**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*](mailto:daduenas1@espe.edu.ec)*;* [*odguevara@espe.edu.ec*](mailto:odguevara@espe.edu.ec)*;* [*kssantacruz1@espe.edu.ec*](mailto: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 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 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 (Yánez-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 Arcoíris (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 almacenaminto de carbono en tres reservas (Bosque Protector Kutukú-Shaimi, Reservas Ecológicas Tapichalaca y Buenaventura) mediante imágenes satelitáles, 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 |

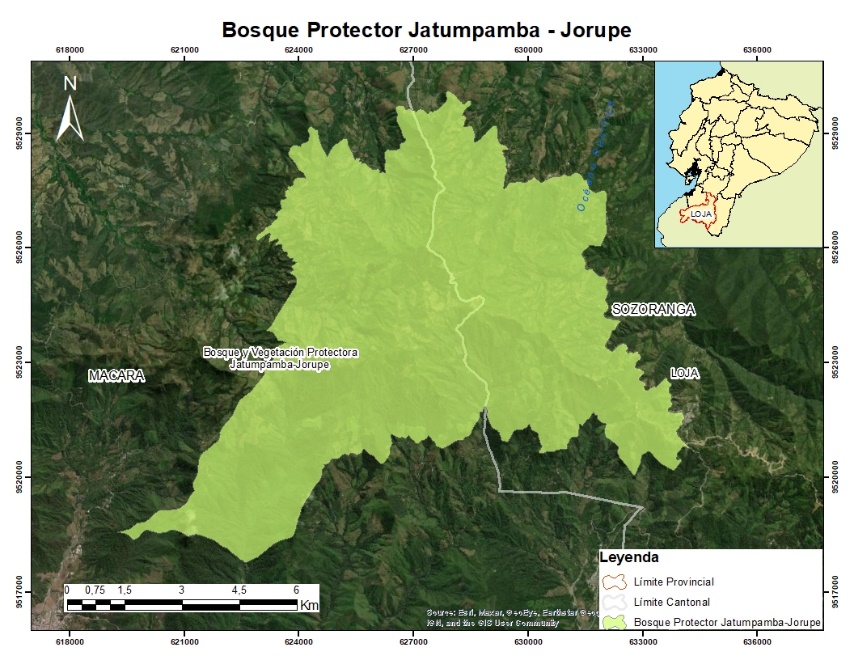


Figura 1*.* Ubicación del Bosque Protector Jatumpamba-Jorupe

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-Quiñones, 2018). En términos simbólicos el VET se puede expresar de la siguiente manera:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |
|  |  |
|  | (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:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (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 el 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 ( que se utilizó es el valor promedio de 0,645 g/cm3 mientras que , , y son las constantes obtenidas y planteadas por (Chave el al., 2006), en un estudio regional de los bosques neotropicales pertenecientes a Centroamérica y Sudamérica quedando la ecuación (4), con los siguientes valores:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

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.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

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.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (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.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

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.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

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 ∗ 107 𝑚2 y aplicando la ecuación (9), se determinó el volumen de precipitación media total.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Donde:

* Pp total: Precipitación promedio m3
* Vtp: Volumen total de la precipitación (m)
* AC: Área de interés (m2)

*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:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |
|  |  |

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:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (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 ºC, como se observa en la ecuación (12),

L = 300 + 25\*T + 0.05\*T³ (12)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

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.

*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).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

*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.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N° | 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 |
| 6 | Plantación forestal (Pf) | 0,70 | Alta |
| 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).

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |

Dónde:

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

Se estima que & 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** | **# Ind** | | **D ind/ha** | | **Altura (m)** | | **DAP (cm)** | | **BA (Kg/árbol)** | |
| OreopanaxandreanusMarchal | | 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 | |
| Weinmania 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 obtusifoliaKunth | 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 |
| Macrocarpaeabubops | 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)** |
| Cyclopermum 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) Kuhlm | 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 ∗ 107 m3 /año y el volumen de escurrimiento medio anual de la microcuenca es de 2,62 ∗ 107 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∗107 𝑚2).

*Volumen de evapotranspiración*

El volumen de evapotranspiración en la zona de estudio es de 2,40 ∗ 107 𝑚3/ 𝑎ñ𝑜. Este valor resulta al utilizar datos como: la precipitación media anual (655,14 mm/año), la temperatura media anual (20,04 ºC) 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\*107 | m2 |
| Precipitación media | 655,14 | mm/año |
|  | **Oferta hídrica total/año** | 5,24\* 107 | m3/año |
| **Escorrentía** | 50% del agua precipitada | 2,62\*107 | m3/año |
| **Evapotranspiración** | 45,71% del agua precipitada | 2,40\*107 | m3/año |
| **Infiltración del agua en el suelo** | 4,29% del agua precipitada | 2,25\*106 | m3/año |

El volumen de oferta hídrica en el bosque protector es de 2,25 ∗ 106 m3 /año, de la cual el volumen de precipitación total de la microcuenca es de 5,24 ∗ 107 m3 /año, donde hay un estimado promedio del volumen de escorrentía de 2,62∗ 107 m3 /año que representa el 50% de la precipitación total, mientras que el volumen de evapotranspiración con un estimado de 2,40∗107 m3 /año representa el 45,71 % de la precipitación total. El volumen de infiltración del agua en el suelo es de 2,25 ∗ 106 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, esté 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 ∗ 106 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 &=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 𝑥 𝑉𝐶*

*𝐵 = 8∗ 107 𝑚3/𝑎ñ𝑜 ∗ US$ 5,8 /𝑚3*

*𝐵 = $ 464’000000/ 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-Quiñones, 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 & CWebb, 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

Comisión Europea, (Septiembre de 2009). Comisión Europea, Obtenido de https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Eco-

ESA. (2021). Imagen Satélital 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://prefecturaloja.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 Bosquenatural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador. *Revista La Granja*, 17(1),

doi: https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04

Leguia, 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, Proveedora 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-urugua,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). Valoracion economica ambiental de la oferta y la demanda del recurso hidrico 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 yservicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena piapoco chigüiro-chátare debarrancominas, 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 Domestico de Gonzanama, PROBONA, Loja - Ecuador 47p, http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\_SNI /data\_sigad\_plussigadplusdocumentofinal/1160000750001\_pdyot%20gonzanama\_prueba\_14-3-2015\_23-06-11.pdf

Rügnitz Tito, M, Chacón León, M, & Porro, R. (2009). Guia para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales, Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA): http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf

UNL. (2006). stado 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

Yánez-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