudyal K, Sharma S, et al. Impact of Land Cover Change on Ecosystem Services in a Tropical Forested Landscape. 2019;8(1):18. PubMed PMID: doi:10.3390/resources8010018.
2. Haines-Young R, Potschin-Young MJOE. Revision of the common international classification for ecosystem services (CICES V5. 1): a policy brief. 2018;3:e27108.
3. Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. 1997;387(6630):253-60.
4. Baude M, Meyer BC, Schindewolf M. Land use change in an agricultural landscape causing degradation of soil based ecosystem services. *Sci Total Environ.* 2019;659:1526-36. Epub 2019/05/18. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.455. PubMed PMID: 31096362.
5. Foley JA, Asner GP, Costa MH, Coe MT, DeFries R, Gibbs HK, et al. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. 2007;5(1):25-32.doi:https://doi.org/10.1890/1540-295(2007)5[25:ARFDAL]2.0.CO;2.
6. DeFries RS, Foley JA, Asner GP, Environment t. Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. 2004;2(5):249-57.
7. Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, et al. Global Consequences of Land Use. 2005;309(5734):570-4. doi: 10.1126/science.1111772 %J Science.
8. Kumar P. The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations: Routledge; 2012.
9. Díaz S, Demissew S, Carabias J, Joly C, Lonsdale M, Ash N, et al. The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability.* 2015;14:1-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>.
10. Turner KG, Anderson S, Gonzales-Chang M, Costanza R, Courville S, Dalgaard T, et al. A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration. *Ecological Modelling.* 2016;319:190-207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.07.017>.

11. de Groot R, Brander L, van der Ploeg S, Costanza R, Bernard F, Braat L, et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*. 2012;1(1):50-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>.
12. Batker D, De La Torre I, Costanza R, Swedeen P, Day J, Boumans R, et al. Gaining ground: wetlands, hurricanes, and the economy: the value of restoring the Mississippi River Delta. 2010;40:11106.
13. Kubiszewski I, Costanza R, Dorji L, Thoennes P, Tshering K. An initial estimate of the value of ecosystem services in Bhutan. *Ecosystem Services*. 2013;3:e11-e21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.11.004>.
14. Koo H, Kleemann J, Fürst C. Land Use Scenario Modeling Based on Local Knowledge for the Provision of Ecosystem Services in Northern Ghana. *Land*. 2018;7(2):59. PubMed PMID: doi:10.3390/land7020059.
15. Delgado-Aguilar MJ, Konold W, Schmitt CB. Community mapping of ecosystem services in tropical rainforest of Ecuador. *Ecological Indicators*. 2017;73:460--71. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.10.020. PubMed PMID: Delgado-Aguilar2017.
16. Seppelt R, Dormann CF, Eppink FV, Lautenbach S, Schmidt S. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of Applied Ecology*. 2011;48(3):630--6. doi: 10.1111/j.1365-2664.2010.01952.x. PubMed PMID: Seppelt2011.
17. Miranda JJ, Corral L, Blackman A, Asner G, Lima E. Effects of Protected Areas on Forest Cover Change and Local Communities: Evidence from the Peruvian Amazon. *World Development*. 2016;78:288--307. doi: 10.1016/j.worlddev.2015.10.026. PubMed PMID: Miranda2016.
18. Jusys T. Quantifying avoided deforestation in Par \ ' a : Protected areas, buffer zones and edge effects. *Journal for Nature Conservation*. 2016;33:10--7. doi: 10.1016/j.jnc.2016.05.001. PubMed PMID: Jusys2016.
19. Capistrano D, Samper C, Lee MJ, Raudsepp-Hearne C. Ecosystems and human well-being: multiscale assessments: findings of the Sub-global Assessments Working Group of the Millenium Ecosystem Assessment: Island Press; 2005.

20. Van Der Hoek Y. The potential of protected areas to halt deforestation in Ecuador. *Environmental Conservation*. 2017;44(2):124-30. Epub 2017/03/13. doi: 10.1017/S037689291700011X.
21. Pérez CA. ¿ Más Verde Dentro Que Fuera ? Efectos De Las Áreas Naturales Protegidas. 2019:1--67. PubMed PMID: Perez2019.
22. Wu J. *Landscape Ecology*. 2013:179--200. doi: 10.1007/978-1-4614-5755-8\_11.
23. McGarigal K, Marks BJ. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report - US Department of Agriculture, Forest Service. 1995;351(PNW-GTR-351). doi: 10.2737/PNW-GTR-351. PubMed PMID: McGarigal1995.
24. Cuenca P, Echeverria C. How do protected landscapes associated with high biodiversity and population levels change? *Plos One*. 2017;12(7):e0180537. doi: 10.1371/journal.pone.0180537. PubMed PMID: Cuenca2017.
25. Schulman L, Ruokolainen K, Junikka L, Sääksjärvi IE, Salo M, Juvonen S-K, et al. Amazonian biodiversity and protected areas: do they meet? *Biodiversity and Conservation*. 2007;16(11):3011-51. doi: 10.1007/s10531-007-9158-6.
26. Kharouba HM, Kerr JT. Just passing through: Global change and the conservation of biodiversity in protected areas. *Biological Conservation*. 2010;143(5):1094-101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.002>.
27. Saout SL, Hoffmann M, Shi Y, Hughes A, Bernard C, Brooks TM, et al. Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. 2013;342(6160):803-5. doi: doi:10.1126/science.1239268.
28. Mena CF. Trajectories of land-use and land-cover in the northern Ecuadorian Amazon: Temporal composition, spatial configuration, and probability of change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2008;74(6):737--51. doi: 10.14358/PERS.74.6.737. PubMed PMID: Mena2008.
29. Llerena-Montoya S, Velastegui-Montoya A, Zhirzhan-Azanza B, Herrera-Matamoros V, Adami M, de Lima A, et al. Multitemporal Analysis of Land Use and Land Cover within an Oil Block in the Ecuadorian Amazon. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021;10(3):191. doi: 10.3390/ijgi10030191. PubMed PMID: Llerena-Montoya2021.

30. Briones-Hidrovo A, Uche J, Martínez-Gracia A. Estimating the hidden ecological costs of hydropower through an ecosystem services balance: A case study from Ecuador. *Journal of Cleaner Production*. 2019;233:33-42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.068>.
31. Bremer LL, Farley KA, Lopez-Carr D. What factors influence participation in payment for ecosystem services programs? An evaluation of Ecuador's SocioPáramo program. *Land Use Policy*. 2014;36:122-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.002>.
32. Myers N, Mittermeyer RA, Mittermeyer CGa. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 2000;403(6772):853--8. doi: 10.1038/35002501. PubMed PMID: Myers2000a.
33. Leguia D, Moscoso F. Medidas y Acciones REDD+ Ecuador Aplicación del enfoque paisaje y flujo / stock. 2015.
34. López V, Espíndola F, Calles J, Ulloa J. Amazonía ecuatoriana bajo presión 2019.
35. Altmann P. Una breve historia de las organizaciones del Movimiento Indígena del Ecuador. 2013;(12):105-21.
36. Brito FN. Yasuní en el siglo XXI. El Estado ecuatoriano y la conservación de la Amazonía. *Íconos: Revista de Ciencias Sociales*. 2008;(30):121-3.
37. Jiménez Granizo MA, Jiménez Yáñez SF. Influencia del uso del suelo sobre la captura y almacenamiento de carbono, biodiversidad y productividad en la reserva de biósfera Sumaco Ecuador. 2015.
38. Benavente FA. Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el área Metropolitana de Granada. 2010;30(2):9--29.
39. McGarigal K. Landscape Pattern Metrics. *Encyclopedia of Environmetrics* 2013.
40. Pietzsch K. Giscame 2.0 -. 2015;49(0). PubMed PMID: Pietzsch2015.
41. Valdez C, Luna R, Corresponsal A. MARCO CONCEPTUAL Y CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CONCEPTUAL FRAMEWORK AND CLASSIFICATION OF ECOSYSTEM SERVICES Artículo de Revisión. *Revista Bio Ciencias*. 2012;1(4):15. PubMed PMID: Valdez2012a.

42. Furst C, Volk M, Pietzsch K, Makeschin F. Pimp your landscape: A tool for qualitative evaluation of the effects of regional planning measures on ecosystem services. *Environmental Management*. 2010;46(6):953--68. doi: 10.1007/s00267-010-9570-7. PubMed PMID: Furst2010.
43. Koo H, Kleemann J, Furst C. Impact assessment of land use changes using local knowledge for the provision of ecosystem services in northern Ghana, West Africa. *Ecological Indicators*. 2019;103:156--72. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.04.002. PubMed PMID: Koo2019.
44. Southgate D, Runge CF. Staff Papers Series The Institutional Origins of Deforestation in Latin America THE INSTITUTIONAL ORIGINS OF DEFORESTATION IN LATIN AMERICA. *Economic Catalyst to Ecological Change*. 1990;(January):1--24. PubMed PMID: Southgate1990.
45. Krause T, Loft L. Benefit Distribution and Equity in Ecuador's Socio Bosque Program. *Society & Natural Resources*. 2013;26(10):1170-84. doi: 10.1080/08941920.2013.797529.
46. Andam KS, Ferraro PJ, Pfaff A, Sanchez-Azofeifa GA, Robalino JA. Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008;105(42):16089--94. doi: 10.1073/pnas.0800437105. PubMed PMID: Andam2008.
47. Cuenca P, Arriagada R, Echeverra C. How much deforestation do protected areas avoid in tropical Andean landscapes? *Environmental Science and Policy*. 2016;56:56--66. doi: 10.1016/j.envsci.2015.10.014. PubMed PMID: Cuenca2016.
48. Alcamo J, Ribeiro T. Scenarios as tools for international environmental assessment: European Environment Agency; 2001.
49. de Groot RS, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*. 2010;7(3):260--72. doi: 10.1016/j.ecocom.2009.10.006. PubMed PMID: DeGroot2010.
50. Ureta JC, Vassalos M, Motallebi M, Baldwin R, Ureta J. Using stakeholders' preference for ecosystems and ecosystem services as an economic basis underlying strategic

conservation planning. *Heliyon*. 2020;6(12):e05827. Epub 2021/01/08. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05827. PubMed PMID: 33409394; PubMed Central PMCID: PMCPMC7773879.


51. Frank S, Fürst C, Koschke L, Witt A, Makeschin FJEi. Assessment of landscape aesthetics—Validation of a landscape metrics-based assessment by visual estimation of the scenic beauty. 2013;32:222-31.
52. Díaz S, Quétier F, Cáceres DM, Trainor SF, Pérez-Harguindeguy N, Bret-Harte MS, et al. Linking functional diversity and social actor strategies in a framework for interdisciplinary analysis of nature's benefits to society. 2011;108(3):895-902.
53. Caballero-Serrano V, Alday JG, Amigo J, Caballero D, Carrasco JC, McLaren B, et al. Social Perceptions of Biodiversity and Ecosystem Services in the Ecuadorian Amazon. *Human Ecology*. 2017;45(4):475--86. doi: 10.1007/s10745-017-9921-6. PubMed PMID: Caballero-Serrano2017.
54. Higuera D, Martín-López B, Sánchez-Jabba AJREC. Social preferences towards ecosystem services provided by cloud forests in the neotropics: implications for conservation strategies. 2013;13(4):861-72.
55. Bernard F, de Groot RS, Campos JJ. Valuation of tropical forest services and mechanisms to finance their conservation and sustainable use: A case study of Tapantí National Park, Costa Rica. *Forest Policy and Economics*. 2009;11(3):174-83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.02.005>.
56. Valarezo V, Célleri Y, Gómez J, Mejía L. Plan de manejo de la Reserva de biosfera Sumaco. 2017.
57. Izurieta JC, Erazo G, Larson AM, Cronkleton P. Desde nuestros ojos: La historia de los pueblos y bosques de Napo: CIFOR; 2014.
58. Delgado-Aguilar MJ, Hinojosa L, Schmitt CB. Combining remote sensing techniques and participatory mapping to understand the relations between forest degradation and ecosystems services in a tropical rainforest. *Applied Geography*. 2019;104:65--74. doi: 10.1016/j.apgeog.2019.02.003. PubMed PMID: Delgado-Aguilar2019.
59. Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre 2004: Quito.

60. Nowak DJ, Hirabayashi S, Bodine A, Greenfield E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. 2014;193:119-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>.
61. Tian H, Melillo JM, Kicklighter DW, McGuire AD, Helfrich Iii J, Moore Iii B, et al. Climatic and biotic controls on annual carbon storage in Amazonian ecosystems. *2000*;9(4):315-35. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00198.x>.
62. Alamgir M, Turton SM, Macgregor CJ, Pert PL. Assessing regulating and provisioning ecosystem services in a contrasting tropical forest landscape. *Ecological Indicators*. 2016;64:319-34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.016>.
63. Turton SM. Securing Landscape Resilience to Tropical Cyclones in Australia's Wet Tropics under a Changing Climate: Lessons from Cyclones Larry (and Yasi). *2012*;50(1):15-30. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2011.00724.x>.
64. Edwards DP, Tobias JA, Sheil D, Meijaard E, Laurance WF. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*. 2014;29(9):511-20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.07.003>.
65. Edwards DP, Ansell FA, Ahmad AH, Nilus R, Hamer KC. The Value of Rehabilitating Logged Rainforest for Birds. *Conservation Biology*. 2009;23(6):1628-33. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01330.x>.






**Biomasa para vestimenta, decoración, etc. (fibras y otros materiales de plantas y animales)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		


Comentarios:

**Biomasa para construcción (fibras y otros materiales de plantas, principalmente madera)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		


Comentarios:

**Biomasa para energía renovable (fibras y otros materiales de plantas, principalmente madera)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		


Comentarios:

**Material genético de toda la biota (incluye producción de semillas, esporas o gametos)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		

Comentarios:

**Agua potable**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		

Comentarios:

**Agua para riego, cocción, lavado, etc.**

Nada importante		←—————→				Muy importante
0	1	2	3	4	5	

Comentarios:

**Agua para energía (energías renovables)**

Nada importante		←—————→				Muy importante
0	1	2	3	4	5	

Comentarios:

**Regulación y mantenimiento de los servicios ecosistémicos**

**Regulación de la calidad del aire (por ejemplo, filtración de aerosoles, suministros de oxígeno)**

Nada importante		←—————→				Muy importante
0	1	2	3	4	5	

Comentarios:

**Control de la erosión del suelo (por ejemplo, hileras de árboles, cubierta vegetal)**

Nada importante		←—————→				Muy importante
0	1	2	3	4	5	


Comentarios:

**Purificación de agua (filtración de desechos o sustancias tóxicas)**

Nada importante		←—————→				Muy importante
0	1	2	3	4	5	


Comentarios:

**Regulación del flujo de agua (por ejemplo, control de inundación por humedales)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		


Comentarios:

**Control de plagas y enfermedades (por ejemplo, por aves en tierra cultivables y otros insectos depredadores)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		


Comentarios:

**Polinización y dispersión de semillas (por ejemplo, por abejas, murciélagos, pájaros)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		


Comentarios:

**Regulación del microclima (por ejemplo, sombra, reducción de islas de calor)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		

Comentarios:


**Regulación del macro clima (almacenamiento a largo plazo de gases de efecto invernadero en los ecosistemas y su influencia en el clima global)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		

Comentarios:


**Servicios ecosistémicos culturales**

**Recreación y turismo (por ejemplo, trotar y caminar)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		


Comentarios:

**Educación Ambiental (por ejemplo, conocimiento tradicional y experticia)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		


Comentarios:

**Experiencia religiosa y espiritual (por ejemplo, características y lugares naturales sagrados)**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		

Comentarios:

**Paisaje estético y recreación**

Nada importante						Muy importante	
0	1	2	3	4	5		

Comentarios:

## Encuesta A2

**Plantilla de la segunda encuesta para saber la provisión de cada servicio ecosistémico relevante por cada ecosistema/cobertura de suelo.**

Con base a su información proporcionada en la primera encuesta, hemos identificado un conjunto de servicios ecosistémicos para el Ecuador, que incluyen diez servicios ecosistémicos relacionados con aprovisionamiento, regulación y cultural.

Le pedimos de la manera más amable que complete la tabla siguiente **con valores van desde cero (0) (la capacidad mínima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar los servicios ecosistémicos específicos) hasta diez (10) (la capacidad máxima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar los servicios ecosistémicos específicos)**. Hemos proporcionado una lista de 10 tipos de ecosistemas y cuatro (4) tipos de cobertura del suelo: agua, tierras agrícolas, área poblada e infraestructura. Puede encontrar una descripción general de los tipos de ecosistemas en la página del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>

### **Aprovisionamiento de servicios ecosistémicos**

**Valores van desde** cero (0) (la capacidad mínima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar los servicios ecosistémicos específicos) hasta diez (10) (la capacidad máxima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar el servicio ecosistémicos específicos).

<b>Tipo de ecosistema / Tipo de cobertura del suelo</b>	<b>Alimento (0-10)</b>	<b>Agua potable (0-10)</b>	<b>Material genético de toda la biota (0-10)</b>
Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo			
Bosque inundado de la llanura aluvial de la Amazonía			
Bosques siempreverdes de tierras bajas de la Amazonía			
Bosque siempreverde montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes			
Bosque siempreverde piemontano y montano de Galeras			
Bosque siempreverde montano bajo del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes			
Bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes			
Herbazal del Páramo			
Herbazal inundado lacustre-ripario de la llanura aluvial de la Amazonía			

Rosetal caulescente y Herbazal del Páramo (frailejones)			
Agua			
Tierra agropecuaria			
Area poblada			
Infraestructura			

### **Regulación de los servicios ecosistémicos**

Valores van desde cero (0) (la capacidad mínima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar los servicios ecosistémicos específicos) hasta diez (10) (la capacidad máxima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar el servicio ecosistémicos específicos).

<b>Tipo de ecosistema / Tipo de cobertura del suelo</b>	<b>Regulación de la calidad del aire (0-10)</b>	<b>Control de la erosión del suelo (0-10)</b>	<b>Purificación de agua (0-10)</b>	<b>Regulación del flujo de agua (0-10)</b>	<b>Polinización y dispersión de semillas (0-10)</b>	<b>Regulación del macroclima (0-10)</b>
Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo						
Bosque inundado de la llanura aluvial de la Amazonía						
Bosques siempreverdes de tierras bajas de la Amazonía						
Bosque siempreverde montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes						
Bosque siempreverde piemontano y montano de Galeras						
Bosque siempreverde montano bajo del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes						
Bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes						
Herbazal del Páramo						
Herbazal inundado lacustre-ripario de la llanura aluvial de la Amazonía						

Rosetal caulescente y Herbazal del Páramo (frailejones)						
Agua						
Tierra agropecuaria						
Area poblada						
Infraestructura						

### **Servicios ecosistémicos culturales y biodiversidad**

Valores van desde cero (0) (la capacidad mínima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar los servicios ecosistémicos específicos) hasta diez (10) (la capacidad máxima del tipo de ecosistema/tipo de cobertura del suelo para proporcionar el servicio ecosistémicos específicos).

<b>Tipo de ecosistema / Tipo de cobertura del suelo</b>	<b>Educación Ambiental (0-10)</b>
Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo	
Bosque inundado de la llanura aluvial de la Amazonía	
Bosques siempreverdes de tierras bajas de la Amazonía	
Bosque siempreverde montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Ande	
Bosque siempreverde piemontano y montano de Galeras	
Bosque siempreverde montano bajo del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	
Bosque siempreverde piemontano de la Cordillera Oriental de los Andes	
Herbazal del Páramo	
Herbazal inundado lacustre-ripario de la llanura aluvial de la Amazonía	
Rosetal caulescente y Herbazal del Páramo (frailejones)	
Agua	
Tierra agropecuaria	
Area poblada	
Infraestructura	