



Estimación de la tasa de deforestación a través de análisis multitemporal de imágenes satelitales en las comunidades de Warints y Yawi

Estimation of deforestation rate through multitemporal analysis of satellite images in warints and yawi communities

Estimativa da taxa de desmatamento por meio de análise multitemporal de imagens de satélite nas comunidades de Warints e Yawi

Miguel Angel Osorio-Rivera ^I
miguel.osorio@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8641-2721>

Sandra Elizabeth López-Sampedro ^{II}
salopez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0209-2087>

William Estuardo Carrillo-Barahona ^{III}
estuardo.carrillo@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1432-9638>

Juan Pablo Haro-Altamirano ^{IV}
juanpablo.haro@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8538-3191>

Justo Moises Narváez-Brito ^V
moises4271@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6844-5549>

Correspondencia: miguel.osorio@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnica y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 17 de junio de 2023 * **Aceptado:** 22 de julio de 2023 * **Publicado:** 16 de agosto de 2023

- I. Máster en Ingeniería Ambiental, Ingeniero Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- II. Magister en Farmacia Clínica, Bioquímica Farmacéutica, Docente Ocasional, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Ecuador.
- III. Máster Universitario en Cambio Global: Recursos Naturales y Sostenibilidad, Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- IV. Ingeniero Agrónomo, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de Proyectos para el Desarrollo, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas, Morona Santiago, Ecuador.
- V. Investigador Independiente, Macas

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la tasa de deforestación para las comunidades de Warints y Yawi del cantón Limón Indanza, mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales, durante los periodos 2000-2020. El método empleado es de nivel descriptivo, su diseño es no experimental longitudinal; presenta un proceso secuencial donde se recolectan las imágenes del repositorio virtual (USGS Earth Explorer), a través del empleo de los softwares ENVI y ArcGIS se preprocesaron y procesaron los insumos necesarios: clasificación de las coberturas del suelo y elaboración de mapas. Como análisis estadístico, se validaron los resultados con la matriz de confusión e índice de Kappa, para posterior cálculo de la tasa de deforestación. Los resultados fueron los siguiente; el área boscosa representa el 73% del área en estudio un cambio de 2760,61 Ha con una tasa de -1,37% y una deforestación anual de 117,87 Ha. Se concluye que la deforestación esta aumenta debido al crecimiento poblacional de la zona, es así que se recomienda replicar este tipo de estudio para la elaboración de proyectos y políticas de la zona.

Palabras clave: Deforestación; Teledetección; Análisis multitemporal; Warints y Yawi (comunidades).

Abstract

The objective of this research was to determine the deforestation rate for the Warints and Yawi communities of the Limón Indanza canton, through the multitemporal analysis of satellite images, during the periods 2000-2020. The method used is descriptive, its design is longitudinal non-experimental; presents a sequential process where the images from the virtual repository (USGS Earth Explorer) are collected, through the use of ENVI and ArcGIS software, the necessary inputs were preprocessed and processed: classification of land cover and map making. As a statistical analysis, the results were validated with the confusion matrix and Kappa index, for later calculation of the deforestation rate. The results were the following; The forested area represents 73% of the area under study, a change of 2760.61 Ha with a rate of -1.37% and an annual deforestation of 117.87 Ha. It is concluded that deforestation is increasing due to the population growth of the area, so it is recommended to replicate this type of study for the development of projects and policies in the area.

Keywords: Deforestation; remote sensing; Multitemporal analysis; Warints and Yawi (communities).

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi determinar a taxa de desmatamento para as comunidades Warints e Yawi do cantão Limón Indanza, através da análise multitemporal de imagens de satélite, durante os períodos 2000-2020. O método utilizado é descritivo, seu desenho é longitudinal não experimental; apresenta um processo sequencial onde são recolhidas as imagens do repositório virtual (USGS Earth Explorer), através da utilização dos softwares ENVI e ArcGIS, foram pré-processados e processados os inputs necessários: classificação da ocupação do solo e cartografia. Como análise estatística, os resultados foram validados com a matriz de confusão e índice Kappa, para posterior cálculo da taxa de desmatamento. Os resultados foram os seguintes; A área florestal representa 73% da área em estudo, uma alteração de 2760,61 Ha com uma taxa de -1,37% e uma desflorestação anual de 117,87 Ha. Conclui-se que a desflorestação está a aumentar devido ao crescimento populacional da área, pelo que Recomenda-se a replicação desse tipo de estudo para o desenvolvimento de projetos e políticas na área.

Palavras-chave: Desmatamento; sensoriamento remoto; Análise multitemporal; Warints e Yawi (comunidades).

Introducción

En las últimas décadas a nivel global se han presentado cambios en coberturas del suelo, según Grimm et al. (1), motivo de causa a la expansión de las zonas urbanas y la agricultura. La deforestación es uno de los más grandes problemas de carácter ambiental, lo que puede generar como efecto la erosión, sequía, inundaciones y pérdida de hábitat aportando negativamente con el cambio climático (2), Meléndez (3) establece una estimación para 30 años en cuanto a la deforestación, supera los 350 mil hectáreas por año.

Ecuador es uno de los países más megadiversos del planeta (4), sin embargo, se ha encontrado en constante cambio de coberturas del suelo, en mayoría por procesos agropecuarios y minería, alterando el balance de los ecosistemas (5).

El análisis de datos a través de la teledetección se ha aplicado para el estudio forestal comprendiendo categorías para la estimación de coberturas boscosas, atributos forestales, detección de cambios en los bosques y modelamiento espacial (6).

En Ecuador la deforestación es un reto complejo de establecer, pese a las actividades de distintos asentamientos que han ocasionado el 60% de la superficie talada cada año, esta para fines personales e industriales (7), según el estudio realizado por Ponce (8) el 2018, la tasa de deforestación es de 2,3% (34000 Ha), en cuanto a Morona Santiago le correspondiente el 16,7% del total (7920 Ha), así mismo Camacho et al. (9) determinó que para la provincia fue el 0,73% (2874 Ha) del total de bosque protector para un periodo de 1990 hasta el 2018, evidenciando el crecimiento de la actividad agrícola.

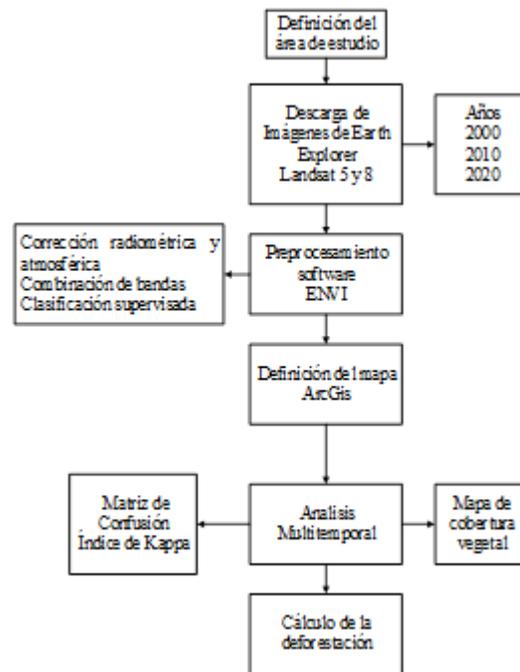
Señalando que los estudios dispuesto anteriormente son generalizados con datos proporcionados por el geoportal del Ministerio del Ambiente, y su escala no proporciona datos con alta severidad para las comunidades de Warints y Yawi, ubicadas dentro de la provincia, se crea este estudio con la finalidad de obtener la tasa de deforestación de la zona para los años 2000, 2010 y 2020, basándose en métodos científicos y la teledetección; así mismo generar mapas de coberturas que sirvan para establecer políticas contribuyentes para la conservación, restauración y regulación de áreas de protección forestal, aportando así datos preliminares de línea base para la ejecución de futuros proyectos ambientales, sociales, productivos y económicos, que en conjunto lleven a un manejo integral de la zona boscosa.

Materiales y métodos

La investigación es de nivel descriptivo, ya que cuantifica la deforestación; no experimental debido a que no manipula ninguna variable y de tipo longitudinal pese a que analiza un periodo de tiempo de un área determinada.

El método sigue un proceso secuencial (figura 1), empezando en primer lugar definiendo el área de estudio en Earth Explorer, posteriormente se descargan las imágenes para los años 2000, 2010, 2020 y estas atraviesan un preprocesamiento y procesamiento empleando los aplicativos ENVI y ArcGIS; se definen los mapas de cobertura vegetal a través de la clasificación supervisada siendo validada con la matriz de confusión e índice de kappa, con la finalidad de establecer un análisis multitemporal y posterior cálculo de la deforestación:

Figura 1. Proceso secuencial para la estimación de la tasa de deforestación



Definición del área de estudio

Las comunidades Warints y Yawi se encuentran en el cantón Limón Indanza en la parroquia San Antonio limita al norte con el cantón Santiago de Méndez; al sur con San Juan Bosco; Este con Perú y oeste con la provincia de Azuay; estas comunas se encuentran separadas por una distancia de 1,9 km aproximadamente y a 120 km de distancia de la capital Macas. Están en las coordenadas geográficas $3^{\circ} 4'23.98''S$ y $78^{\circ}20'19.35''O$, posee una altitud de entre 1.200 a 1.600 m.s.n.m., su clima es templado y húmedo, mantiene una temperatura promedio de $18^{\circ}C$ a $22^{\circ}C$. La precipitación oscila entre los 1500 mm y 3000 mm (10).

Figura 2. Espacios de la comunidad centro shuar Warints año 2021.



En esta investigación se tomó como el área de análisis un tramo de 107,62 km², debido a que son dos comunidades que aun no cuentan con límites en los registros nacionales.

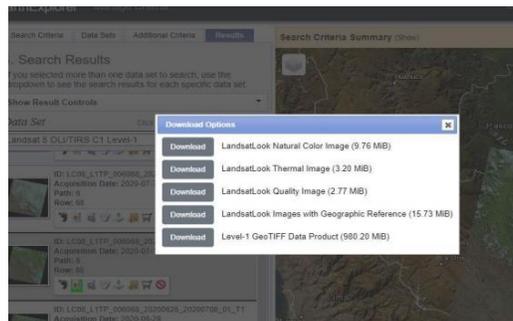
Figura 3. Mapa de localización de las comunidades Warints y Yawi, Limón Indanza.



Selección y descarga de imágenes satelitales

Para la aplicación de la clasificación supervisada se empleó con tres imágenes de diferentes años adquiridas de la plataforma Earth Explorer, corresponde al año 2000 a través del sensor TM 5, multiespectral con siete bandas y las dos restantes año 2010 y 2020 con el sensor OLI y TIRS 8 adquiriendo datos en 11 bandas espectrales tanto termales como operacionales, esta mantienen un formato Geo TIFF con una resolución del 30m/pixel con un porcentaje de nubosidad del 20%, siendo un factor limitante pese a que en la Amazonia es caracterizada por exhibir gran presencia de nubes y excesiva precipitación, las imágenes fueron tomadas de las siguientes fechas: 29 de agosto de 2000, 12 de agosto de 2010 y 4 de agosto de 2020 (seleccionadas debido a que la zona no presentaba mucha nubosidad).

Figura 4. Descarga de imágenes del portal Earth Explorer.

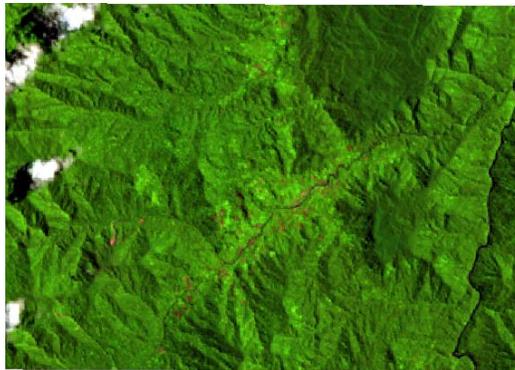


A cada imagen se le aplicó un preprocesamiento debido a las fallas que presentan los sensores tales como poca calidad de luminosidad, brillo y reflectancia en el caso del sensor ETM+ del Landsat 7, y efectos innecesarios de aerosoles y radiancia en el Landsat 8 (11), se le aplican correcciones radiométricas y atmosféricas con el software ENVI 5,3 a través de las herramientas Radiometric Calibration y Flaash, respectivamente. El área de la imagen es excesivamente amplia así que se generó un mosaico, recortando un espacio limitado con la herramienta Subset Data from ROIs.

Se efectúa la combinación de bandas empleando la combinación “5,4,3” para Landsat 5 y “6,5,2” para Landsat 8, es la más empleada para visualizar la vegetación sana, áreas desnudas y pastizales (12) (figura 5).

Figura 5. Combinación de bandas.

(A)



(B)



(C)



Nota: (A) Año 2000 (combinación 5-4-3), (B) 2010 y (C) 2020 (combinación 6-5-2).

Clasificaciones supervisadas

Una vez definido la delimitación del área de estudio, se procede a la clasificación, en este caso se definieron 3 clases (pastos, suelos desnudos y bosque), se colocan puntos de control con la herramienta ROI del software ENVI 5.3; se genera un reporte de separabilidad entre sus regiones donde valores entre el rango de 1,99-2 es una buena clasificación (13), para el estudio se definieron 10 muestras, y finalmente con la herramienta Supervised Classification >> Maximum Likelihood Classification, se genera cada una de las coberturas.

Con el software ArcGIS 10.8 se define el mapa, para ello se convierte el ráster generado a polígono con la herramienta Raster to Polygon, obteniendo así los resultados en hectáreas y porcentuales por clase.

Validación de la clasificación

Para evaluar la fiabilidad de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales obtenidas, se empleó una matriz de confusión y el índice de Kappa, de acuerdo con una escala entre 0 y 1 donde 0 corresponde a una correlación no acertada y 1 siendo una relación, la ecuación expresada a continuación fue formulada por la FAO (14).

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (1)$$

Donde:

P_o: Proporción de acuerdos observados (precisión global).

P_e: Proporción de acuerdos esperados por azar (proporción esperada).

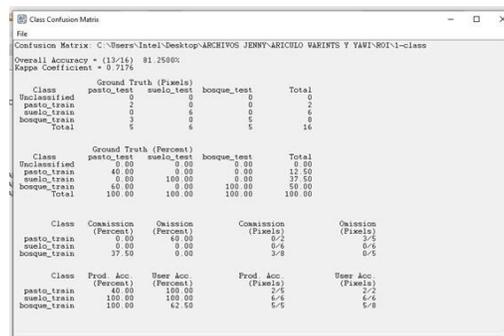
En este proceso se conoce el % de confiabilidad y el índice kappa, el cual maneja los siguientes rangos (12):

Tabla 3. Rangos para la correlación con el índice de Kappa

| Valor del índice Kappa | Fuerza de concordancia |
|------------------------|------------------------|
| <0, 20 | Pobre |
| 0,21 - 0,40 | Débil |
| 0,41 - 0,60 | Moderada |
| 0,61 - 0,80 | Buena |
| 0,81 - 1,00 | Muy buena |

Se tomaron muestras train para cada clase y así mismo muestras test para cada imagen, para ser validadas acorde a su aceptación con las del test.

Figura 6. Reporte de ENVI del índice de kappa y matriz de confusión.



Nota: Valor establecido para la clasificación de la imagen del año 2000.

Análisis multitemporal

Este procedimiento se realizó a partir de la comparación de los mapas de coberturas para los años 2000, 2010 y 2020, se empleó la herramienta Intersect de ArcGIS, para realizar la sobreposición de los datos y cuantificar de los cambios de coberturas. Posteriormente a través de la denominada tabulación cruzada, se originó un nuevo archivo con las combinaciones; esta matriz se trasladó a Excel y se procesaron los datos, la misma determinó los cambios relevantes y evolución en la

línea de tiempo, una vez establecida, se logra calcular la ganancia, perdida y cambio total de cobertura (15).

Los valores de la matriz que se encuentran diagonales corresponden a las coberturas persistentes (sin cambio), y los valores fuera de ella lo contrario (clase 1 paso a clase 2). En dicha matriz (Tabla 3) las filas representan las categorías del mapa en el tiempo 1 (T1) y las columnas las categorías del mapa en el tiempo 2 (T2) (16).

Tabla 3. Representación de la matriz de transición.

| | | Tiempo 2 | | | | |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Tiempo 1 | Clase 1 | Clase 2 | ... | Clase n | Total T1 | Perdidas |
| Clase 1 | P ₁₁ | P ₁₂ | ... | P _{1n} | P ₁₊ | P ₁₊ - P ₁₁ |
| Clase 2 | P ₂₁ | P ₂₂ | ... | P _{2n} | P ₂₊ | P ₂₊ - P ₂₂ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Clase n | P _{n1} | P _{n2} | ... | P _{nn} | P _{n+} | P _{n+} - P _{nn} |
| Total T2 | P ₊₁ | P ₊₂ | ... | P _{+n} | P | |
| Ganancias | P ₊₁ - P ₁₁ | P ₊₂ - P ₁₂ | ... | P _{+n} - P _{1n} | P ₊₊ | |

Se elaboraron los mapas temáticos para cada año, se calculó el área y se agrupó por la transición: persistencia y cambio, valores interpretados a través de gráficos en Excel.

Finalmente, se determinó la tasa de deforestación a través de la fórmula propuesta por Puyravaud (17), con el fin de comparar las coberturas de los distintos períodos.

$$TDA = \frac{1}{(t_2 - t_1)} * Ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right) * 100 \quad (2)$$

Donde:

TDA= tasa de deforestación (%)

A2 = superficie fecha 2 (ha)

A1 = superficie en la fecha 1 (ha)

t2 = Año fecha 2

t1 = Año fecha 1

El valor de la deforestación anual promedio se calculó con la formula dictada por el Ministerio del Ambiente (18).

$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Donde:

R= Deforestación anual promedio (ha)

A2 = superficie fecha 2 (ha)

A1 = superficie en la fecha 1 (ha)

t2 = Año fecha 2

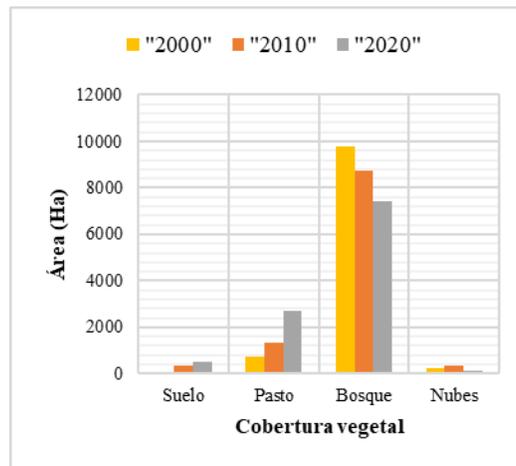
t1 = Año fecha 1

Los valores fueron representados a través de gráficos, tablas comparativas y mapas temáticos.

Resultados

Desde de la clasificación se identificaron cuatro coberturas (suelos desnudos, pastos, bosques, nubes), las que variaron conforme ha pasado el periodo de tiempo. La tabla 4 y figura 6 se presentan los resultados correspondientes a las tres fechas, donde se evidencia el cambio para cada una de las coberturas, valores en hectáreas y porcentuales. Lo que se destaca en el análisis es la cobertura boscosa las que ha disminuido su área ocupada, el mismo que refleja crecimiento en coberturas de pastos y suelos desnudos.

Figura 6. Representación gráfica de superficie de coberturas del suelo.



Nota: Los valores representados se encuentran en hectáreas por coberturas ocupada en cada uno de los años 2000, 2010 y 2020.

Figura 4. Comparación de coberturas periodos 2000-2020.

| Año | 2000 | | 2010 | | 2020 | |
|--------------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | Area (Ha) | % | Area (Ha) | % | Area (Ha) | % |
| Suelo | 26,25 | 0,24 | 341,51 | 3,17 | 532,78 | 4,95 |

| | | | | | | |
|---------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Pasto | 719,4 | 6,68 | 1334,70 | 12,40 | 2721,30 | 25,29 |
| Bosque | 9755,48 | 90,64 | 8760,28 | 81,40 | 7398,12 | 68,74 |
| Nubes | 261,81 | 2,43 | 326,03 | 3,03 | 109,88 | 1,02 |

En la prueba de concordancia recibida por ENVI con el índice de kappa y matriz de confusión se logró obtener un valor promedio de concordancia de 86%, señalando un grado de aceptación muy bueno.

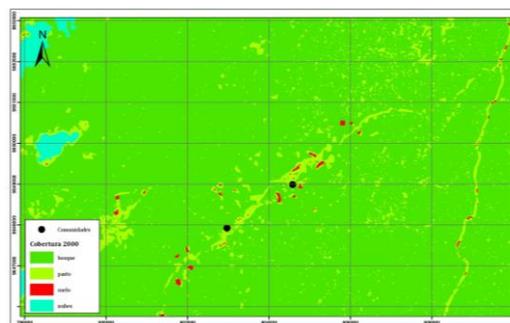
Tabla 5: Valores obtenidos del índice de kappa y precisión global.

| Año | Kappa | Precisión global |
|--------------|--------------|-------------------------|
| 2000 | 0,81 | 0,833 |
| 2010 | 0,86 | 0,875 |
| 2020 | 0,9 | 0,917 |
| Prom. | 0,86 | 0,875 |

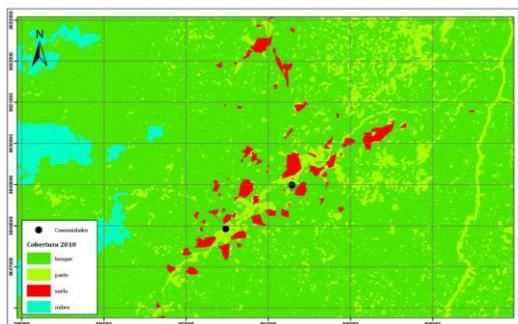
A continuación, se ilustran los distintos mapas temáticos expresados en base a los resultados obtenidos para cada año (figura 6). Se logra apreciar que la extensión de suelo desnudo creció a un 4% (532,78 Ha) y pasto a 25% (2721,30 Ha) del periodo en estudio.

Figura 6. Mapas temáticos de cobertura del suelo años 2000, 2010 y 2020.

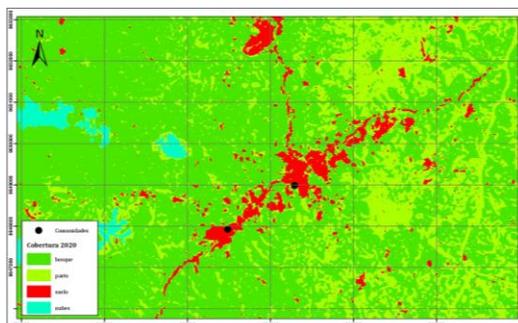
(A)



(B)



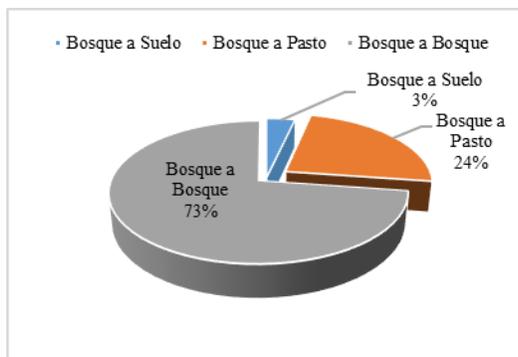
(C)



Nota: En cada uno de los mapas se expresan las coberturas del suelo Pasto (verde oscuro), Bosque (verde claro), Suelos desnudos (rojo) y Nubes (celeste) para los años 2000 (A), 2010 (B) y 2020 (C).

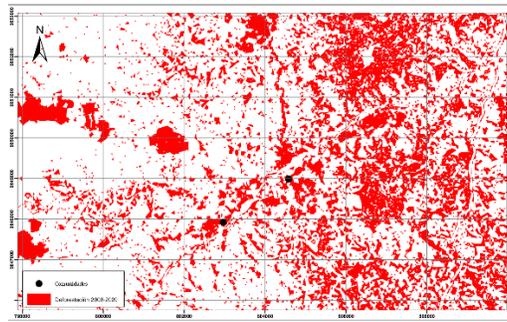
A través de intersect se superpusieron las coberturas y con un código Python se establecieron las áreas que presentaron cambios y permanencias de manera global, 33,54% (3627,99 Ha) y 66,46 (7188,41 Ha), respectivamente. Así mismo se estableció los valores de cambios del bosque a suelo desnudo 3% (365,06 Ha), bosque a pasto 24% (2395,55 Ha), el área boscosa que no ha presentado cambio le corresponde el 73% (7398,12 Ha).

Figura 7. Cambios de coberturas del suelo periodo 2000-2020.



Del siguiente resultado se estableció la superficie deforestada con relación al bosque que presento cambios en sus distintas coberturas constituyendo 2760,61 Ha (figura 7).

Figura 8. Deforestación para el período 2000-2020 de Warints y Yawi.



Nota: La deforestación se encuentra representada con el color rojo y los puntos negros corresponden a la ubicación de las comunidades en estudio.

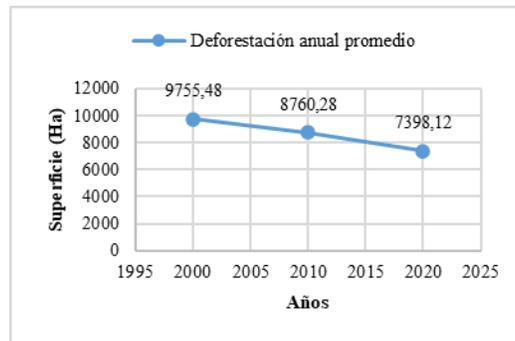
Para cada periodo se determinó la tasa de cambio anual, los datos obtenidos que corresponden a pérdidas de bosque, se considerará los dos últimos años 2000 y 2020, mientras que los años del 2000 al 2010 no se tomaron en cuenta (Tabla 6). Se obtuvo como resultado para el período 2000 y 2020 una tasa de cambio del -1,37%.

Tabla 6: Tasa de deforestación para cada año en estudio.

| Años | Área bosque (Ha) | Periodo calculado | Tasa de deforestación (%) | Tasa de deforestación (Ha/año) |
|------|------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 2000 | 9755,48 | 2000-2010 | -1,07 | 99,52 |
| 2010 | 8760,28 | 2010-2020 | -1,68 | 136,22 |
| 2020 | 7398,12 | 2000-2020 | -1,37 | 117,87 |

La mayor tasa de deforestación anual que se presentó fue del periodo 2010-2020, con un total de 136,22 Ha/año.

Figura 9. Tasa de deforestación anual promedio 2000-2020.



Discusión

Las imágenes satelitales permitieron clasificar las coberturas básicas tales como bosque, pastos y suelos, para posterior facilidad de validación con el índice de kappa, según Torres et al. (19), se trabaja e interpreta de mejor manera las coberturas con imágenes 30x30 m con pocas clases debido al tamaño del pixelado.

Sobre las coberturas descritas en los mapas temáticos en la zona se destaca la presencia del 25% (2721,30 Ha) constituyente a pastizales ya sea para diversos usos como ganadería, agricultura o por actividad extractiva forestal, según el PDOT de Limón Indanza (10) el área ocupada de tierras agropecuarias es de 55105 ha; y desde el año 2000 al 2008 se ha dado un incremento de esta cobertura de suelo de un 7.68%; así mismo en cuanto a la clase de suelo desnudo determinada fue de 532,78 Ha, esta representa el área rural y parte de los suelo sin vegetación; así mismo el reporte define que en el cantón, las comunidades se han expandido generando fronteras convirtiendo los suelos en desnudos, siendo esto un tema complejo en el ámbito de ambiente.

Los valores obtenidos de tasas de deforestación (-1,37%) superan a los conseguidos por Camacho et al. (9) como promedio de Morona Santiago (-0,5%), si bien es cierto los valores calculados se determinaron a través de imágenes satelitales y en diferentes tiempos y fragmento de espacios, los mismos que resultan a manera de orientación para determinar diferentes espacios de la provincia.

Por otro lado, Ponce (8) también determinó la tasa de deforestación a nivel de Ecuador pero considerando una metodología distinta, a través de la recolección de datos nacionales del Ministerio del Ambiente, los mismos que no presentan un correcto pixelado a la hora de

establecer sus coberturas, se estableció una tasa de 16,7%, algo muy significativo para tomarlo como referencia nacional.

Conclusiones

Se obtuvo la tasa de deforestación para las comunidades de Warints y Yawi a través del análisis de imágenes satelitales, para el periodo de 2000 y 2020 resulto de -1,37 % con una deforestación anual promedio de 117,87 hectáreas cada año.

Se analizó las coberturas de las distintas clases en los mapas temáticos, y se determinó que el área boscosa representa el 73% (7398,12 Ha) del área total en estudio, y esta fue cambiando a pasto o suelo desnudo con un área aproximada de 2760,61 Ha, se evidenció el desgaste forestal por el crecimiento poblacional de la zona.

Los resultados presentados en la investigación nos permiten tener una línea base para diversos proyectos o políticas contribuyentes para la conservación, restauración y regulación de áreas de protección forestal, generando así una aproximación de la situación actual de las comunidades.

Referencias

1. Grimm NB, Faeth SH, Golubiewski NE, Redman CL, Wu J, Bai X, et al. Global Change and the Ecology of Cities. *Science*. 8 de febrero de 2008;319(5864):756-60.
2. Garcia GR. Gestión Ambiental y Responsabilidad Social del Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático, Amazonas. Universidad César Vallejo [Internet]. 2018 [citado 30 de julio de 2023]; Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31141>
3. Melendez CL. Programa nacional de conservación de bosques para la mitigación del cambio climático y deforestación en la comunidad nativa Achual Tipishca. Repositorio Institucional - UCV [Internet]. 2019 [citado 30 de julio de 2023]; Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/38691>
4. Espinosa P, Mancera NJ. La Iniciativa Yasuní-Itt: Mecanismo Alternativo Para La Mitigación Del Cambio Climático. *Revista Luna Azul*. 2015;(40):260-76.
5. MAE. Ministerio del Ambiente- Línea Base de deforestación del Ecuador Continental. [Internet]. 2013 p. 11. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/186138150/RM-021-Linea-Base-de-Deforestacion-del-Ecuador-Continental-pdf#>

6. Franklin SE. Remote Sensing for Sustainable Forest Management. Boca Raton: CRC Press; 2001. 424 p.
7. Guachun A. Análisis del comercio ilegal de especies forestales en el Cantón Shushufindi [Internet]. Universidad Técnica Particular de Loja; 2011. Disponible en: <http://200.0.29.126/bitstream/123456789/2471/1/TESIS ALBERTO G.pdf>
8. Ponce D. Análisis de dos metodologías para la determinación de la tasa de deforestación y su aplicación en Morona Santiago [Internet] [Investigación]. [Quito]: Escuela politécnica nacional; 2018. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19556/4/CD-8953.pdf>
9. Camacho COC, Franco NEJ, Rivadeneira JLG. Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo en Morona Santiago. Polo del Conocimiento: Revista científica - profesional. 2022;7(1):797-807.
10. PDOT. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Limón Indanza [Internet]. 2015. Disponible en: <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>
11. Janampa S, Ponce JJ. Análisis multitemporal de la deforestación por imágenes satelitales en el distrito de Pangoa, Junín desde el año 2000 al 2020. Universidad Continental [Internet]. 2022 [citado 30 de julio de 2023]; Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12239>
12. Suárez E, Acosta K. Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio de Samacá, generado por actividades socioeconómicas [Internet] [Trabajo de titulación]. [Colombia]: Universidad Santo Tomás; 2020. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/28390>
13. ENVI. Calibrating Images Tutorial In [Internet]. 2013. Disponible en: https://www.academia.edu/8397241/Calibrating_Images_Tutorial
14. Cortés É, Rubio JA, Gaitán H. Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología. septiembre de 2010;61(3):247-55.
15. Schweitzer AMS, Farinelli MLR. Análisis de cambios de uso del suelo en la Delegación Municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): aplicación de geotecnologías. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía. 2014;23(1):133-46.
16. López VH, Plata W. Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. Investigaciones geográficas. 2009;(68):85-101.
17. Carnevale NJ, Alzugaray C, Di Leo N. Estudio de la deforestación en la Cuña Boscosa santafesina mediante teledetección espacial. Quebracho (Santiago del Estero). 2007;(14):47-56.

18. MAE. Línea base de deforestación del Ecuador continental [Internet]. 2012 [citado 14 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://docplayer.es/13530509-Linea-base-de-deforestacion-del-ecuador-continental.html>
19. Torres G, Romero ME, Velasco E, González A. Estimación de parámetros forestales en bosques de coníferas con técnicas de percepción remota b. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 7(36):07-24.
20. Chamba JA. Dinámica espacio temporal del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) en los Ecosistemas del sur del Ecuador. [Internet] [bachelorThesis]. Universidad del Azuay; 2015 [citado 7 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4933>
21. Maldonado J, Alatorre L, Torres M. Análisis de las Tendencias del NDVI con Imágenes Satelitales en Cuauhtémoc, Chihuahua (2000-2014). 2015;6.
22. Zou D, Zhao L, Liu G, Du E, Hu G, Li Z, et al. Vegetation Mapping in the Permafrost Region: A Case Study on the Central Qinghai-Tibet Plateau. *Remote Sensing*. 5 de enero de 2022;14(1):232.
23. Aldás AP. Análisis de la dinámica temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para los años 1986, 2001 y 2017 en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura, mediante el uso de google Earth Engine [Internet] [bachelorThesis]. PUCE-Quito; 2019 [citado 7 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/16619>
24. Brito AM, Piedra BW, Altamirano D. Implicaciones geológicas y geomorfológicas del valle del río Upano y el puente de la vía Macas – Puyo, Morona Santiago, Ecuador [Internet] [Thesis]. 2021 [citado 7 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52328>

© 2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).