

# Valoración de bienes y servicios ambientales del Bosque Protector Cerro Golondrinas en Carchi - Ecuador

## *Valuation of environmental goods and services of the Cerro Golondrinas Protected Forest in Carchi - Ecuador*

Karol Dennise Arellano Pérez<sup>1,\*</sup> y Iván Fernando Palacios Orejuela<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE". Sangolquí, Ecuador, ifpalacios@espe.edu.ec

<sup>2</sup> Dirección de Planificación, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Morona. Macas, Ecuador.

\* Autor para correspondencia: ifpalacios@espe.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 27/05/2022    Fecha de aceptación del manuscrito: 08/09/2022    Fecha de publicación: 29/12/2022

**Resumen**—La importancia de un bosque protector radica en los múltiples bienes y servicios ambientales que brinda tanto al ser humano como al sistema ecológico en general. Sin embargo, estas áreas naturales se ven afectadas por presiones antrópicas que amenazan su conservación en el tiempo. El Bosque Protector Cerro Golondrinas es una de las pocas reservas naturales ubicada dentro de la región biogeográfica del Chocó ecuatoriano. El objetivo del estudio fue valorar económicamente los bienes y servicios ambientales, mediante la aplicación de los métodos precios de mercado y costo de oportunidad, para evidenciar el potencial cultural, natural, escénico, científico y social de este bosque. Se definieron siete servicios ambientales en función de sus aspectos ambientales y socioeconómicos: captura y almacenamiento de carbono, extracción de madera, provisión de agua de riego, provisión de agua para consumo humano, uso de suelo para producción de leche, preservación de la biodiversidad y turismo. La extracción de madera obtuvo el mayor valor con 12.496.011,81 USD, seguido de la captura y almacenamiento de carbono (11.198.586,26 USD), uso de suelo para producción de leche (2.096.884,85 USD), biodiversidad (251.472,04 USD), belleza escénica (3.173,1 USD), agua para riego (919,34 USD) y agua para consumo humano (44,03 USD), con un valor total de 26.047.091,43 USD, una cifra considerable que resalta la importancia de su conservación y protección.

**Palabras clave**—Chocó ecuatoriano, Precios de mercado, Costo de oportunidad, Presiones antrópicas.

**Abstract**—The importance of a protective forest lies in the multiple environmental goods and services it provides both to humans and to the ecological system in general. However, these natural areas are affected by anthropic pressures that threaten their conservation over time. The Cerro Golondrinas Protected Forest is one of the few natural reserves located within the biogeographic region of the Ecuadorian Chocó. The objective of the study was to economically value environmental goods and services by applying market price and opportunity cost methods to demonstrate the cultural, natural, scenic, scientific and social potential of this forest. Seven environmental services were defined according to their environmental and socioeconomic aspects: carbon storage, timber extraction, irrigation water supply, water supply for human consumption, land use for dairy cattle, biodiversity preservation and tourism. Timber extraction obtained the highest value with 12.496.011,81 USD, followed by carbon storage (11.198.586,26 USD), land use for dairy cattle (2.096.884,85 USD), biodiversity (251.472,04 USD), scenic beauty (3.173,1 USD), water for irrigation (919,34 USD) and water for human consumption (44,03 USD), with a total value of 26.047.091,43 USD, a considerable amount that highlights the importance of its conservation and protection.

**Keywords**—Ecuadorian Chocó, Market prices, Opportunity cost, Anthropic pressures.

## INTRODUCCIÓN

Una problemática a la que se enfrenta el mundo en la actualidad es el manejo de los ecosistemas naturales de una forma sostenible, y al mismo tiempo asegurar las necesidades económicas de las poblaciones que manejan estos recursos (Orellana & Lalvay, 2018). Durante muchos años, las metas de la conservación y del crecimiento económico parecían difíciles de compatibilizar, debido a que la planifi-

cación de la conservación enfatizaba poco la importancia del desarrollo económico, al mismo tiempo que la planificación económica ignoraba al aspecto ambiental, y que irónicamente, ambos sectores comparten con frecuencia metas similares (Izco & Burneo, 2003).

Se han dado grandes pasos para alcanzar una mejor comprensión del valor económico total de los bosques sudamericanos. Estudios de diversos países del mundo, incluido América del Sur, han mostrado cómo ciertos bosques manejados

sosteniblemente producen altos valores económicos (Riviera et al., 2013; Vázquez, 2019), debido a que sus productos ingresan en el comercio internacional, obtienen regalías gubernamentales, generan ingresos para el sector, apoyan las estrategias de supervivencia de las comunidades, y proveen servicios y bienes básicos que posibilitan la supervivencia humana.

En Ecuador, el 33,26% del territorio nacional abarca el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), las cuales se encuentran distribuidas en todo el territorio continental e insular, albergando una importante riqueza biológica y servicios ecosistémicos de los que se benefician tanto poblaciones urbanas como rurales a través del turismo y la recreación (MAE, 2018). El Código Orgánico del Ambiente (COA) que deroga a la anterior Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, determina diferentes tipos de áreas para conservación, protección y producción, que están a cargo del Ministerio del Ambiente (actualmente denominado Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – MAATE), cada una con un tratamiento distinto, acorde a sus características ecológicas y la categoría de manejo que se le asigne. Dentro de esta ley, se incluye como un área significativa el Patrimonio Forestal del Estado, que determina áreas para protección como es el caso de los Bosques Protectores (Asamblea Nacional, 2017). Los bosques protectores por su naturaleza y funciones constituyen áreas de conservación y manejo sustentable; sin embargo, no se encuentran necesariamente en manos del Estado y su declaratoria está supeditada a la voluntad de sus propietarios en caso de ubicarse en zonas de dominio privado (Puente, 2008).

Según la información que maneja el ministerio del ramo, existen actualmente 168 zonas declaradas como bosques y vegetación protectores, de los cuales el 55,35%, el 20,84% y el 23,81% se encuentran en las regiones Sierra, Costa y Amazonía respectivamente. Una de estas áreas es el Bosque Protector Cerro Golondrinas (BPCG), el cual forma parte de la Región Biogeográfica del Chocó, considerada como una de las 25 regiones más ricas en biodiversidad de la Tierra (Botsch et al., 2017; Pérez et al., 2019). El Cerro Golondrinas constituye un hábitat importante de flora y fauna, con características singulares de riqueza, variedad y endemismo (Fundación ALTROPICO, 2015), razón por la que resalta la importancia de valorar sus servicios ecosistémicos para aproximar y cuantificar el potencial de dicha área protegida. Estudios realizados en el país que han valorado áreas protegidas, proponen este tipo de análisis como una herramienta fundamental para la protección y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Palacios & Rodríguez, 2021), como insumo dentro de los instrumentos de planificación del territorio (Palacios, 2020), e instrumento para la lucha y gestión de la mitigación del cambio climático (Palacios & Arellano, 2021).

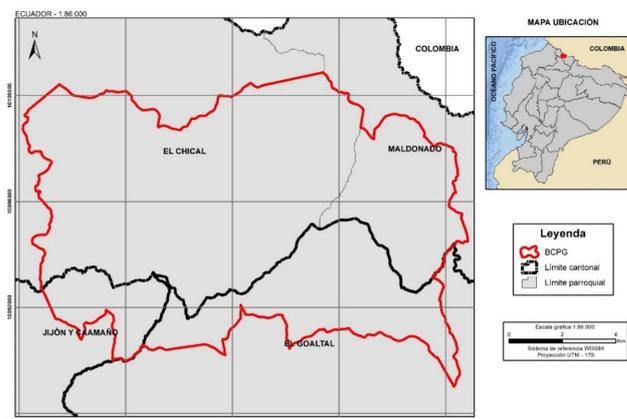
El objetivo de la presente investigación fue valorar económicamente bienes y servicios ambientales del Bosque Protector Cerro Golondrinas, tales como: captura y almacenamiento de carbono, extracción de madera, provisión de agua de riego, provisión de agua para consumo humano, uso de suelo para producción de leche, preservación de la biodiversidad, y turismo, mediante la aplicación de los métodos precios de mercado y costo de oportunidad, para evidenciar el potencial cultural, natural, escénico, científico y social de es-

ta área natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El Bosque Protector Cerro Golondrinas está ubicado al Norte de la región septentrional del Ecuador, específicamente al noroccidente de la provincia del Carchi. Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 0°51'54,82" de Latitud Norte y 78° 9'38,05" de Longitud Oeste, cuya superficie se emplaza entre los cantones Tulcán, Espejo y Mira, e involucra a las parroquias Maldonado, El Chical, Jacinto Jijón y Caamaño, y El Goaltal (Figura 1). Desde el punto de vista hidrológico, abarca el área de drenaje de varios ríos relevantes como el Mira y San Juan (Fundación ALTROPICO, 2015).



**Fig. 1:** Mapa de ubicación del Bosque Protector Cerro Golondrinas (BPCG).

Fuente: elaboración propia

El Cerro Golondrinas fue declarado en el año 1995 como bosque protector por el INEFAN, actualmente Ministerio del Ambiente, mediante el Acuerdo 005 del 31 de enero. Alcanza una superficie de 14062 hectáreas aproximadamente, aunque el trabajo realizado por el Centro de Información Ambiental (CIAM - MAE) y el grupo de apoyo institucional en 2005 determinaron in situ que tiene una superficie de 13.509 hectáreas (área usada para fines de este estudio), es decir 553 hectáreas menos de lo que consta en la declaratoria inicial, cuyos límites se describen en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Límites del Bosque Protector Cerro Golondrinas.

Punto	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	0°54' 52"	78°07' 46"
2	0°48' 25"	78°05' 08"
3	0°51' 26"	78°04' 52"
4	0°51' 38"	78°14' 01"

Fuente: (Fundación ALTROPICO, 2015)

El Bosque Protector Cerro Golondrinas se encuentra dentro de la Región Biogeográfica del Chocó; constituye un espacio clave en el Corredor Biológico Multi-altitudinal Chiles – Mataje, que comienza en la Reserva Ecológica el Ángel a 4.000 m.s.n.m., e incluye la Comuna Indígena La Esperanza y el Territorio Indígena Awá, terminando en el cantón San Lorenzo de la Provincia de Esmeraldas, a 80 m.s.n.m. con

una temperatura promedio anual de 22,9 °C. Entre los aspectos biológicos se destacan la flora, fauna y ecosistemas propios del área, que permiten el desarrollo de muchas especies endémicas. Gran parte de esta área protegida corresponde a Bosque Siempreverde Montano Bajo (1.300-1.800 msnm) y en menor porcentaje a una transición entre Bosque Siempreverde Montano Bajo (1.800-3.000 m.s.n.m.) y Bosque de Neblina Montano (3.000-3.400 msnm) (Fundación ALTROPICO, 2015).

Socialmente, las poblaciones de las parroquias Chical, Maldonado, Jijón y Caamaño y El Goaltal comparten necesidades de desarrollo similares en la zona de intervención. Las principales actividades económicas de la zona son la agricultura y ganadería. El 15 % de la población que trabaja tiene actividades agrícolas y ganaderas, el 67 % de la población son jornaleros de las diferentes actividades agrícolas, el 6 % son empleados formales asalariados y el resto pertenecen a otras actividades productivas entre las que están la explotación maderera y el comercio. La presión ejercida por colonos sobre el área, la deforestación y la ampliación de fronteras agropecuarias, constituyen los más apremiantes problemas que afectan actualmente al bosque protegido (Fundación ALTROPICO, 2015).

### Métodos de valoración de la economía ambiental

En función de los aspectos ambientales y socioeconómicos característicos del BPCG, se definieron las metodologías a utilizar, así como los bienes y servicios a ser valorados. En este caso, se utilizaron métodos basados en valores de mercado y precios de mercado ( $\alpha$ ) para la captura y almacenamiento de carbono (CAC), y la extracción de madera (EM), mientras que costo de oportunidad ( $\beta$ ) fue usado para la provisión de agua de riego (PAR), la provisión de agua para consumo humano (PACH), y el uso de suelo para producción de leche (USPL). Finalmente, la transferencia de beneficios ( $\delta$ ) se consideró para la preservación de la biodiversidad (PB) y la belleza escénica (BE). Matemáticamente, la valoración de los servicios ambientales (VSA) del BPCG se puede expresar de la siguiente forma (Palacios & Rodríguez, 2021):

$$VSA = \sum \alpha + \beta + \delta \quad (1)$$

$$\alpha = CAC + EM \quad (2)$$

$$\beta = PAR + PACH + USG \quad (3)$$

$$\delta = PB + BE \quad (4)$$

Además, para la cuantificación de los bienes y servicios mencionados fue necesario obtener información secundaria de diversas fuentes, en su mayoría entidades públicas del Ecuador y otras de organismos internacionales. En cuanto a la captura y almacenamiento de carbono y la extracción de madera se usaron datos oficiales del MAATE, el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) (MAE, 2010; MAE & FAO, 2014) y la Corporación de Manejo Forestal Sustentable (COMAFORS) (COMAFORS, 2010); por su parte, para la provisión de agua de riego, agua para consumo humano, uso de suelo para producción de leche y el turismo, se consideraron datos del Gobierno Autónomo Descentralizado del Carchi (GAD Carchi) (GAD Carchi, 2019), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (MAGAP, 2011,

2013, 2014), de la anterior Secretaría del Agua (SENAGUA) (Secretaría del Agua, 2017), el Sistema Nacional de Información (SNI) y del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (INEC, 2012, 2016). Por último, para la preservación de la biodiversidad se utilizó información de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Izco & Burneo, 2003).

### Precios de Mercado

El método se basa tanto en los precios de mercado como en la cantidad/calidad de información relacionada para derivar valores totales. Muchos de los bienes y servicios de los bosques se negocian en mercados organizados en ámbitos locales e internacionales, en los que se incluyen productos maderables (madera y leña para combustible) y no-maderables (alimentos, medicinas, artesanías, etc.), que son relacionados con cultivos, ganadería, cacería, pesca y recreación (Izco & Burneo, 2003).

#### a) Captura y Almacenamiento de carbono (CACI)

Este servicio se deriva del importante rol que cumplen los bosques en el ciclo natural del carbono a nivel mundial, ya que capturan el  $CO_2$  de la atmósfera y liberan  $O_2$  mediante la fotosíntesis, almacenando componentes de carbono en su estructura vegetal (Percy et al., 2003). Los bosques, al igual que el suelo y los océanos, son considerados sumideros de carbono naturales que permiten mantener en equilibrio la composición química de la atmósfera, sin embargo, debido a la intensificación de ciertas actividades antrópicas (cambio de cobertura y uso de suelo, quema de combustibles fósiles, etc.), su capacidad de intercambio de carbono con la atmósfera se ha visto alterada, lo cual contribuye a agravar el problema del cambio climático (IPCC, 2000).

Para la obtención de la cobertura del suelo, se trabajó con imágenes Sentinel 2A de noviembre de 2020 (fecha más reciente de escena libre de nubes en el área de estudio), a la cual se aplicaron correcciones radiométricas y atmosféricas previo a realizar la clasificación supervisada para evitar errores en la identificación de coberturas (Arellano et al., 2020; Cepeda et al., 2018; Palacios et al., 2021). El tratamiento de la imagen satelital y la clasificación fueron realizadas en el software QGIS con el plugin Clasificación Semi-automática (SCP, del inglés Semi-Automatic Classification Plugin), en el que se usó el método de Máxima Verosimilitud para la determinación de las diversas coberturas existentes, debido a su buen desempeño en zonas heterogéneas (Arellano et al., 2019). En la Tabla 2 se muestra la superficie calculada de cada cobertura del suelo en el bosque protector.

**Tabla 2:** Coberturas del suelo dentro del Bosque Protector Cerro Golondrinas, Carchi, Ecuador.

Cobertura del suelo	Superficie	
	Hectáreas	Porcentaje (%)
Bosque	12.243,04	90,63
Cultivo	103,75	0,77
Pastizal	1.158,01	8,57
Vegetación arbustiva	0,24	0,00
Otros	3,96	0,03
Total	13.509,0	100

Para estimar la captura anual de  $CO_2$  es necesario conocer el valor total y promedio de carbono almacenado por estrato de bosque en el Ecuador continental. La relativa homogeneidad vegetal del estrato, su cobertura, su estado de conservación y principalmente la densidad de árboles explican el valor de carbono por hectárea (Brown, 2002). Una vez identificado el tipo de estrato al que pertenece el bosque a analizar y su área, es necesario investigar el estado del mercado de carbono, el cual asigna un precio por tonelada almacenada, que permitiría estimar un valor total a las reducciones de carbono generadas por el bosque (MAE & FAO, 2014). El valor de carbono capturado y almacenado, según la metodología planteada por Domínguez (2016), viene dado por la siguiente ecuación:

$$CO_{2capturado} = CC * CV \quad (5)$$

Donde CC: Promedio de almacenamiento de  $CO_2$  por ha (t/ha); CV: Área del bosque (ha). En función del resultado obtenido en la ecuación (5), y del precio de mercado de carbono, se procede a calcular el valor de este servicio mediante la expresión:

$$Valor_{CAG} = CO_{2capturado} * PCO_2 \quad (6)$$

Donde P  $CO_2$ : Precio por tonelada almacenada de carbono (\$/t).

#### b) Extracción de madera (EM)

La utilización de la madera es clave para el desarrollo de la sociedad ecuatoriana. El debilitamiento del sector representa un peligro de desestabilización en la economía, debido a las interrelaciones productivas existentes y a la generación de empleo directo e indirecto de muchos finqueros, comunidades indígenas, asociaciones de propietarios pequeños y empresas que dependen del bosque para su sustento económico (COMAFORS, 2010). En Ecuador, la mayor parte de la madera que se consume proviene de plantaciones forestales, seguida de aquella madera proveniente de formaciones pioneras, sistemas agroforestales y bosques naturales (MAE, 2010).

Para determinar el precio de la extracción de madera, se debe conocer el aprovechamiento forestal autorizado promedio en una superficie de bosque nativo (el cual está en función del tipo de ecosistema existente), que varía de acuerdo a la provincia a la que pertenece, posteriormente se determina el área del bosque apta para esta actividad de extracción de madera, y finalmente se indaga el precio de mercado que se le asigna al volumen de madera extraído de un bosque nativo (MAE, 2010). A partir de esos datos, se determina la fórmula para determinar el valor de aprovechamiento forestal (7) y valorar la extracción de madera (8).

$$Ap_{Forestal} = \frac{V_{aprobado}}{S_{autorizado}} \quad (7)$$

Donde  $Ap_{Forestal}$ : Volumen madera aprobada para aprovechamiento forestal por hectárea ( $m^3/ha$ );  $V_{aprobado}$ : Volumen de madera aprobado;  $S_{autorizado}$ : Superficie autorizada.

$$Valor_{EM} = Ap_{Forestal} * A * P_{madera} \quad (8)$$

Donde A: Área del bosque (ha) y  $P_{madera}$ : Precio de mercado de la madera (\$/ $m^3$ ).

#### Costo de Oportunidad

Este método se basa en la idea de que los costos de utilizar un recurso para ciertas actividades que no son comercializados o no tienen precios establecidos en un mercado, pueden ser estimados usando como aproximación la variable ingreso perdido (o no recibido) por dejar de utilizar el recurso frente a otros usos alternativos que sí tienen precios de mercado (Izco & Burneo, 2003).

#### c) Provisión de agua de riego (PAR)

El agua de riego es un recurso fundamental y de suma utilidad para las actividades agropecuarias. Las características geosociales, hidrológicas, agroproductivas y culturales del país presentan perspectivas muy importantes para el desarrollo de la agricultura, donde el desarrollo integral del riego constituye uno de los medios fundamentales para lograrlo; no obstante, se requiere de un aprovechamiento óptimo, considerando su escasez en algunas zonas del país (MAGAP, 2011). El BPCG dentro de su extensión, es el hogar de cinco microcuencas cuyas zonas de recarga hídrica se encuentran circunscritas en la parte alta de esta área protegida, lo cual realza la importancia de proteger y cuantificar el servicio ambiental que existe. Las microcuencas de los ríos Pablo, Cumbe, Plata, Río Blanco y Gualpi son las que se emplazan en el bosque protector, como se observa en la Figura 2.

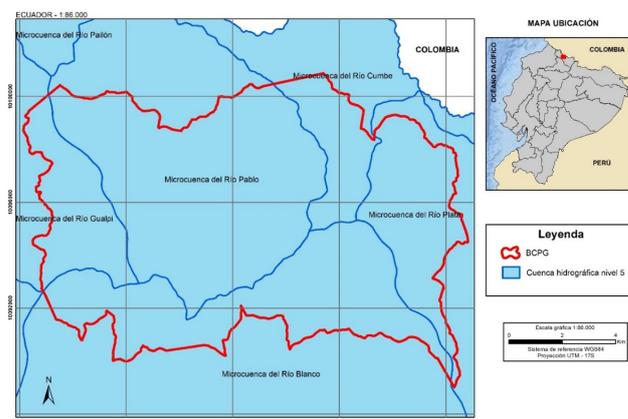


Fig. 2: Mapa de microcuencas intersecantes con el Bosque Protector Cerro Golondrinas (BPCG).

Fuente: elaboración propia.

En la valoración económica del servicio de provisión de agua de riego, fue necesario conocer el caudal promedio de riego y las hectáreas que fueron regadas, con la finalidad de obtener un caudal de riego promedio por hectárea anualmente, además de conocer el área que se vería beneficiada de este servicio, y una tarifa que determine un precio para cierto volumen de agua de acuerdo con el uso y aprovechamiento de riego. Mediante estas variables, se determina la siguiente relación:

$$Q_{riego} = \frac{Q_{prom}}{A_{regada}} \quad (9)$$

Donde  $Q_{prom}$ : Caudal promedio de riego (L/s) y  $A_{regada}$ : Área regada anualmente (ha). Una vez obtenido el caudal de riego promedio anual, se procede a calcular el valor total, mediante la ecuación:

$$V_{PAR} = Q_{riego} * A * T \quad (10)$$

Donde  $Q_{riego}$ : Caudal promedio de riego anual por hectárea ( $m^3/año/ha$ ); A: Superficie beneficiada por el riego (ha) y T: Precio a pagar por el consumo de un volumen de agua ( $\$/m^3$ ).

#### d) Provisión de agua para consumo humano (PACH)

El agua es un elemento importante para la vida, pero lamentablemente no siempre se encuentra en condiciones aptas para el consumo humano; por ello, una educación ambiental e información sobre los peligros del consumo de agua contaminada es vital para proteger la salud de la población (Carrera, et al., 2021).

En cuanto al PACH, fue necesario conocer variables como el consumo mensual promedio de agua potable por familia en la respectiva provincia, el número de personas por familia y obtener el consumo promedio de agua potable por persona al año, el total de habitantes que se verían beneficiados por ese bien, y la tarifa que determine un precio para cierto volumen de agua de acuerdo con el uso y aprovechamiento de consumo humano. Finalmente, la expresión matemática para determinar su valor se resume en la ecuación (11):

$$V_{PACH} = P_{persona} * P * T \quad (11)$$

Donde  $P_{persona}$ : Consumo de agua anual promedio de una persona ( $m^3/hab/año$ ); P: Habitantes beneficiados del servicio (hab) y T: Precio a pagar por el consumo de un volumen de agua ( $\$/m^3$ ).

#### e) Uso de suelo para producción de leche (USPL)

En el contexto del presente estudio, el uso del suelo se refiere a la categoría de utilización de las tierras en el sector rural del país, generalmente relacionado con actividades como la ganadería y agricultura por la aptitud agrícola del suelo (Palacios et al., 2018, 2020). La ganadería es una actividad económica muy importante a nivel del país, principalmente centrada en el ganado vacuno (MAGAP, 2014).

Valorar el uso de suelo mediante la actividad ganadera, y en específico en la producción de leche de ganado vacuno, es un procedimiento ampliamente usado, ya que permite relacionarlo directamente con el ingreso económico potencial de cierto territorio (Palacios & Rodríguez, 2021). Para ello es necesario conocer variables como el promedio de litros de leche que una vaca produce en el día, el número de cabezas de ganado vacuno o carga animal por hectárea, el área destinada a ese tipo de actividad y finalmente un precio definido por litro de leche. De acuerdo a estos datos, se puede determinar la siguiente expresión:

$$V_{USG} = C_{animal} * A * P_{leche} * R_{leche} \quad (12)$$

Donde  $C_{animal}$ : Carga animal (vaca/ha); A: Superficie destinada a esa actividad (ha);  $P_{leche}$ : Precio del litro de leche ( $\$/L$ ) y  $R_{leche}$ : Rendimiento de una vaca en litros de leche (L/vaca/día).

#### Transferencia de Beneficios

Este es un método relativamente sencillo y es aplicable para aquellos recursos forestales que no tienen mercado o que son utilizados directamente. El valor puede ser calculado

a partir del precio de mercado de bienes similares o el valor de la mejor alternativa o bien sustituto (King et al., 2016). El alcance para el cual el valor del bien de mercado alternativo refleja el valor del bien ambiental en cuestión depende del grado de similitud o sustitución entre ellos (Izco & Burneo, 2003).

#### f) Preservación de biodiversidad (PB)

La biodiversidad cumple una gran variedad de funciones en el ecosistema y puede, a la vez, producir innumerables beneficios por su riqueza como fuente de materia prima e ingredientes para la producción química, industrial y de medicamentos. Asignar un precio para la preservación de la biodiversidad es muy complicado; sin embargo, estudios diversos a través de la relación con medidas de biodiversidad permiten obtener un valor promedio de lo que las personas estarían dispuestas a pagar por la preservación de una hectárea del bosque (González, 2015). Esto se puede traducir matemáticamente mediante la ecuación:

$$V_{PB} = P_{bio} * A \quad (13)$$

Donde:  $P_{bio}$ : Precio estimado a pagar por la preservación de una hectárea del bosque ( $\$/ha$ ) y A: Superficie del bosque (ha).

#### g) Belleza escénica (BE)

Este servicio hace alusión a las cualidades estéticas y la variedad casi ilimitada de paisajes, cuyo entorno natural permiten realizar diversas actividades recreativas (senderismo, pesca, investigación de la naturaleza, etc.) (de Groot et al., 2002). En tal sentido, los diversos ecosistemas individuales y su conjunto constituyen un atractivo con gran potencial futuro para el ecoturismo debido al aumento en la demanda de actividades recreativas en zonas naturales (Izco & Burneo, 2003).

Una de las metodologías más utilizadas para determinar el valor de este servicio es el Modelo de Costo de Viaje; sin embargo, para ello es necesario contar con información acerca de los visitantes, sus ingresos, la disponibilidad a pagar y los lugares de donde visitan, cuyos datos son levantados mediante encuestas o entrevistas, de tal manera que se genere información confiable (Játiva, 2019).

## RESULTADOS

### a) Captura y Almacenamiento de carbono (CAC)

El 66,45% del Bosque Protector Cerro Golondrinas corresponde a un ecosistema Bosque siempreverde montano de la Cordillera Occidental de los Andes (el resto de superficie corresponde a zonas intervenidas y sin información), cuyas características ingresan dentro de la categoría de un estrato Siempreverde Andino Montano que presenta un almacenamiento promedio de carbono de 125,3 t/ha (MAE & FAO, 2014). Según la superficie calculada de las coberturas del suelo existentes en el BPCG (Tabla 2), el bosque natural abarca 12.243,04 ha aproximadamente. Acorde con información oficial del MAE y FAO (2014), para el año 2013 se reportó que la tonelada de reducciones de  $CO_2$  transada para proyectos de manejo forestal sostenible tuvo una media de

7,3 \$/t. Al reemplazar estos valores en las ecuaciones (5) y (6), se obtiene un valor económico de 11.198.586,26 dólares americanos.

#### *b) Extracción de madera (EM)*

La forma de explotación forestal en el BPCG y zonas aledañas se realiza en la mayoría de los casos de una manera ilegal y en baja escala, sin respetar las normas y disposiciones referentes a la tala y comercialización de la madera (Fundación ALTROPICO, 2015). La provincia de Carchi es donde se encuentran ubicada esta área protegida, y que según con el MAE (2010), anualmente posee un volumen aprobado de madera de 148,46  $m^3$  y una superficie autorizada de 8 ha; además, en función de la cobertura del suelo descrita en la Tabla 2, se tiene un área total de 12.243,04 ha. Estudios realizados por COMAFORS (2010), en términos de economía ecuatoriana, consideran un precio promedio de 55 \$/ $m^3$ . En función de estos datos se procede a aplicar las ecuaciones (7) y (8) respectivamente, para obtener un valor final de 12.496.011,81 dólares americanos.

#### *c) Provisión de agua de riego (PAR)*

En la provincia de Carchi, en su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019 – 2023, se señala un total de 156 sistemas de riego en su territorio, en los que se han concesionado 12.452,92 L/s para regar una superficie aproximada de 38.211 ha (GAD Carchi, 2019). Con estos datos, se resuelve la ecuación (9) para obtener un caudal promedio de 0,33 L/s/ha, que expresado en otras unidades equivale a 10.406,88  $m^3$ /año/ha. El área que necesitaría del servicio PAR se calculó en función de las coberturas del suelo de cultivos, pastizales y vegetación arbustiva, que resultan una sumatoria de 1.262 ha de superficie (acorde a la Tabla 2). Finalmente, de acuerdo con las tarifas por los usos y aprovechamientos de agua definidos por un estudio realizado en 2017 por la anterior SENAGUA, se calcula que para riego es suficiente un caudal inferior a 0,5 L/s, con una tarifa de 0,00007 \$/ $m^3$  (Secretaría del Agua, 2017). A partir de esos datos, se determina el valor total de este servicio al sustituir los valores en la ecuación (10), resultando en 919,34 dólares americanos.

#### *d) Provisión de agua para consumo humano (PACH)*

El BPCG constituye la fuente de agua dulce más importante para las 4 parroquias que lo rodean (Maldonado, El Chical, Jacinto Jijón y Caamaño, El Goaltal). En Carchi, de acuerdo con estadísticas del INEC, se determina que el consumo mensual promedio de agua por familia es de 26,38  $m^3$ /familia, además se verifica que el número de personas promedio en una familia para las cuatro parroquias es de 4 personas; por lo tanto, se obtiene un consumo mensual de 6,6  $m^3$ /hab y anual de 79,14  $m^3$ /hab. Además, el número de habitantes en las cuatro parroquias es de 7.948 (INEC, 2012). Finalmente, según las tarifas por los usos y aprovechamientos de agua definidos por la anterior SENAGUA, para consumo humano se cobra una tarifa de 0,00007 \$/ $m^3$  (Secretaría del Agua, 2017). Con esta información se procede a aplicar la ecuación (11) de forma directa, para obtener un total de 44,03 dólares americanos.

#### *e) Uso de suelo para producción de leche (USPL)*

Para la provincia de Carchi, acorde a las estadísticas del PDOT 2019 – 2023, se establece una producción diaria de leche de 379.916 litros, con un rendimiento diario de 11 L/vaca, con una carga animal promedio de 1,1 vaca/ha. Además, acorde a la realidad actual de la provincia, se define un precio mínimo de sustentación de litro de leche pagado al productor de finca o acopio en 0,41 \$/L (GAD Carchi, 2019). Al reemplazar estas cifras en la ecuación (12), y conforme la superficie de pastizales implantados (1.158,01 ha) dentro del bosque protector, los cuales son muestra de la presión antrópica en el área natural, resulta un valor de 5.744,89 \$/día, lo cual, si es proyectado al año, se transforma en un valor final de 2.096.884,85 dólares americanos.

#### *f) Preservación de biodiversidad (PB)*

Según un estudio realizado por Simpson, Sedjo y Reid (1996), donde se evalúa la biodiversidad por uso en investigación farmacéutica en 18 sitios biodiversos (hotspots), mediante el uso de un modelo combinado con una medida de la diversidad en especies, y variables como el número y porcentaje de especies endémicas, se determina el valor de la máxima disponibilidad a pagar para preservar una hectárea de tierra de estos sitios biodiversos, donde el mayor precio se lo asigna al bosque occidental del Ecuador con un valor de 20,54 \$/ha. En base a este estudio y al considerar como referencia el total de superficie del bosque natural en el BPCG (12.243,04 ha), se sustituyen los valores en la ecuación (13) para cuantificar la preservación de la biodiversidad en 251.472,04 dólares americanos.

#### *g) Belleza escénica (BE)*

En el caso del BPCG, no se encontró información específica acerca de un estudio que valore como tal la belleza escénica (turismo) del lugar; sin embargo, dentro del Plan de Manejo Ambiental del bosque protector, existe una sección donde se observa un registro de bancos comunitarios con número de participantes desagregado por género, donde se especifican los capitales de dinero que son invertidos por ciertas comunidades. En este caso, para la comunidad Tufiño se realizan créditos de 3.173,1 dólares americanos destinados al turismo comunitario (Fundación ALTROPICO, 2015), cuyo valor puede ser considerado para transferir los beneficios de este servicio a valores monetarios de esta área natural.

En la Tabla 3 se resumen los valores económicos calculados de los servicios ecosistémicos del BPCG, donde se puede observar que la explotación de madera es la que más aporta en valor monetario a la cuantificación de los servicios presentes en el bosque protector objeto de estudio, seguido de la captura y almacenamiento de carbono, que en conjunto representan el 90,94 % del valor total estimado.

## DISCUSIÓN

Los servicios ecosistémicos analizados en la presente investigación se podrían asumir como los más representativos de cuantificar en el contexto nacional, según estudios desarrollados por Vallejo & Rodríguez (2015) y Astudillo & Rodríguez (2020). Estos servicios además de demostrar

**Tabla 3:** Valor económico de los servicios económicos del Bosque Protector Cerro Golondrinas, Carchi, Ecuador.

Servicio ecosistémico	Valor económico	Porcentaje (%)
Captura y Almacenamiento de carbono	11.198.586,26	42,994
Extracción de madera	12.496.011,81	47,975
Provisión de agua de riego	919,34	0,004
Provisión de agua para consumo humano	44,03	0,000
Uso de suelo para producción de leche	2.096.884,85	8,050
Preservación de biodiversidad	251.472,04	0,965
Belleza escénica	3.173,1	0,012
<b>Total</b>	<b>26.047.091,43</b>	<b>100</b>

el potencial ambiental – científico – turístico, contribuyen al desarrollo económico sostenible de las comunidades circundantes al bosque protector, lo cual se ve reflejado en la valoración económica de sus bienes y servicios ambientales con un monto de 26.047.091,43 dólares americanos, un valor muy significativo para una extensión relativamente pequeña del bosque protector, comparado con otras áreas naturales.

La explotación de madera, la captura y almacenamiento de carbono y el uso del suelo para ganadería fueron los servicios ambientales con mayor valor económico del BPCG; estas cifras a su vez reflejan que el valor monetario se concentra en los servicios provenientes del bosque (CA y EM) y suelo (USG), al contrario de lo que sucede con las cantidades obtenidas para el PAR y PACH, siendo este último el servicio que menor valor económico reveló (44,03 dólares). Esto puede deberse a que en Ecuador, el valor por consumo de agua está en función al caudal de consumo, y al estar por debajo del umbral de consumo (<0,5 L/s para el riego productivo), su valor monetario resultante es ínfimo; sin embargo, esto no significa que dichos servicios sean menos importantes. Autores como Postel y Thompson (2005), mencionan que el servicio de almacenamiento o purificación de agua está entre los más significativos que un área natural brinda; por tanto, los valores monetarios obtenidos tanto del PAR y PACH, al estar condicionados a tablas de consumo establecidas por la entidad nacional que consideran al consumo del agua para un uso y aprovechamiento de riego como un producto prácticamente gratis, distorsionan el verdadero potencial del servicio (Palacios & Rodríguez, 2021). Desde el punto de vista social, el servicio de almacenamiento o purificación de agua está entre los más importante que ofrece un área protegida (Piaggio & Siikamäki, 2021).

La captura y almacenamiento del carbono es uno de los servicios más estudiados y actualmente muy cotizados, debido a los mercados de carbono impulsados para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, conformando así un mecanismo para la mitigación del cambio climático (Palacios et al., 2019). Ecuador ha empezado en años recientes con iniciativas como REDD+ a través de programas como PROAmazonía, que buscan incursionar en este tipo de mercados internacionales, colocando al país como un posible beneficiario de estos “bonos verdes” que son buscados por los países desarrollados; sin embargo, los parámetros requeridos para acceder a estas iniciativas son muy exigentes. Mercados como el CER (Certified Emission Reductions) y EUA (European Union Allowances) figuran entre los más destacados, donde se establece un valor de \$ 16,96 y \$ 0,26 por tonelada de  $CO_2$  emitido, para EUA y CER respectivamente; además, según el “Estado y tendencias de la fijación de precios del carbono 2021” del Banco Mundial, los precios del carbono

están en un rango entre menos de 1 y 119 \$/t  $CO_2$ , donde la mitad de las emisiones son cubiertas a un precio inferior a 10 \$/t  $CO_2$  (World Bank, 2021), cubriendo el rango de los principales mercados de carbono antes mencionados. Ecuador no cumple los requisitos para el mercado de la EUA pero sí del CER, por ello en este estudio se consideró el valor del contexto nacional, concordando con el rango señalado por los precios internacionales del Banco Mundial.

A pesar de contar con instrumentos de gestión y planificación, como el plan de manejo ambiental y los planes de ordenación del territorio respectivamente, todavía persiste a nivel nacional la falta de articulación entre estos insumos, ya que muchas de las veces no son consideradas las zonificaciones ni usos dentro de estas áreas naturales en los PDOT, debido a su naturaleza no vinculante (Palacios & Carpio, 2021). Es por ello que este tipo de estudios técnico – científicos son de gran importancia para evidenciar la riqueza natural que guardan las áreas naturales del Ecuador, y tomar las medidas del caso, como políticas públicas u ordenanzas que permitan implementar mecanismos de protección y desarrollo sostenible (ejemplo: tasas verdes, impuesto por mantenimiento de microcuencas, u otros pagos por servicios ecosistémicos), que coadyuven a reducir el impacto antrópico sobre estas.

## CONCLUSIONES

La valoración de los servicios ecosistémicos del BPCG se estimó en aproximadamente 26.047.091,43 dólares americanos, lo cual representa un valor considerable que resalta la importancia de su conservación y protección.

Mediante la aplicación de distintas metodologías como precios de mercado, costo de oportunidad y transferencia de beneficios fue posible valorar económicamente los servicios ambientales, siendo particularmente útil la transferencia de beneficios para solventar la escasez de información en áreas naturales del Ecuador, cuya investigación necesita profundizar aún más para llegar a un desarrollo sostenible.

Los servicios ambientales con mayores cifras monetarias determinadas para el BPCG provienen directa o indirectamente del bosque (captura y almacenamiento de carbono, y explotación de madera), lo cual coincide con la tendencia mundial de los mercados de carbono, por lo que con este tipo de investigación se demuestra el gran potencial de las reservas naturales del país orientadas a esas iniciativas internacionales.

Para valorar económicamente el medioambiente es necesario contar con un indicador que represente su importancia en el bienestar de la sociedad. En la actualidad, el indicador común que permite estimar el valor real de servicios ecosistémicos y llamar la atención de los tomadores de decisión es el dinero, un idioma bien entendido y que con políticas públicas claras puede ser un mecanismo viable para la protección de las áreas protegidas del país.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: KDPA y IFPO; metodología: KDPA y IFPO; análisis formal: KDPA y IFPO; investigación: KDPA y IFPO; curación de datos: KDPA y IFPO; redacción - preparación del borrador original: KDPA y IFPO; redacción - revisión y edición: KDPA y IFPO; visualización: KDPA y

IFPO; supervisión: KDPA y IFPO; administración de proyecto: KDPA y IFPO. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Karol Dennise Arellano-Pérez: KDAP; Iván Fernando Palacios-Orejuela: IFPO

## FINANCIAMIENTO

El financiamiento fue de procedencia propia.

## REFERENCIAS

- Arellano, K., Padilla, P., & Molina, I. (2019). Determinación de zonas propensas al virus de la Mancha Blanca en piscinas camaroneras de la Isla Puná mediante el cálculo de temperatura superficial con algoritmo Split-Window. *Revista Geoespacial*, 16(1), 33-42. doi:10.24133/geoespacial.v16i1.1277
- Arellano, K., Padilla, P., Molina, I., Padilla, O., & Toulkeridis, T. (2020). Evaluation of the Surface Temperature Applied in Aquaculture Based on Satellite Images in Coastal Ecuador. *Information and Communication Technologies. TICEC 2020*. 1307, págs. 572-586. Quito: Springer, Cham.
- Asamblea Nacional. (2017). Código Orgánico del Ambiente. Quito: Ley 0, Registro Oficial Suplemento 983.
- Astudillo, K., & Rodríguez, F. (2020). Valoración económica de los servicios ambientales del Parque Ecológico Recreacional La Perla. *Revista Geoespacial*, 17(1), 39-58.
- Botsch, J., Walter, S., Karubian, J., González, N., Dobbs, E., & Brosi, B. (2017). Impacts of forest fragmentation on orchid bee (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) communities in the Chocó biodiversity hotspot of northwest Ecuador. *Journal of Insect Conservation*, 21, 633-643.
- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116(3), 363-372.
- Carrera, D., Palacios, I., Albán, T., Barahona, J., Calderón, D., Casteo, A., & Vega, M. (2021). Variation in drinking water consumption due to the health emergency of SARS-CoV-2 through dynamic modeling in Macas City, Amazon from Ecuador. In: Salgado Guerrero, J.P., Chicaiza Espinosa, J., Cerrada Lozada, M., Berrezueta-Guzman, S. (eds). *Conference On Information and Communication Technologies. TICEC 2021*. 1456. Springer, Cham.
- Cepeda, M., Palacios, I., Tierra, A., & Kirby, E. (2018). Multiresolution analysis in the visible spectrum of Landsat-TM images through Wavelet Transform. *Geographia Technica*, 13(1), 20-29.
- COMAFORS. (2010). El Bosque en el Ecuador: Una visión transformada para el desarrollo y la comunicación. Corporación de Manejo Forestal Sustentable, Quito.
- de Groot, R., Wilson, M., & Boumans, R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408.
- Domínguez, A. (2016). Estimaciones de la Captura de Carbono de los Parques en Tijuana. Colegio de la Frontera Norte, Tijuana.
- Fundación ALTROPICO. (2015). Bosque Protector Cerro Golondrinas 2015 - 2020. Tulcán: GAD Provincial Carchi - Fundación ALTROPICO.
- GAD Carchi. (2019). Plan de Desarrollo y ordenamiento Territorial de la Provincia del Carchi 2019-2023. Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia del Carchi, Tulcán.
- González, L. (2015). Diagnóstico para la valoración de biodiversidad y servicios ecosistémicos del Humedal El Burro. Bogotá: Tesis de grado: Universidad Militar Nueva Granada.
- INEC. (2012). Información Ambiental de Hogares. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Quito.
- INEC. (2016). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2016. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Ecuador.
- IPCC. (2000). Informe especial del IPCC: Uso de la Tierra, cambio de uso de la Tierra y Silvicultura. Resumen para responsables de políticas. Montreal: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Izco, J., & Burneo, D. (2003). Herramientas para la valoración y manejo forestal sostenible de los bosques sudamericanos. Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), Oficina Regional para América del Sur. Quito: Programa de Conservación de Bosques UICN-Sur.
- Játiva, M. (2019). Utilización del método costo de viaje para la valoración económica de los usos recreativos del Parque Nacional Sumaco Napo Galeras. Quito: Tesis de grado: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- King, S., Fraser, I., & O'Hanley, J. (2016). Benefits transfer and the aquatic environment: An investigation into the context of fish passage improvement. *Journal of Environmental Management*, 183, 1079-1087.
- MAE & FAO. (2014). Evaluación Nacional Forestal Resultados. Ministerio del Ambiente y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Quito.
- MAE. (2010). Ministerio del Ambiente del Ecuador: Aprovechamiento de Recursos Forestales en el Ecuador y Procesos de Infracciones y Decomisos. Ministerio del Ambiente del Ecuador, Quito.
- MAE. (2018). Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador.
- MAGAP. (2011). Plan Nacional de Riego y Drenaje. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Latacunga.
- MAGAP. (2013). Acuerdo número 394. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Quito.
- MAGAP. (2014). Plan Estratégico. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Quito.
- Orellana, J., & Lalvay, T. (2018). Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 14(1), 65-79.
- Palacios, I. (2020). Generación de un modelo de crecimiento tendencial urbano de la ciudad de Macas (Ecuador) al año 2030, mediante técnicas de modelación espacial multivariable. Barcelona: Tesis de maestría: Universitat de Barcelona.
- Palacios, I., & Arellano, K. (2021). Modelo predictivo del cambio de cobertura forestal en el Área de Conser-

- vacación Municipal Quilamo – Cantón Morona. *Revista Geoespacial*, 18(1), 1-13.
- Palacios, I., & Carpio, D. (2021). Sistema de Información Local, una herramienta para la planificación territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales del Ecuador. *Revista Geoespacial*, 18(2), 1-17.
- Palacios, I., & Rodríguez, F. (2021). Economic valuation of environmental goods and services of the Protector Forest Kutukú – Shaimi, SE Ecuador. *International Journal of Energy, Environment, and Economics*, 27(2), 117-132.
- Palacios, I., Castro, S., & Rodríguez, F. (2019). Almacenamiento de carbono como servicio ambiental en tres reservas naturales del Ecuador. *Revista Geoespacial*, 16(1), 1-14.
- Palacios, I., Ushiña, D., & Carrera, D. (2018). Identificación de Cangahuas para su recuperación mediante estudio multicriterio y constatación in situ en comunas del volcán Ilaló. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 13 (1), págs. 9-12. Sangolquí.
- Palacios, I., Ushiña, D., & Carrera, D. (2020). Técnicas SIG para recuperación de suelos cangahuosos, con fines de agricultura comunitaria en el Ilaló. *Ciencia del Suelo*, 38(2), 295-309.
- Palacios, I., Ushiña, D., & Carrera, D. (2021). Pixel Purity Index Applied to the Mapping of Degraded Soils by the Presence of Cangahuas in the Ilaló Volcano, Ecuador. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(5), 2121-2127.
- Percy, K., Jandl, R., Hall, J., & Lavigne, M. (2003). El papel de los bosques en ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono. Vienna: Agencia Federal y Centro de Investigación Forestal.
- Pérez, O., Lucas, E., Jaramillo, C., Monro, A., Morris, S., Bogarín, D., Antonelli, A. (2019). The Origin and Diversification of the Hyperdiverse Flora in the Chocó Biogeographic Region. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1328.
- Piaggio, M., & Siikamäki, J. (2021). The value of forest water purification ecosystem services in Costa Rica. *Science of The Total Environment*, 789, 147952.
- Postel, S., & Thompson, B. (2005). Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*, 29(2), 98-108.
- Puente, C. (2008). La legislación de los bosques y vegetación protectores privados en el Ecuador, su relación con las normas vinculadas a la función social de la propiedad. FLACSO. Quito: Abya-Yala.
- Rivera, E., Dávalos, R., & Lascrain, M. (2013). A holistic vision on sustainable forest management for the 21st century. En A. Yáñez, R. Dávalos, J. Day, & E. Reyes, *Ecological Dimensions for Sustainable Socio Economic Development* (págs. 537-556). Southampton: WIT Press.
- Secretaría del Agua. (2017). Acuerdo Ministerial No. 2017-0010 que reforma el Acuerdo Ministerial No. 2017-1522 de 23 de mayo de 2017. Quito: Suplemento - Registro Oficial Año I - N° 69
- Simpson, R., Sedjo, R., & Reid, J. (1996). Valuing Biodiversity for Use in Pharmaceutical Research. *The Journal of Political Economy*, Vol 104(No 1 ), pp. 163-185.
- Vallejo, J., & Rodríguez, F. (2015). Valoración de los beneficios que genera el Parque Metropolitano de Quito. *Revista Geoespacial*(12), 1-14.
- Vázquez, M. (2019). El desarrollo sostenible a través de empresas sociales en comunidades indígenas de América Latina. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(53), 2-22.
- World Bank. (2021). State and Trends of Carbon Pricing 2021. Washington DC: 2021 International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.