

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA  
DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE BALSA Y SU ROL EN LA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”**

Realizado por:

**VANESSA ESTEFANÍA GAVELA LEÓN**

Director del proyecto:

Dr. Jesús López Villada

Como requisito para la obtención del título de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

Quito, febrero de 2022

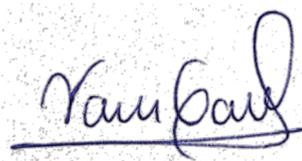
“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

### DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, VANESSA ESTEFANÍA GAVELA LEÓN, con cédula de identidad #1716721392 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que ese incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Vanessa Estefanía Gavela León

1716721392

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”**

Realizado por:

**VANESSA ESTEFANÍA GAVELA LEÓN**

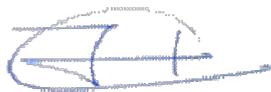
Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

**JESUS LOPEZ VILLADA**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

## **LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**MIGUEL MENESTRE MARTÍNEZ**

**ALBERTO AGUIRRE**

Después de revisar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apto para su defensa oral  
ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 15 de febrero de 2022

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

## **DEDICATORIA**

A todos aquellos que encontraron en la vida, la fuerza para actuar en favor del medioambiente a través del amor y no del miedo.

A mi sobrino Mikael, a quien espero dejarle un mundo mejor.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, Nelson y Patricia por impulsarme a seguir mis sueños y apoyarme incondicionalmente a pesar de las dificultades.

A mi abuelita María, quien con su amor me recuerda día a día mis metas y objetivos y ha sido partícipe incondicional de esta aventura.

A Alejandra, Andrés y Camila por ser mi soporte fundamental a lo largo de mi carrera.

A mi familia, a mis tíos y tías quienes se alegran con cada pequeño éxito y me han impulsado a conseguir este título.

A la persona que ha estado conmigo hasta el último día, por acompañarme en las madrugadas, brindarme su apoyo incondicional y no permitirme jamás renunciar a mi sueño.

A mis amigos, por todo el cariño y por hacer de ésta, la mejor experiencia de mi vida.

A los docentes que vieron en mi, la calidad de profesional que podía ser y me dedicaron su tiempo, compartiendo sus enseñanzas con cariño.

A mi, por todo el trabajo y esfuerzo que he dedicado en cada paso.

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Este trabajo de tesis fue realizado bajo el Programa de Investigación: BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES APLICADOS A LA GESTIÓN AMBIENTAL Y LA BIOTECNOLOGÍA

# “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

## Resumen

La creciente preocupación global por la crisis climática ocasionada por la intervención humana y la búsqueda de alternativas más amigables con el medio ambiente han impulsado a las potencias mundiales a transformar su matriz energética, reemplazando los combustibles fósiles por opciones menos contaminantes como la energía eólica, que requieren de materiales sumamente ligeros y resistentes como la madera de balsa (*Ochroma pyramidale*). El presente trabajo buscó determinar y evaluar la pérdida de cobertura vegetal relacionada con la explotación de *Ochroma pyramidale* en Pastaza, provincia de la Amazonía ecuatoriana, mediante el geoprocesamiento de imágenes satelitales. Se buscó, además, establecer una correlación entre la comercialización de este árbol y el incremento de la demanda de energía eólica a nivel mundial y evaluar la percepción socio ambiental de la problemática. El análisis se realizó para el periodo 2019-2020 abarcando los cantones de Pastaza y Arajuno, obteniendo como resultado mapas para diferentes indicadores de vegetación que permitieron identificar zonas con degradación de cobertura vegetal probablemente ligadas a la explotación de balsa. Además, se concluyó que Ecuador es el principal proveedor de madera de balsa para la construcción de estaciones eólicas y se determinó que, a pesar del malestar aclamado por ciertos grupos de la región, los habitantes de las zonas en cuestión no consideran como un problema mayoritario la explotación de la balsa.

**Palabras clave:** geoprocesamiento, deforestación, *Ochroma pyramidale*, energía eólica, balsa, Amazonía

# “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

## **Abstract**

The growing global concern about the climate crisis caused by human intervention and the search for more environmentally friendly alternatives have prompted world powers to transform their energy matrix, replacing fossil fuels with less polluting options such as wind energy, which require highly light and resistant materials such as balsa wood. The present work sought to determine and evaluate the loss of vegetation cover related to the exploitation of *Ochroma pyramidale* in Pastaza, a province of the Ecuadorian Amazon, through the geoprocessing of satellite images. It also aimed to establish a correlation between the commercialization of this tree and the increase in the demand for wind energy worldwide and to assess the socio-environmental perception of the problematic. The analysis was carried out for the period 2019-2020 covering the cantons of Pastaza and Arajuno, obtaining as a result maps for different vegetation indicators that allowed the identification of areas with degradation of vegetation cover probably linked to the exploitation of balsa. In addition, it was concluded that Ecuador is the main supplier of balsa wood for the construction of wind power stations and it was determined that, despite the dissatisfaction of certain groups in the region, the inhabitants of the areas in question do not consider the exploitation of the balsa as a major environmental problem.

**Key words:** geoprocessing, deforestation, *Ochroma pyramidale*, wind energy, balsa, Amazon

# “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

## **Introducción.**

El viento es el resultado del movimiento del aire originado por los gradientes de presión atmosférica que, a su vez, son consecuencia del calentamiento desigual en el planeta. La circulación del viento se da desde las regiones con mayor presión atmosférica hacia regiones donde ésta es menor y por tal motivo, mientras mayor sea el gradiente, mayor será la velocidad del viento y, por ende, mayor el potencial de su aprovechamiento (Tong, 2010).

A lo largo de la historia el viento ha sido utilizado con diferentes propósitos como, por ejemplo, para la separación de la paja de trigo y otros cereales, para fundir metales, refrescar viviendas y ha sido aprovechado ampliamente en la navegación (Emeis, 2018). Su uso más popular han sido los molinos de viento, de los cuales se tiene registro desde hace más de dos mil años. Tuvieron su auge en Europa durante los siglos XVII y XVIII, tiempo durante el cual fueron utilizados especialmente para bombear agua y producir harinas (Ackermann & Söder, 2002).

Sin embargo, la generación de energía eléctrica a partir de turbinas eólicas es relativamente nueva. Aunque (Shahan, 2014) menciona que Charles Bush, un inventor estadounidense, desarrolló esta tecnología en 1888 para suplir la demanda energética de su hogar, realmente se le atribuye a Poul La Cour el título del Padre de la Energía Eólica, al perfeccionar los molinos de viento en 1891, incorporando un regulador diferencial para que la potencia del molino se mantenga constante y fuese capaz de proporcionar electricidad a las zonas rurales de Dinamarca. Al mismo tiempo, otorgó solución a la problemática del almacenamiento energético utilizando la corriente continua generada por las turbinas para un proceso de electrólisis, almacenando así el gas hidrógeno producido. Hasta el año de 1902, las lámparas de la localidad de Askov utilizaron este método de iluminación (Hau & von Renouard, 2006).

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

La energía eólica se define como el proceso mediante el cual se utiliza el viento para generar electricidad (U.S Department of Energy, 2017). De acuerdo con el Informe Mundial Sobre el Viento 2021, la capacidad mundial acumulada de energía eólica es de 743 GW, siendo China y Estados Unidos los mayores mercados para la incorporación de turbinas terrestres (Global Wind Energy Council , 2021). Hoy en día la energía eólica se genera principal, pero no exclusivamente, en gigantescas centrales o estaciones. Por ejemplo, el Centro de Energía Eólica Alta (AWEC por sus siglas en inglés) en California, posee una capacidad de más de 500 turbinas, convirtiéndolo en uno de los parques eólicos más grandes de Estados Unidos (PowerTechnology, 2018).

Las turbinas eólicas se conforman de diversos elementos y estos a su vez, varían en función del tipo de aerogenerador<sup>1</sup>. Sin embargo, las más comunes hoy en día poseen principalmente los siguientes componentes: un anemómetro, una veleta, las palas (también conocidas como aspas, cuchillas o hélices), un rotor, un freno, un controlador, un generador, una caja de cambios, ejes (tanto de alta y baja velocidad), un motor y rotor de orientación, un sistema pitch, una góndola y la torre principal (Wind Energy Technologies Office, 2018).

---

<sup>1</sup> Se clasifican en función de la posición del eje de rotación con respecto a la dirección del viento, por lo que se dividen en dos grandes grupos: turbinas de eje horizontal y turbinas de eje vertical (Moragues & Rapallini, 2003).

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

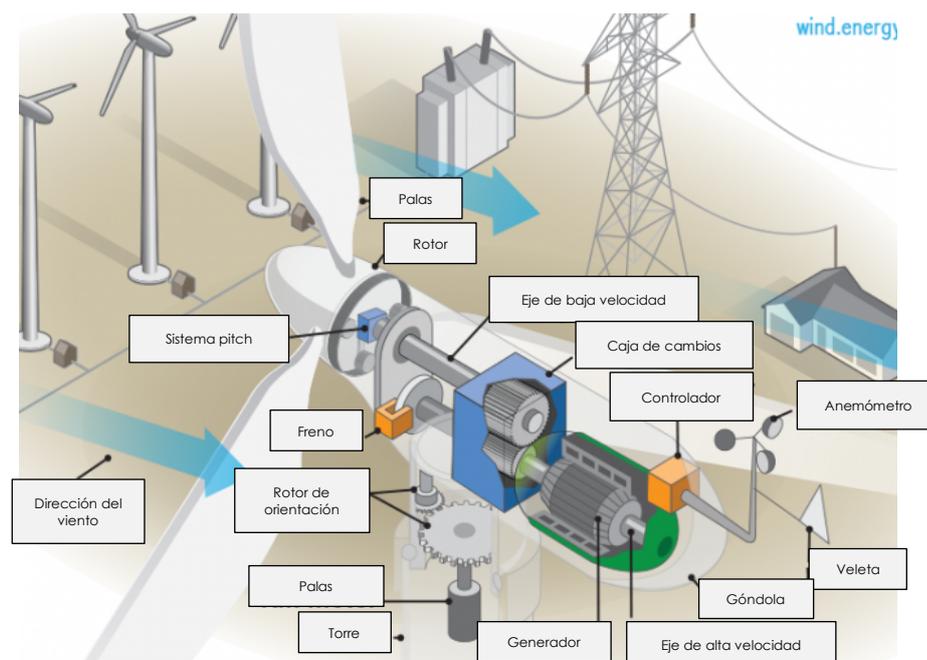


Figura 1 Partes de un aerogenerador. Modificado de Wind Energy Technologies Office, 2018

El principio bajo el cual generan electricidad es relativamente simple y se basa en la transformación de la energía cinética, propia de la fuerza aerodinámica del viento, en energía mecánica y, posteriormente, en energía eléctrica (International Renewable Energy Agency, 2020). En el caso de las turbinas de eje horizontal, cuando el viento fluye a través de las palas<sup>2</sup>, la presión a un lado de estas disminuye, originando una diferencia de presión en ambos lados. Esta diferencia ocasiona una elevación y una resistencia simultánea y al ser mayor la fuerza de la elevación, el rotor gira (Wind Energy Technologies Office, 2018). El rotor a su vez, se encuentra conectado mediante el eje principal al generador, dentro del cual usualmente, se encuentra otro rotor magnético más pequeño que gira dentro de un espiral de alambres de metal<sup>3</sup>, permitiendo que los electrones en su interior fluyan para obtener energía eléctrica (Foundation for Water and Energy Education, 2019).

<sup>2</sup> La mayoría de los modelos actuales poseen tres palas aunque también existen variedades de aerogeneradores bipala y monopala (Moragues & Rapallini, 2003).

<sup>3</sup> Usualmente el cableado en los generadores electromagnéticos es de cobre aunque en los generadores de imanes permanentes se utilizan otros elementos como el boro, neodimio, disprosio y algunas variedades del acero (Arantegui, 2015).

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE BALSA Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

La generación de energía eléctrica a partir de energía eólica depende de entre muchos factores, de la aerodinámica. Es por este motivo, que su diseño se ha ido transformando a lo largo del tiempo. En un principio, las palas eran planas y el diámetro de rotor no superaba los 15 metros. Ahora, poseen una forma más curva, se encuentran ligeramente inclinadas con el fin de incrementar su eficiencia energética y pueden superar diámetros de 150 metros (Barthelmie & Pryor, 2021). Otra característica que influye en el diseño aerodinámico de las estaciones eólicas es el material del que están construidas las palas, pues estas deben ser de baja densidad y a su vez, poseer una gran resistencia a la fatiga y una alta tolerancia a los daños (Tong, 2010). Por este motivo, las aspas se fabrican con poliéster o epoxi, reforzado con fibra de vidrio o fibra de carbono, en combinación con espuma polimérica o madera de balsa para la estructura interna (Arantegui, 2015).

La balsa, cuyo nombre científico es *Ochroma pyramidale* (también como conocido como balso, bois flot, guano, pau de balsa o corcho)<sup>4</sup> es un árbol cuya altura oscila entre los 20 y 30 metros, con diámetros variables entre 50 y 200 cm. Es un árbol monoico<sup>5</sup>, su corteza exterior no se escama ni se pela, es de un color marrón grisáceo, de textura semi-lisa y sin fisuras, mientras que su corteza interior suele ser de color crema, especialmente en los árboles jóvenes. Sus hojas son de forma lobulada - acorazonada y en los árboles jóvenes suelen ser bastante grandes, superando los 200 cm de diámetro. Tanto las hojas como los pecíolos<sup>6</sup> se reducen progresivamente con la edad. Las flores de la balsa crecen hacia el final de las ramas, pudiendo ser individuales o encontrarse en pares. Son grandes, tubulares, en forma de campana o trompeta y de color marrón-blanco. Su fruto es una vaina delgada que puede llegar a medir 30 cm de longitud y sus semillas son muy pequeñas, con forma ovoidea y aunque están

---

<sup>4</sup> Dependiendo del país y la región (ITTO, 2015) .

<sup>5</sup> Que posee órganos reproductivos femeninos y masculinos en flores separadas en la misma planta (Acosta, 2021) .

<sup>6</sup> Parte de la hoja que une el limbo al tallo (Universidad Pública de Navarra, 2011).

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

incrustadas en una densa masa de pelos sedosos, éstas son dispersadas por el viento. La polinización de la balsa depende principalmente de insectos y murciélagos (Howcroft & Phil, 2002).

Una característica importante sobre los árboles de balsa es su rápido crecimiento, pudiendo alcanzar alturas entre 1,80 m y 4,5 m al final de la primera temporada y 11 m al final de la segunda, con diámetros a la altura del pecho de 40 cm en un periodo de 5 a 6 años. Debido a este veloz crecimiento, los árboles de balsa suelen llegar a su edad extractiva entre los 4 y 6 años (Francis, 2000).

De acuerdo con sus requerimientos climáticos, la balsa crece óptimamente al encontrarse entre los 0 y 1000 msnm, con una precipitación abundante de entre 1500 y 3000 mm (aunque es capaz de soportar hasta 5000 mm) y una temperatura de entre 22 y 27 °C (Ecuador Forestal, 2012). Por otro lado, sus requerimientos edáficos exigen un suelo profundo de origen aluvial con buena aireación, húmedo y bien drenado, preferiblemente arenoso o moderadamente arcilloso y con un pH de ácido a alcalino (Navarrete, 2014).

Debido a las características antes mencionadas, la balsa se distribuye de forma natural en Centro y Sur América, desde México y partes del caribe hasta Bolivia, extendiéndose a través de Venezuela, Colombia y Ecuador, aunque también ha sido exitosamente plantada y cultivada en localidades de Sri Lanka, Vietnam, Papua Nueva Guinea y Malasia (Francis, 2000).

Como se había mencionado anteriormente, las aspas de los aerogeneradores requieren de características especiales y las propiedades mecánicas de la balsa la convierten en el material de preferencia para la construcción de las aspas. Debido a su rápido crecimiento, la balsa posee una densidad sumamente baja, variando típicamente entre 0,1 y 0,25 g/cm<sup>3</sup>, aunque en algunas ocasiones han alcanzado rangos de entre 0,38 y 0,6 g/cm<sup>3</sup>, convirtiéndola en una de las maderas más ligeras disponibles (Borrega, Ahvenainen, Serimaa, & Gibson, 2015). Como resultado de

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

su baja densidad, su madera presenta características de absorción de energía sumamente altas, además de una rigidez axial específica y una resistencia superiores a cualquier otra madera (Silva & Kyriakides, 2007).

Por lo todo lo expuesto, la balsa se ha posicionado como un material muy cotizado, lo que ha incrementado su producción y exportación en Ecuador, convirtiéndolo en el principal proveedor de este material, abasteciendo aproximadamente el 90% de la demanda mundial (Alarcón, 2021). Si bien la exportación de balsa se ha convertido en una fuente significativa de ingresos para el país, alcanzando los \$856 millones de dólares en el último año (Riofrío, 2021), es poca la atención que se ha direccionado a los posibles efectos ambientalmente perjudiciales que la explotación indiscriminada de esta madera puede tener. Aunque algunos medios de comunicación digitales, tanto locales como internacionales, han publicado notas sobre la desconformidad social y la posible afectación ambiental relacionada a la explotación del árbol, actualmente no se cuenta con ningún estudio formal que evalúe a profundidad la situación en el país.

El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar y evaluar la pérdida de cobertura vegetal relacionada con la explotación de balsa en Pastaza, provincia de la Amazonía ecuatoriana, mediante el geoprocesamiento de imágenes satelitales. Así también pretende establecer una correlación entre la explotación de balsa en Ecuador y el incremento de demanda en energía eólica mundial, realizar una comparación de la pérdida de cobertura vegetal entre zonas no intervenidas y zonas de cultivo, así como profundizar en las consecuencias socio ambientales relacionadas a la explotación de balsa en el país.

### **Materiales y Métodos.**

#### **Sitio de estudio**

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

La provincia de Pastaza se ubica al este del país, en la zona central de la Región Amazónica. Limita al norte con las provincias de Napo y Orellana, al sur con la provincia de Morona Santiago, al este con la República del Perú y al oeste con la provincia de Tungurahua. La provincia de Pastaza se divide en cuatro cantones (Pastaza, Mera, Santa Clara y Arajuno) y en 21 parroquias, siendo la ciudad del Puyo, la capital (Gobierno Provincial de Pastaza, 2019). Pastaza es la provincia con mayor territorio en el país con una extensión de 29.643,33 km<sup>2</sup> (Blaschke, 2019) y de acuerdo al último censo, hasta el año 2010 poseía una población aproximada de 83.933 habitantes (INEC, 2010). El sitio de estudio se definió en dos cantones principales de la provincia; Pastaza y Arajuno, debido a su relevancia ecológica, al tránsito de maderas que existe en el sector y al ser la conexión principal con el sector de Villano; ruta que ha sido denunciada de manera pública por la tala indiscriminada de madera de balsa (Baquero, 2021).

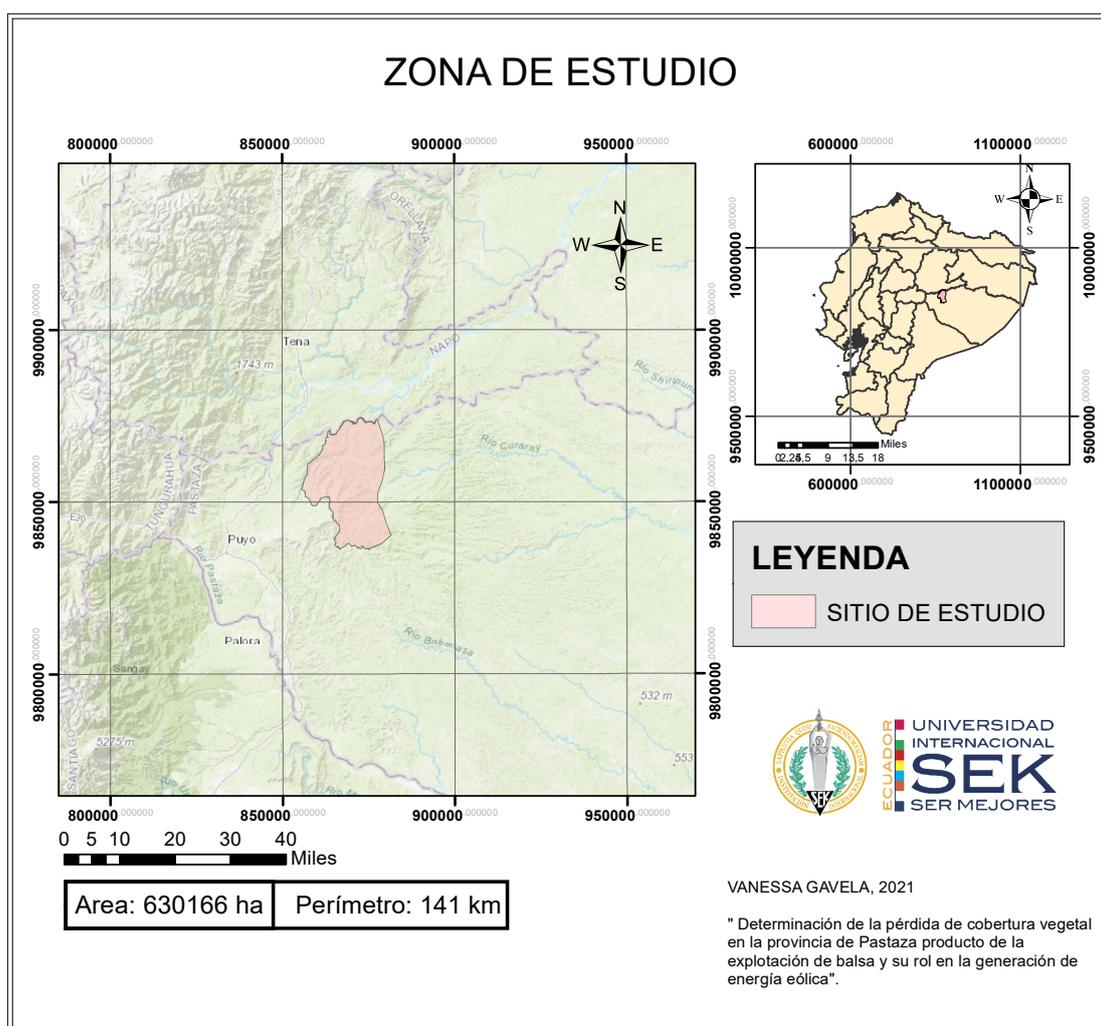


Figura 2 Zona de Estudio: Cantón Arajuno

# “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

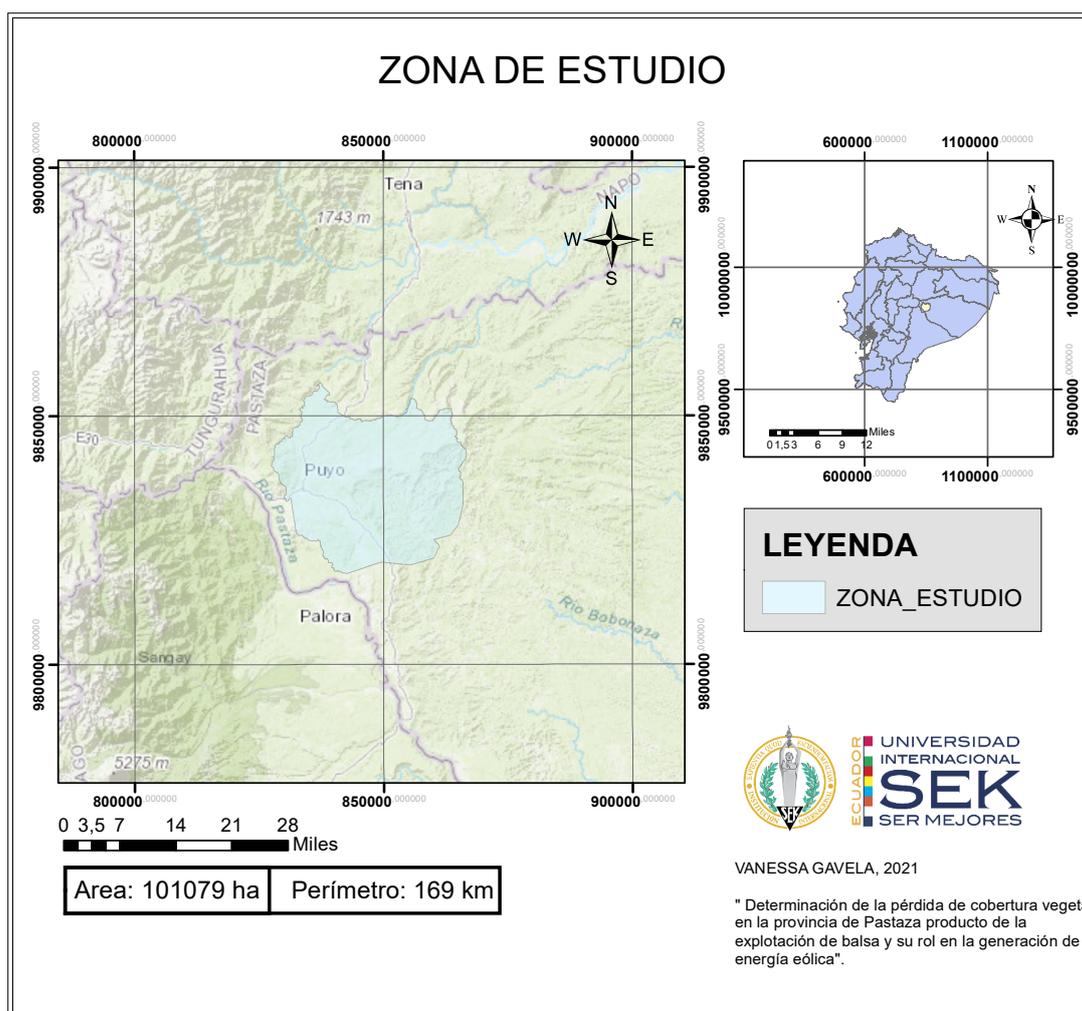


Figura 3 Zona de estudio: Cantón Pastaza

## Clima

Por la extensión de la provincia, en Pastaza se identifican 4 tipos de climas: Tropical húmedo, Subtropical lluvioso, Subtropical muy húmedo y Tropical muy húmedo templado (GAD Provincial de Pastaza, 2020), identificados por las características presentes en la Tabla 1. Sin embargo, gran parte del territorio posee un clima Tropical Húmedo como se puede observar en la Figura 4.

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Tabla 1 Características de los distintos tipos de climas en Pastaza. Modificado de: GAD Provincial de Pastaza, 2020

| Clima                                      | Altura<br>(msnm) | Temperatura<br>(C) | Precipitación Anual<br>(mm) |
|--|------------------|--------------------|-----------------------------|
| <b>Tropical húmedo</b>                     | 200-700          | 22-26              | 2000-4000                   |
| <b>Subtropical lluvioso</b>                | 700-900          | 22-24              | 4000-5000                   |
| <b>Subtropical muy húmedo</b>              | 900-1200         | 16-20              | 2000-4000                   |
| <b>Tropical muy húmedo templado cálido</b> | 1500             | 14-18              | 2500-3000                   |

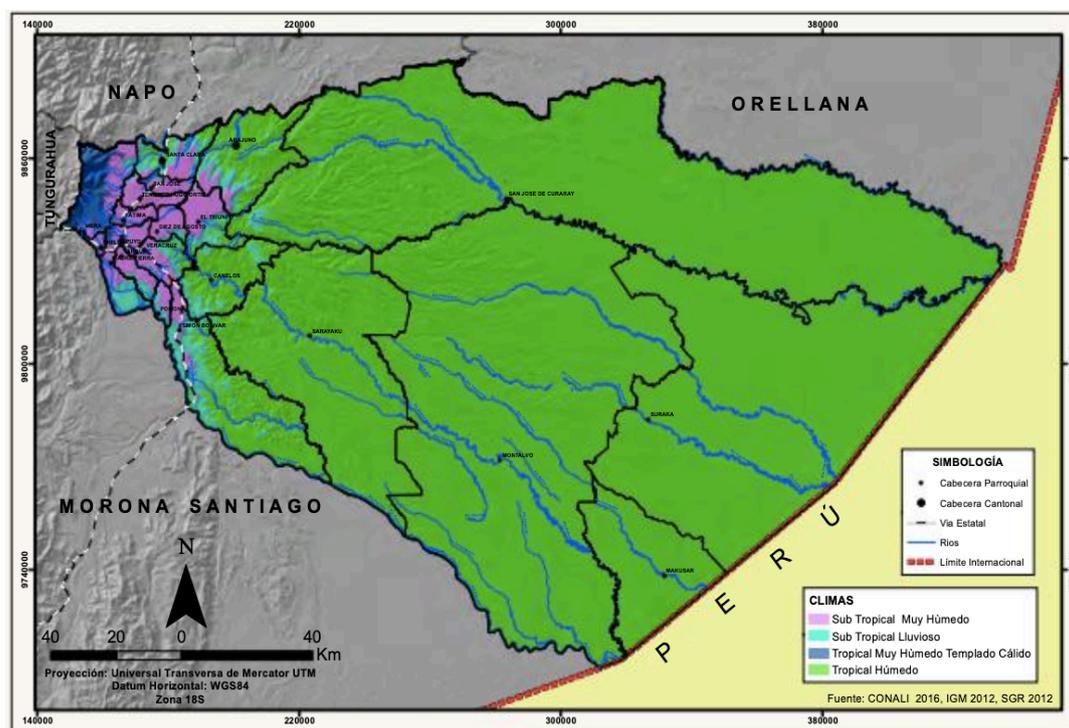


Figura 4 Mapa Climático de la provincia de Pastaza. Fuente: María José Zambrano, GADPPz, 2020

# “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

## Suelo

Tanto en la provincia de Pastaza como en la mayoría de la Amazonía, los suelos se encuentran sumamente meteorizados y lixiviados, con baja disponibilidad de nutrientes y con un pH ácido. En la región predominan suelos del tipo Inceptisol, Entisol, Ultisol y Andisols. Estas condiciones edafológicas coinciden con las preferencias de cultivo de *Ochroma pyramidale* de acuerdo con lo mencionado en (Yamamoto & Castro, 2003).

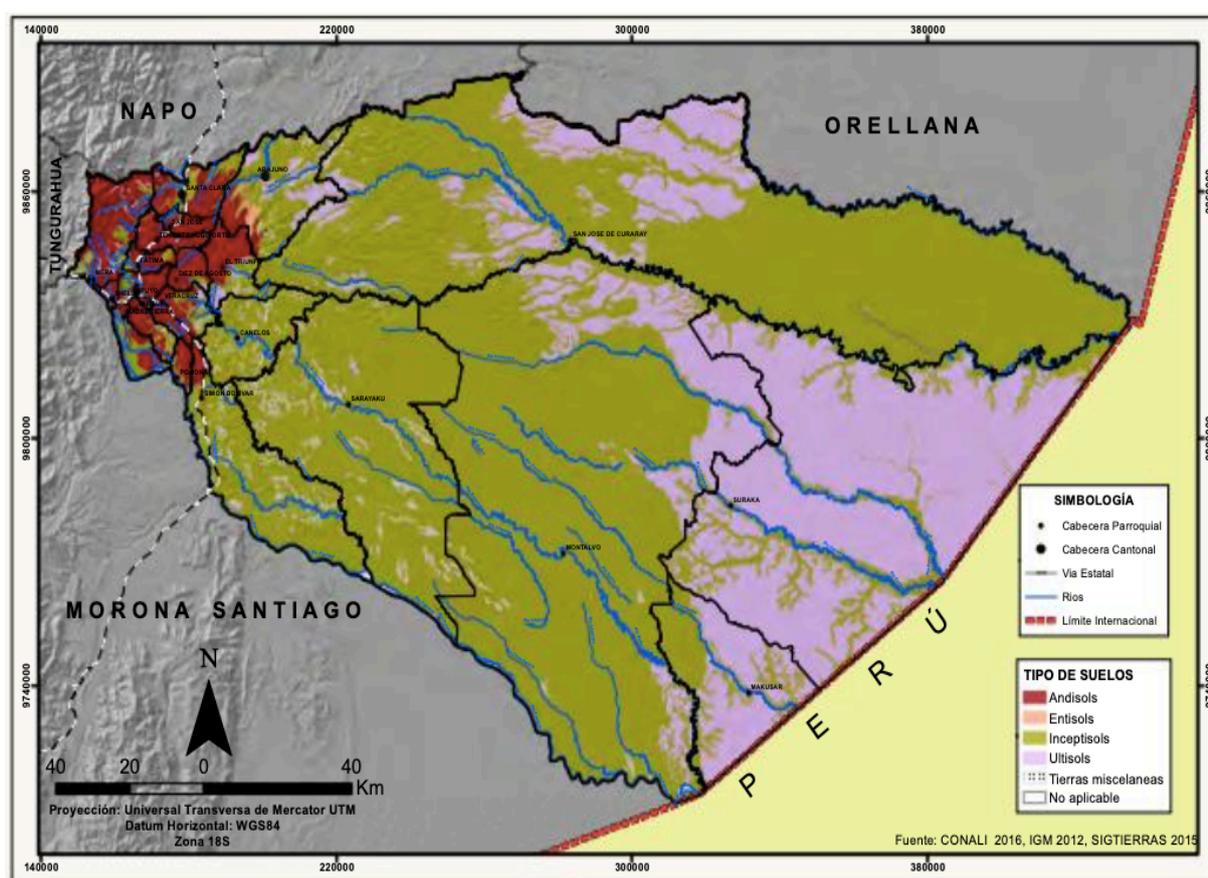


Figura 5 Mapa de tipos de suelo en la provincia de Pastaza. Fuente: María José Zambrano, GADPPz, 2020

El estudio de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal de la provincia que consta en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial correspondiente al periodo 2015-2019, indica que el uso de suelo se distribuía hasta el año 2014 de la siguiente manera: 94,62% para bosques, 4,61% para tierras agropecuarias, 0,05% para vegetación arbustiva y herbácea, 0,10% para zonas antrópicas, y un 0,58% para cuerpos de agua (Prefectura de Pastaza, 2019).

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

La provincia de Pastaza además, es la que posee mayor fracción de bosques en la Región Amazónica Ecuatoriana (Ecociencia, 2020) y es la provincia con mayor cobertura vegetal en el país (con un 96,44% de remanencia de bosque nativo) (Blaschke, 2019). Según la última colección de “Mapas anuales de cobertura y uso del suelo” (MAPBIOMAS, 2020), Pastaza fue la única región que ganó cobertura forestal entre los años de 1985 y 2018.

### *Nacionalidades indígenas*

Es importante mencionar que a lo largo del territorio se encuentran 7 nacionalidades indígenas que representan alrededor del 40% de la población total de Pastaza. Las nacionalidades y su población hasta el año 2010, se muestran en la Tabla 2. Así mismo, su distribución territorial se muestra en la Figura 6.

*Tabla 2 Nacionalidades indígenas que habitan en el territorio de la provincia de Pastaza. Fuente: INEC, 2010*

| <b>Nacionalidad</b> | <b>Población</b> |
|---------------------|------------------|
| <b>Kichwa</b>       | 17.817           |
| <b>Shuar</b>        | 5.645            |
| <b>Achuar</b>       | 2.567            |
| <b>Andoa</b>        | 2.462            |
| <b>Waorani</b>      | 1.184            |
| <b>Shiwar</b>       | 818              |
| <b>Zapara</b>       | 456              |

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

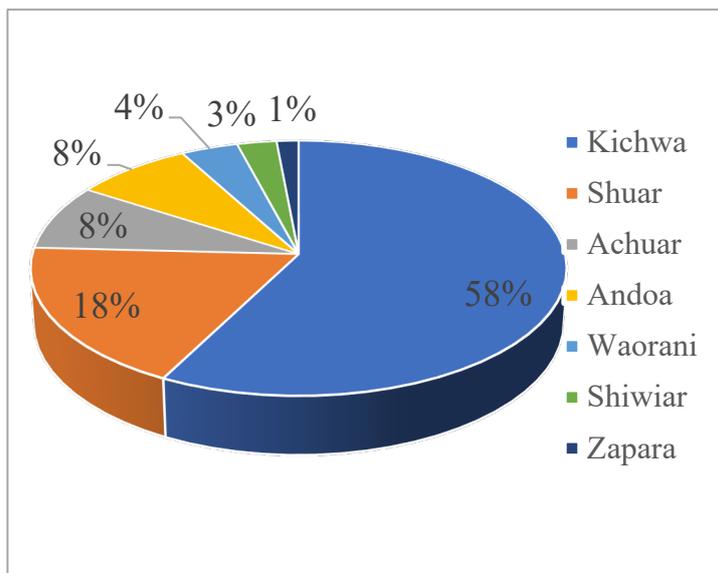


Gráfico 1 Porcentaje poblacional de las nacionalidades indígenas que habitan en Pastaza

PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE PASTAZA  
Mapa síntesis de la estructura territorial. Cultura

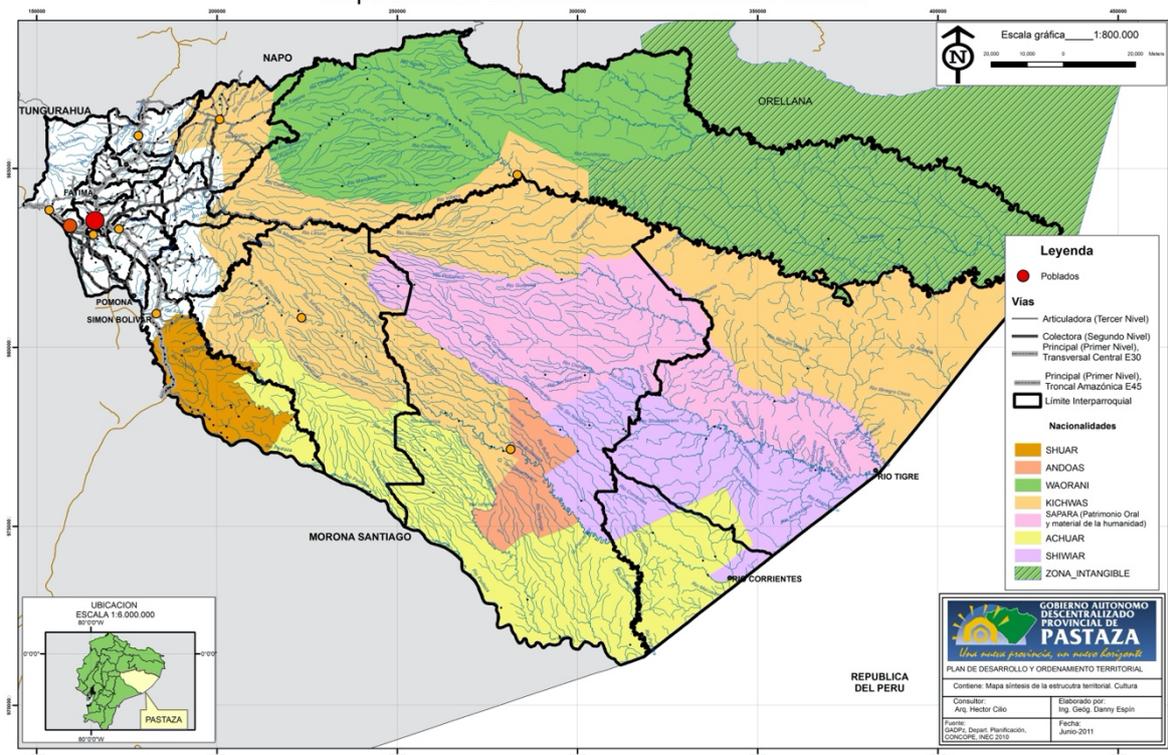


Figura 6 Mapa de distribución territorial de nacionalidades indígenas en la provincia de Pastaza. Fuente: GADPPz, 2020

Geoprocesamiento de imágenes

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

El geoprocesamiento es cualquier operación en SIG (Sistemas de Información Geográficas) utilizada para la manipulación de datos geográficos y otros datos relacionados. Así, las herramientas de geoprocesamiento son sumamente útiles, por ejemplo, al ejecutar análisis espaciales o automatizar un proyecto (Esri, 2019).

La metodología utilizada para el geoprocesamiento de imágenes satelitales en el presente trabajo se basa en el estudio realizado por (Pałas & Zawadzki, 2020) y consiste en el monitoreo satelital de procesos de deforestación a partir de cálculos espectrales incorporando la reflectancia registrada por los sensores o escáneres satelitales. Esto es posible gracias a las bandas de infrarrojo cercano (NIR), que en el caso de imágenes de tipo Landsat 8 poseen una resolución espacial de 30 m, mostrando una alta sensibilidad al contenido de clorofila. La Tabla 3 muestra las bandas espectrales registradas por el escáner multiespectral del satélite Landsat 8.

Tabla 3 Bandas espectrales registradas por el MSS (Escáner Multiespectral) del Satélite Landsat 8. Modificado de: (Alonso, 2019)

| <b>Bandas</b>                                   | <b>Longitud de onda<br/>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>Resolución<br/>(m)</b> |
|---|--|---------------------------|
| <b>B1 - Costera</b>                             | 0,43 - 0,45  | 30                        |
| <b>B2 – Azul</b>                                | 0,45 - 0,51  | 30                        |
| <b>B3 – Verde</b>                               | 0,53 - 0,59  | 30                        |
| <b>B4 – Roja</b>                                | 0,63 - 0,67  | 30                        |
| <b>B5 – Infrarrojo Cercano (NIR)</b>            | 0,85 - 0,88  | 30                        |
| <b>B6 – Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)</b> | 1,57 - 1,65  | 30                        |
| <b>B7 – Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)</b> | 2,11 - 2,29  | 30                        |
| <b>B8 Pancromática</b>                          | 0,50 - 0,68  | 15                        |
| <b>B9 – Cirros</b>                              | 1,36 - 1,38  | 30                        |

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

| Bandas  | Longitud de onda<br>( $\mu\text{m}$ ) | Resolución<br>(m) |
|---|---------------------------------------|-------------------|
| <b>B10 – Sensor Térmico Infrarrojo 1 (TIRS<br/>1)</b> | 10,60 - 11,19                         | 100               |
| <b>B11 – Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS<br/>2)</b> | 11,50 - 12,51                         | 100               |

La reflectancia de la superficie que registran los satélites de este tipo permite el cálculo de índices radiométricos. Los índices radiométricos son el resultado de las transformaciones de imágenes satelitales que, mediante operaciones matemáticas entre las bandas espectrales, permiten realzar o resaltar las diferencias entre coberturas vegetales o atenuar efectos atmosféricos (Pech-May, Hernández, & Jacinto, 2021). La aplicación de estos índices es especialmente útil para la observación de la cobertura vegetal debido a la respuesta espectral de la clorofila, pues el pigmento fotosintético que contienen las hojas absorbe longitudes de onda azules y rojas mientras que refleja las bandas de infrarrojo cercano. Así, los índices calculados espectralmente son capaces de estimar tanto la densidad como la cantidad de la cobertura vegetal de un área determinada.

En el presente estudio se utilizaron 4 índices radiométricos, 3 de los cuales se recomiendan en el estudio de (Pałas & Zawadzki, 2020) debido a su desempeño en la representación del cambio de la cubierta forestal. Los índices utilizados se describen a continuación:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): Es un índice adimensional que representa la diferencia entre la reflectancia visible y la reflectancia en el infrarrojo cercano de la cubierta vegetal de un área en específico y se utiliza generalmente

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

para estimar la densidad de color verde en una zona específica de terreno (Schinasia, Benmarhniab, & Roos, 2018).

- RVI (Ratio to Vegetation Index): También se lo conoce como SR (Simple Ratio) y representa la relación entre la respuesta a la banda del infrarrojo cercano y la banda del rojo. Es un índice utilizado para la estimación de la cantidad vegetal en un área determinada pues los valores cercanos a 1 por lo general representan el suelo sin presencia de vegetación. A medida que la cobertura vegetal aumenta, también lo hace el índice (CCPO, 2016).
- BI (Brightness Index): Este índice es sensible a la intensidad o luminosidad de los suelos, que a su vez se encuentra correlacionado con la humedad y la presencia de sales en la superficie (Ouerchefani, Dhaou, Abdeljaoued, Delaitre, & Callot, 2009).
- SAVI (Soil-Adjusted vegetation index): es un índice que se utiliza para corregir al índice NDVI, por la influencia que pueda tener el suelo en áreas de poca vegetación (USGS, 2017). Es sumamente útil para evitar distorsiones cuando la vegetación se encuentra en suelos muy expuestos y al contrario del índice NDVI, no se satura tan fácilmente cuando el área verde es muy abundante (GIS&Beers, 2019).

El cálculo matemático de los índices se explica en la sección de *Herramientas de Análisis Ambiental*.

### ***Descarga y preprocesamiento de datos***

Las imágenes obtenidas por el satélite Landsat 8 se encuentran disponibles en la página del Servicio Geológico de Estados Unidos, mediante la herramienta Earth Explorer. Los criterios considerados para el estudio se muestran en la Tabla 4.

# “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Tabla 4 Criterios de búsqueda para imágenes satelitales utilizadas en el estudio

| Criterio                          | Data                             |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Método de Geo codificación</b> | Path: 9 Row: 61                  |
| <b>Tipo</b>                       | Polígono                         |
| <b>Rango de fechas</b>            | enero 2019 – agosto 2021         |
| <b>Meses seleccionados</b>        | Julio, agosto y septiembre       |
| <b>Nubosidad</b>                  | Máximo del 35%                   |
| <b>Conjunto de datos</b>          | Landsat 8, collection 2, level 2 |

El preprocesamiento de las imágenes se realizó con el Software ENVI 3.0 y constó de la compilación de todas las bandas en una sola imagen mediante la herramienta Layer Stacking, seguido de la creación de un ROI (Region of Interest) mediante la cual se recortó y separó el sitio de estudio del resto de la imagen general. Además, se seleccionaron las bandas para dar color a la imagen. Las bandas seleccionadas fueron: B4 (rojo), B5 (NIR), B2 (azul).

## ***Herramientas de Análisis Ambiental***

Como eje fundamental del estudio se utilizaron 4 índices radiométricos, seleccionados por su disponibilidad de cálculo en softwares gratuitos (como SNAP), así como su utilidad en estudios similares<sup>7</sup>. Para la obtención de los 4 índices radiométricos (NDVI, RVI, BI y SAVI), las imágenes preprocesadas se abrieron en el software SNAP, seleccionando la herramienta de Thematic Land Processing, donde el programa automáticamente ejecuta los índices deseados. Las especificaciones algorítmicas que se utilizan para el cálculo de los índices se muestran a continuación.

<sup>7</sup> Estudios como los de (Silva, y otros, 2019) (Xue & Su, 2017) (Karnielia, y otros, 2010).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

$$RVI = \frac{NIR}{Red} \quad (2)$$

$$BI = \sqrt{\frac{(Red)^2 + (Green)^2}{2}} \quad (3)$$

$$SAVI = \left( \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \right) * (1 + L) \quad (4)$$

### ***Generación de mapas***

Para la elaboración de mapas se abrieron los archivos con los índices ejecutados en el software ArcGIS, donde se realizó una clasificación en función de los valores obtenidos. A partir de la clasificación se modificaron los colores para cada valor, permitiendo mejorar la visualización de los resultados para cada índice y para cada zona de estudio. Adicionalmente, se realizó una examinación visual de los mapas generados para identificar zonas con pérdida de cobertura vegetal.

### ***Visita in situ***

Con la finalidad de intentar verificar si en el área de estudio seleccionada existían cultivos de *Ochroma pyramidale* se realizó una visita in situ, recorriendo desde las afueras de la ciudad del Puyo, hacia la Parroquia 10 de Agosto y hasta Arajuno. Para la identificación de vegetación se utilizaron registros fotográficos obtenidos con ayuda de un dron. En el estudio

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

se utilizó el dron Mavic Air Onyx DJI Black U11X cuyas especificaciones se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5 Especificaciones técnicas del dron Mavic Air Onyx

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| <b>Velocidad</b>              | 43 mph |
| <b>Altura máxima</b>          | 500 m  |
| <b>Tiempo máximo de vuelo</b> | 21 min |
| <b>Cámara</b>                 | 12 Mp  |
| <b>Calidad de vídeo</b>       | 4K     |
| <b>Almacenamiento interno</b> | 8 GB   |



Figura 7 Dron Mavic Air Onyx Black U11X

Los registros fotográficos fueron comparados con imágenes referenciales de la planta con la finalidad de verificar que se tratase de *Ochroma pyramidale*.

El levantamiento del dron se realizó en los puntos detallados en la Tabla 6, en el tramo de carretera entre el Puyo y Arajuno, siendo seleccionados en función de su accesibilidad y al ser una de las vías principales en la región.

Tabla 6 Coordenadas UTM: Levantamiento de dron y registro fotográfico. Vía Puyo - Arajuno

| X        | Y         |
|----------|-----------|
| 98395.4  | 50046.5   |
| 201287   | 9865102.5 |
| 200821.6 | 9864079   |

# “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

## **Análisis de demanda**

Para el análisis de demanda de balsa se realizó una exploración y recopilación bibliográfica de datos comerciales significativos para el país referente a la explotación de balsa, así como la realidad internacional de la energía eólica durante el periodo de estudio. La información recopilada incluye:

- Exportaciones de balsa (Cantidades, destinos principales, empresas exportadoras)
- Principales países productores de aspas para generación de energía eólica
- Principales países en la implementación de energía eólica.
- Incentivos económicos internacionales para la energía eólica.

## **Percepción socio ambiental**

Para la obtención de información sobre la percepción socio ambiental acerca de la explotación de balsa se optó por la elaboración de una entrevista. De acuerdo con (Silva, Cruz, Araújo, Schwarz, & Albuquerque, 2013), la entrevista es el método más habitual utilizado en la investigación etnobiológica. El tipo de entrevista puede ser variable entre aquellas de tipo estructurado e informal (dependiendo del grado de control que se requiera sobre los datos). Sin embargo, las entrevistas semiestructuradas y estructuradas son la estrategia principalmente utilizada debido a las diversas ventajas que ofrecen como, por ejemplo, la facilidad para la estandarización de las respuestas y el análisis de los datos.

En el presente estudio se elaboró una encuesta semiestructurada, con 10 preguntas; 8 preguntas de respuesta cerrada (SI o NO) y 2 preguntas abiertas. Se realizaron un total de 20 de encuestas, distribuidas entre la localidad de la parroquia 10 de Agosto y Arajuno. El modelo de encuesta se encuentra en el Anexo 3.

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

El tipo de encuesta seleccionada requiere de la categorización de las respuestas con el fin de evaluar la frecuencia a la que se refiere cada categoría. El proceso de tabulación de la información se realizó mediante Google Forms. Además de la entrevista formal se aprovechó la ocasión para conversar con las personas nativas de las localidades y obtener información sobre el precio al que se vende el árbol y matas de balsa.

### Resultados

#### Geoprocesamiento de imágenes

##### *Índices Focalizados*

Los resultados focalizados permitieron evaluar el orden de magnitud aproximado para los valores de índice en lugar con y sin intervención. Esta información resultó sumamente útil al momento de preparar las leyendas de color en SNAP para los mapas generales de los cuales se discute más adelante. En las Tablas 7 y 8 se muestran los resultados para el periodo de tiempo analizado en ambos sitios de estudio.

*Tabla 7 Resultados de índices focalizados para Zona de estudio Pastaza*

| <i>Índice</i> | <i>Bosque Frondoso</i> |        |        | <i>Sitio intervenido</i> |        |        |        |
|---------------|------------------------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|
|               | <i>Año</i>             | 2019   | 2020   | 2021                     | 2019   | 2020   | 2021   |
| <i>NDVI</i>   |                        | 0,8214 | 0,8216 | 0,8210                   | 0,3354 | 0,3208 | 0,3203 |
| <i>SAVI</i>   |                        | 0,8754 | 0,8749 | 0,8750                   | 0,4923 | 0,4910 | 0,4933 |
| <i>RVI</i>    |                        | 9,33   | 9,57   | 9,82                     | 2,12   | 2,10   | 2,08   |
| <i>BI</i>     |                        | 34281  | 34263  | 34266                    | 16150  | 16138  | 16132  |

*Tabla 8 Resultados de índices focalizados para Zona de estudio Arajuno*

| <i>Índice</i> | <i>Bosque Frondoso</i> |        |        | <i>Sitio intervenido</i> |        |        |        |
|---------------|------------------------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|
|               | <i>Año</i>             | 2019   | 2020   | 2021                     | 2019   | 2020   | 2021   |
| <i>NDVI</i>   |                        | 0,7662 | 0,7701 | 0,7664                   | 0,3285 | 0,3220 | 0,3218 |
| <i>SAVI</i>   |                        | 0,7243 | 0,7244 | 0,7239                   | 0,3688 | 0,3654 | 0,3652 |
| <i>RVI</i>    |                        | 9,62   | 9,63   | 9,63                     | 2,11   | 2,11   | 2,10   |
| <i>BI</i>     |                        | 42621  | 42619  | 42623                    | 16021  | 16017  | 16013  |

### *Índices Generales*

#### - Índice NDVI

Como resultado del geoprocesamiento de imágenes se obtuvieron 3 mapas para cada sitio de estudio (6 mapas en total) correspondientes al índice radiométrico NDVI (Ver Anexo 1A y 1B). Además, los valores estadísticos generales para este índice en ambos sitios de estudio se muestran en las Tablas 9 y 10.

*Tabla 9 Valores estadísticos para análisis NDVI - Zona Pastaza*

| <i>Año</i> | <i>Máx</i> | <i>Min</i> | <i>Media</i> | <i>Desviación Estándar</i> |
|------------|------------|------------|--------------|----------------------------|
| 2019       | 0,82       | -0,05      | 0,361439     | 0,09151                    |
| 2020       | 0,82       | -0,1       | 0,362767     | 0,108484                   |
| 2021       | 0,88       | -0,08      | 0,316356     | 0,108623                   |

*Tabla 10 Valores estadísticos para análisis NDVI - Zona Arajuno*

| <i>Año</i> | <i>Máx</i> | <i>Min</i> | <i>Media</i> | <i>Desviación Estándar</i> |
|------------|------------|------------|--------------|----------------------------|
| 2019       | 0,95       | -0,06      | 0,321604     | 0,129122                   |
| 2020       | 0,81       | -0,07      | 0,407375     | 0,075148                   |
| 2021       | 0,7        | -0,05      | 0,305868     | 0,093164                   |

Para la reclasificación de los valores obtenidos se tomó en cuenta la exploración visual de las imágenes pudiendo identificar zonas características para cada color asignado. En función de los valores obtenidos se consideraron 5 nuevas clases. Teniendo en cuenta que el índice radiométrico NDVI tiene una escala del -1 al 1, los valores cercanos y menores a cero (en rojo) se encuentran relacionados con las nubes densas, así como con fuentes hídricas (como el río Arajuno por ejemplo). Los valores en color naranja (que oscilan entre 0,125 y 0,23), representan una menor densidad de nubes, nuevamente fuentes hídricas o muy poca vegetación. Los valores en color verde-amarillento (que oscilan entre 0,23 y 0,32), representan baja densidad de nubes, carreteras, ríos y riachuelos o poca vegetación. La categoría en color verde claro (cuyos valores oscilan entre 0,32 y 0,39) son representativos de una cobertura vegetal

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

moderada y los valores en color verde oscuro (cuyos valores oscilan entre 0,39 y 0,88) indican una alta cobertura vegetal.

- **Índice SAVI**

Como resultado del geoprocesamiento de imágenes se obtuvieron 3 mapas para cada sitio de estudio (6 mapas en total) correspondientes al índice radiométrico SAVI (Ver Anexo 1C y 1D). Además, los valores estadísticos generales para este índice en ambos sitios de estudio se muestran en las Tablas 11 y 12.

*Tabla 11 Valores estadísticos para análisis SAVI - Zona Pastaza*

| <i>Año</i>  | <i>Máx</i> | <i>Min</i> | <i>Media</i> | <i>Desviación Estándar</i> |
|-------------|------------|------------|--------------|----------------------------|
| <i>2019</i> | 0,92       | -0,07      | 0,542149     | 0,137266                   |
| <i>2020</i> | 0,87       | -0,15      | 0,54414      | 0,162724                   |
| <i>2021</i> | 0,72       | -0,13      | 0,474525     | 0,162932                   |

*Tabla 12 Valores estadísticos para análisis NDVI - Zona Arajuno*

| <i>Año</i>  | <i>Máx</i> | <i>Min</i> | <i>Media</i> | <i>Desviación Estándar</i> |
|-------------|------------|------------|--------------|----------------------------|
| <i>2019</i> | 0,93       | -0,09      | 0,482397     | 0,193679                   |
| <i>2020</i> | 0,82       | -0,11      | 0,611048     | 0,11272                    |
| <i>2021</i> | 0,75       | -0,08      | 0,458795     | 0,139743                   |

Para la reclasificación de los valores obtenidos se tomó en cuenta la exploración visual de las imágenes pudiendo identificar zonas características para cada color asignado. En función de los valores obtenidos se consideraron 5 nuevas clases. Teniendo en cuenta que el índice radiométrico SAVI tiene una escala del -1 al 1, los valores cercanos y menores a cero (en rojo) se encuentran relacionados con las nubes densas, así como con fuentes hídricas (como el río Arajuno por ejemplo). Los valores en color naranja (que oscilan entre 0,18 y 0,35), representan una menor densidad de nubes, nuevamente fuentes hídricas o muy poca vegetación. Los valores en color verde-amarillento (que oscilan entre 0,35 y 0,49), representan baja densidad de nubes, carreteras, ríos y riachuelos o poca vegetación. La categoría en color verde claro (cuyos valores

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

oscilan entre 0,49 y 0,59) son representativos de una cobertura vegetal moderada y los valores en color verde oscuro (que oscilan entre 0,59 y 1) indican una alta cobertura vegetal.

- **Índice RVI**

Como resultado del geoprocesamiento de imágenes se obtuvieron 3 mapas para cada sitio de estudio (6 mapas en total) correspondientes al índice radiométrico RVI (Ver Anexo 1E y 1F). Además, los valores estadísticos generales para este índice en ambos sitios de estudio se muestran en las Tablas 13 y 14.

*Tabla 13 Valores estadísticos para análisis RVI - Zona Pastaza*

| <i>Año</i> | <i>Máx</i> | <i>Min</i> | <i>Media</i> | <i>Desviación Estándar</i> |
|------------|------------|------------|--------------|----------------------------|
| 2019       | 10,26      | 0          | 2,18494      | 0,374452                   |
| 2020       | 10,65      | 0          | 2,21575      | 0,46051                    |
| 2021       | 16,33      | 0          | 1,99288      | 0,431723                   |

*Tabla 14 Valores estadísticos para análisis RVI - Zona Arajuno*

| <i>Año</i> | <i>Máx</i> | <i>Min</i> | <i>Media</i> | <i>Desviación Estándar</i> |
|------------|------------|------------|--------------|----------------------------|
| 2019       | 46,9       | 0          | 2,04353      | 0,532484                   |
| 2020       | 9,99       | 0          | 2,41721      | 0,340389                   |
| 2021       | 5,81       | 0          | 1,92862      | 0,35804                    |

Para la reclasificación de los valores obtenidos se tomó en cuenta la exploración visual de las imágenes pudiendo identificar zonas características para cada color asignado. En función de los valores obtenidos se consideraron 5 nuevas clases. Teniendo en cuenta que el índice radiométrico RVI tiene una escala a partir del 1, los valores cercanos y menores a 1,60 (en rojo) se encuentran relacionados con las nubes densas, así como con fuentes hídricas (como el río Arajuno por ejemplo) o suelo muy expuesto. Los valores en color naranja (que oscilan entre 1,60 y 2,09), representan una menor densidad de nubes. Los valores en color amarillo (que oscilan entre 2,09 y 2,37), representan baja densidad de nubes y suelo expuesto. La categoría en color verde claro (cuyos valores oscilan entre 2,37 y 4,66) son representativos de muy baja

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

nubosidad, carreteras o suelo poco expuesto mientras que los valores en color verde oscuro (que oscilan entre 4,66 y 10,26) indican una nula exposición de suelo y por ende la presencia de vegetación.

- **Índice BI**

Como resultado del geoprocesamiento de imágenes se obtuvieron 3 mapas para cada sitio de estudio (6 mapas en total) correspondientes al índice radiométrico BI (Ver Anexo 1G y 1H). Además, los valores estadísticos generales para este índice en ambos sitios de estudio se muestran en las Tablas 15 y 16.

*Tabla 15 Valores estadísticos para análisis BI - Zona Pastaza*

| <i>Año</i> | <i>Máx</i> | <i>Min</i> | <i>Media</i> | <i>Desviación Estándar</i> |
|------------|------------|------------|--------------|----------------------------|
| 2019       | 52501      | 1          | 9480,9044    | 3875,531031                |
| 2020       | 42620      | 1          | 10568,0090   | 4768,817316                |
| 2021       | 55623      | 1          | 11417,6364   | 5851,466498                |

*Tabla 16 Valores estadísticos para análisis BI - Zona Arajuno*

| <i>Año</i> | <i>Máx</i> | <i>Min</i> | <i>Media</i> | <i>Desviación Estándar</i> |
|------------|------------|------------|--------------|----------------------------|
| 2019       | 65965      | 1          | 11294,3489   | 7191,115937                |
| 2020       | 46367      | 1          | 8989,84558   | 2422,086776                |
| 2021       | 54462      | 1          | 11988,3144   | 5228,76989                 |

Para la reclasificación de los valores obtenidos se tomó en cuenta la exploración visual de las imágenes pudiendo identificar zonas características para cada color asignado. En función de los valores obtenidos se consideraron 5 nuevas clases. Teniendo en cuenta que el índice radiométrico BI tiene una escala relativa (pues entre mayor sea el valor mayor será la iluminación del suelo), los valores cercanos y menores a 10033 (en rojo) se encuentran relacionados con las nubes densas, así como con fuentes hídricas (como el río Arajuno por ejemplo). Los valores en color naranja (que oscilan entre 10033 y 15050), representan una menor densidad de nubes, nuevamente fuentes hídricas o muy poca vegetación. Los valores en

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

color verde-amarillento (que oscilan entre 15050 y 22903), representan baja densidad de nubes, carreteras, ríos y riachuelos o poca vegetación. La categoría en color verde claro (cuyos valores oscilan entre 22903 y 32501) son representativos de una cobertura vegetal moderada y los valores en color verde oscuro (que oscilan entre 32501 y 55623) indican una alta cobertura vegetal.

A partir de las clasificaciones realizadas para cada uno de los índices, se lograron identificar en los mapas zonas que presentan una disminución de cobertura vegetal, ligada a la actividad antrópica. Algunos ejemplos se muestran a continuación.

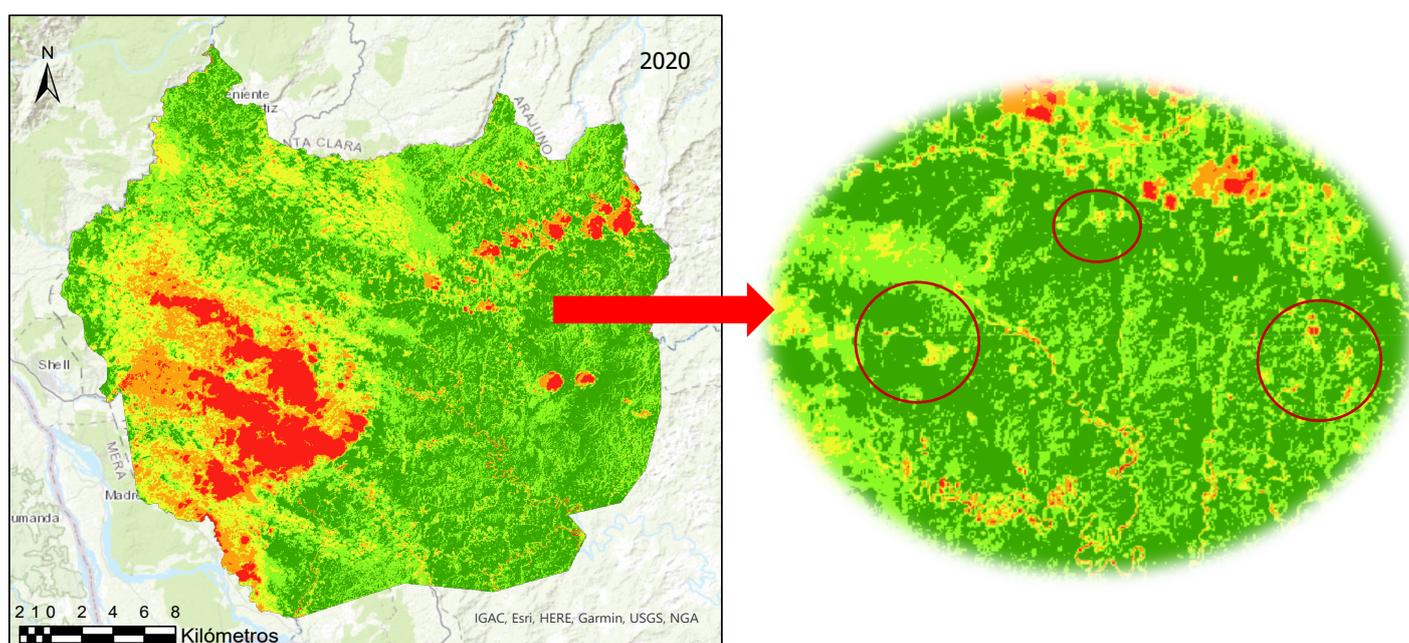


Figura 8 Índice SAVI para Zona de Estudio Pastaza - 2020.

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

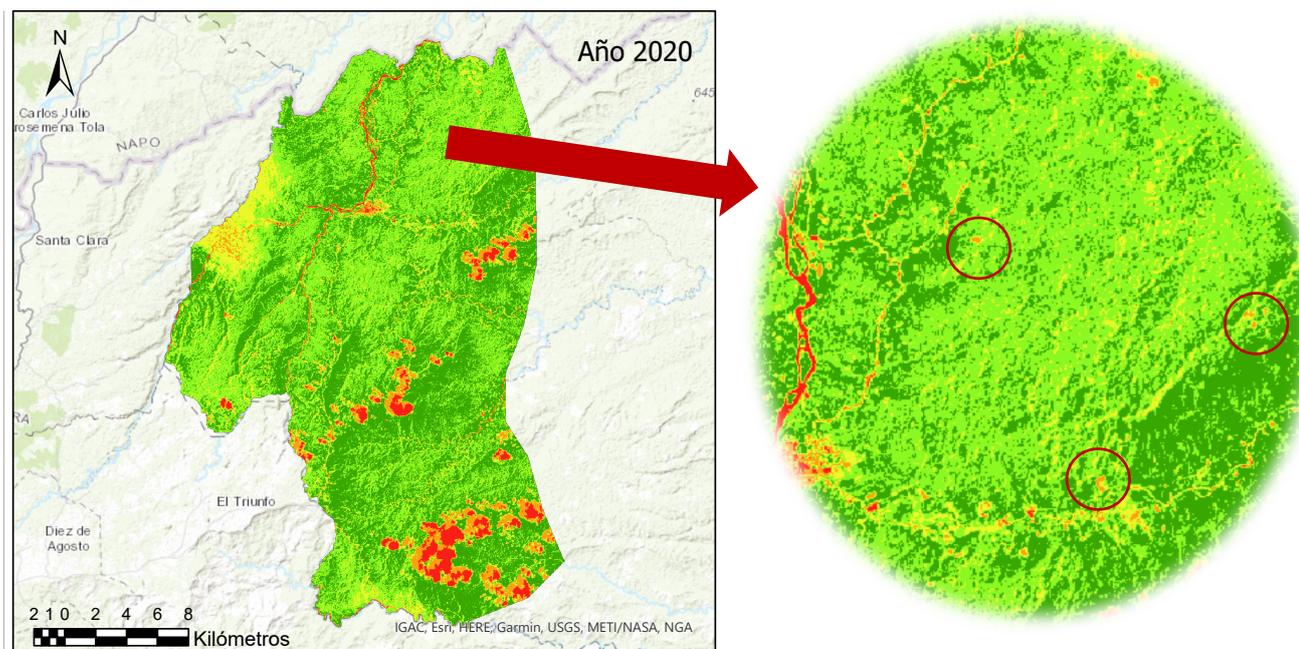


Figura 9 Índice NDVI para Zona de Estudio Araujo - 2020

Como se puede observar en las Figuras 8 y 9 las regiones en color verde claro y verde oscuro corresponden a vegetación abundante; predominante en la mayor parte del territorio (por la cobertura vegetal propia de la zona de estudio). Por otro lado, los colores rojo, naranja y amarillo predominan en zonas donde existe alta nubosidad, ríos y poblaciones. Sin embargo, la presencia de regiones amarillas y naranjas (como las señaladas en los círculos rojos); aisladas de la nubosidad, fuentes hídricas y poblados, son un indicio de deforestación pues corresponden a zonas donde la vegetación ha sido removida.

### *Visita in situ*

Durante la visita in situ se recolectó información fotográfica referente a la presencia de *Ochroma pyramidale* en la zona de estudio. Para corroborar si la vegetación observada correspondía a la especie de interés se realizó una comparación entre las características encontradas y la información botánica disponible en (Howcroft & Phil, 2002), (ITTO, 2015) y (Forestal Maderero, 2018). La comparación se realizó mediante un Check-List, cuyos

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

resultados se muestran en la Tabla 17. Además, se utilizaron imágenes disponibles en la web como guía para la identificación de la planta.

El registro fotográfico completo se encuentra en el Anexo 2.

Tabla 17 Check-list de características de *Ochroma pyramidale*

| <i>Parámetro</i>           | <i>Característica de Ochroma pyramidale</i>                               | <i>Cumple</i> |
|----------------------------|---|---------------|
| <i>Forma de la hoja</i>    | Lobulada/Acorazonada  | X             |
| <i>Color de la hoja</i>    | Tonalidades de verde al frente. Tiende a amarillo en la parte de trasera. | X             |
| <i>Tamaño de la hoja</i>   | > 10 cm   | X             |
| <i>Presencia de flores</i> | Sí  |               |
| <i>Color de flores</i>     | Blancas   |               |
| <i>Corteza</i>             | Lisa  | X             |
| <i>Color de la corteza</i> | claro con manchas blanquecinas/pardo/ pardo-grisácea                      | X             |



Figura 11 Vegetación encontrada en vía Puyo - Arajuno



Figura 10 *Ochroma pyramidale*. Fuente: ITTO, 2015

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Se determinó que, parte de la vegetación que crece en el sitio de estudio se trata efectivamente de *Ochroma pyramidale*.

### Análisis de demanda

#### Exportaciones

De acuerdo con la información disponible en (Banco Central del Ecuador, 2021), la exportación total de balsa durante el periodo de estudio se detalla en la Tabla 18. Cabe mencionar que la información para el año 2021, se encuentra disponible hasta el mes de noviembre.

El 2020 fue el año en el que mayor cantidad de balsa se exportó (con cerca de 75 mil toneladas). Esta cantidad no solo supera los años seleccionados de estudio, sino que representa la mayor cantidad de balsa exportada en los registros históricos del país.

Tabla 18 Exportaciones totales de balsa (en Toneladas Métricas y Precio FOB) para el periodo 2019-2021. Fuente: Banco Central del Ecuador.

| <i>TOTAL</i> |                |                |
|--------------|----------------|----------------|
| <i>AÑO</i>   | TM (Peso Neto) | FOB (USD)      |
| <i>2019</i>  | 33.081,00      | 126.936.100,00 |
| <i>2020</i>  | 74.680,20      | 402.144.600,00 |
| <i>2021</i>  | 14.695,70      | 83.727.500,00  |

En los tres años de estudio los principales países de destino de la balsa exportada fueron:

Tabla 19 Exportaciones de balsa por destino. Año 2019. Fuente: Banco Central del Ecuador

| <i>2019</i>           |                |               |
|-----------------------|----------------|---------------|
| <i>País</i>           | TM (Peso Neto) | FOB (USD)     |
| <i>China</i>          | 23.255,50      | 83.317.700,00 |
| <i>Estados Unidos</i> | 3.176,40       | 11.479.800,00 |
| <i>Dinamarca</i>      | 1.584,60       | 8.338.600,00  |

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Durante el 2019, China abarcó el 70,29 % de las exportaciones, Estados Unidos el 9,60 % y Dinamarca el 4,80 %. Durante este año el precio por tonelada métrica fue de \$3.837,13.

Tabla 20 Exportaciones de balsa por destino. Año 2020. Fuente: Banco Central del Ecuador

| 2020                  |                |                |
|-----------------------|----------------|----------------|
| <i>País</i>           | TM (Peso Neto) | FOB (USD)      |
| <i>China</i>          | 65.379,30      | 344.765.700,00 |
| <i>Polonia</i>        | 2.196,40       | 12.511.500,00  |
| <i>Estados Unidos</i> | 1.877,00       | 12.577.900,00  |

Durante el 2020, China abarcó el 87,54 % de las exportaciones, Estados Unidos el 2,51% y Polonia el 2,94 %. Durante este año el precio por tonelada métrica fue de \$5.384,89. Cabe mencionar que China triplicó la cantidad de balsa exportada en comparación con el 2019 mientras que Estados Unidos estuvo próximo a reducir la mitad de la cantidad exportada en comparación con el año previo.

Tabla 21 Exportaciones de balsa por destino. Año 2021. Fuente: Banco Central del Ecuador

| 2021                  |                |               |
|-----------------------|----------------|---------------|
| <i>País</i>           | TM (Peso Neto) | FOB (USD)     |
| <i>China</i>          | 15.980,00      | 60.839.000,00 |
| <i>Estados Unidos</i> | 1.461,60       | 7.620.700,00  |
| <i>Lituania</i>       | 595,30         | 3.631.800,00  |

Durante el 2021, China abarcó el 78,48 % de las exportaciones, Estados Unidos el 7,96 % y Lituania el 3,46 %. Durante este año el precio por tonelada métrica fue de \$ 4.236,13. Este año es el más bajo en exportaciones (del periodo de tiempo seleccionado) aunque el precio por tonelada no llega a ser más bajo que en el 2019.

### ***Productores de aerogeneradores***

De acuerdo con la Clasificación preliminar de proveedores mundiales de aerogeneradores realizada por el Consejo Global de Energía Eólica (GWEC por sus siglas en

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

inglés) los primeros cinco puestos para el año 2020 se les conceden a las empresas detalladas en la Tabla 22.

*Tabla 22 Clasificación de proveedores de aerogeneradores para el año 2020. Fuente: GWEC, 2021*

| <b>RANKING<br/>PRELIMINAR<br/>PARA EL AÑO 2020</b> | <b>EMPRESA<br/>(FABRICANTE DE<br/>EQUIPOS<br/>ORIGINALES)</b> | <b>INSTALACIONES EN EL<br/>AÑO 2020 (OFFSHORE Y<br/>ONSHORE)</b> |
|--|---|--|
| <b>1</b>   | Vestas  | 16186 MW   |
| <b>2</b>   | GE Renewable Energy   | 14135 MW   |
| <b>3</b>   | Goldwind  | 13606 MW   |
| <b>4</b>   | Envision  | 10717 MW   |
| <b>5</b>   | Siemens Gamesa  | 8676 MW  |

Vestas (empresa Danesa) se mantiene en el primer puesto por quinto año consecutivo debido a su diversificación geográfica, extendiéndose en 32 mercados a nivel mundial fortaleciendo su rendimiento especialmente en Estados Unidos, Brasil, Australia, Países Bajos, Noruega, Rusia, Polonia y Francia. Por otro lado, GE Renewable Energy asciende al segundo puesto principalmente por el desmesurado crecimiento en el mercado doméstico de Estados Unidos (convirtiéndolo en el proveedor número uno en el país) y su ampliación en España durante el último año. Goldwind marcó un record en el mercado nacional de China, logrando que las instalaciones offshore superaran el 1 GW de capacidad, aunque perdió una parte importante del mercado nacional (chino) por la fuerte competencia de empresas locales como Envision, que en el último año instaló 10 GW (record para la empresa). En último lugar está Siemens Gamesa (empresa Danesa), con una instalación de 8,7 GW principalmente debido a un año relativamente lento en la implementación de energía eólica marina en Europa. A pesar

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

de encontrarse en el último puesto de la lista, Siemens Gamesa mantiene en el 2020 su puesto como el mayor proveedor de turbinas para este fin a nivel mundial (GWEC, 2021).

***Energía Eólica internacional***

Los países con mayor capacidad de energía eólica instalada se detallan en la tabla a continuación.

*Tabla 23 Líderes en energía eólica a nivel mundial. Fuente: Ewind, 2021*

| <i>País</i>           | <i>Capacidad</i><br><i>(GW)</i> |
|-----------------------|---------------------------------|
| <i>China</i>          | 221                             |
| <i>Estados Unidos</i> | 96,4                            |
| <i>Unidos</i>         |                                 |
| <i>Alemania</i>       | 59,3                            |
| <i>India</i>          | 35                              |
| <i>España</i>         | 23                              |
| <i>Reino Unido</i>    | 20,7                            |
| <i>Unido</i>          |                                 |
| <i>Francia</i>        | 15,3                            |
| <i>Brasil</i>         | 14,5                            |
| <i>Canadá</i>         | 12,8                            |
| <i>Italia</i>         | 10                              |

De acuerdo con el Informe Mundial sobre el Viento, 2021 (Global Wind Energy Council , 2021) en cuanto a instalaciones offshore los países líderes son: Reino Unido, China,

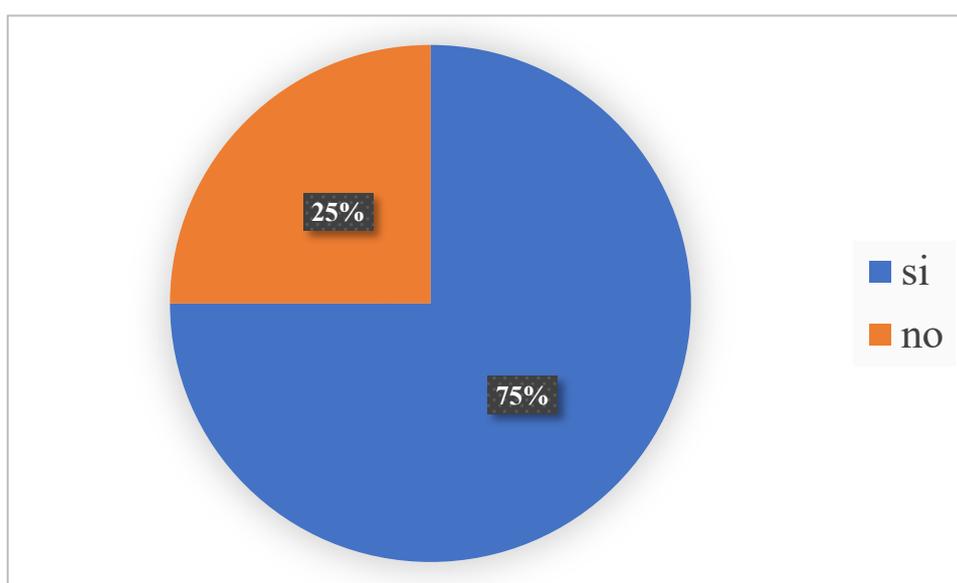
## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE BALSA Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Alemania, Holanda, Bélgica, Dinamarca, Suecia, Korea del Sur, Taiwán, Vietnam (en ese orden).

### Percepción socio ambiental

Durante las entrevistas con los habitantes de los cantones seleccionados se obtuvieron los siguientes resultados para cada una de las preguntas. La estructura de la encuesta se encuentra en el Anexo 3 y la evidencia fotográfica en el Anexo 4.

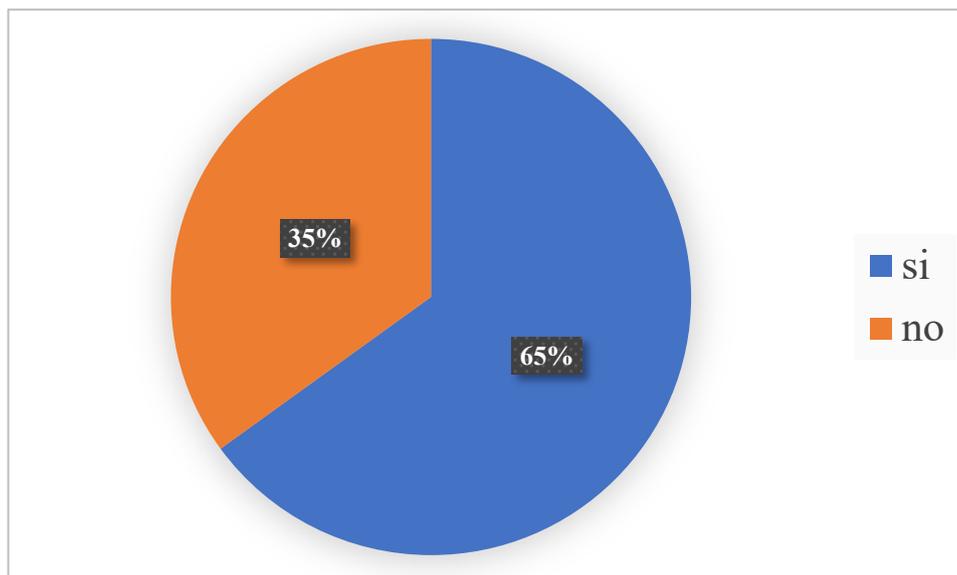
1. ¿Considera que la flora y fauna se ven afectadas por la explotación de balsa?



El 75% de las personas entrevistadas considera que existe un impacto negativo hacia la flora y la fauna del sector mientras que el 25% restante considera que no hay ninguna afectación ligada estrechamente a la explotación de balsa.

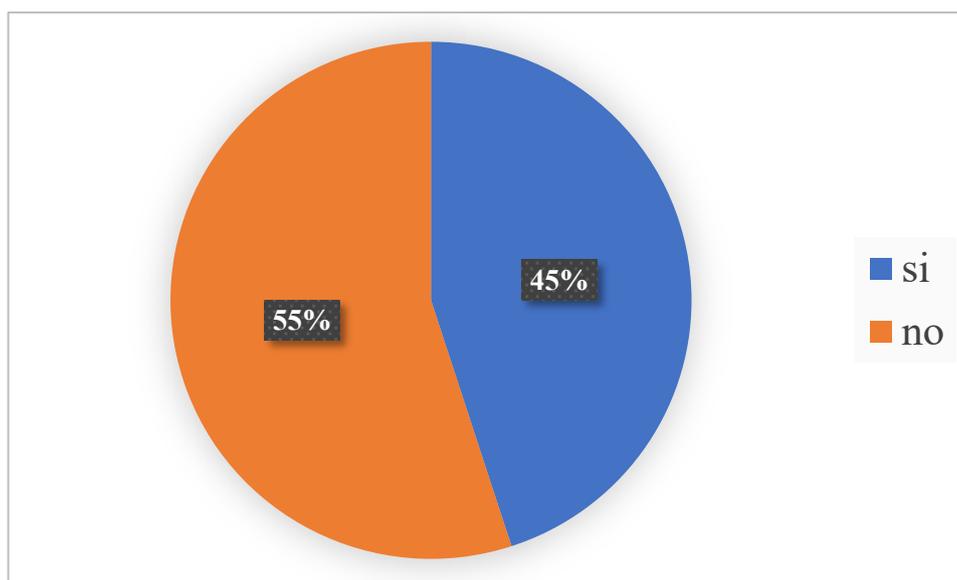
2. ¿Participa usted de las actividades de la explotación de balsa?

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”



El 65% de las personas entrevistadas participaban hasta principios de este año (2021) en actividades relacionadas con la explotación de la balsa (cultivo, tala o transporte). El 35% de las personas entrevistadas no participan de las actividades de explotación de la balsa.

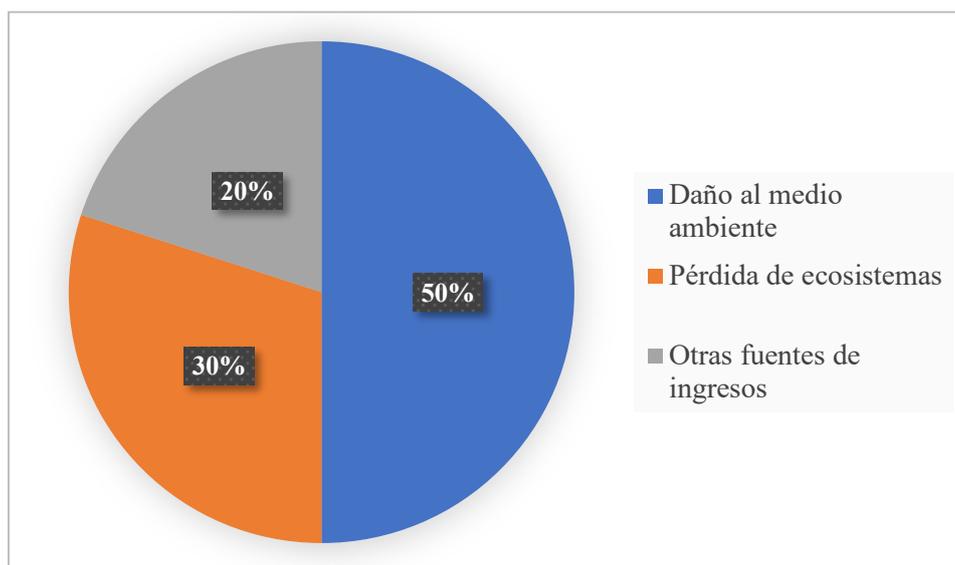
3. ¿Considera correcta y necesaria la explotación de balsa?



Las opiniones en cuanto a este ítem se encuentran divididas casi de manera pareja. El 55% de las personas entrevistadas considera que no es correcto ni necesaria la explotación de la balsa, mientras que el 45% restante considera que sí. Los motivos se discuten en las siguientes preguntas.

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE BALSA Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

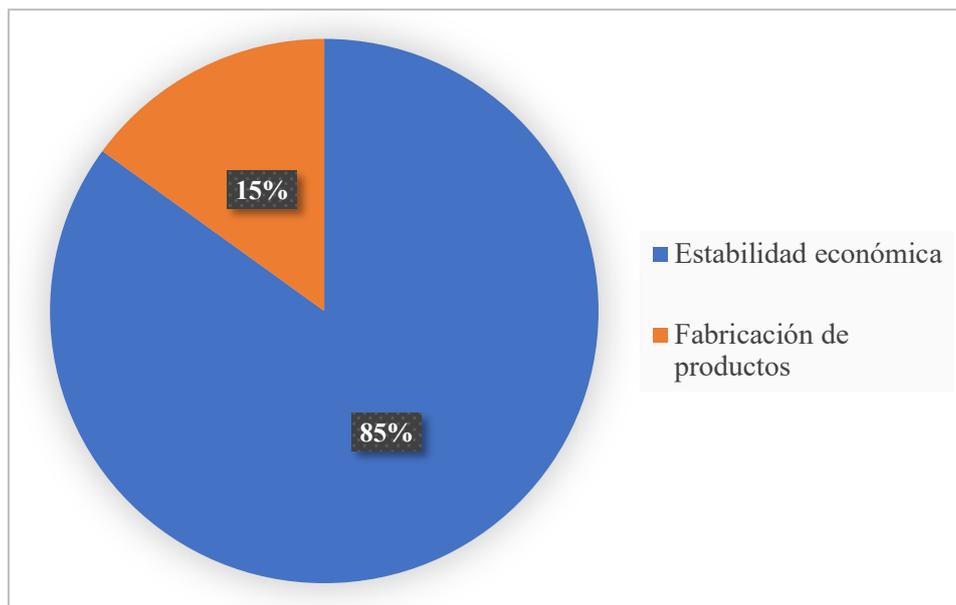
4. ¿Por qué no considera correcta y necesaria la explotación de la balsa?



El motivo principal por el cual las personas entrevistadas consideran que no es correcto ni necesaria la explotación de la balsa es que la actividad se encuentra ligada a impactos negativos sobre el medio ambiente (50% de los entrevistados), en menor porcentaje (30%), se considera específicamente la pérdida de ecosistemas como la migración de aves, el desplazamiento de primates y otras especies del sector y finalmente un 20% de los entrevistados opina que no se requiere explotar el recurso natural cuando es posible obtener ingresos de otras fuentes más rentables como la ganadería o la cosecha.

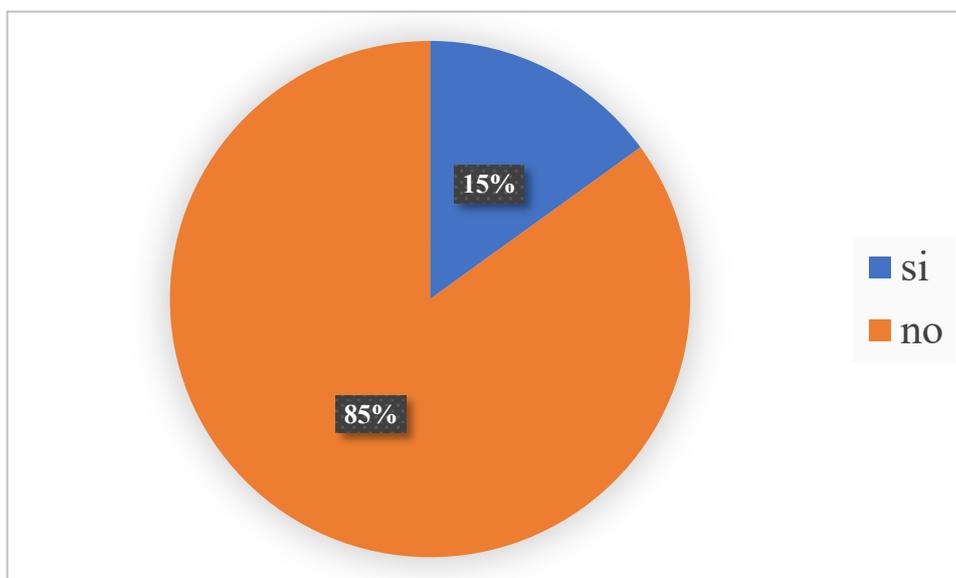
5. ¿Por qué considera correcta y necesaria la explotación de la balsa?

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE BALSA Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”



Por el otro lado, el 85% de las personas que considera correcta y necesaria la explotación de la balsa lo justifica en la estabilidad económica que puede brindar el negocio de la explotación del árbol de balsa, pues al menos durante el año 2020, era un árbol sumamente cotizado en el sector. El 12% de los entrevistados justificó su respuesta en que la explotación del árbol permite la fabricación de nuevos productos que fomentan el comercio en el país.

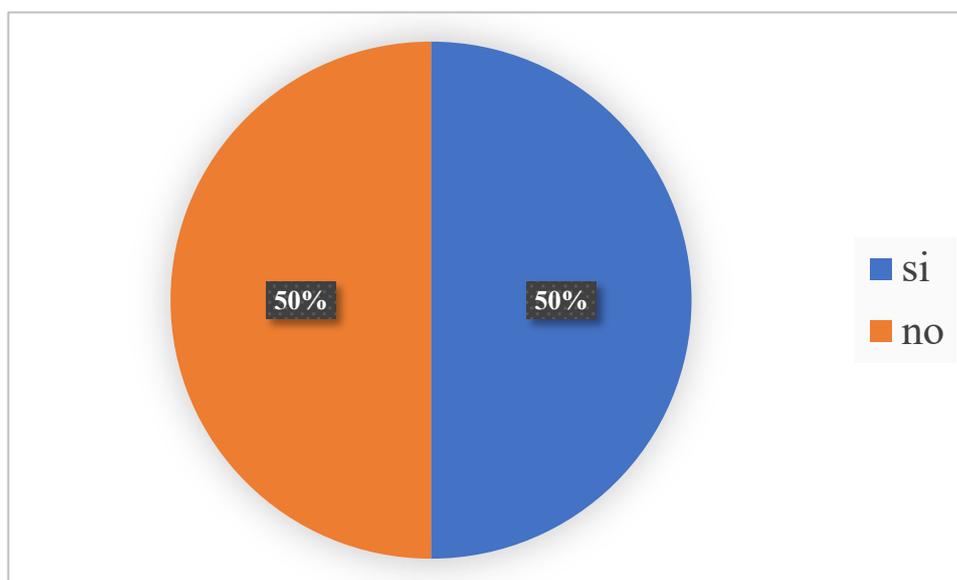
6. ¿Considera usted que la explotación de balsa ha influenciado en su calidad de vida?



“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

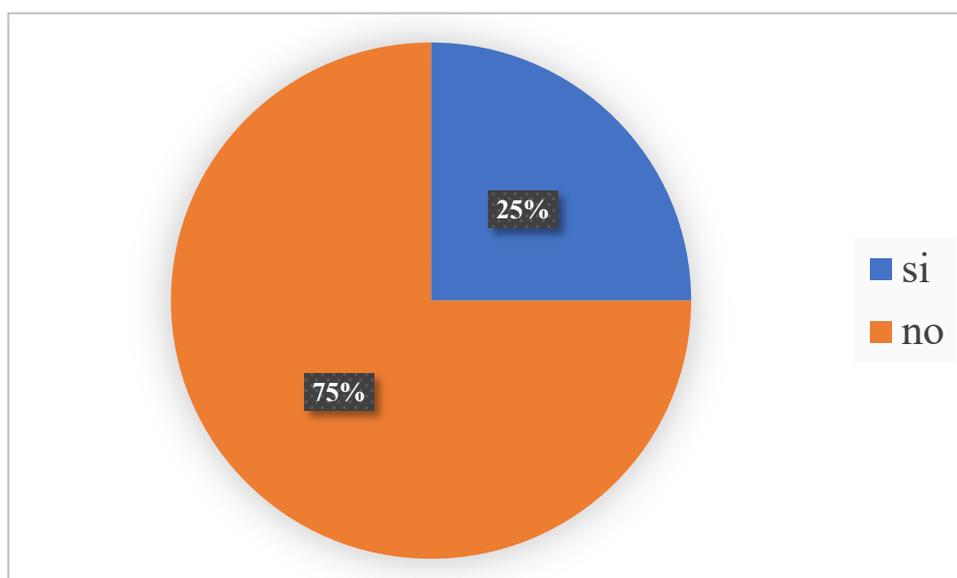
El 85% de las personas entrevistadas no considera que la balsa haya tenido algún impacto en la calidad de vida que llevan hasta el momento, mientras que el 15% restante sí lo considera un factor predominante.

7. ¿Ha notado cambios en el paisaje debido a la explotación de balsa?



Las opiniones para esta pregunta se encuentran divididas de forma equitativa pues la mitad comenta que no ha observado cambios significativos en el paisaje mientras que la otra mitad dice sí haber notado en el paisaje ligados a la explotación de la balsa.

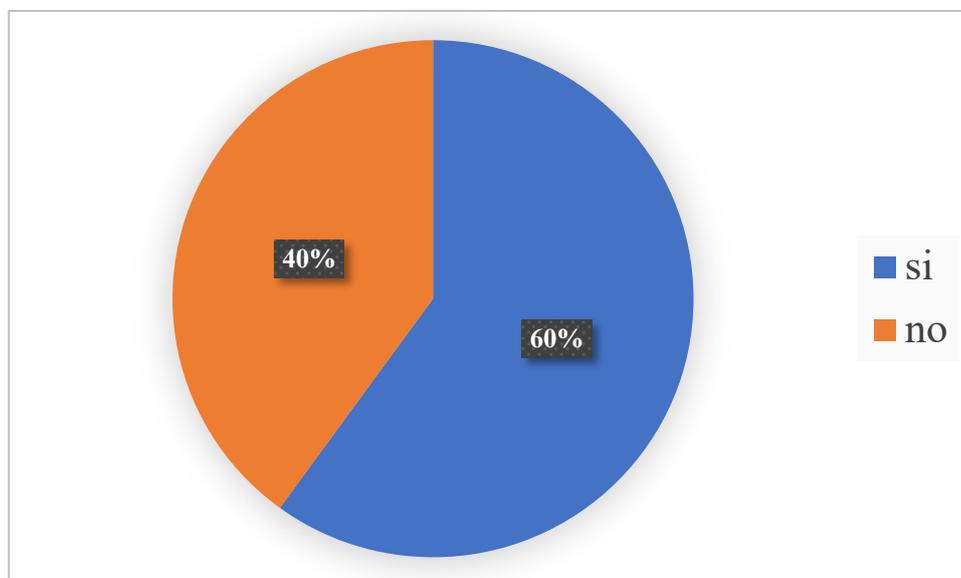
8. ¿Ha notado una disminución de áreas verdes en el sector?



“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE BALSA Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

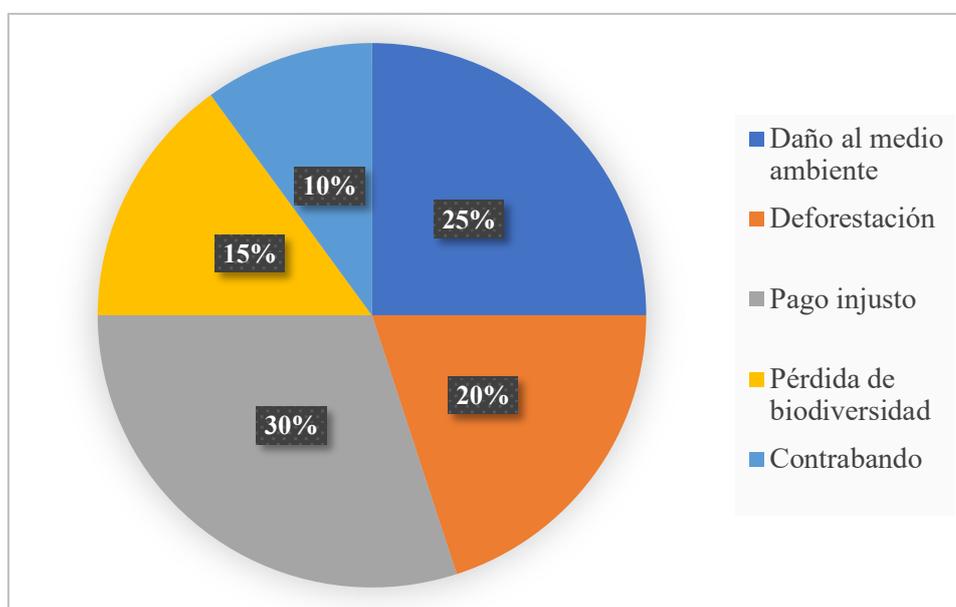
El 75% de las personas entrevistadas menciona que no han evidenciado una disminución de las zonas verdes del sector mientras que el 25% menciona que sí ha notado diferencias.

9. ¿Conoce sobre los usos de la balsa?



El 60% de los entrevistados comentó conocer sobre los usos de la balsa comentando entre ejemplos la fabricación de maquetas o en la construcción de barcos. El 40% de las personas entrevistadas no conocía de las aplicaciones para esta madera.

10. ¿Qué problemáticas asocia usted con la explotación de balsa?



## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

La principal problemática que los entrevistados identificaron asociada a la explotación de la balsa (30%) se encuentra relacionada con las retribuciones económicas que reciben a cambio de la explotación del árbol, pues mencionan son sumamente bajas y no compensan el tiempo y recursos que se deben invertir para su explotación comercial. En menor cantidad (25%) se consideran los impactos negativos al medio ambiente seguido de la problemática netamente asociada a la pérdida de cobertura vegetal (20%), un 15% considera la pérdida de biodiversidad tanto de flora como fauna y finalmente un 10% considera que el contrabando que genera la explotación de madera en el sector impulsa la inseguridad.

### **Discusión**

#### **Índices**

La obtención de los índices focalizados resulta útil para la comparación entre las zonas intervenidas y no intervenidas a manera de control sectorial a través del tiempo. Al comparar los valores obtenidos para cada uno de los índices radiométricos es importante mencionar que no existen valores fijos establecidos para cada tipo de vegetación o en sí, de densidad vegetal. Esto se debe a que los índices radiométricos seleccionados originalmente se utilizan para estimar el estado en el que se encuentra la vegetación por lo que los indicadores se basan en rangos para calificar como “sana” o “enferma o decadente” a la vegetación (JONG, VERBESSELT, SCHAEPMAN, & BRUIN, 2012), aunque con el paso de los años se han ido adecuando para evaluar la cobertura vegetal precisamente por el principio bajo el que funcionan (Schultz, y otros, 2016).

Aún así, en comparación con estudios realizados en otras zonas de la Amazonía (Atkinson, Dash, & Jeganathan, 2011), (Hilker, y otros, 2014), los valores obtenidos (NDVI) coinciden para la cobertura vegetal moderada y alta en ambos sitios de estudio, con resultados superiores a 0,60. De manera similar ocurre con los índices RVI (García-Cervigón, 2015) y

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

SAVI (Schultz, y otros, 2017) en los cuales la vegetación abundante es superior a 5,00 y a 0,65 respectivamente. En el caso del índice BI, de acuerdo con (Todd & Hoffer, 1998), los valores más bajos se encuentran asociados con suelos más secos y reflectantes debido a que el valor del brillo de la vegetación es mucho menor que el del suelo subyacente. Esto es coherente con los resultados obtenidos donde las regiones con vegetación abundante son aquellas cuyos valores son superiores a 32500, mientras que carreteras, ciudades y zonas con poca cobertura vegetal poseen valores inferiores a 15050.

Como indicativos de deforestación o pérdida de cobertura vegetal, (Othman, Ashaari, Aris, & Ramli, 2018) mencionan que para el índice NDVI los valores cercanos a cero representan suelo expuesto y que, generalmente la clasificación para pérdida vegetal se realiza a partir de los valores más bajos de NDVI observados. Como se ha mencionado anteriormente esto es consistente con los resultados obtenidos para los sitios intervenidos, permitiendo también obtener una idea en función de los mapas generados, de aquellas zonas que han perdido cobertura vegetal a lo largo del tiempo. De manera similar ocurre para el índice SAVI pues de acuerdo con (Schultz, y otros, 2016) se puede considerar que un paisaje ha reducido su cobertura vegetal cuando los valores del índice son menores a 0,5. En el caso del índice RVI, (Hernández, 2017) menciona que entre menores sean los valores obtenidos, menor será la cobertura vegetal, nuevamente confirmando los resultados obtenidos en el presente estudio.

En función de este análisis se ha logrado identificar áreas que concuerden tanto visualmente, así como en los valores de los índices, siendo presuntamente zonas con baja cobertura vegetal. Es importante mencionar que la examinación visual resulta entonces un paso fundamental como criterio para evaluar estas zonas.

Al contrario del análisis de índices focalizado, tanto para la zona de estudio de Arajuno como para la zona de estudio de Pastaza los valores promedio de todos los índices (NDVI, RVI, SAVI, BI), resultan mayores en el año 2020 y los valores menores se registran en el año 2021.

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Esto puede verse influenciado por numerosos factores, pero principalmente se consideran los efectos atmosféricos (como la nubosidad) como un agravante en la alteración de los resultados. A pesar de que para la descarga de imágenes satelitales se consideraron los meses más despejados y se fijó un límite de nubosidad del 35%, es importante tener en consideración que en la región amazónica las condiciones atmosféricas pueden ser muy variables independientemente de la estación característica del periodo de tiempo seleccionado y que el parámetro del límite de nubosidad se acoge de manera general a toda la extensión de la imagen. Por este motivo, resulta posible que las zonas de estudio contengan un porcentaje mayor de nubosidad en función del área seleccionada.

Como se puede observar en los mapas generados (Anexo 1), la nubosidad se clasificó de acuerdo a la densidad pues entre más densa sea, menor será la visibilidad del terreno debajo de ellas. Así, por ejemplo, el índice NDVI para las nubes densas corresponden a los valores negativos y cercanos a 0. Entre mayor sea la nubosidad, se aportarán más valores que no corresponden a la vegetación. En el caso de las imágenes satelitales obtenidas para los años 2019 y 2020 existe una proporción superior de nubosidad en comparación con las imágenes obtenidas para el año 2021, por lo que el promedio de valores resultará inferior para este año. De acuerdo con (Guyot & Xing-FaGu, 1994), los efectos atmosféricos como las nubes y aerosoles pueden afectar la precisión de índices (como el NDVI o RVI) en un 24% para imágenes Landsat. Así, la extensiva corrección atmosférica que pueden requerir las imágenes satelitales previo al geoprocesamiento representa un limitante para el uso de índices radiométricos en la evaluación de vegetación, por lo que es recomendable modificar estas condiciones mediante la creación de ROIs o bien con el uso de herramientas automatizadas como QUAC o FLAASH.

### **Visita in situ**

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

En cuanto a la información e imágenes obtenidas durante la visita in situ, se verificó que efectivamente *Ochroma pyramidale* es uno de los árboles que crecen de forma nativa en el sector. Esto se determina en función de la abundancia y distribución de los árboles encontrados. Como lo evidencian las Figuras 12, 13, 14, 15, 16 y 19 (ver Anexo 2), los árboles encontrados no conforman una estructura de cultivo, sino que se encuentran sumamente dispersos. La excepción a estos hallazgos se evidencia en las Figuras 17 y 17 Ver Anexo 2), donde la densidad de los árboles coincide con la de un cultivo común de balsa (Ecuador Forestal, 2012).

Otra observación acerca de los árboles encontrados es que todos los hallazgos corresponden a plantas de *Ochroma pyramidale* sumamente jóvenes. A partir de la caracterización realizada por (El Mundo Forestal, 2019), los árboles de balsa encontrados cumplen con las características del tamaño de las hojas (entre 15 y 30 cm), una altura inferior a 25 m y un diámetro de tronco muy inferior a 1 m. No se evidenció la presencia de árboles maduros. Esto podría considerarse como un indicativo de tala medianamente reciente de los árboles que se encontraban en edad extractiva (4-7 años); pues la balsa produce flores y fruto a partir de los 4 años (Aldas, 2011), permitiendo germinar y crecer de manera natural más árboles.

### **Análisis de demanda**

De acuerdo con los testimonios recabados por Rubén Díaz en su serie documental acerca de la deforestación en la amazonia ecuatoriana (Díaz, 2021), el precio de la balsa que se comercializa en la región depende del tipo de corte y tamaño de los pedazos del árbol. Así, la sección del tronco tiene un valor comercial de entre 5 y 8 dólares, mientras que las “tiras” o tablas anchas se venden hasta en 15 dólares. Así, los productos obtenidos de un árbol en edad extractiva se valúan en 500 dólares aproximadamente. A partir de la información recolectada en campo, se conoció que los valores que se ofrecían por el árbol en pie; es decir, antes de ser

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

talado y sin ningún tipo de procesamiento de la madera, variaban entre los 20 y 25 dólares (esto durante el tiempo de mayor actividad comercial en el sector).

Teniendo en consideración una densidad relativa de la madera ecuatoriana es de aproximadamente  $0,2 \text{ g/cm}^3$  y que un árbol de *Ochroma pyramidale* en edad extractiva pesa alrededor de 326 kg aproximadamente<sup>8</sup>, el precio promedio de un árbol de balsa en el mercado se encontraría alrededor de los \$1755<sup>9</sup>. Este valor es tres veces mayor al que los aledaños son capaces de vender el árbol ya procesado. Esto indicaría una ganancia neta para el exportador de más de mil dólares (considerando los gastos incurridos en otros procesos como el secado y transporte), convirtiendo a la exportación de balsa en uno de los negocios más rentables del país.

Los principales destinos de exportación coinciden con los países con mayor fabricación de turbinas para energía eólica. Por ejemplo, Vestas mantiene sus fábricas más importantes en China, Estados Unidos y Dinamarca (Vestas, 2020) (los destinos de exportación más importantes en el 2019). De forma similar, General Electric Renewable Energy mantiene sus plantas de fabricación de aspas en Polonia, China y Estados Unidos; donde es el principal fabricante (GE Renewable Energy, 2019). Estos tres países fueron los principales países destino para las exportaciones del 2020. De manera similar, Goldwind y Envision son las principales empresas chinas encargadas de la fabricación de estaciones eólicas, justificando las exportaciones hacia este país en el periodo de estudio (Goldwind, 2020).

Durante el último año, China logró un hito al instalar para su uso el equivalente a la mitad de toda la capacidad energética eólica mundial. Esto ocurre después de que el país haya realizado

---

<sup>8</sup> Teniendo en cuenta que un árbol en edad extractiva alcanza una altura aproximada de 13 metros, un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 40 cm y un volumen de 1,63 m<sup>3</sup> (Ecuador Forestal, 2012).

<sup>9</sup> Tomando como valor referencial el precio por tonelada en el año 2020, cuando las exportaciones de balsa alcanzaron el máximo histórico.

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE BALSA Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

una serie de compromisos climáticos con el objetivo de alcanzar la neutralidad de carbono en el año 2060 (Global Wind Energy Council , 2021).

Como se indicó en la sección anterior, durante el año 2020 China continuó siendo el mayor exportador de balsa, abarcando el 87% de las exportaciones. Esto podría explicarse debido a que es el segundo año de la fiebre por instalar energía eólica marina en China, ya que los promotores de proyectos tienen como fecha límite los últimos meses del 2021 para conectar a la red los proyectos y así optar a la tarifa de 0,85 RMB/kWh (Global Wind Energy Council , 2021). Sin embargo y al observar las tendencias de las exportaciones, estas tendieron a bajar en el año 2021, coincidiendo también con la información recabada en campo que se menciona más adelante. Se puede esperar una disminución significativa en la instalación eólica terrestre en China pues la mayor parte de los proyectos aprobados antes de comenzar el 2020 se encuentran ya ejecutados y a finales del presente año todos los proyectos de energía eólica terrestre perderán el subsidio o subvención otorgada por el estado (Global Wind Energy Council , 2021). No obstante, podría esperarse un incremento gradual con el paso de los años por la iniciativa mencionada anteriormente de alcanzar los objetivos de neutralidad de carbono.

### **Percepción socio ambiental**

Los resultados indican que, si bien la mayor parte de las personas entrevistadas reconocen las problemáticas medio ambientales como la deforestación y la pérdida de diversidad ligadas a la explotación indiscriminada del árbol de balsa, realmente no se encuentran directamente afectados por la actividad actualmente. Al momento de entablar las entrevistas algunas de las personas con las que se conversó indicaron que actualmente ya nadie se dedica al cultivo y explotación del árbol pues la demanda cayó bruscamente en el último año, que los precios ya no son rentables y que tampoco existen compradores. Esta última información va acorde a lo observado en la sección de análisis de demanda pues durante el 2021 se han reducido drásticamente las estadísticas de exportación para esta madera.

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Otra de las problemáticas mencionadas trataba sobre la injusticia de precios que llegó a existir en el mercado y que fue documentado por (Maisanche, 2020). Si bien las personas que poseían fincas con cultivos de balsa podían ganar hasta \$25 dólares por árbol, llegó un punto en el que los compradores no ofrecían más de \$2 dólares por los mismos. Teniendo en cuenta el análisis del precio por tonelada que los grandes exportadores reciben por la madera de balsa, los pobladores se negaron a reducir los precios y estos optaron por extraer la madera de bosques nativos en vez de cultivos en las poblaciones cercanas.

Como se mostró en los resultados, la mayor parte de la población entrevistada no considera que la explotación de la madera de balsa haya afectado su calidad de vida, pareciendo contradictorio a la respuesta de la pregunta sobre su participación en la actividad extractiva. Esto puede explicarse en que, si bien en algún momento la población incurrió en actividades económicas relativas al comercio de balsa, no eran dependientes únicamente de esta actividad. Las personas del sector que se dedican específicamente al tema maderero por lo general trabajan con otros árboles (como el caucho, el laurel o el doncel) (Mejía & Pacheco, 2013) y no comercializan de forma exclusiva *Ochroma pyramidale*.

### **Conclusiones**

Si bien las herramientas de teledetección ambiental otorgan una noción aproximada de las zonas que presentan pérdida de cobertura vegetal, pues permiten identificar mediante el uso de índices aquellas áreas en las que la abundancia y tipo de vegetación han cambiado, no se puede asociar de manera directa la afectación ambiental al cultivo y explotación de balsa, así como tampoco es posible ligarla únicamente a la generación de energía eólica. Esto representa una limitación al momento de evaluar el impacto real que ocasiona la transición energética en países en vías de desarrollo como Ecuador, que son proveedores de la materia prima para su

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE BALSA Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

implementación. Las herramientas de teledetección ambiental deben ser utilizadas en estudios frecuentes que monitoreen de forma constante las zonas con cultivos legales, así como aquellas zonas donde se conoce que crece *Ochroma pyramidale* de manera natural, y pertenecen a áreas no intervenidas.

La obtención de índices numéricos generales para una zona de estudio no es suficiente para determinar si existe una pérdida de cobertura vegetal. Pues debido a factores como las condiciones climáticas del sitio de estudio o su geografía, los valores pueden ser alterados y malinterpretados. Por este motivo, se requiere, además, del criterio de descarte a partir de la examinación visual para la determinación de zonas a las que les correspondan la categorización de “pérdida de cobertura vegetal.

La obtención de índices focalizados indica que los valores para sitios no intervenidos son constantes o muy poco variables mientras que para zonas intervenidas esto no se cumple. La obtención de índices focalizados permite la comparación entre áreas no intervenidas y zonas con presencia antrópica, por lo que pueden ser utilizados como una forma de monitoreo en la evaluación de la pérdida vegetal en un espacio determinado.

Es posible que no toda la balsa ecuatoriana esté destinada para proyectos de energía eólica, pues esta madera tiene otros usos en menor proporción de volumen, Sin embargo, casi la totalidad de proyectos eólicos que requieran de madera de balsa la obtendrán de Ecuador al ser éste el principal proveedor del material.

La percepción socio ambiental del estudio permite determinar que las personas identifican y reconocen los posibles impactos relacionados a la explotación indiscriminada de

## “DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

balsa, sin embargo, actualmente no es un tema que genere preocupación o incertidumbre en la población de la zona seleccionada pues no dependían económicamente de la comercialización de este árbol. Sin embargo, esto no quiere decir que no genere conflictos y preocupación en otras zonas de la región, donde han sido denunciados públicamente por comunidades y pueblos indígenas que se han visto directamente afectados por el cultivo, explotación y comercio de esta madera.

### **Recomendaciones**

Para futuros análisis que involucren la obtención de Índices de Vegetación mediante herramientas de geoprocésamiento, se recomienda ejecutar primero corrección atmosférica eliminando además la nubosidad presente mediante un ROI.

Realizar una identificación previa de zonas de extracción de balsa para poder obtener un monitoreo real de la explotación de esta madera.

Se sugiere realizar comparaciones semestrales o trimestrales en vez de anuales. Esto permitiría un análisis en tiempo real, evaluando también la recuperación natural de zonas intervenidas.

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

## **Bibliografía**

- Tong, W. (2010). *Wind Power Generation and Wind Turbine Design*. Southampton, Boston: WITpress.
- Emeis, S. (2018). *Wind Energy Meteorology*. Garmisch-Partenkirchen: Springer.
- Ackermann, T., & Söder, L. (2002). An overview of wind energy-status 2002. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67–128.
- Shahan, Z. (2014, noviembre 11). *History of Wind Turbines*. Retrieved from Renewable Energy World: <https://www.renewableenergyworld.com/storage/history-of-wind-turbines/#gref>
- Hau, E., & von Renouard, H. (2006). Electrical Power from the Wind — The First Attempts. In E. Hau, & H. v. Renouard, *Wind Turbines* (pp. 23-24). Berlin, Heidelberg, Alemania: Springer.
- U.S Department of Energy. (2017). *What Is Wind Power?* Retrieved from Wind Exchange: U.S Department of Energy: <https://windexchange.energy.gov/what-is-wind#:~:text=Wind%20power%20or%20wind%20energy,the%20wind%20into%20mechanical%20power.>
- Global Wind Energy Council . (2021). *GLOBAL WIND REPORT 2021*. Retrieved from Global Wind Energy Council : <https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf>
- PowerTechnology. (2018). *Alta Wind Energy Center (AWEC), California*. Retrieved from PowerTechnology: <https://www.power-technology.com/projects/alta-wind-energy-center-awec-california/>
- Wind Energy Technologies Office. (2018). *The Inside of a Wind Turbine*. Retrieved from Office of Energy Efficiency and Renewable Energy: <https://www.energy.gov/eere/wind/inside-wind-turbine>

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

International Renewable Energy Agency. (2020). *Wind energy*. Retrieved from IRENA:

<https://www.irena.org/wind>

Wind Energy Technologies Office. (2018). *How Do Wind Turbines Work?* Retrieved from

Wind Energy Technologies Office: <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>

Foundation for Water and Energy Education. (2019). *How Wind Turbines Generate*

*Electricity*. Retrieved from FWEE: Foundation for Water and Energy Education:

<https://fwee.org/nw-hydro-tours/how-wind-turbines-generate-electricity/>

Barthelmie, R. J., & Pryor, S. C. (2021, abril 22). How do wind turbines work? - TED-ed.

*Video - Charla TED.*

Arantegui, R. L. (2015). Materials use in electricity generators in wind turbines – state-of-

the-art and future specifications. *Journal of Cleaner Production* , 275-283.

Howcroft, N., & Phil, M. (2002). *The Balsa Manual: Techniques for establishment & the*

*management of balsa (Ochroma lagopus) plantations in Papua New Guinea*. Keravat.

Ecuador Forestal. (2012, septiembre 25). *Ficha Técnica N° 7: Balsa*. Retrieved from

Ecuador Forestal: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-7-balsa/>

Navarrete, E. T. (2014, octubre 21). *Especies para la Reforestación Comercial en Colombia*.

Retrieved from El Semillero: <https://elsemillero.net/especies-para-la-reforestacion-comercial-en-colombia/>

Francis, J. K. (2000). *Ochroma pyramidale* Cav. In J. K. Francis, & C. A. Lowe, *Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales* (pp. 371-372).

Río Piedras.

Borrega, M., Ahvenainen, P., Serimaa, R., & Gibson, L. (2015). Composition and structure of

balsa (*Ochroma pyramidale*) wood. *Wood Science Technology* , 403-420.

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Silva, A. D., & Kyriakides, S. (2007). Compressive response and failure of balsa wood.

*International Journal of Solids and Structures*, 8685-8717.

Alarcón, I. (2021, marzo 11). *La tala de madera tipo balsa crece en el Ecuador para sostener los proyectos energéticos renovables de China*. Retrieved from Diario El Comercio: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/energia-china-tala-ilegal-ecuador.html>

Riofrío, C. (2021, marzo 11). *Exportación de Balsa - 2020*. Retrieved from Asociación Ecuatoriana de Industriales de la Madera (AIMA): <https://aima.org.ec/comunicacion/>

Gobierno Provincial de Pastaza. (2019, septiembre 01). *Información de la Provincia de Pastaza*. Retrieved from Gobierno Provincial de Pastaza:

<https://pastaza.gob.ec/pastaza/informacion/informacion-de-la-provincia-de-pastaza/>

INEC. (2010). *Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo Provincial Pastaza*. Retrieved from Ecuador En Cifras - INEC:

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/pastaza.pdf>

Blaschke, J. G. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Pastaza al año 2025 - Actualización 2019*. Retrieved from GAD Provincial Pastaza :

[https://pastaza.gob.ec/planificacion/pdot\\_pastaza\\_2019.pdf](https://pastaza.gob.ec/planificacion/pdot_pastaza_2019.pdf)

Ecociencia. (2020, julio 07). *La mayoría de la región amazónica del Ecuador presenta incrementos en su deforestación*. Retrieved from Ecociencia: <https://ecociencia.org/la-mayoria-de-la-region-amazonica-del-ecuador-presenta-incrementos-en-su-deforestacion/>

Yamamoto, J. P., & Castro, M. B. (2003). *Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia de Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad*. Oxapampa.

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

GAD Provincial de Pastaza. (2020, febrero 11). *Atlas Geográfico Provincia de Pastaza -*

*Cultura y naturaleza*. Retrieved from ISSUU:

[https://issuu.com/gobiernoprovincialdepastaza/docs/atlas\\_provincia\\_de\\_pastaza\\_cultura\\_y\\_naturaleza](https://issuu.com/gobiernoprovincialdepastaza/docs/atlas_provincia_de_pastaza_cultura_y_naturaleza)

Prefectura de Pastaza. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO*

*TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE PASTAZA AL AÑO 2025 ACTUALIZACION*

2015. Retrieved from Prefectura de Pastaza: [http://app.sni.gob.ec/sni-](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1660000170001_DIAGNOSTICO%20DEL%20PD%20Y%20POT%20DE%20LA%20PROVINCIA%20%20DE%20PASTAZA%20DEF%20-%2015%20MAYO_15-05-2015_14-18-30.pdf)

[link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1660000170001\\_DIAGNOSTICO%20DEL%20PD%20Y%20POT%20DE%20LA%20PROVINCIA%20%20DE%20PASTAZA%20DEF%20-%2015%20MAYO\\_15-05-2015\\_14-18-30.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1660000170001_DIAGNOSTICO%20DEL%20PD%20Y%20POT%20DE%20LA%20PROVINCIA%20%20DE%20PASTAZA%20DEF%20-%2015%20MAYO_15-05-2015_14-18-30.pdf)

MAPBIOMAS. (2020). *COLECCIÓN 2.0 DE MAPAS ANUALES DE COBERTURA Y USO*

*DEL SUELO DE LA AMAZONÍA (1985 – 2018)*. Retrieved from MAPBIOMAS:

<https://amazonia.mapbiomas.org/lanzamiento-de-la-coleccion-20>

Pałas, K. W., & Zawadzki, J. (2020). Sentinel-2 Imagery Processing for Tree Logging

Observations on the Białowieża Forest World Heritage Site. *Forests*.

Pech-May, F., Hernández, J. V., & Jacinto, H. G. (2021). Análisis de zonas de cultivo y

cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2. *Lámpsakos*, 48-59.

Gamiño, M. d., Blanco, J. L., & Correa, G. V. (2013). Indicadores ambientales biofísicos a escala detallada para la planeación territorial en Milpa Alta, Centro de México .

*Investigaciones geográficas*, 21-35.

Schinasia, L. H., Benmarhniab, T., & Roos, A. J. (2018). Modification of the association

between high ambient temperature and health by urban microclimate indicators: A systematic review and metaanalysis. *Environmental Research*, 168-180.

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

CCPO. (2016). *SPECTRAL VEGETATION INDICES (SVIs)*. Retrieved from Center for

Coastal Physical Oceanography:

[http://www.ccpo.odu.edu/SEES/veget/class/Chap\\_4/4\\_5.htm](http://www.ccpo.odu.edu/SEES/veget/class/Chap_4/4_5.htm)

Ouerchefani, D., Dhaou, H., Abdeljaoued, S., Delaitre, E., & Callot, Y. (2009). Radiometric Indices for Monitoring Soil Surfaces in South Tunisia. *Journal of Arid Land Studies*, 73-76.

Earth Observing System . (2019, febrero 22). *6 Spectral Indexes To Make Vegetation Analysis Complete*. Retrieved from Earth Observing System : <https://eos.com/blog/6-spectral-indexes-on-top-of-ndvi-to-make-your-vegetation-analysis-complete/>

Silva, V. S., Salami, G., Silva, M. I., Silva, E. A., Junior, J. J., & Alba, E. (2019). Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1-11.

Xue, J., & Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Hindawi*, 1-17.

Karnielia, A., Agam, N., Pinker, R. T., Martha Anderson+, M. L., Gutman, G. G., Panova, N., & Goldberga, A. (2010). Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations . *Journal of Climate*, 618-633.

Moragues, J., & Rapallini, A. (2003). *ENERGIA EOLICA*.

Universidad Pública de Navarra. (2011). *Herbario de la Universidad Pública de Navarra*.

Retrieved from Glosario Botánico:

[https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/glosario\\_bot.htm](https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/glosario_bot.htm)

ITTO. (2015). *BALSA (Ochroma pyramidale)*. Retrieved from ITTO - Tropical Timber Information: <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/balsa-ochroma-pyramidale/>

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Acosta, M. B. (2021 , abril). *Plantas monoicas: qué son, características y ejemplos*.

Retrieved from Ecología verde: <https://www.ecologiaverde.com/plantas-monoicas-que-son-caracteristicas-y-ejemplos-2769.html>

Guyot, G., & Xing-FaGu. (1994). Effect of radiometric corrections on NDVI-determined from SPOT-HRV and Landsat-TM data. *Remote Sensing of Environment*, 169-180.

Atkinson, P. M., Dash, J., & Jeganathan, C. (2011). Amazon vegetation greenness as measured by satellite sensor over the last decade. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*.

Hilker, T., Lyapustin, A. I., Tucker, C. J., Hall, F. G., Myneni, R. B., Wang, Y., . . . Sellers, P. J. (2014). Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. *Environmental Sciences*, 16041–16046.

Schultz, M., Clevers, J. G., Carter, S., Verbesselt, J., Avitabile, V., Quang, H. V., & Herold, M. (2017). Performance of vegetation indices from Landsat time series in deforestation monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 318-327.

García-Cervigón, J. J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*.

Retrieved from UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID:

[https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)

Schultz, M., Clevers, J. G., Carter, S., Verbesselt, J., Avitabile, V., Quang, H. V., & Herold, M. (2016). Performance of vegetation indices from Landsat time series in deforestation monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 318-327.

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

- JONG, R. D., VERBESSELT, J., SCHAEPMAN, M. E., & BRUIN, S. Y. (2012). Trend changes in global greening and browning: contribution of short-term trends to longer-term change. *Global Change Biology*, 642–655.
- Todd, S. W., & Hoffer, R. M. (1998). Responses of Spectral Indices to Variations in Vegetation Cover and Soil Background. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 915-921.
- Othman, M. A., Ashaari, Z. H., Aris, A. Z., & Ramli, M. F. (2018). Tropical deforestation monitoring using NDVI from MODIS satellite: a case study in Pahang, Malaysia. *Conference Series Earth and Environmental Science*.
- Hernández, D. H. (2017). *APLICACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA EVALUAR PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL PARQUE FORESTAL EMBALSE DEL NEUSA*. Retrieved from UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA:  
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17210/BeltranHernandezDiegoHernan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- El Mundo Forestal. (2019). *Balsa*. Retrieved from El Mundo Forestal:  
<https://www.elmundoforestal.com/portfolio/balsa/>
- Aldas, W. D. (2011). *Evaluación de la actividad hormonal de (TDZ) con (TDZ/ANA) vs. 6-Bencil Amino Purina (BAP) con (BAP/ANA); como inductores de brotes en la etapa de multiplicación a partir de yemas apicales de Balsa*. Retrieved from Escuela Politécnica del Ejército : <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4973/1/T-ESPE-033014.pdf>
- USGS. (2017). *Landsat Soil Adjusted Vegetation Index*. Retrieved from Landsat Surface Reflectance-derived Spectral Indices: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-soil-adjusted-vegetation-index>

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

GIS&Beers. (2019, octubre 14). *Cálculo del índice de vegetación SAVI*. Retrieved from

GIS&Beers: <http://www.gisandbeers.com/calculo-del-indice-vegetacion-savi/>

Esri. (2019). *¿Qué es el geoprocesamiento?* Retrieved from ArcGIS Pro:

<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geoprocessing/basics/what-is-geoprocessing-.htm>

Forestal Maderero. (2018, octubre 04). *Balso*. Retrieved from Interpretación de Análisis

foliares: <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/balso.html>

Silva, T. C., Cruz, M. P., Araújo, T. A., Schwarz, M. L., & Albuquerque, U. P. (2013).

Methods in Research of Environmental Perception. *Methods in Research of Environmental Perception. Methods and Techniques in Ethnobiology and Ethnoecology*, 99-109.

Banco Central del Ecuador. (2021). <https://www.bce.fin.ec/index.php/comercio-exterior>.

Retrieved from ESTADÍSTICAS DE COMERCIO EXTERIOR:

<https://www.bce.fin.ec/index.php/comercio-exterior>

Maisanche, F. (2020, septiembre). *Saparas denuncian la explotación ilegal de madera balsa de su territorio*. Retrieved from Diario El Comercio:

<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/saparas-explotacion-ilegal-madera-amazonia.html>

Mejía, E., & Pacheco, P. (2013). *Aprovechamiento forestal y mercados de la madera en la Amazonía Ecuatoriana*. Retrieved from Centro para la Investigación Forestal

Internacional (CIFOR): [https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/OccPapers/OP-97.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-97.pdf)

GWEC. (2021, marzo 23). *GWEC releases Global Wind Turbine Supplier Ranking for 2020*.

Retrieved from Global Wind Energy Council: <https://gwec.net/gwec-releases-global-wind-turbine-supplier-ranking-for-2020/>

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

Goldwind. (2020). *Industrial Facilities* . Retrieved from Goldwind:

<https://www.goldwind.com/en/about/detail/>

GE Renewable Energy. (2019). *Locations*. Retrieved from GE Renewable Energy:

<https://www.ge.com/renewableenergy/about-us/locations>

Vestas . (2020). *Vestas Locations around the world*. Retrieved from Vestas:

[https://www.vestas.com/en/about/find\\_vestas](https://www.vestas.com/en/about/find_vestas)

Baquero, D. C. (2021, julio 12). *Alerta roja: la fiebre de la madera balsa en Ecuador ya es detectada por los satélites*. Retrieved from Mongabay:

<https://es.mongabay.com/2021/07/madera-balsa-ecuador-deforestacion-amazonia/>

Díaz, R. (2021, agosto 04). *Deforestation in the Amazon: the balsa boom*. Retrieved from

Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=0obMqIVqN04>

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

A

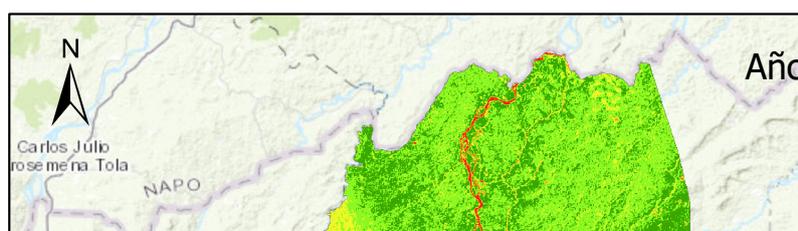
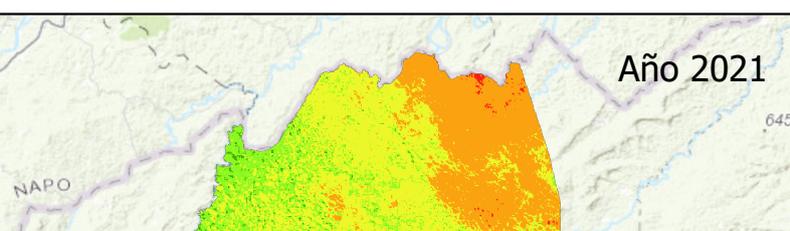
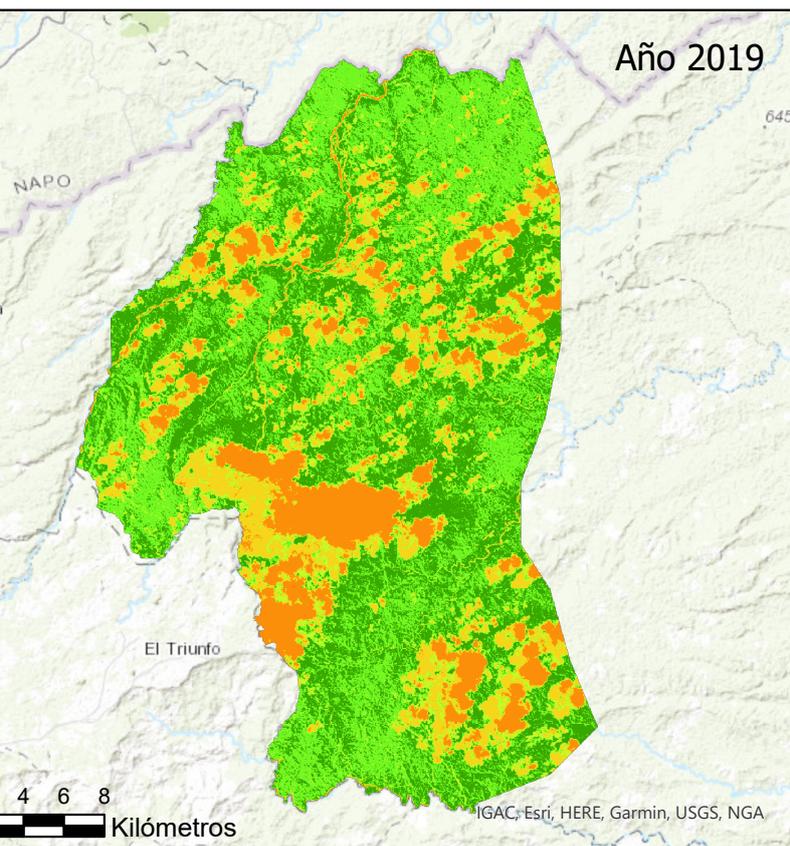
# Análisis NDVI para el periodo 2019-2020

## Zona Arajuno

### CLASIFICACIÓN NDVI

- 0: nubes, agua
- 0.1-0.2: mediana nubosidad, agua, muy poca vegetación
- 0.3-0.4: poca nubosidad, carreteras, rios, poca vegetación
- 0.5-0.6: mediana vegetación
- 0.7-0.8: alta vegetación

Análisis de cobertura vegetal (índice radiométrico NDVI) obtenido mediante el geoprocesamiento de imágenes satelitales para el periodo 2019-2020, en la provincia de Pastaza, cantón Arajuno.



B

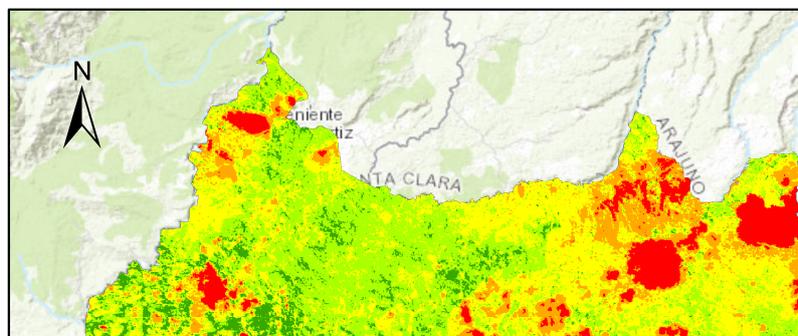
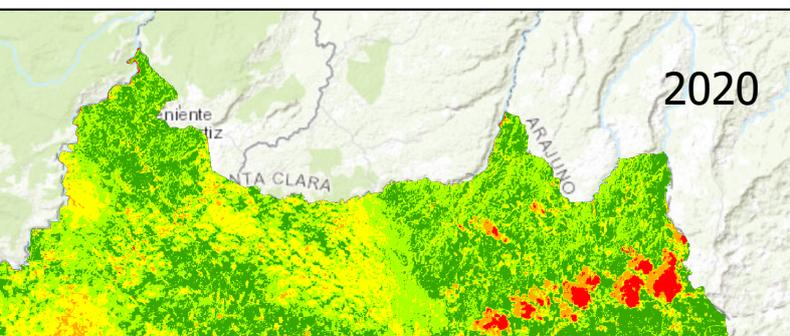
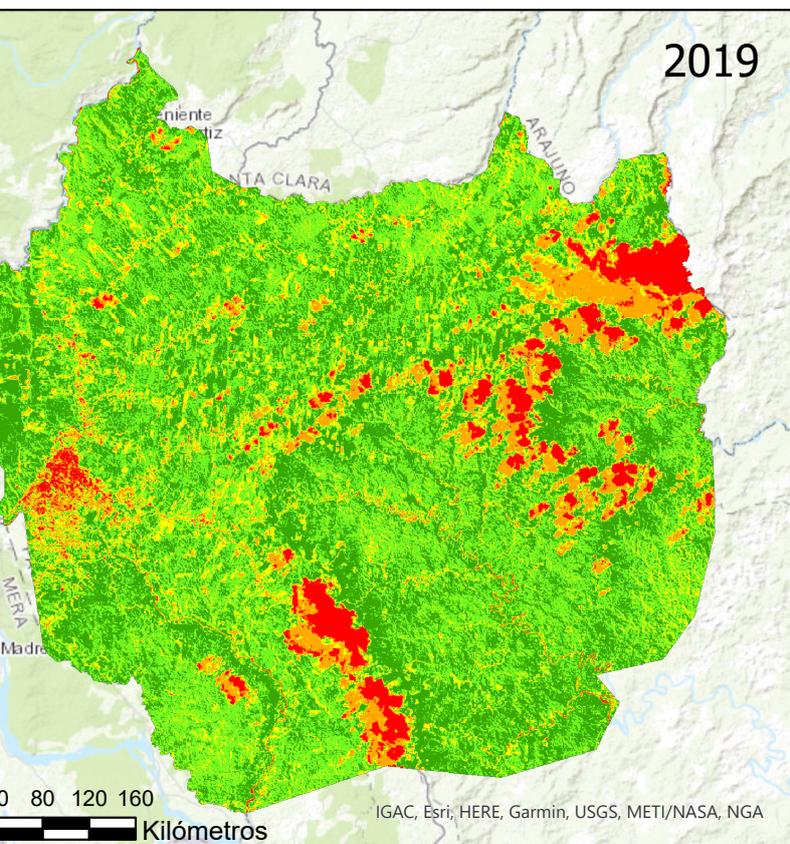
# Análisis NDVI para el periodo 2019-2020

## Zona Pastaza

### CLASIFICACIÓN NDVI

- Alta nubosidad, agua
- Mediana nubosidad, agua, muy poca vegetación
- Baja nubosidad, carreteras, ríos, poca vegetación
- Alta vegetación

Análisis de cobertura vegetal (índice radiométrico NDVI) obtenido mediante el geoprocesamiento de imágenes satelitales para el periodo 2019-2020, en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza.



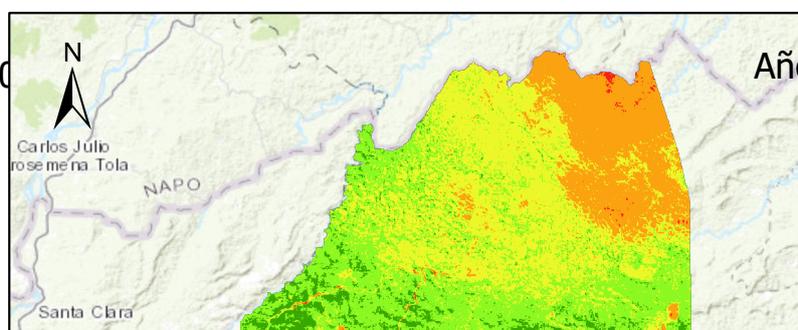
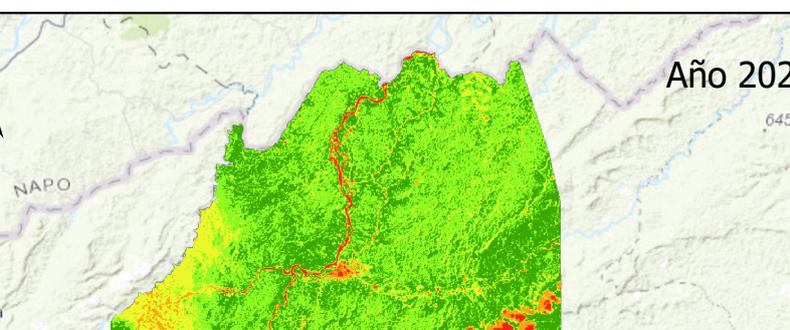
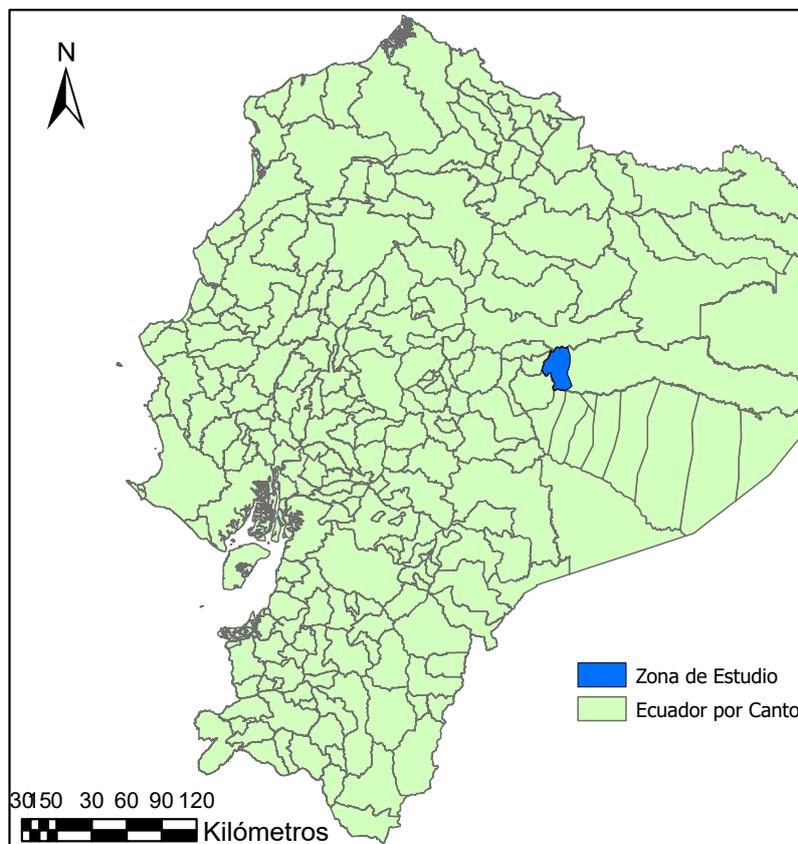
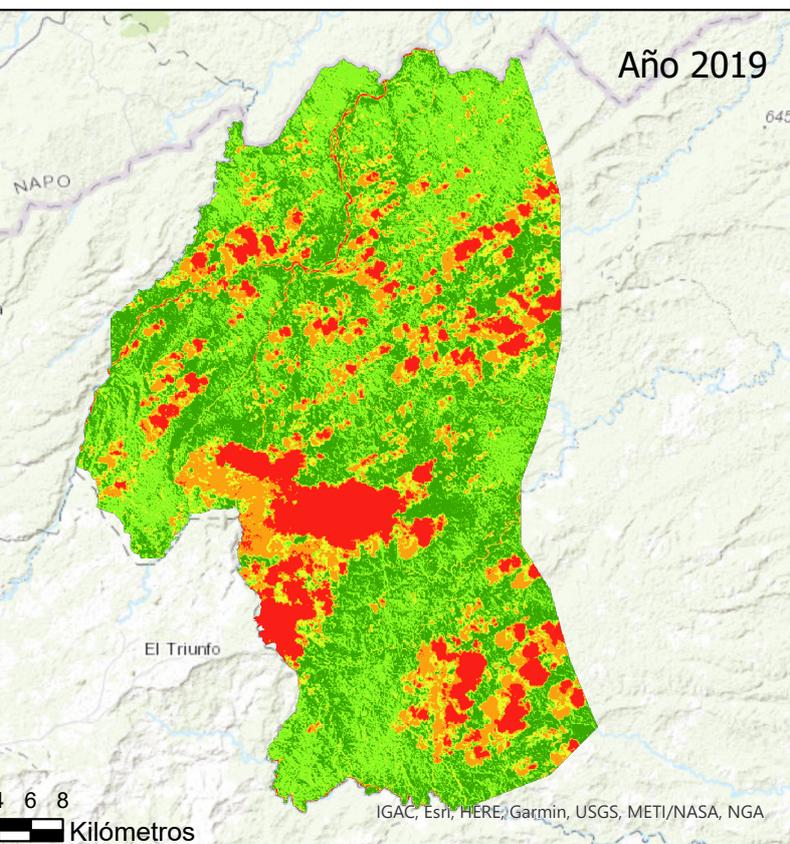
C

# Análisis SAVI para el periodo 2019-2020 Zona Arajuno

## LEGENDARIO SAVI

Alta nubosidad, agua, mucha vegetación  
Mediana nubosidad, agua, muy poca vegetación  
Baja nubosidad, carreteras, ríos, poca vegetación  
Muy baja nubosidad, mucha vegetación

Análisis de cobertura vegetal (índice radiométrico SAVI) obtenido mediante el geoprocesamiento de imágenes satelitales para el periodo 2019-2020, en la provincia de Pastaza, cantón Arajuno.



D

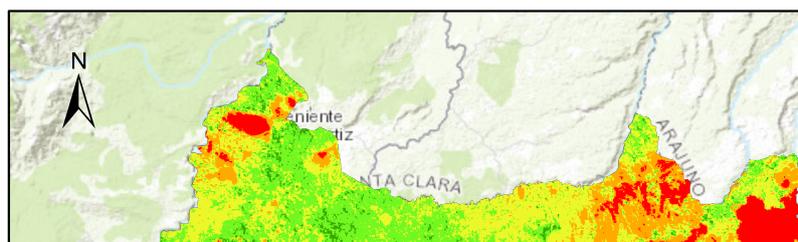
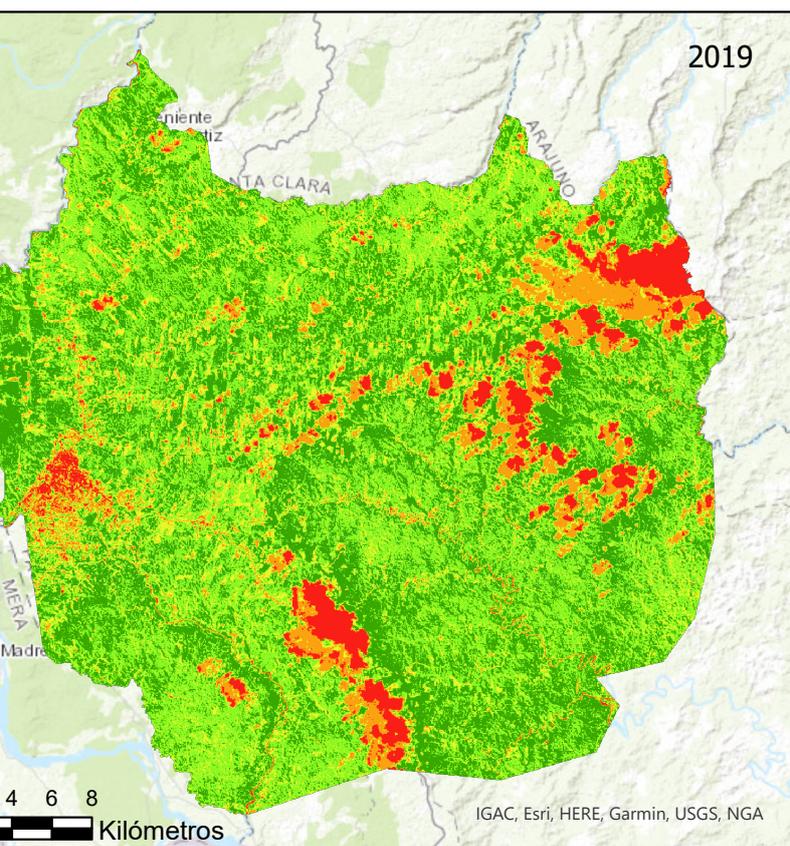
# Análisis SAVI para el periodo 2019-2020

## Zona Pastaza

### LEGENDARIO DE LA CLASIFICACIÓN SAVI

- 0-10: alta nubosidad, agua
- 11-20: mediana nubosidad, agua, muy poca vegetación
- 21-30: baja nubosidad, carreteras, ríos, poca vegetación
- 31-40: moderada vegetación
- 41-50: alta vegetación

Análisis de cobertura vegetal (índice radiométrico SAVI) obtenido mediante el geoprocesamiento de imágenes satelitales para el periodo 2019-2020, en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza.

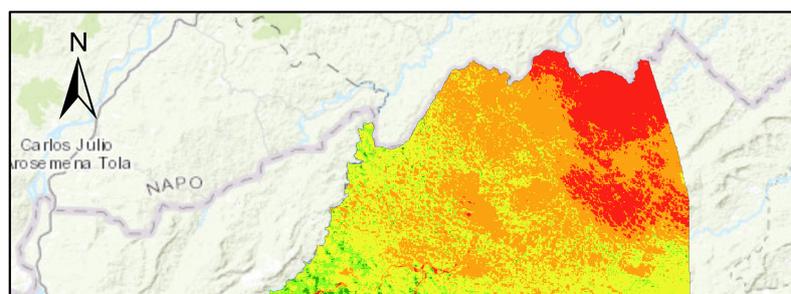
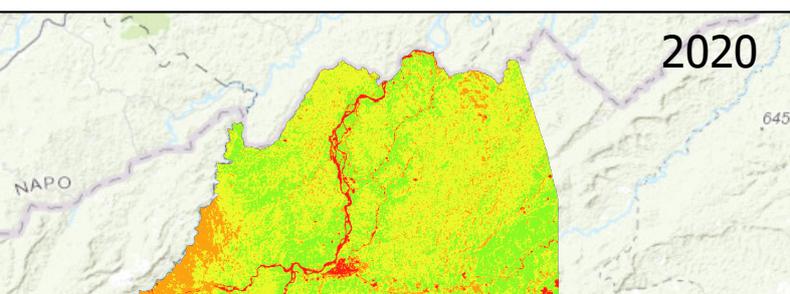
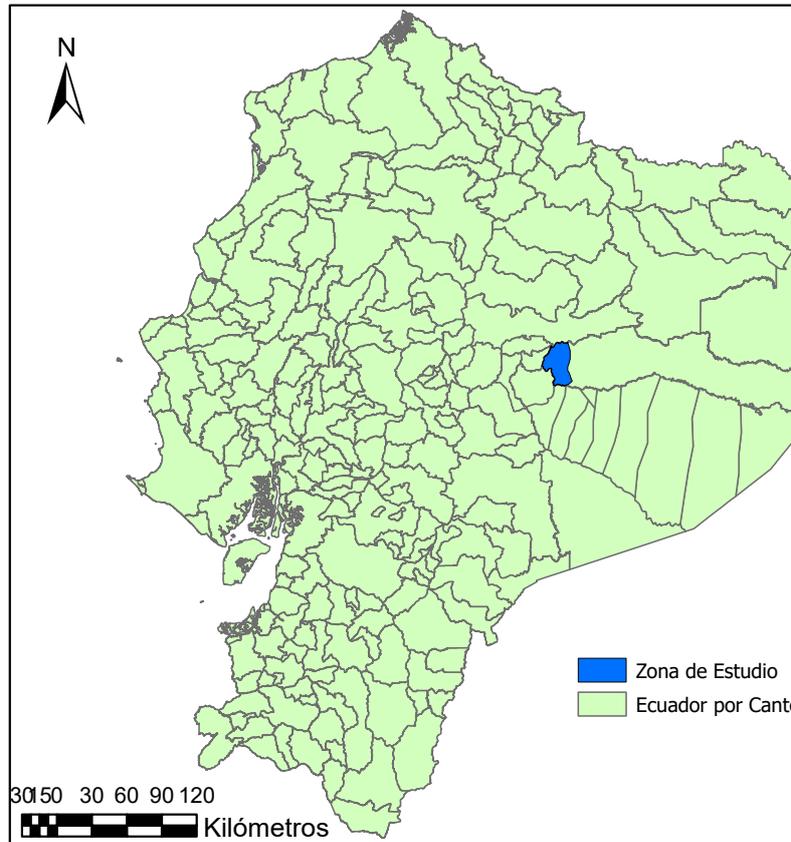
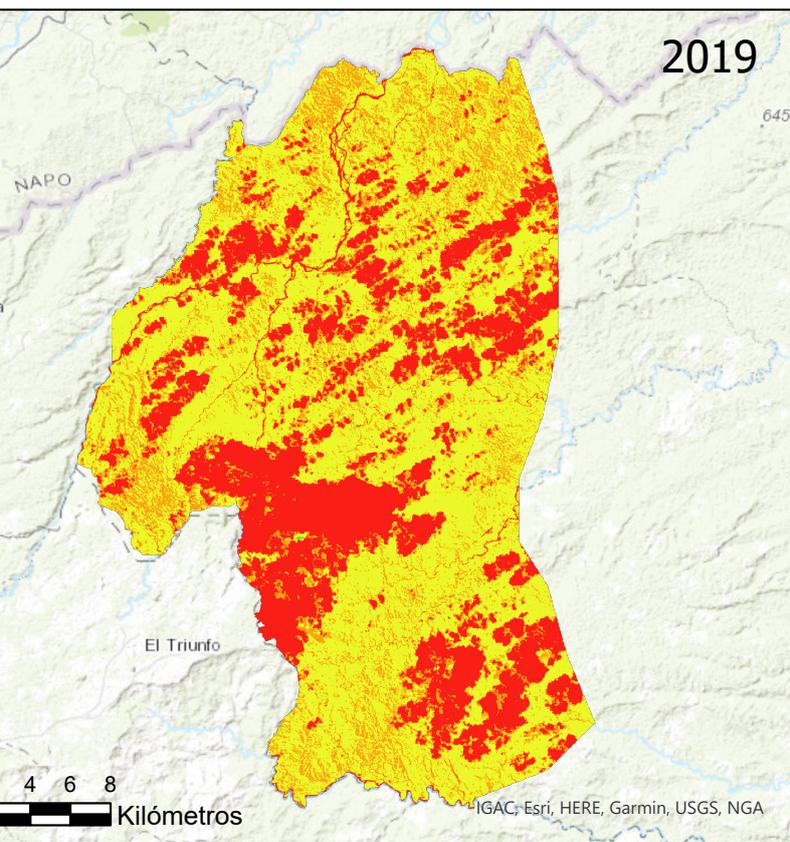


# Análisis RVI para el periodo 2019-2020 Zona Arajuno

## CLASIFICACIÓN RVI

- Alta nubosidad, agua
- Mediana nubosidad, agua, muy poca vegetación
- Baja nubosidad, carreteras, rios, poca vegetación
- Alta nubosidad, poca vegetación
- Baja nubosidad, mucha vegetación

Análisis de cobertura vegetal (índice radiométrico RVI) obtenido mediante el geoprocesamiento de imágenes satelitales para el periodo 2019-2020, en la provincia de Pastaza, cantón Arajuno.



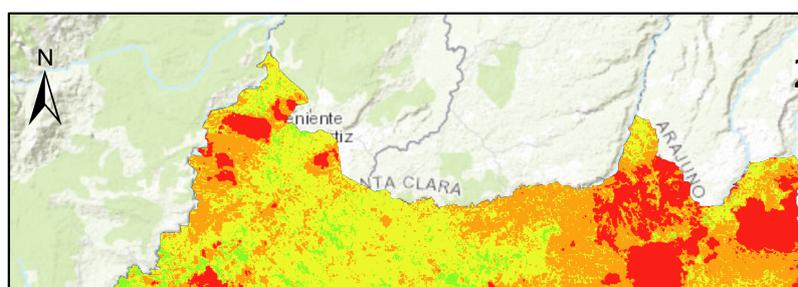
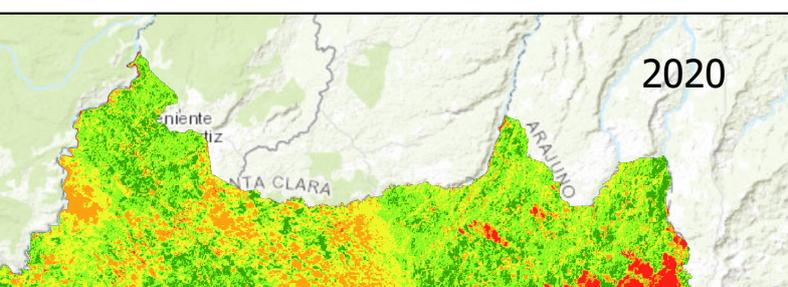
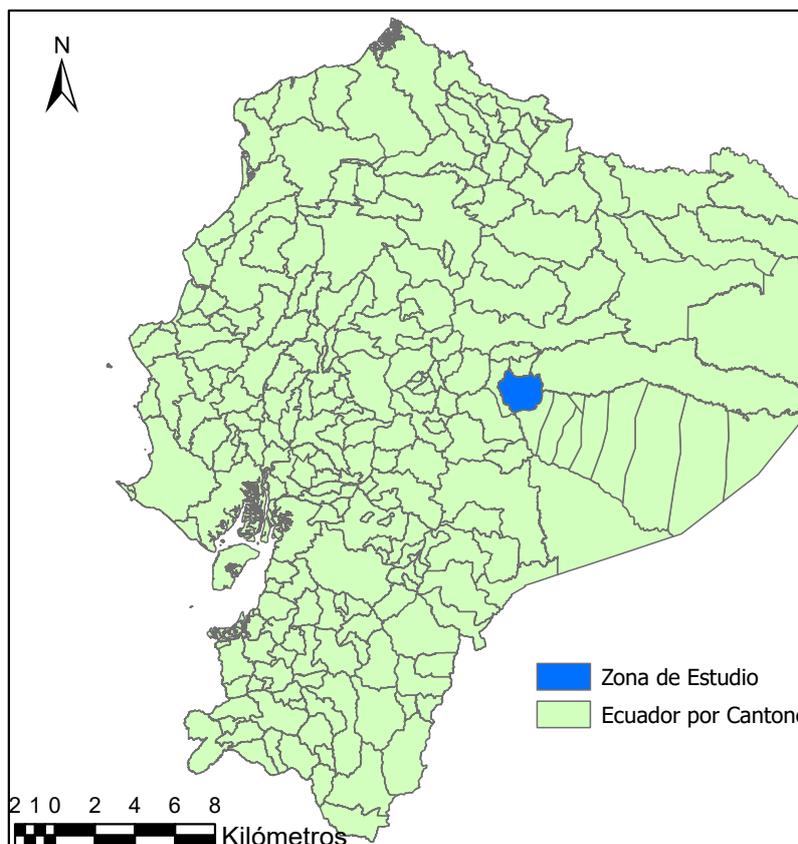
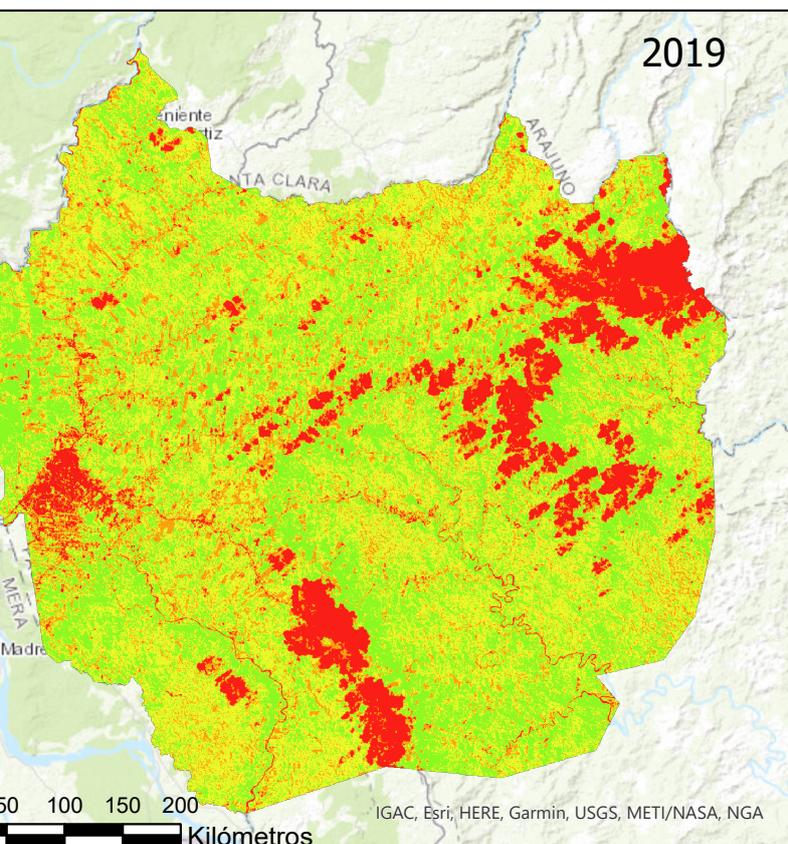
# Análisis RVI para el periodo 2019-2020

## Zona Pastaza

### CLASIFICACIÓN RVI

- Alta nubosidad, agua
- Mediana nubosidad, agua, muy poca vegetación
- Baja nubosidad, carreteras, ríos, poca vegetación
- Alta nubosidad, agua, mucha vegetación
- Mediana nubosidad, agua, mucha vegetación
- Baja nubosidad, agua, mucha vegetación

Análisis de cobertura vegetal (índice radiométrico RVI) obtenido mediante el geoprocesamiento de imágenes satelitales para el periodo 2019-2020, en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza.



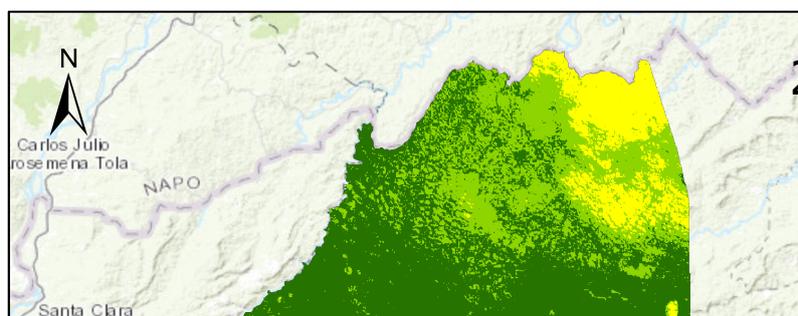
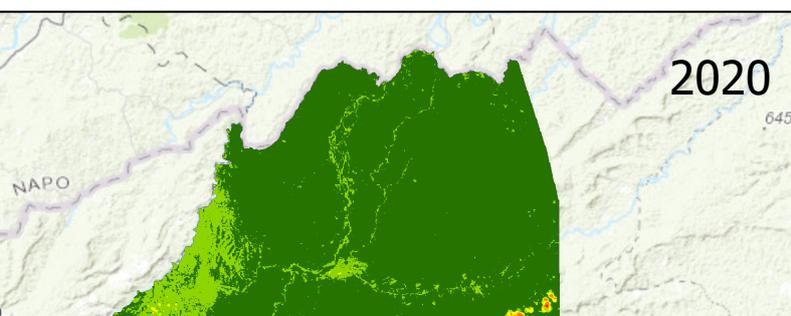
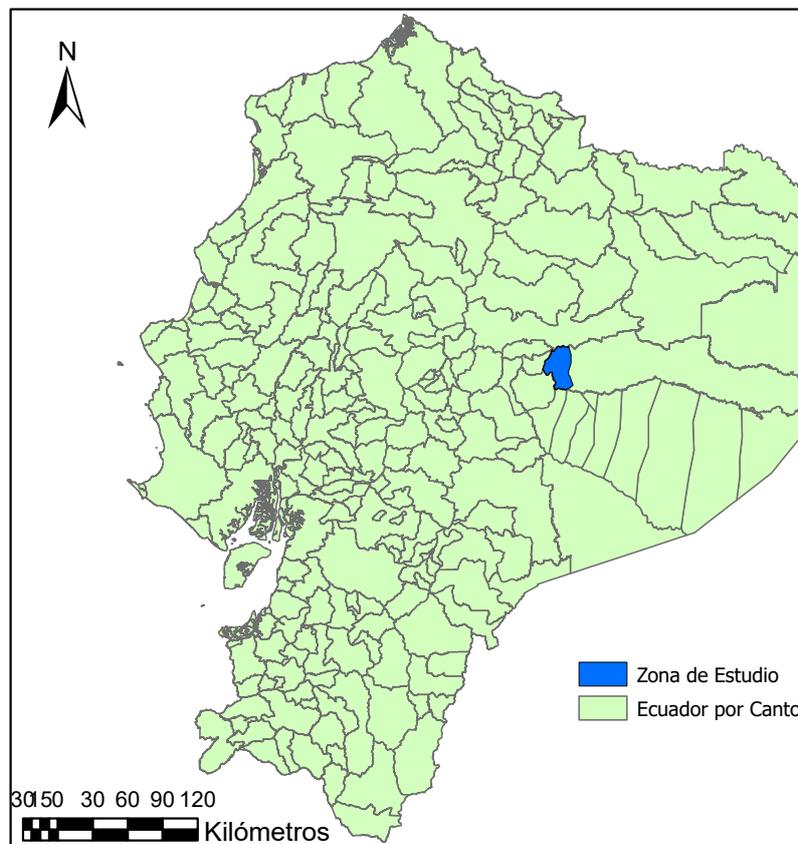
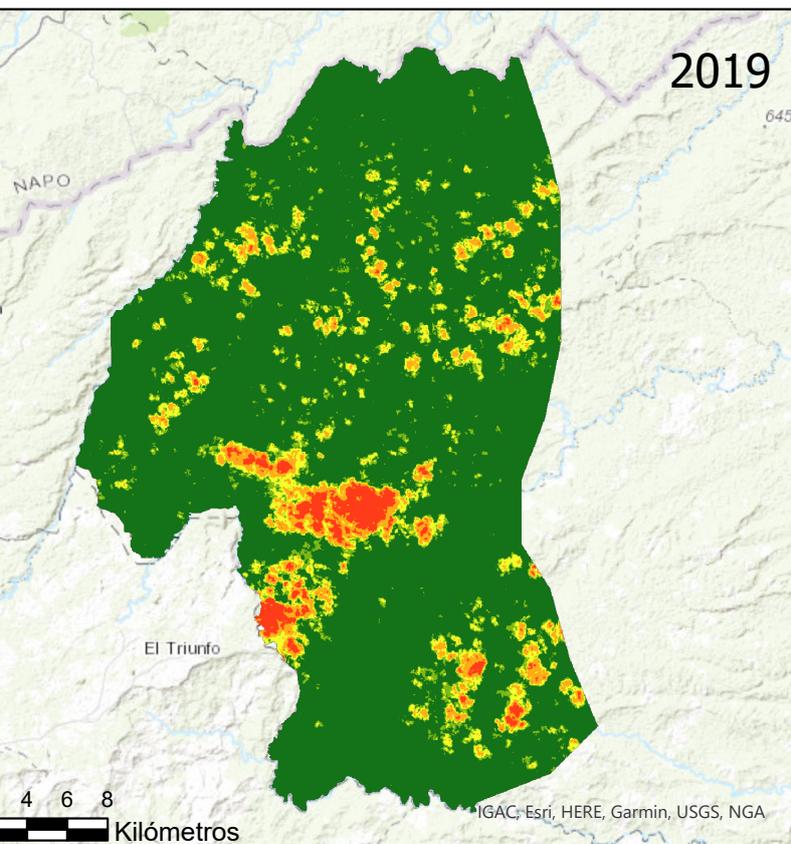
# Análisis BI para el periodo 2019-2021

## Zona Arajuno

### CLASIFICACIÓN BI

Alta exposición de suelo, vegetación.  
Baja nubosidad, carreteras, suelo poco expuesto  
Nubosidad, suelo expuesto  
Alta nubosidad  
Baja nubosidad, agua, suelo muy expuesto

Análisis de cobertura vegetal (radiométrico BI) obtenido mediante geoprocesamiento de imágenes satelitales para el periodo 2019-2020, en la provincia de Pastaza, cantón Arajuno.



H

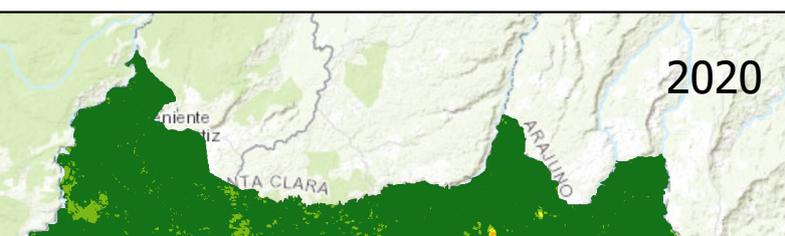
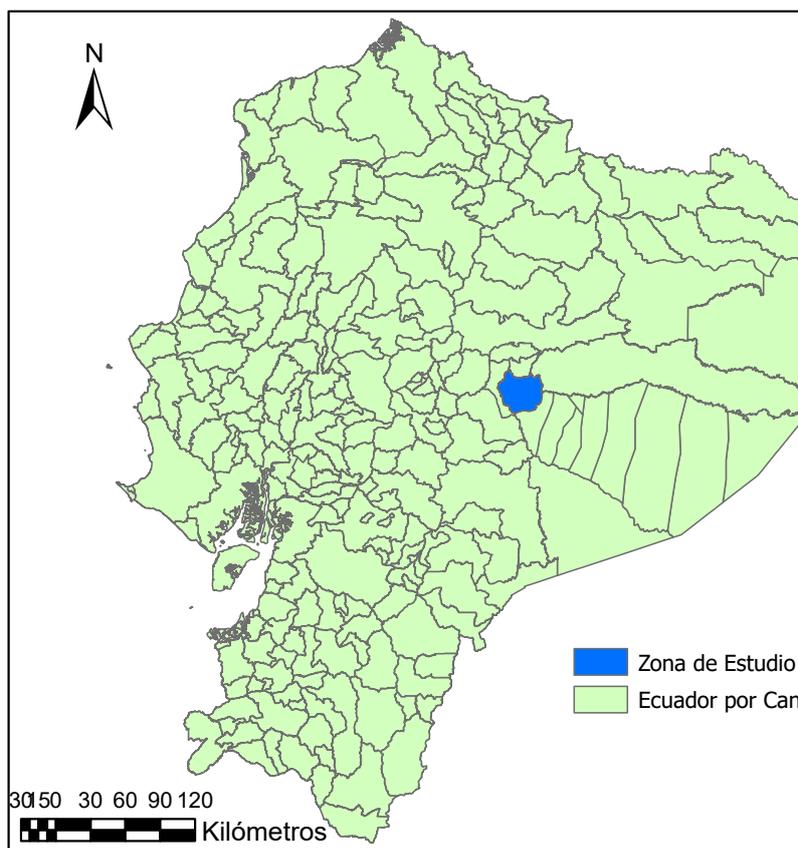
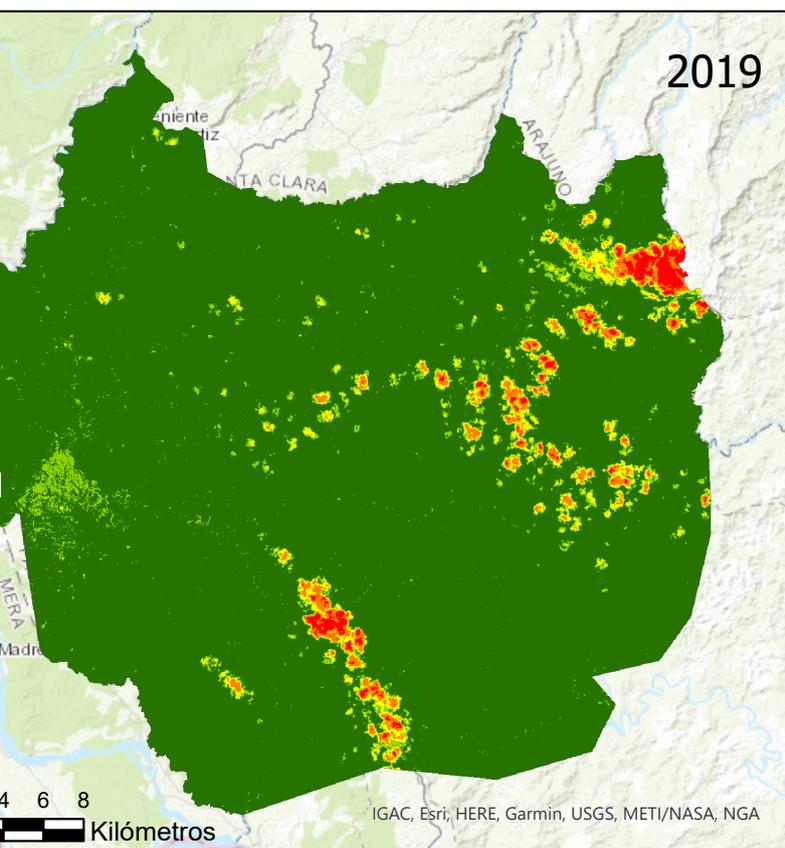
# Análisis BI para el periodo 2019-2021

## Zona Pastaza

### LEGENDARIO DE LA CLASIFICACIÓN BI

- Clase 1: alta exposición de suelo, vegetación
- Clase 2: baja nubosidad, carreteras, suelo poco expuesto
- Clase 3: alta nubosidad, suelo expuesto
- Clase 4: nubosidad mediana
- Clase 5: baja nubosidad, agua, suelo muy expuesto

Análisis de cobertura vegetal (índice radiométrico BI) obtenido mediante el geoprocesamiento de imágenes satelitales durante el periodo 2019-2020, en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza.



“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

ANEXO 2



Figura 13 *Ochroma pyramidale*



Figura 12 *Ochroma pyramidale*



Figura 15 *Ochroma pyramidale*

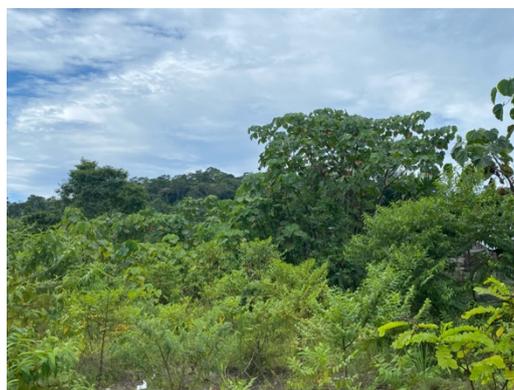


Figura 14 *Ochroma pyramidale*



Figura 17 Cultivo de *Ochroma pyramidale*



Figura 16 *Ochroma pyramidale*

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”



*Figura 18 Cultivo de Ochroma pyramidale*



*Figura 19 Ochroma pyramidale*

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

**ANEXO 3**

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK  
“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”  
ENCUESTA SOCIO-AMBIENTAL

¿Considera que la flora y fauna se ven afectadas por la explotación de balsa? \_\_\_SI \_\_\_NO  
\_\_\_\_\_

¿Conoce sobre la explotación sustentable? ¿Le gustaría conocer más sobre el tema? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

¿Participa usted de las actividades de la explotación de balsa? \_\_\_SI \_\_\_NO

¿Considera correcta y necesaria la explotación de balsa? ¿Por qué? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

¿Qué problemáticas asocia usted con la explotación de balsa?  
\_\_\_\_\_

¿Considera usted que la explotación de balsa ha influenciado en su calidad de vida? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

¿Ha notado cambios en el paisaje debido a la explotación de balsa? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

¿Ha notado una disminución de áreas verdes en el sector? \_\_\_SI \_\_\_NO

¿Conoce sobre los usos de la balsa? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

¿Considera que la flora y fauna se ven afectadas por la explotación de balsa? \_\_\_SI \_\_\_NO  
\_\_\_\_\_

¿Conoce sobre la explotación sustentable? ¿Le gustaría conocer más sobre el tema? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

¿Participa usted de las actividades de la explotación de balsa? \_\_\_SI \_\_\_NO

¿Considera correcta y necesaria la explotación de balsa? ¿Por qué? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

¿Qué problemáticas asocia usted con la explotación de balsa?  
\_\_\_\_\_

¿Considera usted que la explotación de balsa ha influenciado en su calidad de vida? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

¿Ha notado cambios en el paisaje debido a la explotación de balsa? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

¿Ha notado una disminución de áreas verdes en el sector? \_\_\_SI \_\_\_NO

¿Conoce sobre los usos de la balsa? \_\_\_SI \_\_\_NO  
 \_\_\_\_\_

Fecha:  
Encuesta N \_\_\_\_\_

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA PROVINCIA DE PASTAZA PRODUCTO DE LA EXPLOTACIÓN DE Balsa Y SU ROL EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA”

ANEXO 4



Figura 23 Entrevistas percepción



Figura 22 Entrevistas percepción



Figura 21 Entrevistas percepción



Figura 20 Entrevistas percepción