

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS BIENES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL BOSQUE PROTECTOR JATUMPAMBA-JORUPE

ECONOMIC VALUATION OF ECOSYSTEM GOODS AND SERVICES OF THE JATUMPAMBA-JORUPE PROTECTIVE FOREST

Deysi Dueñas^{*}, Odalis Guevara, Sofía Santacruz

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN. UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, Av. Gral. Rumiñahui, s/n, Sangolquí-Ecuador, e-mail: daduenas1@espe.edu.ec; odguevara@espe.edu.ec; kssantacruz1@espe.edu.ec

** Autor de correspondencia: Deysi Dueñas. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Av. Gral Rumiñahui*

Recibido: 11 de abril 2022

/

Aceptado: 01 de junio 2022

RESUMEN

El Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe es un bosque que desempeña un papel importante a nivel ecológico en el Ecuador, debido a su posición geográfica y su variada biodiversidad de especies florísticas y faunísticas, además que sus ríos tienen un gran valor hídrico para las poblaciones aledañas. El objetivo del presente estudio consistió en realizar una valoración económica del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono y valoración del recurso hídrico del Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe, ubicado en la Provincia de Loja. La metodología aplicada para determinar el almacenamiento de carbono consistió en utilizar una imagen satelital Sentinel-2A para calcular el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) y posteriormente, mediante variables de uso y cobertura de suelo se determinó los tipos de cobertura presentes en el área; con los insumos recolectados se calculó la biomasa aérea y carbono almacenado. Para la valoración del recurso hídrico, se calculó el valor de productividad hídrica de la zona de importancia del bosque protector, a partir del costo de oportunidad de la estimación de deforestación. El valor económico del servicio ambiental de almacenamiento de carbono obtenido es de 13'639.654,04 USD equivalente a 1.932,619 USD/ha y la valoración del beneficio del servicio hídrico fue de 464'000.000 USD/año; esto representa el valor que las personas deberían estar dispuestas a pagar, es decir, 5\$ por el m³ de agua, lo cual es poco probable porque en Loja como en la mayoría del Ecuador el agua es subsidiada y en la provincia su valor está entre los 0,12 ctvs a 0,25 ctvs el m³, por lo que si se desea valorar la importancia de la conservación del Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe se debería usar otros métodos de valoración económica de los servicios ecosistémicos.

Palabras clave: bosque privado, productividad hídrica, carbono, biomasa.

ABSTRACT

The Jatumpamba-Jorupe Protective Forest is a forest that plays an important ecological role in Ecuador, due to its geographical position and its varied biodiversity of floristic and faunal species, and its rivers have a great water value for the surrounding populations. The objective of the present study was to carry out an economic assessment of the ecosystem service of carbon storage and valuation of the water resource of the Jatumpamba-Jorupe Protective Forest, located in the Loja Province. The methodology

applied to determine carbon storage was to use a Sentinel-2A satellite image to calculate the Normalized Vegetation Index (NDVI) and subsequently, the types of cover present in the area were determined using land use and coverage variables; the aerial biomass and carbon stored were calculated with the inputs collected. For the valuation of the water resource, the water productivity value of the protected forest area of importance was calculated from the opportunity cost of the deforestation estimate. The economic value of the carbon storage environmental service obtained is 13,639,654.04 USD equivalent to 1,932,619 USD/ha and the valuation of the water service benefit was 464,000.000 USD/year; this represents the value that people should be willing to pay, that is, 5\$ for the m³ of water, which is unlikely because in Loja as in most of Ecuador water is subsidized and in the province its value is between 0.12 ctvs to 0.25 ctvs the m³. Other methods of economic valuation of ecosystem services should be used to assess the importance of the conservation of the Jatumpamba-Jorupe Protective Forest.

Keywords: private forest, water productivity, carbon, biomass.

INTRODUCCIÓN

Los bienes y servicios ecosistémicos son la multitud de beneficios que los ecosistemas sustentan para las actividades y la vida de los seres humanos (Comisión Europea, 2009); generan bienestar, incidiendo directamente sobre la calidad de vida de las poblaciones locales (Viglizzo et al., 2011). Además, son esenciales en el funcionamiento de los ecosistemas, la producción de alimentos y el bienestar humano (Caro-Caro & Torres-Mora, 2015), más allá de su nivel de eficiencia, es uno de los principales servicios que prestan los ecosistemas, posibilitando a todos los ciudadanos el acceso a alimentos inocuos y nutritivos que satisfagan las necesidades diarias alimentarias que le permitan llevar una vida sana y activa.

En el Sur del Ecuador, provincia de Loja, el territorio se encuentra ocupado por el 31% de Bosque Seco Tumbesino, el cual durante los últimos 70 años ha soportado grandes presiones antrópicas, producto de la extracción maderera, conversión de uso de la tierra, incendios forestales y sobrepastoreo caprino (Aguirre & Geada-Lopez, 2017), provocando muchos cambios que afectan a la naturaleza y al propio ser humano; problemas como sequías son cada vez más frecuentes y graves, lo que ocasiona la disminución de la producción agrícola y ganadera (FAO, 2020) & (Andrade & Isabel, 2008). Por tanto, para mantener y asegurar la calidad del agua de las vertientes que abastecen a Macará y Saragoza, el 22 de abril de 1996 el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica declaró al Bosque Jatumpamba – Jorupe como Área de Bosque y Vegetación Protectora (Fundación Ecológica Arcoiris, 2010). El Bosque Protector se encuentra ubicado en la provincia de Loja, al oeste de la ciudad de Macará (Yáñez-Muñoz & Morales, 2013), tiene un impacto directo en la vida y economía de la población de las parroquias de Sabiango y Larama del cantón Macará y Nueva Fátima del cantón Sozoranga, con un total de 25 comunidades, 8 de las cuales quedan dentro del área con 15 familias en promedio; la mayoría se ubican cerca del área del bosque protector y constituye la única posibilidad de sobrevivencia al ser el origen de pequeñas vertientes que proporcionan agua para el consumo humano, algunos proyectos de riego en pequeña escala y varios puntos de abrevaderos para sus animales (BirdLife International, 2005).

En el estudio realizado por la Universidad Nacional de Loja (UNL) (2006) se indica que este bosque protector es considerado de alta diversidad biológica por sus particulares elementos bióticos existentes, además de proteger importantes remanentes de bosque en la parte alta, que se constituyen en proveedores de agua para las comunidades locales; inclusive hay proyecciones de que el nuevo sistema de agua potable para la ciudad de Macará aproveche el agua de esta microcuenca hidrográfica, por lo que se hace imprescindible su conservación.

Para dar una valoración al recurso hídrico, diversas Reservas de Latinoamérica lo han hecho mediante el método de valoración contingente, un ejemplo de esto se dio en la Reserva de Cuxtal, localizada en el estado de Yucatán en el sureste de México, donde el estudio

realizado tuvo como objetivo calcular la disponibilidad a pagar de la población de Mérida por la conservación del recurso hídrico proveniente de la Reserva, los resultados demostraron que solo el 64% de su población estaría dispuesta a pagar por la conservación del recurso hídrico (Hernández Cuevas et al., 2019). De igual forma, en la sierra centro del Ecuador, en el cantón Riobamba, se han realizado investigaciones de valoración económica y ambiental en base a este recurso, teniendo como finalidad poder implementar un sistema de protección y cuidado de los afluentes de la parroquia Licto (Zurita Moreano et al., 2019). Sin embargo, a pesar de que Ecuador cuenta con abundantes fuentes de agua, la mala gestión, distribución y uso han afectado la calidad y cantidad del recurso hídrico, constituyéndose en un grave riesgo ambiental, económico y social, con graves consecuencias en las diferentes actividades productivas del país (Bravo-Benavides, Jaramillo, & Encalada, 2019).

De la misma forma, la importancia del Bosque Protector Jatumpamba - Jorupe radica en que forma parte del denominado “Centro de Endemismo Tumbesino”, considerada como una de las regiones más importantes del planeta por su riqueza biológica y endemismo, catalogado como uno de los puntos calientes de biodiversidad del planeta (Aguirre, Aguirre, & Muñoz, 2017). El bosque se encuentra amenazado debido a la sobrepoblación humana existente en la zona y a las diferentes actividades que estos realizan dentro del bosque, ocasionando que 15 especies de aves endémicas del Centro Tumbesino sean consideradas globalmente amenazadas y otras 6 casi amenazadas (Fundación Ecológica Arcoiris, 2003).

La diversidad florística es muy variada, debido a la gran amplitud del área, su estructura presenta los estratos de bosque natural propios de ecosistemas de trópico seco que se dan hacia el occidente de la cordillera de los andes (BirdLife International, 2005). El Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe alberga áreas remanentes de bosque seco tropical y bosque de neblina montano en buen estado de conservación, junto con zonas de matorrales en regeneración y zonas agrícolas. Aunque varias instituciones se encuentran presentes dentro de la zona como la Fundación Ecológica Arcoiris (Fundación Ecológica Arcoiris, 2003), el Bosque Protector se enfrenta a una serie de problemas socio-ambientales que ejercen presión sobre sus recursos naturales.

Al ser un bosque rico en vegetación arbustiva, se puede conocer su valor económico mediante la implementación del método de valoración de almacenamiento de carbono, mismo que ha sido aplicado en otros estudios, como en el de Palacios Orejuela, *et al.* 2019, cuyo objetivo fue determinar el cambio del valor económico del servicio ambiental por almacenamiento de carbono en tres reservas (Bosque Protector Kutukú-Shaimi, Reservas Ecológicas Tapichalaca y Buenaventura) mediante imágenes satelitales, obteniendo como resultado que en un período de 6 años existió un aumento del valor económico por almacenamiento de carbono con una diferencia de USD \$ 2'045.905,43 en este período, demostrando los potenciales beneficios económicos que pueden ser obtenidos de la conservación de los bosques.

Con base a lo expuesto anteriormente, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el valor económico de los bienes y servicios ambientales que ofrece el Bosque de Protección Jatumpamba - Jorupe, mediante la valoración económica de los servicios ambientales de captura de carbono y productividad hídrica, para comprender la importancia de su conservación, desde el punto de vista ambiental, económico y productivo, además de que los resultados obtenidos ayuden a la toma de decisiones en cuanto al cambio de uso de tierra y el aprovechamiento de los recursos naturales, de la misma forma, se espera que sirva de aporte a futuros planes territoriales de la zona y genere conciencia entre los lectores sobre la importancia de cuidar el medio ambiente.

METODOLOGÍA

ÁREA DE ESTUDIO

El Área de Bosque y Vegetación Protectora Jatumpamba-Jorupe es de propiedad privada, se encuentra en la provincia de Loja, Ecuador, a pocos kilómetros al oeste de Sozoranga, su clima es típico de bosque seco, con días secos y soleados, y lluvias esporádicas en las alturas. El Bosque Protegido Jatumpamba-Jorupe tiene una extensión de 8000 hectáreas e incluye la Reserva Natural El Tundo, de 158 hectáreas (BirdLife International, 2005). Geográficamente se ubica en los siguientes cuadrantes:

Tabla 1. Coordenadas geográficas del Bosque Protegido Jatumpamba-Jorupe

COORDENADAS	
Latitud	04° 21' 43,45" S
	04° 15' 1,00" S
Longitud	79° 55' 31,08" W
	79° 47' 25,36" W

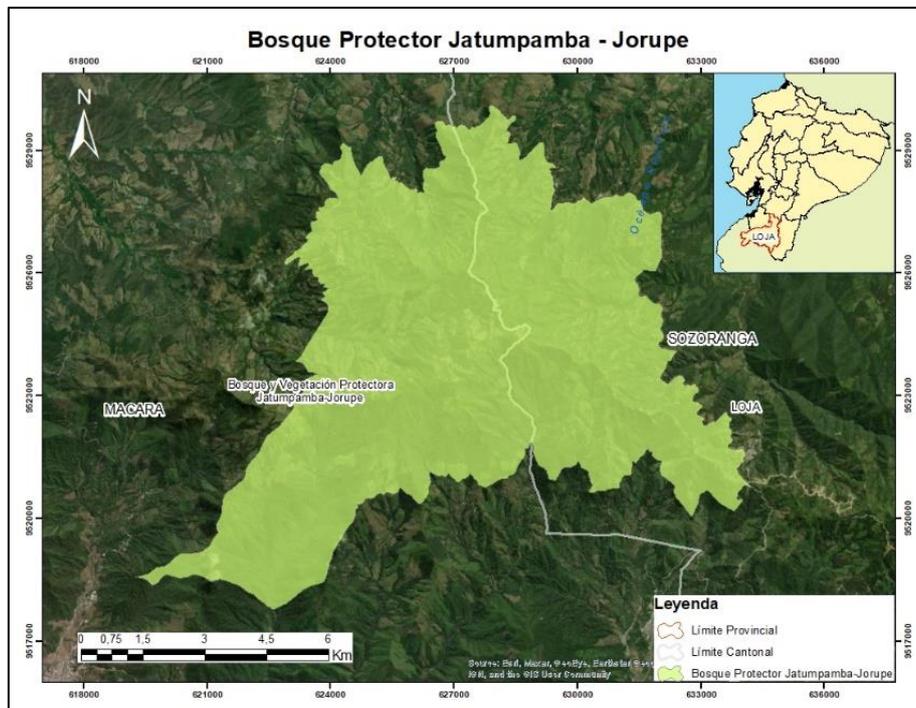


Figura 1. Ubicación del Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe
Fuente: (MAATE, 2021)

ACTIVIDAD ECONÓMICA DEL BOSQUE PROTECTOR JATUMPAMBA – JORUPE

La parroquia de Sabiango y Larama, está conformada por 25 comunidades, de las cuales 8 están ubicadas dentro del Bosque Protector Jatumpamba – Jorupe siendo este bosque, la única posibilidad de sobrevivencia para estas familias debido, a la existencia de vertientes de agua para consumo humano y abrevaderos para los animales. Los habitantes de las comunidades, han destinado diferentes usos al suelo del bosque; siendo la ganadería bovina y equina la que mayor área del bosque ocupa, pues el 90% de los pobladores se dedican al pastoreo, razón por la cual anualmente suelen quemar zonas del bosque para aumentar sus áreas de cultivos y pastos (UNL, 2006).

VALOR ECONÓMICO TOTAL (VET)

El Valor Económico Total plantea que cualquier bien o servicio está compuesto por varios atributos, algunos de los cuales son tangibles y fácilmente medibles, mientras que otros pueden ser más difíciles de cuantificar. No obstante, el valor total es la suma de todos estos componentes y no solamente de aquellos que pueden ser fácilmente medidos (Báez-Quñones, 2018). En términos simbólicos el VET se puede expresar de la siguiente manera:

$$VET = VU + VNU \tag{1}$$

$$VET = (VUD + VUI) + VO + VE \tag{2}$$

Donde:

- VET: Valor económico total
- VU: Valor de Uso
- VNU: Valor de no uso
- VUD: Valor de uso directo
- VUI: Valor de uso indirecto
- VO: Valor de opción
- VE: Valor de existencia

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL ALMACENAMIENTO DE CARBONO

El valor económico del servicio ambiental de almacenamiento de carbono del Bosque Protector Jatumpamba – Jorupe se lo obtuvo a partir de la búsqueda de imágenes satelitales; para este estudio se utilizó una Sentinel-2LA, de la cual se obtuvo información respecto a los niveles digitales del índice de vegetación NDVI, además se estimó la biomasa de la vegetación arbórea, herbácea y arbustiva presente en la zona de estudio para así desarrollar una ecuación de regresión que relacione el nivel digital (ND) del NDVI con las toneladas de biomasa aérea del bosque protector, como lo desarrollaron (Astudillo Chicaiza & Rodríguez Espinoza, 2020).

Descarga y procesamiento de imágenes satelitales

Se descargaron imágenes de Sentinel-2, obtenidas de la plataforma Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) de la Agencia Espacial Europea (ESA), la resolución de estas imágenes permite analizar cualquier actividad en la superficie terrestre para mapear, analizar y procesar las diferentes coberturas. Para el presente estudio las bandas utilizadas fueron las que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Bandas utilizadas de la Sentinel-2, para el actual proyecto

Banda Sentinel 2	Longitud de onda central (um)	Resolución espacial (m)
Banda 2-azul	0.490	10
Banda 3-verde	0.560	10
Banda 4-rojo	0.665	10
Banda 8-NIR	0.842	10

Fuente: (IGN, 2018)

Índice de vegetación NDVI

El índice NDVI demuestra las características de la vegetación, es un índice cuantitativo del funcionamiento de los ecosistemas, resulta del cociente entre bandas espectrales que al mostrar un claro contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo cercano permiten identificar la vegetación de otras superficies; el índice varía entre -1 y 1 (Arboit & Maglione, 2018), para el caso de la imagen Sentinel-2LA se utilizó las bandas B8 (NIR) y B4 (R), para realizar el cálculo se utilizó la licencia educativa del software ENVI con la herramienta Band Math, en donde se ingresó la ecuación (3) para obtener el índice de vegetación:

$$NDVI = \frac{\text{float}(b8) - \text{float}(b4)}{\text{float}(b8) + \text{float}(b4)} \quad (3)$$

Estimación de Biomasa Aérea Forestal

La recopilación de la información para la estimación de la biomasa aérea se obtuvo a partir del estudio elaborado por (Lituma Torres & Medina Galván, 2011), donde dividieron la vegetación del suelo en parcelas de 10m x 20m para la cobertura vegetal denominada bosque nativo, 5m x 5m para vegetación arbustiva y 1m x 1m para pastizales, y para complementar los datos necesarios faltantes como el DAP y la altura de la vegetación analizada, se obtuvieron los datos de la biblioteca de evaluación forestal nacional del Ministerio del Ambiente Agua y Transición ecológica (MAATE).

La ecuación utilizada para la estimación de la biomasa aérea forestal (BA), fue la propuesta por (Chave et al., 2006) (citado en Astudillo & Rodríguez, 2020).

El DAP es el diámetro del árbol en centímetros y la altura es el promedio de la altura de la especie en metros. La densidad (ρ) que se utilizó es el valor promedio de 0,645 g/cm³ mientras que α , β , γ y ω son las constantes obtenidas y planteadas por (Chave et al., 2006), en un estudio regional de los bosques neotropicales pertenecientes a Centroamérica y Sudamérica quedando la ecuación (4), con los siguientes valores:

$$BA \left(\frac{kg}{\text{árbol}} \right) = \rho * \exp(-\alpha + \beta * \ln(DAP) + \gamma * (\ln(DAP))^2 - \omega * (\ln(DAP))^3)$$

$$BA \left(\frac{kg}{\text{árbol}} \right) = 0,645 \text{ g/cm}^3 * \exp(-1,499 + 2,148 * \ln(DAP) + 0,207 * (\ln(DAP))^2 - 0,0281 * (\ln(DAP))^3) \quad (4)$$

Para calcular la biomasa arbórea por hectárea de bosque se emplea la ecuación 5, dónde se realiza la sumatoria de la biomasa de cada especie encontrada en cada parcela (Rügnitz Tito et al., 2009). Finalmente se multiplica el valor resultante por el total de individuos totales resultantes de cada una de las tres parcelas muestreadas.

$$BA \left(\frac{ton}{ha} \right) = \left(\frac{\sum BA \left(\frac{kg}{\text{árbol}} \right)}{1000} \right) * \frac{10000}{\text{área de la parcela}} * \# \text{ total de individuos} \quad (5)$$

Para ajustar los datos de biomasa arbórea del Bosque Protector Jatumpamba – Jorupe expuestos, se realizó una regresión de tipo polinomial de segundo grado, ya que, en

comparación a los modelos de regresión lineal y exponencial, este modelo representó mejor los datos, y por ende su pronóstico resulta más apropiado de aplicar, al tener un R2 igual a 1.

$$y(BA)_{ajustado} = -348848x^2 + 560039x - 223874 \tag{6}$$

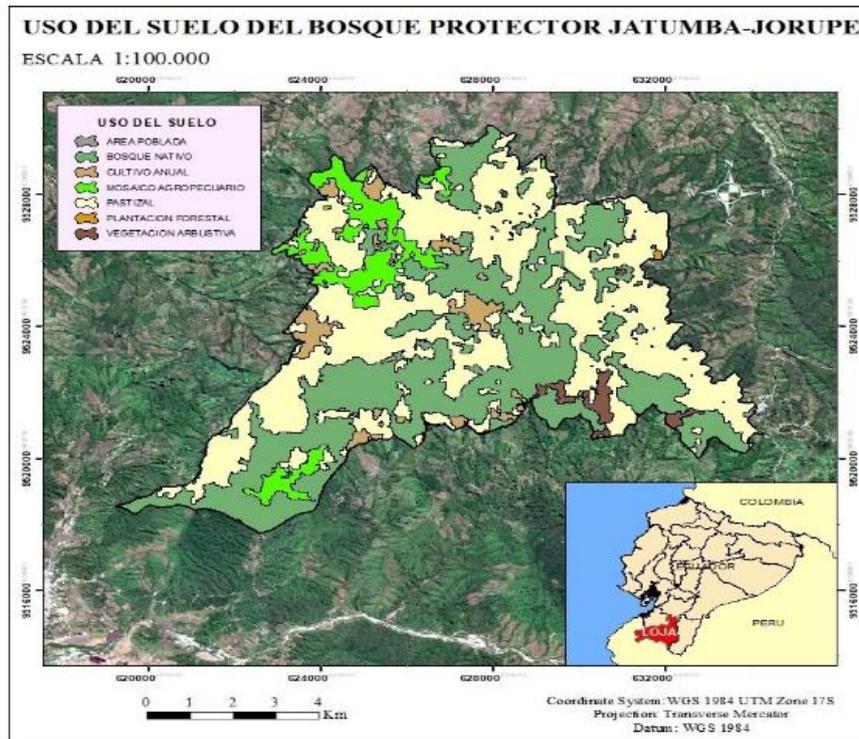


Figura 2. Distribución del uso del suelo en el Bosque Protector Jatumpamba - Jorupe
Fuente: (ESA, 2022)

Para la estimación indirecta por hectárea del contenido de carbono (C) en la biomasa aérea se utilizó la metodología propuesta por Quiceno et al., (2016), en la cual se tiene estimado que aproximadamente el 50% de la biomasa vegetal corresponde al carbono, por lo cual para estimar el carbono almacenado total se multiplicó la biomasa total (BT) por el factor 0,5 en ausencia de información específica.

$$C = BT * 0.5 \tag{7}$$

Para estimar la cantidad de CO₂ almacenado en la biomasa aérea se multiplicó los valores obtenidos de carbono por un valor de 3.67, ya que, según Jumbo et al., (2017) una tonelada de carbono equivale al secuestro de 3.67 toneladas de CO₂.

$$CO_2 = C * 3,67 \tag{8}$$

Finalmente, para estimar la valoración económica del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono, se tomó en cuenta que el valor por tonelada de carbono capturada es de entre 1,5 y 2,5 dólares (Miguel, 2021).

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL RECURSO HÍDRICO

Balance Hídrico

El Balance Hídrico se obtiene conociendo el área de estudio y componentes del ciclo hidrológico del agua como: infiltración, precipitación total, evapotranspiración y escorrentía; es importante conocer la infiltración por lo que es la variable que permite conocer el volumen de agua que penetra dentro del suelo.

Determinación del volumen de Precipitación media anual total (Pp total)

Para determinar el volumen de la precipitación media anual total (Pp total) se obtuvo el volumen total de precipitación de la microcuenca Jorupe, a través de la interfaz de CRUTEM Google Earth, el cual es un conjunto de datos derivados de las temperaturas del aire cerca de la superficie terrestre registradas en las estaciones meteorológicas (Osborn, 2020), con la ayuda de un archivo KML en el software Google Earth Pro se obtuvo las variables meteorológicas de precipitación y temperatura del periodo 2010-2019.

Tabla 3. Precipitación y Temperatura de período (2010-2019) de la Estación meteorológica Macará

Código	Nombre	Año	Precipitación anual (mm)	Temperatura °C
M1259	MACARA - 1	2010	879,40	19,80
		2011	617,20	19,55
		2012	723,10	19,88
		2013	625,90	19,38
		2014	542,60	20,04
		2015	685,50	20,68
		2016	738,10	20,48
		2017	748,70	20,32
		2018	406,10	19,83
		2019	584,80	20,45
Promedio:			655,14	20,04
Precipitación (m/año):			0,65514	

Fuente: (Google Earth Pro CRUTEM,2021)

Después de obtener la precipitación media anual se multiplicó este dato por el área de la unidad hidrológica que es de $8 * 10^7 m^2$ y aplicando la ecuación (9), se determinó el volumen de precipitación media total.

$$Pp \text{ total} = Vtp * AC \quad (9)$$

$$Pp_{total} = 0,655 \frac{m}{año} * 8 * 10^7 m^2 = 5,24 * 10^7 \frac{m^3}{año}$$

Donde:

- Pp total: Precipitación promedio m^3
- Vtp : Volumen total de la precipitación (m)
- AC : Área de interés (m^2)

Determinación del volumen de escurrimiento medio anual

El valor se obtuvo por medio del volumen medio anual de escurrimiento, para lo cual en la Tabla 4 se da a conocer los coeficientes de escurrimiento, el mismo que se aplica en la siguiente fórmula:

$$Vm = A * C * Pm \tag{10}$$

$$Vm = 8 * 10^7 m^2 * 0,5 * 0,655 \frac{m}{año} = 2,62 * 10^7 \frac{m^3}{año}$$

Donde:

- Vm: Volumen medio que puede escurrir (m³)
- A: Área del bosque (m²)
- C: Coeficiente de escurrimiento
- Pm: Precipitación media anual (m)

Tabla 4. Valores del coeficiente de escurrimiento

Topografía y Vegetación	Textura del suelo		
	Ligera	Media	Fina
BOSQUE			
Plano (0 - 5 % pendiente)	0,10	0,30	0,40
Ondulado (5 - 10 % pendiente)	0,25	0,35	0,50
Escarpado (10 - 30 % pendiente)	0,30	0,50	0,60
PASTIZALES			
Plano (0 - 5 % pendiente)	0,10	0,30	0,40
Ondulado (5 - 10 % pendiente)	0,16	0,36	0,55
Escarpado (10 - 30 % pendiente)	0,22	0,42	0,60
AGRICOLAS			
Plano (0 - 5 % pendiente)	0,30	0,50	0,60
Ondulado (5 - 10 % pendiente)	0,40	0,60	0,70
Escarpado (10 - 30 % pendiente)	0,52	0,72	0,82

Fuente: (Piñeda Armijos, 2006)

Determinación del volumen de evapotranspiración media anual

Según Piñeda (2006), para determinar el volumen medio anual de evapotranspiración, se utilizó la siguiente expresión:

$$Evapotrans = (Pptotal - Escurrimiento) * factor Evapotrans \tag{11}$$

Para determinar el volumen de agua por evapotranspiración, primero se calculó la evapotranspiración anual en mm (ETP) de la zona de estudio, para lo que se utilizó la fórmula del Método de Turc Anual (Marín, 2010), basado en la precipitación y la temperatura, p la precipitación media anual en mm y T la temperatura media anual en °C, como se observa en la ecuación (12),

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3 \tag{12}$$

$$L = 300 + 25 * (20,04) + 0,05 * (20,04)^3 = 1203,405$$

$$ETP = \frac{p}{\sqrt{0,9 + \frac{p^2}{L^2}}} \quad (13)$$

$$ETP = \frac{655,14}{\sqrt{0,9 + \frac{(655,14)^2}{(1203,405)^2}}} = 598,96$$

$$\text{Factor de Evapotrans} = \frac{ETP}{\text{Prom Precipitacion anual}} \quad (14)$$

$$\text{Factor de Evapotrans} = \frac{598,96}{655,14} = 0,914$$

Una vez obtenido el valor de ETP, se calcula el factor de evapotranspiración aplicando la ecuación (13), se suplantó los valores obtenidos en la ecuación (9), (12), (13) y (14) en la ecuación (11), para conocer el volumen de evapotranspiración.

$$\text{Evapotrans} = \left(5,24 * 10^7 \frac{m^3}{\text{año}} - 2,62 * 10^7 \frac{m^3}{\text{año}} \right) * 0,914 = 2,40 * 10^7 \frac{m^3}{\text{año}}$$

Volumen de agua de infiltración en el Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe

Una vez determinado la precipitación total anual, la escorrentía media anual y la evapotranspiración media anual, se calculó el balance hídrico de la zona de estudio. El valor se halló sumando primero la escorrentía media anual con la evapotranspiración media anual, luego la suma se restó con la precipitación total anual del Bosque Protector y se obtuvo la cantidad de agua infiltrada en el suelo, cuyo resultado representa el suministro de agua del Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe. La ecuación utilizada para el cálculo de infiltración se obtuvo del estudio realizado por (Piñeda Armijos, 2006).

$$\text{Infiltración} = Pp \text{ total} - (\text{Esgurrimiento} + \text{Evapotranspiración}) \quad (15)$$

$$\text{Infiltración} = 5,24 * 10^7 \frac{m^3}{\text{año}} - \left(2,62 * 10^7 \frac{m^3}{\text{año}} + 2,40 * 10^7 \frac{m^3}{\text{año}} \right) = 2,25 * 10^6 \frac{m^3}{\text{año}}$$

Determinación de la zona de importancia hídrica

El análisis de la importancia hidrológica de la vegetación que presenta la microcuenca Jorupe se llevó a cabo a través de la matriz de Índices de Protección Hidrológica (IPH) propuesta por (Rojas, 2004), para ello se tomó en cuenta los valores de la Tabla 5 que se presenta a continuación.

Tabla 5. Parámetros para determinar la importancia de la cobertura vegetal para el servicio hídrico.

Nº	Tipo de cobertura vegetal y uso actual del suelo	Índice de protección hidrológica (IPH)	Importancia para proveer el Servicio Ambiental Hídrico (SAH)
1	Zona Poblada (ZU)	0,00	Muy baja/ nula
2	Zona Agrícola (C)	0,27	Baja
3	Pastizal (P)	0,39	
4	Pasto más matorral (P+ Ma)	0,45	Media
5	Zona Agroforestal (Za)	0,49	Alta
6	Plantación forestal (Pf)	0,70	
7	Matorral (Ma)	0,80	
8	Bosque natural (Bn)	1,00	Muy alta
9	Páramo arbustivo (Pa)	1,00	

Fuente: (Rojas, 2004)

Valor de captación y/o productividad hídrica de la zona de importancia hídrica (ZIH)

Según Once-Collaguazo et al., (2019), para determinar el valor de captación o productividad hídrica (*VC*), se estimó a partir del costo de oportunidad (*Co*) y la importancia de la cubierta vegetal protectora (&), a través de la ecuación (16). Es necesario tomar en cuenta que el *Co* corresponde a un valor monetario asociado con la actividad económica que compite con el ecosistema del área de estudio. De la misma forma, esta fase permite identificar la actividad económica más representativa, y los costos totales de ingresos y egresos al año. Para la actual investigación, el costo de oportunidad que se atribuye es para zonas de deforestación y cultivo de maíz amarillo, el cual es sembrado en las zonas aledañas al bosque (MAGAP, 2022).

$$Vc = \frac{\& * Co * Abi}{Va} \tag{16}$$

Dónde:

- *VC*: valor de captación o productividad hídrica por la cubierta vegetal (\$/m³)
- *&*: importancia de la cubierta vegetal protector (adimensional)
- *Co*: costo de oportunidad (\$/ha/año)
- *Abi*: área de la zona de importancia hídrica (ha)
- *Va*: volumen del agua disponible (m³ /año)

Se estima que ρ varía entre 0 y 1, valor generado a través de la percepción social, que la clasifica en niveles jerárquicos, donde se ve reflejada la importancia de la cubierta para la protección del recurso hídrico (Once-Collaguazo et al., 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

SERVICIO ECOSISTÉMICO DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO

Determinación Del índice De Vegetación NDVI

Una vez calculado el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en el software ENVI, se determinó que en la mayor parte del Bosque Protector Jatumpamba – Jorupe hay niveles de índices superiores a 0.6, como se observa en la Figura 3, lo que se puede interpretar que efectivamente el área posee una gran densidad de vegetación, debido a la presencia del Bosque Nativo en el área de estudio.

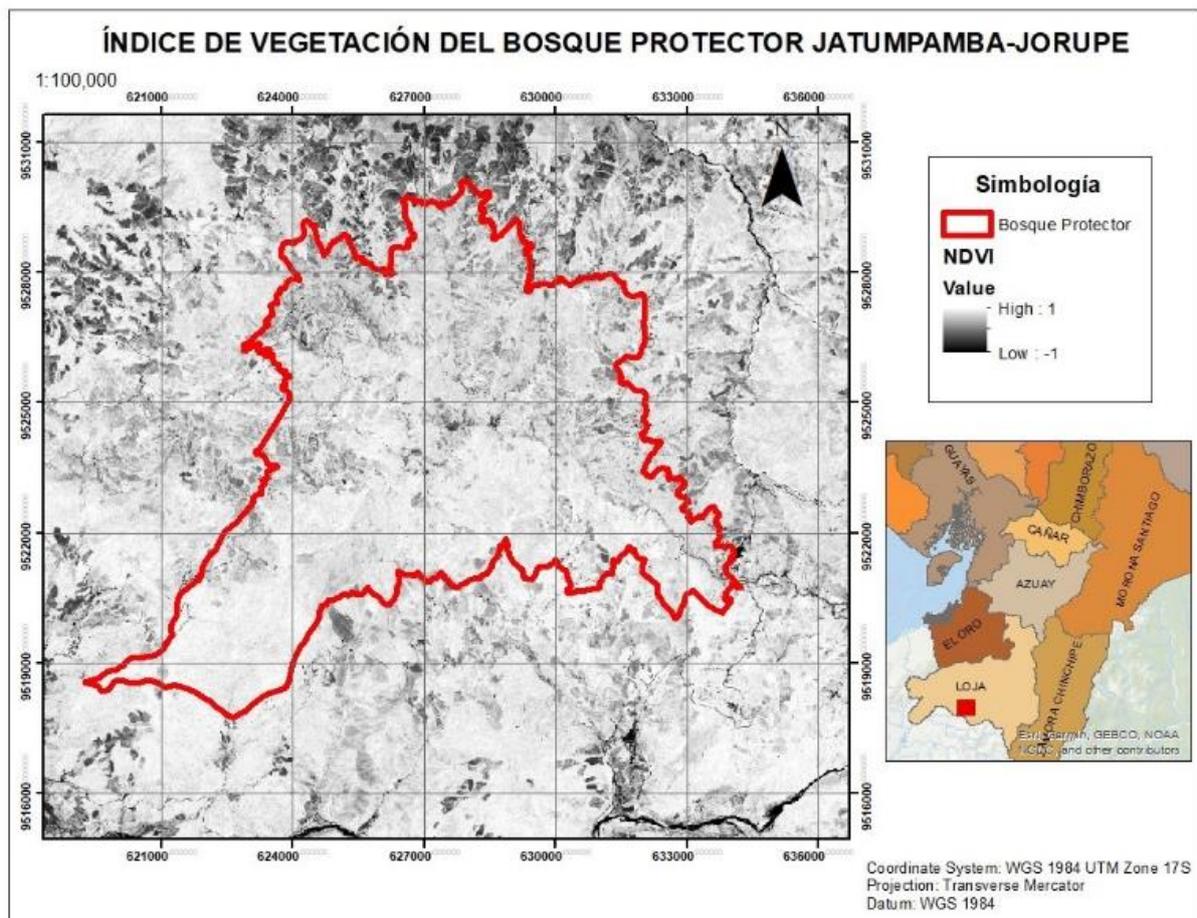


Figura 3. Mapa de NDVI del Bosque protector Jatumpamba-Jorupe
Fuente: (ESA, 2022)

Cálculo de Biomasa Aérea Forestal (BA)

Para la estimación de la biomasa aérea forestal (BA) en (Kg/árbol) se utilizó la ecuación 4 en cada tipo de cobertura (Pastizal, Bosque Nativo, Vegetación Arbustiva), como se observa en las Tablas 6, 7 y 8.

Tabla 6. Cálculo de BA para la cobertura de Bosque Nativo

Parámetros ecológicos de los árboles encontrados en la microcuenca del río Jorupe					
ESPECIE	#	D	Altura	DAP	BA
	Ind	ind/ha	(m)	(cm)	(Kg/árbol)
OreopanaxandreasMarchal	3	25	10	10	0,04307
Schefflera sp	3	25	1,71	13	0,08646
Critoniopsis sp	3	25	12	8	0,02384
Gynoxislaurifolia (Kunth) Cass	2	16,7	8	2,5	0,00120
Maytenus sp.	6	50	30	25	0,48504
Hedyosmumracemosum (Ruiz & Pav.)	7	58,3	12	16	0,14996
Hedyosmumracemosum (Ruiz & Pav.) Don	6	50	10	16	0,14996
Clethra revoluta (Ruiz & Pav.) Spreng	5	41,7	10	30	0,77842
Clusia elliptica Kunth	20	166,7	7,2	42	1,83641
Clusia latipes Planch & Triana	3	25	4	5	0,00695
Weinmannia elliptica Kunth	11	91,7	15	30	0,77842
Weinmannia sorbifolia	2	16,7	15	30	0,77842
Weinmannia glabra L. f.	2	16,7	6	5	0,00695
Valleastipularis L.f	1	8,3	15	10	0,04307
Hyeronima macrocarpa Müll. Arg	14	116,7	20	30	0,77842
Aniba sp.	8	66,7	22	62	4,80818
Nectandra sp	3	25	25	60	4,44061
Nectandra laurel Nees	1	8,3	10	20	0,27031
Persea sp. 2	1	8,3	20	15	0,12639
Persea sp. 1	1	8,3	15	10	0,04307
Axinaea macrophylla (Naudin) Triana	9	75	1,6	5	0,00695
Ruagea Hirsuta (C. DC.) Harms	2	16,7	10	8	0,02384
Trichilia tomentosa	1	8,3	2	180	52,26291
Myrsine sodiroana (Mez) Pipoly	16	133,3	3	20	0,27031
Myrsine latifolia (Ruiz & Pav.) Spreng.	12	100	15	30	0,77842
Myrcianthes rhopaloides (Kunth) Mc. Vaugh	2	16,7	15	10	0,04307
Podocarpus sprucei Parl	28	233,3	8	35	1,15645
Roupala loxensisI. M. Johnst	3	25	1,5	9	0,03257
Oreocallis grandiflora (Lam.) R. Br	2	16,7	7	15	0,12639
Hesperomeles Obtusifolia (Pas.) Lindl.	5	41,7	5	20	0,27031
Prunus opaca (Benth.) Wolp.	1	8,3	10	30	0,77842
Palicourea amethystina (Ruiz & Pav.) DC	1	8,3	2	5	0,00695
Zanthoxylum sp	2	16,7	18	40	1,62372
Meliosma sp	1	8,3	10	5	0,00695
Simplocos sp	6	50	3	2,5	0,00120
Ternstroemia macrocarpa Triana & Planch	6	50	7	5	0,00695
Gordonia sp.	9	75	10	7	0,01676
Aegiphila sp	3	25	7	10	0,04307
Aegiphila monticula Moldenke	2	16,7	25	10	0,04307
Sumatoria Total:	213				73,13347

Fuente: (Lituma y Medina, 2011)

Tabla 7. Cálculo de BA para la cobertura de Vegetación Arbustiva

Parámetros ecológicos encontrados en el estrato arbustos de la microcuenca Jorupe					
ESPECIE	# Ind	D ind/ha	Altura (m)	DAP (cm)	BA (Kg/árbol)
Gynoxys buxifolia (Kunth) Cass	32	1600	10	40	1,62372
Baccharis oblongifolia (Ruiz & Pav.) Pers	23	1150	1,5	13	0,08646
Baccharis latifolia (Ruiz & Pav.) Pers.	13	650	6	10	0,04307
Ageratina dendroides (Spreng) R.M. King & H. Rob	12	600	3,2	3,82	0,00347
Baccharis obtusifolia Kunth	10	500	7	5,16	0,00754
Lepidaploacanescens (Kunth) H. Rob	10	500	4,1	3,41	0,00260
Cacosmia rugosa Kunth	2	100	6	3,12	0,00208
Gynoxys laurifolia (Kunth) Cass	2	100	8	2,5	0,00120
Clethra revoluta (Ruiz & Pav.) Spreng	4	200	8	8,69	0,02968
Macleania rupestris (Kunth) A.C. Sm.	13	650	3	3,5	0,00278
Disterigma alaternoides (Kunth) Nied	2	100	10	5	0,00695
Macrocarpaebubops	4	200	10	10	0,04307
Tibouchina laxa Aubl.	36	1800	25	5	0,00695
Brachyotum campalunare (Bonpl.) Triana	18	900	1,5	0,8	0,00009
Miconia lutescens (Bonpl.) D.C	13	650	5	5	0,00695
Brachyotum azuayense Wurdack	2	100	1,5	0,8	0,00009
Morella pubescens	12	600	12	10	0,04307
Myrcianthes rhopaloides (Kunth)	8	400	7	30	0,77842
Eugenia sp.	3	150	4	8	0,02384
Cantua quercifolia Juss	2	100	1,2	10	0,04307
Roupala obovata Kunth	25	1250	25	60	4,44061
Oreocallis grandiflora (Lam.) R. Br.	11	550	6	8	0,02384
Lomatia hirsuta (Lam.) Diels	7	350	15	20	0,27031
Roupala montana Aubl	5	250	2	10	0,04307
Roupala loxensis I. M. Johnst.	3	150	4	5	0,00695
Hesperomeles Obtusifolia (Pers.) Lindl.	11	550	5	6	0,01118
Rubus sp.	2	100	3	5	0,00695
Ternstroemia macrocarpa Triana & Planch	1	50	2	10	0,04307
Sumatoria Total:	286				7,60112

Fuente: (Lituma y Medina, 2011)

Tabla 8. Cálculo de BA para la cobertura de Pastizal

Parámetros ecológicos encontrados en el estrato herbáceo de la microcuenca Jorupe					
ESPECIE	# Ind	D ind/ha	Altura (m)	DAP (cm)	BA (Kg/árbol)
Cyclopernum leptophyllum(pres.) Sprague e Britton & P. Wilson	25	25000	0,6	3,5	0,00278
Bidens pilosa L	30	30000	3,3	3,69	0,00318
GalinsogaquqdriradiataRuiz &Pav	18	18000	0,8	1	0,00014
Gamochaeta americana (Mill.) Wedd	16	16000	0,5	2,5	0,00120
Rhynchosporasp	19	19000	0,6	6	0,01118
CyperusrotundusL.	16	16000	0,5	2	0,00070
Kilinga pumila Michx	10	10000	0,45	1	0,00014
Pteridiumarachnoideum (Kaulf)	11	11000	4,5	1	0,00014
Desmodium molculum (Kunth) DC.	13	13000	1,3	1	0,00014
HypericumcanadenseL	12	12000	0,6	3	0,00189
JuncuseffususL	16	16000	1	0,4	0,00002
JuncusbufoniusL	15	15000	1	0,4	0,00002
Plantago australis Lam	14	14000	0,6	3	0,00189
Setaria sphacelata (Schumach)	50	50000	3	1	0,00014
Melinis minutiflora P. Beauv.	45	45000	1,5	0,75	0,00008
Axonopus scoparius (Flugge) Kuhl	25	25000	1,5	0,75	0,00008
Lolium multiflorum Lam.	19	19000	1,3	0,5	0,00004
Panicum maximum Jacq.	19	19000	1	0,5	0,00004
Holcus lanatus L.	18	18000	0,7	0,75	0,00008
Pennisetum clandestinum Hochst. ex Chiov.	15	15000	0,5	1,2	0,00021
Paspalum sp.	14	14000	1,5	1,2	0,00021
Lachemilla orbiculata (Ruiz & Pav.) Rydb.	12	12000	1	1,3	0,00026
Sumatoria Total:	432				0,02458

Fuente: (Lituma y Medina, 2011)

Posteriormente usando la ecuación (5) se calculó el valor de BA en toneladas por hectárea. Tabla 9.

Tabla 9. Cálculo de la Biomasa Arbórea en (Ton/ha)

	Área de la parcela	#Total de individuos	BA (Kg/árbol)	BA (Ton/ha)
Pastizal	200	213	73,133	778,87
Bosque Nativo	25	286	7,601	869,56
Vegetación Arbustiva	1	432	0,025	106,18

Variación de la biomasa arbórea con los niveles digitales de NDVI

El índice de vegetación en relación con los valores de biomasa, permitió generar un modelo polinomial de regresión entre los factores dependiente e independiente, en donde, “Y” corresponde a la biomasa y “X” a los niveles digitales del NDVI. Reemplazando los datos en la ecuación (6) se obtiene los valores de BA ajustados, tal como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Variables independientes y dependientes para generación de modelo de regresión

COBERTURA	X (NDVI)	Y (BA)	Y (BA) ajustado
PASTIZAL	0,76	106,18749	105,59189
VEGETACIÓN ARBUSTIVA	0,79	869,56757	868,95186
BOSQUE	0,82	778,87144	778,24097

Fuente: (Autores, 2022)

Cálculo de contenido de carbono en la biomasa aérea (C) y cálculo del volumen de dióxido de carbono (CO₂)

Mediante las ecuaciones (7) y (8) se pudo estimar el contenido de carbono C en la biomasa aérea y el volumen de dióxido de carbono CO₂ con los datos obtenidos de la BA ajustada de cada cobertura. Cabe mencionar que el valor de BA ajustado se transformó a unidad de toneladas con la multiplicación del área en hectáreas de cada cobertura.

Tabla 11. Contenido de C y volumen de CO₂ en el Bosque Protector Jatumpamba – Jorupe

COBERTURA	ÁREA	BA (ton)	C (ton)	CO2 total (ton)
PASTIZAL	3763,6281	397408,6252	198704,3126	729244,8272
VEGETACIÓN ARBUSTIVA	136,3189	118454,5189	59227,25944	217364,0421
BOSQUE	3157,4964	2457293,05	1228646,525	4509132,747
Sumatoria		2973156,194	1486578,097	5455741,617

A partir de la estimación del CO₂ almacenado, se estimó el valor del mercado del carbono almacenado en el Bosque Protector Jatumpamba – Jorupe, donde se estima que el valor por tonelada de carbono capturada según el Banco Mundial es de 2,5 dólares / certificado, considerando que una tonelada de CO₂ representa un certificado o bono (Miguel, 2021), por lo tanto, el valor total del servicio ambiental de almacenamiento de carbono es de \$13.639.354,04.

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL RECURSO HÍDRICO

Balance Hídrico (Oferta Hídrica)

Determinación del volumen de Precipitación media total y Volumen de escurrimiento medio anual

El volumen de precipitación media anual total en el Bosque Protector Jatumpamba - Jorupe es de $5,24 * 10^7$ m³ /año y el volumen de escurrimiento medio anual de la microcuenca es de $2,62 * 10^7$ m³ /año, resultado que se obtuvo a través de los datos de precipitación media anual (655,14 mm/año), coeficiente de escurrimiento (0,5) y el área de la microcuenca ($8 * 10^7$

m²).

Volumen de evapotranspiración

El volumen de evapotranspiración en la zona de estudio es de $2,40 * 10^7$ m³/ año. Este valor resulta al utilizar datos como: la precipitación media anual (655,14 mm/año), la temperatura media anual (20,04 °C) y el factor de evaporación 0,914. Los cálculos para determinar el volumen de agua por evapotranspiración se presentan a continuación.

Tabla 12. Balance hídrico (Oferta hídrica)

BALANCE HÍDRICO			
Oferta Hídrica total del Bosque Jatumpamba-Jorupe	Área del bosque	8*10 ⁷	m ²
	Precipitación media	655,14	mm/año
	Oferta hídrica total/año	5,24* 10 ⁷	m ³ /año
Escorrentía	50% del agua precipitada	2,62*10 ⁷	m ³ /año
Evapotranspiración	45,71% del agua precipitada	2,40*10 ⁷	m ³ /año
Infiltración del agua en el suelo	4,29% del agua precipitada	2,25*10 ⁶	m ³ /año

El volumen de oferta hídrica en el bosque protector es de $2,25 * 10^6$ m³ /año, de la cual el volumen de precipitación total de la microcuenca es de $5,24 * 10^7$ m³ /año, donde hay un estimado promedio del volumen de escorrentía de $2,62 * 10^7$ m³ /año que representa el 50% de la precipitación total, mientras que el volumen de evapotranspiración con un estimado de $2,40 * 10^7$ m³ /año representa el 45,71 % de la precipitación total. El volumen de infiltración del agua en el suelo es de $2,25 * 10^6$ m³ /año y representa tan solo el 4,29 % de la precipitación total.

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL HÍDRICO DE DEL BOSQUE PROTECTOR JATUMPAMBA – JORUPE

Para valorar el servicio ambiental hídrico se tomó en consideración el hecho de que el bosque protector al ser una reserva privada evita que exista una deforestación del lugar; al atravesar por esta reserva el río Jorupe, este bosque toma un papel importante dentro de la captación del recurso hídrico, razón por la que se toma como Zona de Importancia Hídrica para determinar el valor económico hídrico.

Valor de productividad hídrica de la ZIH o valor de captación

La oferta hídrica del Bosque Protector Jatumpamba Jorupe es $2,25 * 10^6$ m³ /año lo que representa el 4,29% del total de agua que genera según la captación de agua del bosque. La ZIH puede tener varias alternativas de uso, por tanto, cada alternativa representa un diferente costo de oportunidad. Para la actual investigación, debido a que la zona de estudio es un bosque protector, no debería existir tala indiscriminada ni cultivos, el costo de oportunidad que se atribuye es para zonas de deforestación y cultivo de maíz amarillo, el cual es sembrado en las

zonas aledañas al bosque (MAGAP, 2022)

El costo de oportunidad promedio ponderado para zonas de procesos homogéneos de deforestación (ZPHD) en bosques y valles secos del sur es de 4,1 USD/tCO₂-eq, si se toma en cuenta que el nivel de referencia estimado para todo el Ecuador está alrededor de 43'418.126 tCO₂eq / año, el cual equivale a 400 tCO₂-e año⁻¹ ha⁻¹ lo que es igual a 108.650 ha año⁻¹ y al aplicar una regla simple de tres se obtiene que el valor de 4,14,1 USD/tCO₂-eq equivale a \$1640/ha/año (Leguia, 2015).

Por otro lado, el costo que genera el cultivo de maíz amarillo en las zonas aledañas es de 18\$ por 1qq/año (Lituma y Medina, 2011) y en base a lo mencionado por la Prefectura de Loja (2021) que dentro de una ha se puede sacar 90qq, el costo de oportunidad por cultivo de maíz sería de 1620\$/ha/año. Con estos datos y asignando a $\alpha=1$, el valor de captación con Co de deforestación fue de 5,83 \$/m³ y el Vc de Co de cultivo de maíz amarillo fue de 5,77\$/m³.

El valor de la productividad hídrica del bosque Jatumpamba-Jorupe es en promedio de 5,80 \$/m³. Este valor comparado con otros estudios en diferentes zonas del Ecuador difiere significativamente, por ejemplo, en la microcuenca del río Chimborazo (\$ 0,26/ m³), en la microcuenca Curitroje (\$0,029/ m³), en la microcuenca El Salado (\$0,27/ m³), en la microcuenca Chorera (\$0,22/ m³) y en la microcuenca El Limón (\$0,16/ m³) (Rivera, 2019). Esto puede ser debido a que, al ser un bosque seco, su capacidad de almacenamiento de agua (infiltración de agua en el suelo) es muy baja, representando tan solo el 4,29% de la oferta hídrica existente en la zona.

Valoración del beneficio del servicio hídrico

$$B = Pp \times VC$$

$$B = 8 * 10^7 \text{ m}^3/\text{año} * \text{US\$ } 5,8 / \text{m}^3$$

$$B = \$ 464'000000 / \text{año}$$

El valor del beneficio del servicio hídrico obtenido por la captación de agua en el bosque protector Jatumpamba-Jorupe es de 464'000000 USD/ año, valor que no se puede tomar en cuenta, debido a que el precio del agua/m³ es demasiado alto.

CONCLUSIONES

El índice de vegetación (NDVI), jugó un papel fundamental en el desarrollo del proyecto por lo que permitió determinar la vigorosidad o salud de las plantas existentes en la zona de estudio, esto se debe a que la banda roja se relaciona con el contenido de clorofila y la banda del infrarrojo cercano con el índice de superficie foliar y densidad de vegetación verde.

Los tipos de cobertura vegetal identificados en el Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe fueron: Pastizal, Vegetación Arbustiva y Bosque Nativo. El valor NDVI que se obtuvo para cada una de las coberturas del bosque protector fue de aproximadamente 1, de manera que se puede concluir que existe gran cantidad de vegetación, lo cual es muy característico de las Cordilleras Oriental y Occidental, donde la mayoría de los valores son mayores a 0.70.

La valoración económica del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono fue de 13'639.654,04 USD equivalente a 1.932,619 USD/ha. Sin embargo, este valor es una estimación sobre la base de precios de reducción de emisiones propuesta en el Protocolo de Kioto con el bono de carbono, donde se estima que el valor de tonelada de carbono es de 2,5

dólares. De igual forma, este valor nos permite evidenciar que la conservación del bosque protector generaría una ganancia económica y se espera que los resultados obtenidos ayuden a futuras planificaciones territoriales de la zona.

El método de costo de oportunidad en base a la valoración del recurso hídrico, no ayudó a determinar la importancia de la conservación del Bosque Jatumpamba-Jorupe, debido a que al ser un bosque seco la mayor parte del agua infiltrada en el suelo, es absorbida por la vegetación en la época seca haciendo que el porcentaje de agua subterránea sobrante represente menos del 5% de la oferta hídrica, razón por la cual al comparar con otros posibles usos como deforestación o cultivo de maíz amarillo, el precio del agua va a ser muy alto.

La valoración del beneficio del servicio hídrico fue de 464'000000 USD/ año, pero para que esto ocurra las personas deberían estar dispuestas a pagar más de 5\$ por el m³ de agua, cosa que es muy improbable pues en Loja como en la mayoría del país el agua es subsidiada y en esta provincia su valor esta entre los 0,12 ctvs a 0,25 ctvs el m³, por lo que si se desea valorar la importancia de la conservación del bosque protector Jatumpamba-Jorupe se recomienda usar otras metodologías, sobre todo las que usen como datos información turística, actividad que se desarrolla dentro del bosque y por el cual posiblemente sus propietarios hayan decidido conservarlo en su estado natural.

Se espera que el presente proyecto de investigación sea un instrumento potencial para contribuir la transición hacia el desarrollo sostenible, fomentando la reforestación con especies nativas que permitan una mayor fijación de carbono, Asimismo, mediante la colaboración de proyectos y políticas enfocados en la reducción de emisiones, se podría lograr un cambio significativo en el área.

REFERENCIAS

- Aguirre, Z., & Geada-Lopez, G. (Junio de 2017). Estado de conservación de los bosques secos de la provincia de Loja, Ecuador, *Universidad Privada Antenor Orrego, Museo de Historia Natural*, 24(1), doi:<http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24107>
- Aguirre, Z., Aguirre, N., & Muñoz, J. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador, *Arnaldoa*, 24(2), 523 - 542, Obtenido de <http://www.scielo.org/pe/pdf/arnal/v24n2/a06v24n2.pdf>
- Andrade, & Isabel, M. (2008). *Universidad Nacional de La Plata*, Obtenido de <https://www.aacademica.org/000-096/164.pdf>
- Arboit, M., & Maglione, D. (2018). Análisis multitemporal y multiespacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y del índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) en centros urbanos forestados y oasis irrigados, con climas secos. *Boletín de Estudios Geográficos*, 109(6), 13-60, <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/87643>
- Astudillo Chicaiza, K., & Rodríguez Espinoza, F. (2020). Valoración Económica De Los Servicios Ambientales Del Parque Ecológico Recreacional La Perla. *Revista GEOESPACIAL*, 17(1), 39-58, <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial/article/view/1508/1358>
- Báez-Quñones, N. (2018). Valoración económica del medio ambiente y su aplicación en el sector, *Revista Pastos y Forrajes*, 41(3), 161-169, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942018000300001
- BirdLife International. (2005). Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe, BirdLife International <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/bosque-protector-jatumpamba-jorupe-iba-ecuador/text>
- Bravo-Benavides, D, Jaramillo, R, & Encalada, D. (2019). Valoración económica del recurso hídrico de la microcuenca Quillusara en el cantón Celica-Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 12(1), 43-49, doi: <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i1.314>

- Caro-Caro, C., & Torres-Mora, M. (17 de Noviembre de 2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas, *Universidad de los Llanos*, 19(2), 237-252, Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v19n2/v19n2a11.pdf>
- Chave, J, Muller-Landau, H., Baker, T, Easdale, T, Steege, H & C Webb, A. (2006). Regional And Phylogenetic Variation Of Wood Density Across 2456 Neotropical Tree Species. *Ecological Applications*, 16(6), 2356-2367, doi: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2356:RAPVOW\]2,0,CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2356:RAPVOW]2,0,CO;2)
- Comisión Europea, (Septiembre de 2009). Comisión Europea, Obtenido de <https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Eco->
- ESA. (2021). Imagen Satelital Sentine - 2, Agencia Europea Espacial, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- FAO, (18 de Febrero de 2020). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Obtenido de <https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/1268275/>
- Fundación Ecológica Arcoiris. (2003). Bosques del Sur: El estado de 12 remanentes de bosques andinos de la provincia de Loja, Fundación Ecológica Arcoiris, Loja - Ecuador, <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/237c4c5bcaeb4de5a03b81e36f25fcb0.pdf>
- Fundación Ecológica Arcoiris. (2010). Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe, Fundación Ecológica Arcoiris, Loja - Ecuador, <https://lae.princeton.edu/catalog/30591ab3-3307-4286-b2fa-8dc44f5a7a16?locale=es#?c=0&m=0&s=0&cv=0&xywh=-885%2C-153%2C5313%2C3938>
- Gobierno Descentralizado de la Provincia de Loja. (2021). Desarrollo productivo, Gobierno Descentralizado de la Provincia de Loja, Loja - Ecuador, <https://prefecturaaloja.gob.ec/desarrollo-productivo>
- Hernández Cuevas, F, I, Vázquez Bracho Illescas, A, Loranca Rodríguez, K, G., & Mc Manus Gómez, M. (2019). Valoración contingente del recurso hídrico: Caso Reserva Ecológica de Cuxtal, Yucatán. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 15(1), 14–27, <https://doi.org/10.4067/S0718-235X2019000100014>
- Jumbo, C, Arévalo, C, & Ramírez, L. (2017). Medición De Carbono Del Estrato Arbóreo Del Bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador. *Revista La Granja*, 17(1), doi: <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04>
- Leguía, D. (2015). Análisis de Costos de Oportunidad y potenciales flujos de ingresos por REDD+, Ministerio del Ambiente, Quito- Ecuador, <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/.../55877.pdf>
- Lituma Torres, J, & Medina Galván, W. (2011). Plan De Manejo Sustentable De Los Recursos Naturales De La Microcuenca Del Río Jorupe, Provedora De Agua Para La Ciudad De Amaluza, Tesis De Grado Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de Loja: <https://dspace.unl.edu.ec/.../TESIS%20PLANDE%20MANEJO%20listo%20final.pdf>
- MAATE. (2021). Mapa Interactivo, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición ecológica, <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- Marín, V. (2010). Evaluación De La Relación Entre La Evapotranspiración Potencial Teórica Y La Evaporación Registrada En Los Departamentos De Cundinamarca Y Valle Del Cauca. Trabajo De Grado Para Optar Al Título De Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Javeriana, <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7128/tesis369.pdf?sequence=1>
- Miguel, F. (2021). Bonos de carbono: el valor del aire limpio. *Revista Forestal*, 30(3), 24-29, <http://www.revistaforestal.uy/industria/bonos-de-carbono-el-valor-del-aire-limpio-uruguay.html>
- Osborn, T. (2020). Unidad de Investigación Climática: Interfaz de Google Earth para datos de temperatura terrestre CRUTEM4, Google Earth, <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/crutem/ge/>

- Piñeda, C. (2006). Valoración económica ambiental de la oferta y la demanda del recurso hídrico del bosque protector Cubilan En La Microcuenca Aguilan. Universidad Nacional De Loja, <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5035/1/Pineda%20Armijos%20César.pdf>
- Palacios Orejuela, I, Castro Benavides, B, & Rodríguez Espinoza, F, (2019), Almacenamiento de carbono como servicio ambiental en tres reservas naturales del Ecuador. *Revista GEOESPACIAL*, 16(1), 1-14, doi: <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v16i1.1275>
- Quiceno, N, Tangarife, G, & Álvarez, R. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena piapoco chigüiro-chátare de barrancominas, Departamento Del Guainía (Colombia). *Revista Luna Azul*, 43, 171-202, doi:10.17151/luaz.2016.43.9
- Rojas, J. (2004). Estudio de Valoración Económica del Agua de Uso Doméstico de Gonzanama, PROBONA, Loja - Ecuador 47p, http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus_sigad_plus_documento_final/1160000750001_pdyot%20gonzanama_prueba_14-3-2015_23-06-11.pdf
- Rügnitz Tito, M, Chacón León, M, & Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales, Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA): <http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>
- UNL. (2006). Estado de Conservación de Áreas Protegidas y Bosques Protectores de Loja y Zamora Chinchipe, Universidad Nacional de Loja, <https://www.portalces.org/sites/default/files/informeareaslojazamora.pdf>
- Viglizzo, E, Carreño, L, Volante, J, & Mosciaro, M. (2011). Evaluación de bienes y servicios ecosistémicos: ¿verdad objetiva o cuento de la buena pipa? Expansión e intensificación agrícola en Argentina: Valoración de bienes y servicios ecosistémicos para el ordenamiento territorial, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires Argentina, 17-36, <https://www.researchgate.net/profile/.../0deec51e963480928c000000/Valoracion-de-Servicios-Ecosistemicos-Co>
- Yáñez-Muñoz, M, H, & Morales, M. (2013). Reserva Biológica Jorupe: El Bosque Seco Tumbesino al pie de los Andes, En Herpetofauna En Áreas Prioritarias Para La Conservación: El sistema de Reservas Jocotoco y Ecominga (1 ed, págs, 96-108), MECN-JOCOTOCO-ECOMINGA, https://www.researchgate.net/.../309838999_Reserva_Biologica_Jorupe_El_Bosque_Seco_Tumbesino_al_pie_de_los_Andes
- Zurita Moreano, E, González Bautista, M, G, & Lema Espinoza, M, de J. (2019). Valoración económica ambiental del recurso hídrico, y el beneficio para los usuarios del sistema de riego Guargualla de la parroquia Licto, cantón Riobamba provincia de Chimborazo (2012-2016). *Revista Interconectando Saberes*, 8(4), 1-14, <https://doi.org/10.25009/is.v0i8.2642>