UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

COMPARACIÓN MULTITEMPORAL DE PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL Y CAMBIO DE USO DE SUELO EN EL PERIODO 2001-2020 DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA.

AUTOR(ES):

Xavier Esteban Petsain Najande

Janeth Julissa Goyes Avilez

DOCENTE - TUTOR:

M.Sc Deisy Valeria Quevedo Amay

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple criterios
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple criterios. Acepta sugerencias
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	18/20	Cumple criterios. Acepta parcialmente sugerencias.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	14/15	EL MARCO TEÓRICO DEBE PROPORCIONAR SUS PROPIAS REFERENCIAS AL FINAL.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple criterios. Acepta sugerencias.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Cumple criterios. Acepta sugerencias.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple criterios. Acepta sugerencias.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple criterios. Acepta sugerencias. Se observa algún error en la cita.
VALORACIÓN TOTAL	97	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	97

Atentamente,

Julio César Muñoz Rengifo, Ph.D.
Docente-Investigador
Universidad Estatal Amazónica

Firmado electrónicamente por:
JULIO CESAR MUNOZ RENGIFO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 24 días del mes de febrero de 2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	4/5	Aún existen errores en sintaxis y redacción
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	19/20	Indicar una vez el significado de abreviaturas SIG
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	13/15	Especificar la descripción de tablas y figuras

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	22/25	Similitud en cantidades (unidades de mil) Especificar la descripción de tablas y figuras Aún existen errores en sintaxis y redacción
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	9/10	Aún existen errores en sintaxis y redacción
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	
VALORACIÓN TOTAL	92/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	92

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MARIA AUGUSTA GUADALUPE ALCOSER

Ing. María Augusta Guadalupe Alcoser M.Sc
Nombre y apellido completo del docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 24 días del mes de febrero de 2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 03 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Xavier Esteban Petsain Najande, con C.I. 2200404933, con el Tema: **"Comparación multitemporal de pérdida de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el periodo 2001-2020 del cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana."**, de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, MsC. Deisy Valeria Quevedo Amay ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 1%, Informe generado con fecha 03 de febrero de 2022, por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
DEISY VALERIA QUEVEDO AMAY

MsC. Deisy Valeria Quevedo Amay

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	ARTIC_CIENTIFIC URKUND.pdf (D126799300)
Submitted	2022-02-01T20:48:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	amb2017121@uea.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	dv.quevedoa.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **Tesis_Final_Cruz_T_Gamboa_S.docx** 1
Document Tesis_Final_Cruz_T_Gamboa_S.docx (D120682270)

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PPP2- PETSAIN-XAVIER.docx** 3
Document PPP2- PETSAIN-XAVIER.docx (D110951293)
Submitted by: rledesma@uea.edu.ec
Receiver: rledesma.uea@analysis.urkund.com

SA **JosePichazaca.docx** 1
Document JosePichazaca.docx (D104761207)

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 03 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Janeth Julissa Goyes Avilez, con C.I. 1500978703, con el Tema: **"Comparación multitemporal de pérdida de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el periodo 2001-2020 del cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana."**, de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, MsC. Deisy Valeria Quevedo Amay ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 1%, Informe generado con fecha 03 de febrero de 2022, por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
DEISY VALERIA QUEVEDO AMAY

MsC. Deisy Valeria Quevedo Amay

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	ARTIC_CIENTIFIC URKUND.pdf (D126799300)
Submitted	2022-02-01T20:48:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	amb2017121@uea.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	dv.quevedoa.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **Tesis_Final_Cruz_T_Gamboa_S.docx** 1
Document Tesis_Final_Cruz_T_Gamboa_S.docx (D120682270)

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PPP2- PETSAIN-XAVIER.docx** 3
Document PPP2- PETSAIN-XAVIER.docx (D110951293)
Submitted by: rledesma@uea.edu.ec
Receiver: rledesma.uea@analysis.urkund.com

SA **JosePichazaca.docx** 1
Document JosePichazaca.docx (D104761207)

Comparación multitemporal de pérdida de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el periodo 2001-2020 del cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana.

Xavier Esteban Petsain Najande 1[1]
amb2017121@uea.edu.ec

Janeth Julissa Goyes Avilez 2[1]
amb2017045@uea.edu.ec

M.Sc Deisy Valeria Quevedo Amay[2]
dv.quevedoa@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental

Resumen

El cantón Francisco de Orellana ha experimentado cambios en la superficie forestal producto de la intensificación de actividades agropecuarias, tala ilegal, extracción petrolera, asentamientos humanos y la deficiente gestión territorial. Estas actividades constituyen una de las principales causas de la desaparición de la biodiversidad y alteraciones a los servicios ecosistémicos. El objetivo del presente estudio es analizar la pérdida de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el periodo 2001-2020; para emplear un modelo prospectivo al año 2040. Por otra parte, mediante la interpretación por teledetección de imágenes satelitales Landsat ETM 7 y OLI-TIR 8, y el empleo de sistemas de información geográfica (SIG) se desarrolló mapas temáticos de aptitud de uso de la tierra para los años 2001, 2020 y 2040. Los resultados más relevantes mostraron una decadencia de 194 769, 34 hectáreas de bosque denso hasta el año 2020 y se espera una tendencia en disminución a 540 271,22 hectáreas de bosque denso para el año 2040, así mismo, se evidenció transiciones de bosque denso a pastos y cultivos con un área de 57 914, 6 hectáreas en tan solo 19 años. Por último, se determinó que los impactos negativos en la cubierta boscosa, están influenciados directamente por áreas agrícolas y ganaderas que han aumentado a lo largo del periodo analizado.

Palabras Clave: Deforestación, Amazonía, teledetección, sistemas de información

geográfica, frontera agrícola

Abstract

The Francisco de Orellana canton has experienced changes in the forest area as a result of the intensification of agricultural activities, illegal logging, oil extraction, human settlements, and poor territorial management. These actions are one of the main causes of the disappearance of biodiversity and alterations to ecosystem services. The objective of this study is to analyze the loss of vegetation cover and change in land use in the period 2001-2020; to use a prospective model to the year 2040. In addition, through the remote sensing interpretation of Landsat ETM 7 and OLI-TIR 8 satellite images, and the use of geographic information systems (GIS), thematic land use aptitude maps were developed for the years 2001, 2020, and 2040. The most relevant results showed a decline of 194,769.34 hectares of dense forest (DB) until 2020 and a decreasing trend is expected to 540,271.22 hectares of BD by 2040, likewise, transformations from BD to pastures and crops (PCs) were evidenced with an area of 57,914.6 hectares in just 19 years. Finally, it was determined that the negative impacts on forest cover are directly influenced by agricultural and livestock areas that have increased over the analyzed period.

Keywords*:* Deforestation, Amazonia, remote sensing, geographic information systems, agricultural frontier

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la Amazonía ecuatoriana ha venido experimentando un descenso progresivo de masa forestal de bosque nativo y perturbaciones en la biodiversidad producto de la explotación no sostenible de la vegetación (Jaramillo & Antunes, 2018). La llegada de la industria petrolera provocó cambios evidentes en la superficie de la Amazonía ecuatoriana. Debido a que, favoreció la apertura de vías de acceso, distribución de oleoductos, construcción de campamentos e instalaciones de infraestructura, provocando la pérdida de bosques primarios (Llerena-Montoya et al., 2021).

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2018), determinó que la provincia de Orellana mantuvo una deforestación anual alrededor de 7 175 ha/año durante el periodo 2014-2016, miles de hectáreas de bosques se han convertido en áreas de cultivo permanente como la palma africana. Poma (2020) en su trabajo de investigación, comprobó que las áreas edáficas impactadas al no ser aptos para la agricultura, son empleados para actividades ganaderas. Asimismo, la producción

ganadera extensiva sin sistemas silvopastoriles incide en la degradación del suelo y a la pérdida de la fertilidad (González & Pérez, 2018).

El cantón contiene dentro de su territorio áreas protegidas, zonas intangibles y zonas de amortiguamiento que son importantes para la conservación de la biodiversidad (Quezada & Sevilla, 2021). Por esta razón, es crucial evaluar las causas y efectos negativos que tienen las actividades antrópicas sobre el componente económico, social y ambiental.

La teledetección y los SIG son una combinación de herramientas tecnológicas que, permiten identificar los factores que influyen significativamente en la realidad forestal y edáfica a través de resultados a escala espacial y local (Logroño et al., 2020). De acuerdo con Bonilla-Bedoya et al. (2017), el monitoreo es valioso para la evaluación del manejo del terreno, el estudio de los efectos del desbroce vegetal, el uso eficiente de la tierra y la resiliencia del paisaje.

El propósito del presente estudio es analizar la pérdida de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el periodo 2001-2020; para emplear un modelo prospectivo al año 2040 a través de la interpretación por teledetección. Los resultados de este análisis sirven como base analítica para el establecimiento de normas de gestión sostenible de los bosques, evaluación de políticas forestales, distribución eficiente del suelo y toma de decisiones en entidades municipales. De esta forma, ayudaría al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible mediante la conservación de los ecosistemas y la funcionalidad de los servicios ambientales (Mogrovejo, 2017).

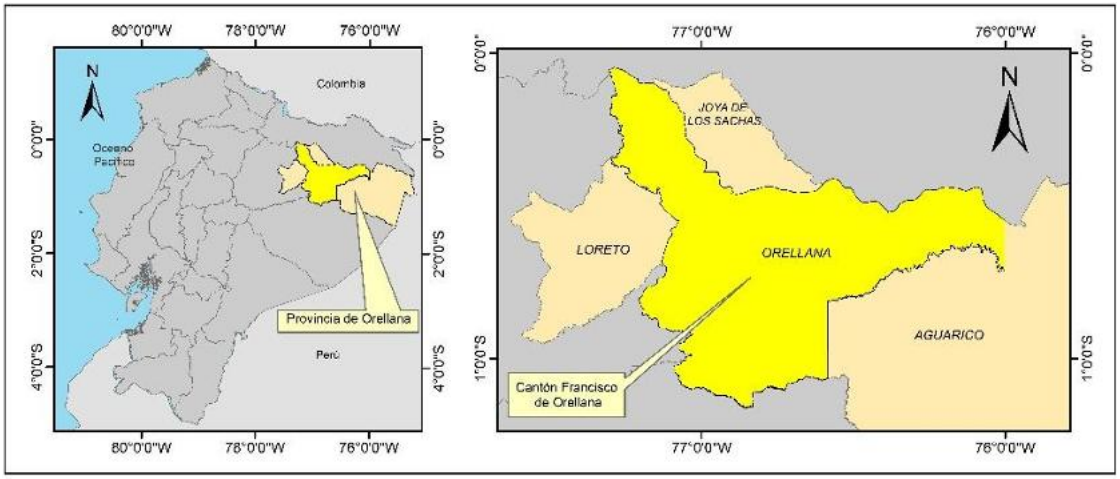
2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1.Descripción del área de estudio

El área de estudio está ubicada en la provincia de Orellana, cantón Francisco de Orellana, abarca una superficie de 7.047 km2 (704.755 ha) con una altitud variada entre los 100 a 720 msnm. Este cantón cuenta con 12 parroquias; San José de Guayusa, Nuevo Paraíso, San Luis de Armenia, Puerto Francisco de Orellana, García Moreno, El Dorado, La Belleza, Dayuma, Inés Arango, Alejandro Labaka y El Edén. Según los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2010) el cantón mantuvo un crecimiento poblacional de 72.795 habitantes en el año 2010, respecto al año 2001 que fue de 42.010 habitantes, con una densidad poblacional de 10 hab/km^2.

Figura 1.

Mapa de ubicación, cantón Francisco de Orellana



Dentro del cantón encontramos áreas protegidas como: Parque Nacional Sumaco-Napo Galeras con 5 508,52 hectáreas, Parque Nacional Yasuní con 168 022,02 hectáreas, Reserva Biológica Limoncocha con 442,42 hectáreas. Además, encontramos áreas naturales como: Bosque y Vegetación Protectora Estación Científica Payamino, parte de la Reserva de Biosfera Sumaco, zonas Intangibles Tagaeri-Taromenane y zonas de amortiguamiento (Quezada & Sevilla, 2021).

2.2.Tipo de Investigación

El presente trabajo abarca un diseño exploratorio con un enfoque de tipo cualitativo documental y de estudio de caso cuantitativo. Estos tipos de estudios permitieron un análisis más detallado para la identificación de variables y determinación de los cambios ocurridos en la cobertura y uso de suelo durante el periodo determinado.

2.3.Metodología

Para el desarrollo de la investigación, se obtuvo información a partir de las siguientes bases de datos: Scientific Electronic Library Online [SciELO] (FAPESP-BIREME; Brasil), Difusión de Alertas en la Red [Dialnet] (Fundación Dialnet; España), Google Académico (Google, LLC; USA), ScienceDirect (ELSEVIER; Países Bajos), Servicio Geológico de Estados Unidos [USGS] (Departamento del Interior; USA), European Scientific Journal [ESJ] (European Scientific Institute; España y Macedonia).

Por otro lado, la metodología se desarrolla de la siguiente forma:

- ✓ Recopilación de información cartográfica y procesamiento de imágenes satelitales.

- ✓ Análisis multitemporal de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo.
- ✓ Elaboración del modelo prospectivo de cobertura vegetal para al año 2040.

2.3.1. Recopilación de información cartográfica y procesamiento de imágenes satelitales

Se partió de la obtención de imágenes Landsat ETM-7 y Landsat OLI-TIRS-8, con una suma total de 8 imágenes (Tabla 1) correspondientes a la colección1-nivel 1, con una resolución espacial de 30m y 15m respectivamente, estas imágenes fueron obtenidas del USGS. Las características del sistema de coordenadas geográficas en proyección cartográfica UTM (Universal Transversal Mercator) corresponden a Datum WGS84 - Zona 18 hemisferio sur, con un porcentaje de nubosidad menor al 30%. Se incluyó información geográfica nacional de vías, ríos, cantones y provincias en formato Shapefile.

Tabla 1.

Características de las imágenes satelitales obtenidas

	ID Imagen Landsat	Adquisición	Sensor-Satélite	Nubes (%)	Elevación del sol (°)	Azimut del sol (°)
Año 2001	LE70080602001005CUB00	05/01/2001	ETM-7	3,00	52,55993920	129,11482314
	LE70080612001005CUB00	05/01/2001	ETM-7	5,00	53,29318128	127,44545653
	LE70090602001236EDC00	24/08/2001	ETM-7	18,00	57,93151323	69,06494064
	LE70090612001236EDC00	24/08/2001	ETM-7	23,00	57,20213475	67,08094475
Año 2020	LC80090602020105LGN00	14/04/2020	OLI-TIRS/8	19,47	61,38678727	69,34518090
	LC80090612020105LGN00	14/04/2020	OLI-TIRS/8	21,51	60,65738114	67,06053523
	LC80080612020258LGN00	14/09/2020	OLI-TIRS/8	22,69	63,72808971	80,08039407
	LC80080602020258LGN00	14/09/2020	OLI-TIRS/8	28,99	64,14711234	82,93998827

Posteriormente se realizó una segmentación de imágenes, para ello, se utilizó el software ENVI v. 5.3 (Harris Geospatial Solutions, Inc. USA); donde empleamos calibraciones radiométricas y correcciones atmosféricas mediante las herramientas Radiometric Calibration y Flaash Atmospheric Correction respectivamente. Este proceso es necesario para asignar valores a los pixeles y disminuir el efecto aerosol y los componentes intrusivos de la atmosfera para obtener una mejor calidad visual de la imagen y con ello garantizar una correcta clasificación de categoría de las variables de cambios ocurridos en el área de estudio (Farias et al., 2018). Por último, se aplicó la herramienta Seamless Mosaic para unir las 4 imágenes para abarcar el área de estudio y

finalmente fueron exportadas en formato ráster.

2.3.2. Análisis multitemporal de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo

Para el proceso se empleó el software ArcGIS v. 10.8 (Esri; USA). En primera instancia, se definieron 6 categorías para las variables, con potencial de cambio mediante el método Corine Land Cover [CLC] (AEMA; Dinamarca) las cuales son: zona urbana, pastos y cultivos, bosque denso, suelo desnudo, bosques con nubes y cuerpos de agua. Posteriormente, se realizó un proceso de entrenamiento al software a través de puntos para cada unidad cartografiable sobre la capa ráster base, así mismo, con la herramienta Create Signature se procedió a crear una firma espectral de las áreas de entrenamiento.

Posteriormente, se aplicó el método de Clasificación Supervisada a través del algoritmo paramétrico de Máxima Verosimilitud Maximum Likelihood Classification de ArcGIS para agrupar los pixeles del ráster con el mismo nivel digital en reflectancia. Donde, se aplicó una generalización con la herramienta Mayority Filter para disminuir los pixeles individuales con la herramienta Eliminate eliminar las áreas menores a 1000 m^2, obteniendo dos mapas de cobertura de uso de suelo de los años 2001 y 2020 respectivamente.

Con los datos de la superficie del año 2001 y 2020 y el uso del programa Microsoft Excel (Microsoft Corporation; USA), se obtuvo la Tasa Anual de Cambios (TAC) en porcentaje, mismo refleja las perturbaciones anuales en la cobertura vegetal y uso de suelo. También se aplicó la siguiente fórmula adoptada por Palacio-Prieto et al. (2004):

$$Td = \left(\left(\left(\frac{S2}{S1} \right)^{\frac{1}{n}} \right) - 1 \right) * 100$$

Donde:

- ✓ *Td*= Tasa anual de cambio en %
- ✓ *S2*= Área de la superficie del año final
- ✓ *S1*= Área de la superficie del año inicial
- ✓ *n*= Número de años entre las dos fechas

Para la evaluación de la dinámica de cambio en la superficie se utilizó el módulo Land Change Modeler (LCM) del software IDRISI SELVA v. 17.00 (Clark Labs; USA); a través de este proceso se obtuvo el mapa de cambios, ganancias, pérdidas y persistencias

mismas que fueron procesados en ArcGis para mejorar la visualización y cuantificación de los polígonos resultantes. Seguidamente se elaboró una matriz de tabulación cruzada propuesta por Pontius et al. (2004), mediante los resultados de IDRISI y el uso de Microsoft Excel. Esta matriz permite analizar los cambios ocurridos en dos periodos diferentes y se valida la comparación a través del Índice de Acuerdo al Kappa (KIA).

2.3.3. Elaboración del modelo prospectivo de cobertura vegetal para al año 2040

Para el desarrollo del modelo se utilizó el Módulo Márkov del software IDRISI SELVA el cual mantiene información de cobertura de los periodos analizados (2001-2020). Posteriormente, se generó datos como matriz de probabilidad de cambio y áreas de transición, como información base para elaborar el modelo. Por último, mediante un proceso combinado de Autómatas Celulares/Cadenas de Márkov (CA-MARKOV) se ejecuta una evaluación Multicriterio (MC) y de asignación de tierras Multiobjetivo (MOLA) por sus siglas en inglés (Santos et al., 2016). Proceso que añade elementos de contigüidad espacial y la probabilidad de transición en función al análisis de las cadenas de Márkov.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y uso de suelo

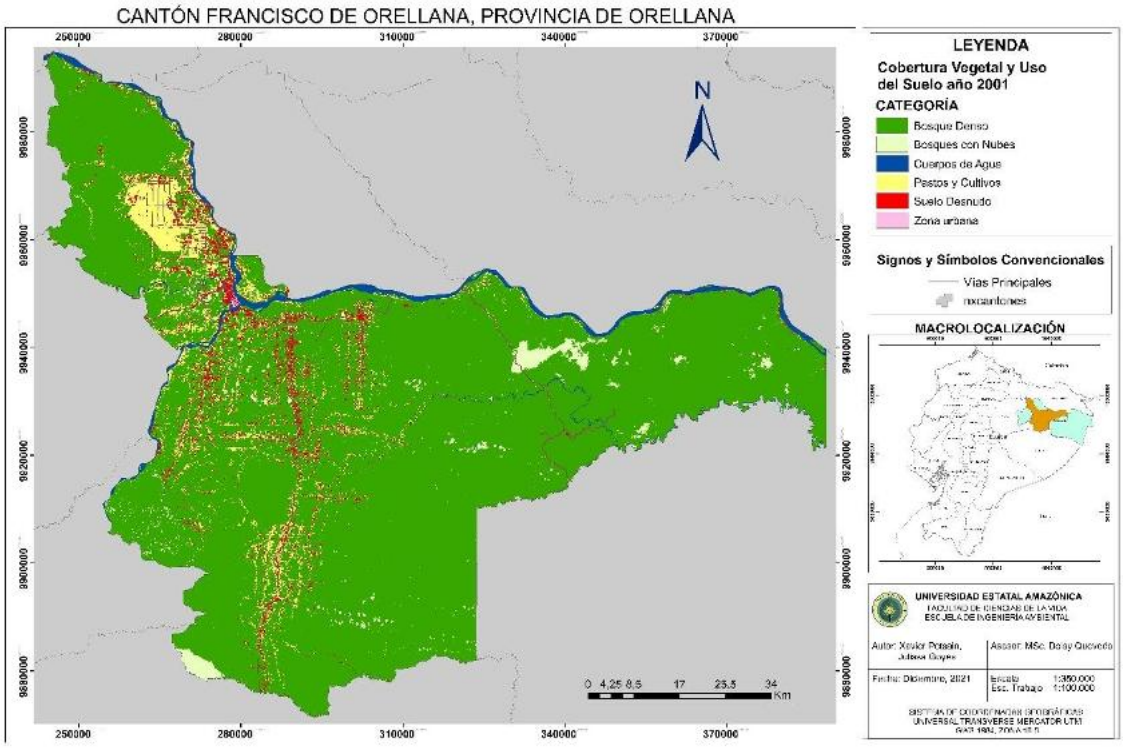
Los resultados reflejaron una disminución en la superficie bosque, el cual para el año 2001 (Figura 2) mantuvo un total de 625 693,95 hectáreas, mientras que en el 2020 (Figura 3) se redujo a 577 469,93 hectáreas, aquí se consideró la adición entre bosque denso y bosque con nubes, debido a que pertenecen a la misma categoría solo que una contiene nubes. En cuanto a la categoría de pastos y cultivos existió un incremento de 106 162,40 hectáreas para el año 2020 lo que representa un 15.1% del área del cantón. De acuerdo González & Perez (2018) anteriormente, el 47,5% de los productores de los cantones Francisco de Orellana y Joya de los Sachas se dedicaban a la producción de café y cacao, pero en 2018 el 85,9% se dedicó a la ganadería con técnicas silvopastoriles.

La zona urbana paso de una superficie aproximada de 566,10 hectáreas a 4 016,09 hectáreas para el año 2020. Se perdió gran parte del suelo desnudo correspondiente al año de partida dando un total de 5857,68 hectáreas para el año 2020. Según Llerena-Montoya, et al. (2021) estos cambios se deben a los nuevos asentamientos o invasiones y desplazamientos de personas que trabajan en la región, este último estaría vinculado de

manera directa e indirecta en el sector petrolero.

Figura 2

Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo para el año 2001



Para el desarrollo de la tasa anual de cambio (Tabla 2) se basó en la superficie de cada categoría y la aplicación de la fórmula antes mencionada, esta refleja el porcentaje con mayor o menor cambio en el uso del suelo durante los 19 años transcurridos del periodo 2001-2020. Donde encontramos valores negativos en las categorías de suelo desnudo con -7,5%, seguido de bosque denso con -1,7% y cuerpos de agua con -1,2%. A partir del año 2001 la superficie forestal ha venido disminuyendo, solo las áreas de infraestructura y agricultura han aumentado hasta 2017, según un estudio empleado en el bloque petrolero ITT (bloque 43) efectuada por (Heredia-R et al., 2021). Esto puede tener una influencia indirecta en la pérdida de bosque ya que en el área de interés se encuentran los bloques 47, 45, 61, 7, 64, 17 entre otros.

Figura 3

Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo para el año 2020

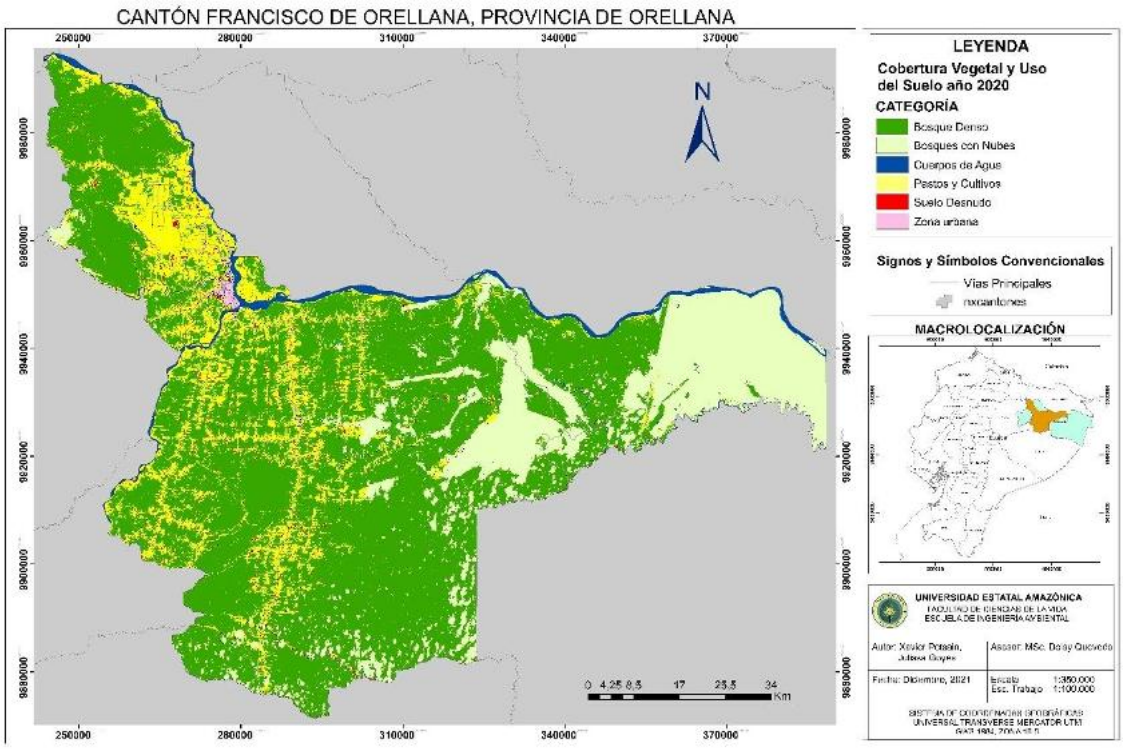


Tabla 2

Tasa Anual de Cambio de Coberturas

		Año 2001		Año 2020		
Cód.	Categoría	Superficie en hectáreas	%	Superficie en hectáreas	%	Tasa Anual de Cambio %
1	Zona urbana	566,10	0,1	4016,09	0,6	10,9
2	Pastos y cultivos	39093,75	5,5	106162,40	15,1	5,4
3	Bosque denso	610349,18	86,6	437788,60	62,1	-1,7
4	Suelo desnudo	25382,63	3,6	5827,68	0,8	-7,5
5	Bosques con nubes	15344,78	2,2	139681,33	19,8	12,3
6	Cuerpos de agua	13830,55	2,0	11090,88	1,6	-1,2
	Total	704566,98	100,0	704566,98	100,0	

Las transiciones más representativas dieron como resultado 14 mosaicos (Figura 4) con cambios mayores a 1 000 hectáreas, donde alrededor de 57 914,6 hectáreas se convirtieron de bosque denso a pastos y cultivos, siendo este el cambio más representativo en la pérdida de cobertura vegetal nativa del área de estudio, estos cambios se sitúan principalmente alrededor de las vías de acceso hacia distintas parroquias y pozos

petroleros. De acuerdo con Llerena-Montoya et al. (2021) el desplazamiento de bosque está influenciada directamente por el uso de suelo, para fines agrícolas y en menor proporción por actividades petroleras.

El mosaico de suelo desnudo a zona urbana representó un área de 1 843,8 hectáreas que fueron aprovechados para la expansión poblacional, así mismo, 16 887,7 hectáreas pasaron de suelo desnudo a pastos y cultivos y cerca de 4 108,1 hectáreas pasaron de suelo desnudo a bosque denso, lo que significa que para el 2001 hubo más suelo desnudo y para el año 2020 fueron transformadas a otros usos.

Hubo también cambios en torno a mosaicos de Pastos y cultivos a bosque denso con una superficie de 8 443,6 hectáreas, lo que favoreció una resiliencia de áreas degradadas a cobertura de bosque, esto puede darse por el abandono de actividades agrícolas. Al existir una diversidad de características vegetales y una alta biodiversidad permite que los bosques sean menos vulnerables frente a los cambios (Sakschewski et al., 2016), por otro lado, los sistemas agroforestales (chakras) que mantienen algunas comunidades, al ser abandonados promueven una mejor resiliencia de los bosques (Vera et al., 2019), estos estudios demuestran la veracidad del cambio en el mosaico de pastos y cultivos a bosque denso.

Una mínima superficie de 1 015,4 hectáreas pasó de pastos y cultivos a suelo desnudo; seguidamente 3 140,7 hectáreas pasaron de bosque denso a suelo desnudo, siendo estos los cambios más pequeños ocurridos en el periodo establecido. Se evidenció cambios en menor proporción en el bosque debido al flujo natural de los cuerpos de agua con alrededor de 1 509 hectáreas de bosque denso a cuerpos de agua, del mismo modo, pasó una superficie de 1 445,9 hectáreas de cuerpos de agua a pastos y cultivos. Se puede considerar que los productores aprovecharon las zonas ribereñas debido a que son ricas en nutrientes y permiten altos rendimientos de cultivos (Labarta et al., 2007).

Se evidenció las ganancias y pérdidas de superficie original (Tabla 3), para la categoría de bosque denso se demostró mayores pérdidas con cerca de 194 769,3 hectáreas para el año 2020, a diferencia de las ganancias que solo fueron de 22 137,9 hectáreas de bosque, gran parte de las pérdidas de bosque se dieron para usos agrícolas y ganaderos. Por otra parte, la categoría de suelo desnudo perdió 24 325,7 hectáreas y se ganaron 4 753,4 hectáreas, lo que significa que el suelo desnudo se aprovechó para otras actividades, tales como uso para agricultura y ganadería, resiliencia hacia bosques y crecimiento urbano.

Tabla 3

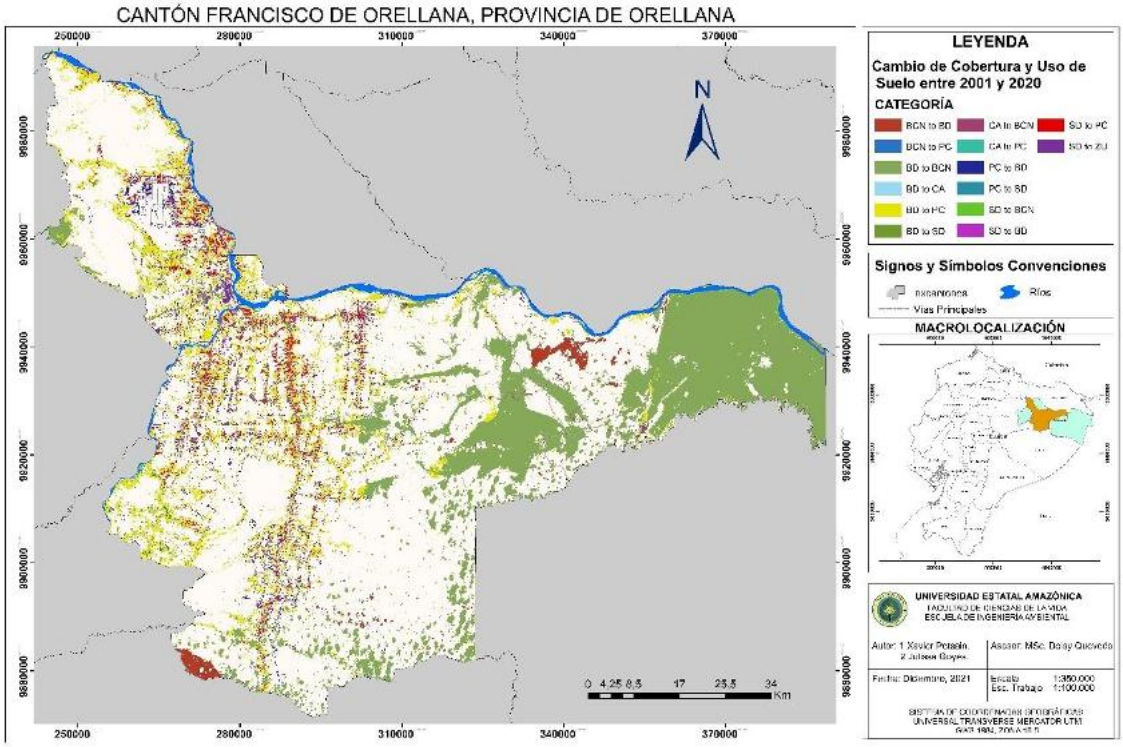
Matriz de Tabulación Cruzada Periodo 2001-2020

		COBERTURA 2020							
Categoría		ZU	PC	BD	SD	BCN	CA	Total (ha)	Pérdida
COBERTURA 2001	ZU	559,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	566,1	6,5
	PC	523,2	27853,0	8443,6	1015,4	988,7	269,8	39093,8	11240,8
	BD	974,7	57914,6	415579,8	3140,7	131230,7	1508,7	610349,2	194769,3
	SD	1843,8	16887,7	4108,1	1056,9	1127,1	359,0	25382,6	24325,7
	BCN	69,7	1941,6	9342,2	98,0	3875,0	18,2	15344,8	11469,8
	CA	309,1	1445,9	244,0	499,3	2426,5	8905,8	13830,5	4924,8
Ganancias		3720,4	78189,8	22137,9	4753,4	135773,0	2162,2	**704567,0**	

Nota. ZU: Zona Urbana, PC: Pastos y Cultivos, BD: Bosque Denso, SD: Suelo Desnudo, BCN: Bosques con Nubes, CA: Cuerpos de Agua

Figura 4

Mapa de Cambios entre 2001 y 2020

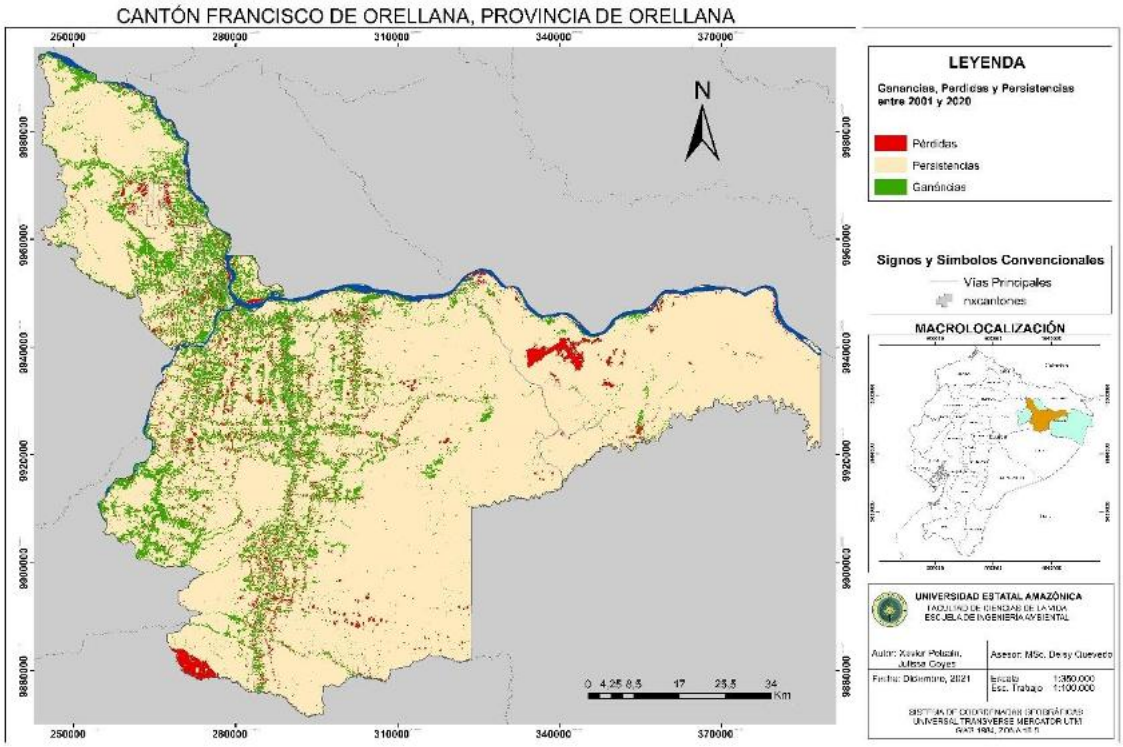


Por otro lado, gran parte de ganancias (Figura 5) se ubicaron alrededor de las vías de acceso, estos cambios corresponden en su mayoría al incremento de actividades agrícolas,

ganaderas, nuevos asentamientos y actividades petroleras. En los periodos de 1990 a 2000 y del 2000 a 2008 en la región amazónica se perdieron la mayor cantidad de bosque nativo, los pobladores kichwas y colonos dependían principalmente de la agricultura, ganadería y por último de la venta de madera (Tamayo et al., 2020), por otro lado, la deforestación se atribuye a la tala ilegal, creación de nuevas vías y actividades petroleras en el periodo 2000 a 2020 (Quezada & Sevilla, 2021).

Figura 5

Mapa de Ganancias, Pérdidas y Persistencia entre 2001 y 2020



3.2.Modelo prospectivo para el año 2040

El modelo prospectivo para el año 2040 fue desarrollado mediante el método combinado de Autómatas Celulares y CA-MARKOV. El uso de Autómatas Celulares son unos de los métodos más adecuados para la modelación de escenarios a futuro (Pinos, 2016).

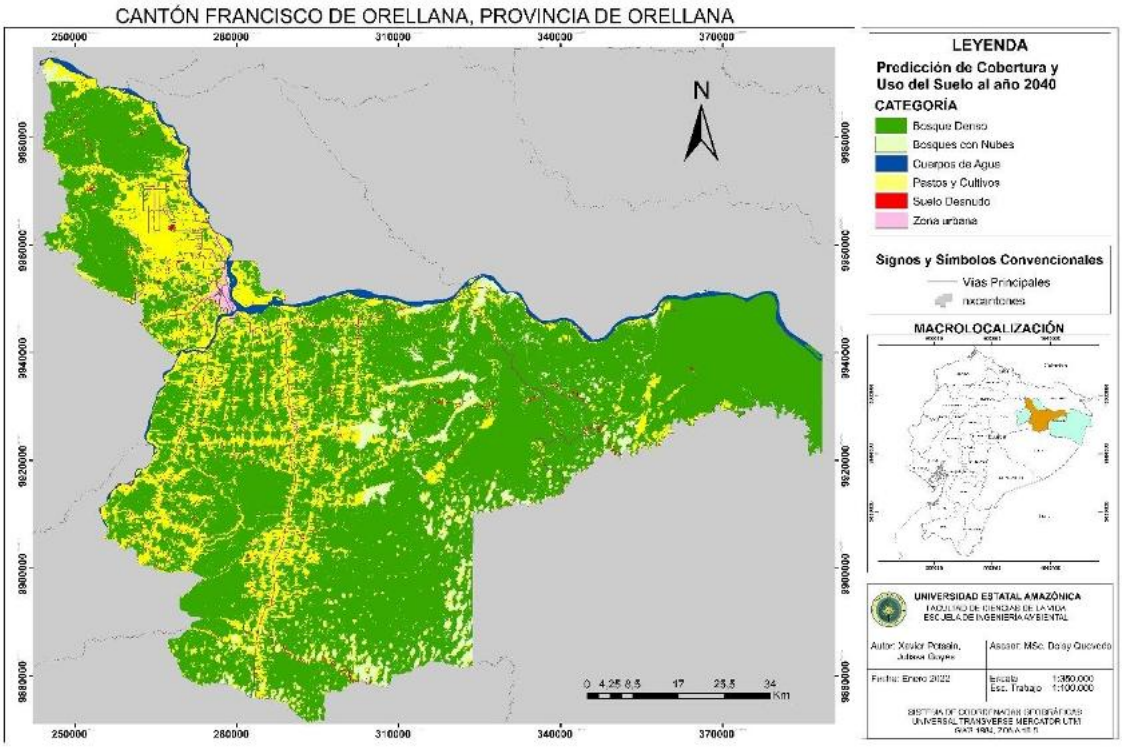
Se puede evidenciar los cambios en relación al uso del suelo (Figura 6 y 7) se mantienen, la categoría de pastos y cultivos continuará con una tendencia en aumento con un valor alrededor de 143 636,1 hectáreas para el año 2040, la categoría de bosque denso seguirá disminuyendo debido a las actividades antropogénicas (519 332,4 hectáreas) a diferencia de las 610 349,2 hectáreas correspondientes al año 2001, mientras que, la zona

urbana continuará en aumento, pero en menor proporción. También se predice una pequeña perturbación en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Yasuní.

Estas variaciones mencionadas anteriormente pueden resultar en problemas ambientales, aunque la deforestación en la Amazonía ecuatoriana es baja en comparación con Bolivia, Colombia, Perú y Brasil (Finer & Mamani, 2020), por otro lado, la pérdida de masa forestal puede tener consecuencias negativas en el servicio ambiental de retención y regulación de carbono. Tan solo en 2014 se estimó que más de un tercio de las emisiones provinieron de LULUFC (Blackman & Veit, 2018), favoreciendo así las emisiones por deforestación.

Figura 6

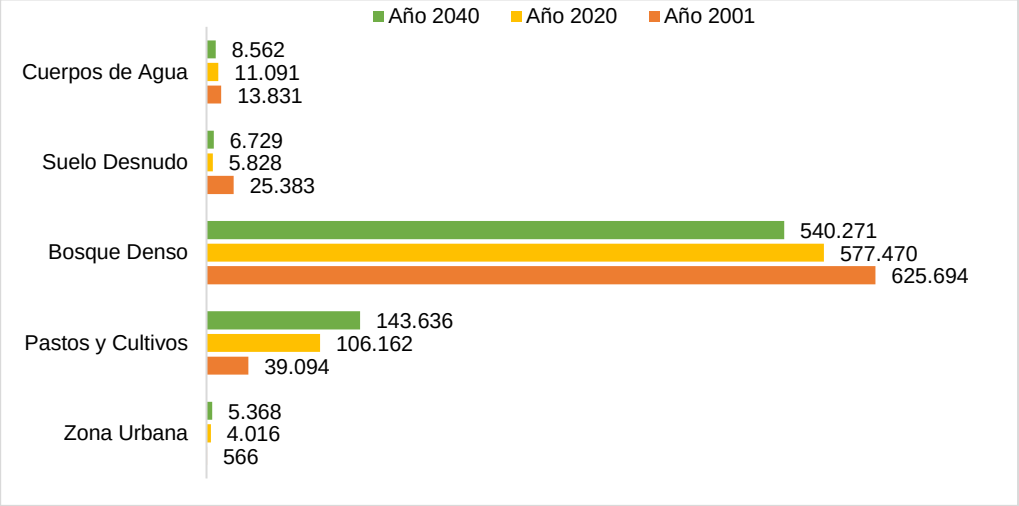
Modelo Prospectivo de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo al año 2040



El mal uso de la tierra puede causar impactos negativos en el área económica, social y ambiental. De acuerdo con Zumaeta Lozano, (2019) en países sudamericanos las tierras con fines de protección se utilizan indiscriminadamente para áreas agrícolas y los suelos que se usaban anteriormente para pastos y cultivos son utilizados para nuevos asentamientos urbanos. De tal manera que, contribuyen a la erosión del suelo y a la búsqueda de nuevas áreas con aptitud agrícola.

Figura 7

Dinámica de Cambio para cada Categoría en los años 2001; 2020 y 2040



3.2.1. Validación

Para la validación de los métodos empleados para el desarrollo de la comparación y predicción Jaramillo & Antunes (2018), mencionan que, el Índice de Acuerdo al Kappa de Cohen 1960, es utilizado para evaluar la fiabilidad del método empleado al analizar dos capas de cobertura con fechas diferentes. Podemos observar el criterio de valorización del Índice de Kappa (Tabla 4), donde se obtuvo un valor KIA general de 0.75 y 0.95 (Tabla 5) entre las coberturas del periodo 1 y 2; siendo este valor considerado como una concordancia "buena" y "muy buena" respectivamente para los periodos analizados.

Tabla 4

Índice de Kappa

Coeficiente 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

Nota. Adaptado de "Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA). Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana" por L. Jaramillo & A. Antunes, 2018, *Revista de Teledetección*, 51, 33-46. (https://polipapers.upv.es/index.php/raet/article/view/8995). CC BY-NC-SA 4.0.

Tabla 5

Validación del Método e Índice Kappa

	Índice de Acuerdo al Kappa (KIA)		KIA General
Periodos a validación	MV	CA-Márkov	MV y CA-Márkov
(2001-2020)	0,7477	NO	0,7477
(2020-2040)	NO	0,9475	0,9475

4. CONCLUSIONES

El USGS es una plataforma que permitió la adquisición gratuita de imágenes satelitales de alta resolución de la superficie terrestre, asimismo, favoreció la elaboración de mapas temáticos de aptitud de uso de suelo mediante el empleo de SIG. Por otro lado, se comprobó la existencia de intervención en la vegetación producto de las actividades antrópicas, lo cual se traduce en una constante presión sobre la biodiversidad del cantón.

El cantón Francisco de Orellana ha experimentado variaciones considerables en la superficie dentro del periodo analizado, donde se determinó una disminución de bosque denso de 625 693,95 hectáreas en el año 2001 a 577 469,93 hectáreas para el año 2020, asimismo se estableció que los cambios son debido a la expansión de la frontera de pastos y cultivos que se incrementaron a 106 162,40 hectáreas para el año 2020.

Se predijo que para el año 2040 continuará la tendencia de cambio, en mayor proporción para la categoría de pastos y cultivos mismo que se espera un aumento de 143 636,2 hectáreas, esto representa que existirán problemas en cuanto a la biodiversidad, servicios ambientales y sociales, debido a que no se establecen políticas claras para la distribución adecuada del recurso suelo, aprovechamiento de madera y topografía para nuevos asentamientos.

REFERENCIAS

Agencia de las Naciones Unidas. (2018). Fortalecimiento de los sistemas nacionales de monitoreo de los bosques para REDD+. http://www.fao.org/3/CA0525ES/ca0525es.pdf

Andrade, Á., & Peña, C. (2018). *Logros y desafíos en la implementación de los ODS en Ecuador.* Quito. https://odsterritorioecuador.ec/publicacion-anual-ods-territorio-ecuador/

Andrade, Á., & Peña, C. (2019). *Buenas prácticas de la sociedad civil para el cumplimiento de los ODS.* Quito. https://odsterritorioecuador.ec/publicacion-anual-2019/

Angelsen, A., Brockhaus, M., Kanninen, M., Sills, E., Sunderlin, W., & Wertz-Kanounnikof, S. (2010). *La implementación de REDD+: estrategia nacional y opciones de política.* Bogor, Indonesia. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BAngelsen1001.pdf

Blackman, A., & Veit, P. (2018). Titled Amazon Indigenous Communities Cut Forest Carbon Emissions. *Ecological Economics* (153), 56-67. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.06.016

Bonilla-Bedoya, S., López-Ulloa, M., Vanwalleghem, T., & Herrera-Machuca, M. (2017). Effects of Land Use Change on Soil Quality Indicators in Forest Landscapes of the Western Amazon. *182*, 128-136. https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000203

Calderón, J., Ordónez, J., Nieto de Pascual, C., & Ordóñez, M. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 9*(46). https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135

Comisión Económica para América Latina. (2019). ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres. https://www.cepal.org/sites/default/files/static/files/ods15_c1900735_press.pdf

Farias, B., Márquez, A., Rey Lago, D., & Guevara, E. (2018). Caracterización espacio–temporal del uso de tierras en cuencas mediante técnicas geomáticas. *Revista INGENIERÍA UC, 25*(1), 19-30. ISSN: 1316-6832 https://www.redalyc.org/jatsRepo/707/70757668004/70757668004.pdf

Finer, M., & Mamani, N. (2020, febrero). *Síntesis de MAAP: Tendencias y puntos críticos de deforestación en la Amazonía en 2019*. Amazon Conservation. https://www.amazonconservation.org/2019-amazon-deforestation-trends/

Gonzaga, C. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *Revista Cedamaz*. https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/43/41

González, R., & Perez, J. (2018). Percepciones y caracterización de pastizales en los cantones Joya de los Sachas y Francisco de Orellana. *European Scientific Journal, 14*(24), 311. https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n24p311

Guillén, C. E., Mogollón, A., Dávila, M. J., & Boscán, K. (2019). Monitoreo de la producción de caña panelera mediante herramientas de SIG y teledetección, años

2016-2017, Mérida, Venezuela. *Revista Geográfica de América Central*(63), 204-223. http://dx.doi.org/10.15359/rgac.63-2.9

Heredia-R, M., Cayambe, J., Schorsch, C., Toulkeridis, T., Barreto, D., Poma, P., & Villegas, G. (2021). Multitemporal Analysis as a Non-Invasive Technology Indicates a Rapid Change in Land Use in the Amazon: The Case of the ITT Oil Block. *Environment, 8*(12), 139. https://doi.org/10.3390/environments8120139

Hernández-Zaragoza, P., Valdez-Lazalde, J. R., Aldrete, A., & Martínez-Trinidad, T. (2019). Evaluación multicriterio y multiobjetivo para optimizar la selección de áreas para establecer plantaciones forestales. *Madera y bosques, 25*(2). https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521819

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2010). *VII Censo de población.* Recuperado el 02 de 08 de 2021, de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/

Jaramillo, L., & Antunes, A. (2018). Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA). Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista de Teledetección, 0*(51), 33-46. https://doi.org/10.4995/raet.2018.8995

Jog, S., & Dixit, M. (2016). Supervised classification of satellite images. *CASP*, 93-98. https://doi.org/10.1109/CASP.2016.7746144

Labarta, R. A., White, D., Leguía, E., Guzmán, W., & Soto, J. (2007). La agricultura en la Amazonia ribereña del río Ucayali. ¿Una zona productiva pero poco rentable? *Acta Amazonica [online], 32*(2). https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000200002

Llerena-Montoya, S., Velastegui-Montoya, A., Zhirzhan Azanza, B., Herrera.Matamoros, V., Adami, M., de Lima, A., Moscoso-Silva, F., & Encalada, L. (2021). Multitemporal Analysis of Land Use and Land Cover within an Oil Block in the Ecuadorian Amazon. *ISPRS Int. J. Geo-Inf., 10*(3), 191. https://doi.org/10.3390/ijgi10030191

Logroño, S., López, C., Moyano, M., & Oyague, E. (2020). El alcance de la teledetección satelital utilizando modelos estadísticos y físicos y sus beneficios en áreas contables. *6*, 25-40. https://doi.org/10.23857/pocaip

Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2016). *Plan de acción REDD+ Ecuador "Bosques para el buen vivir" (2016-2025).* http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu179613.pdf

Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2018). *Estadísticas del Patrimonio Natural del Ecuador Continental.* https://proamazonia.org/wp-content/uploads/2019/10/ECUADOR_Folleto_Patrimonio_Natural_compressed.pdf

Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2019). *Proyecto Socio Bosque.* Quito. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/12.SOCIO_BOSQUE.pdf

Mogrovejo, P. R. (2017). *Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático.* [Tesis de maestría,

Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador]. Repositorio Institucional del Organismo de la Comunidad Andina, CAN. http://hdl.handle.net/10644/5862

Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf

Padilla, O., Pérez, P., Cruz, M., Huilcamaigua, S., & Astudillo, S. (2015). Utilización de autómatas celulares como técnica de modelamiento espacial para determinación el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal. *Ciencias Espaciales, 8*(1), 310-326. https://doi.org/10.5377/ce.v8i1.2055

Palacio-Prieto, J. L., Sánchez-Salazar, M. T., Casado-Izquierdo, J. M., Propin-Frejomil, E., Delgado-Campos, J., Velásquez-Montes, A., Chias-Becerril, L., Ortiz-Álvarez, M. I., González-Sánchez, J., Negrete-Fernández, J., Gabriel-Morales, J., & Márquez-Huitzil, R. (2004). *Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio.* http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/161/149/818-1

Pinos, N. J. (2016). Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenca. *5*(9), 7-19. https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02

Poma, B. (2020). *Análisis de deforestación y fragmentación dentro y fuera del Parque Nacional Yasuní: área Tiputini, provincia de Orellana.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Digital-Universidad Nacional de Loja. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/22461

Pontius, R., Menzie, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (101), 251-268. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008

Quezada, A., & Sevilla, J. (2021). *Estimación de la tasa de deforestación a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en las provincias de Pastaza y Orellana en el periodo 2000 al 2020.* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21455

Racines, D. (2017). *Cultura de riesgo: Impacto social de la actividad petrolera en comunidades shuar y kichwa de la parroquia de Dayuma, Francisco de Orellana.* [Tesis de maestría, Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio Digital USFQ. https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7077

Sakschewski, B., Von Bloh, W., Boit, A., Poorter, L., Peña Claros, M., Heinke, J., Joshi, J., & Thonicke, K. (2016). La resiliencia de los bosques amazónicos emerge de la diversidad de rasgos de las plantas. *Nature Clim Change*(6), 1032–1036. https://doi.org/10.1038/nclimate3109

Santos, R., Valdez, J., Escalona , M., de los Santos, H., & Péres , M. (2016). Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelción de cambio de uso de suelo. *Ingeniería Hidraulica y Ambiental, 37*(1), 72-81. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000100006&lng=es&tlng=es.

Schlotzhauer, P., & Torres, B. (2017). Análisis de la cadena de producción y

comercialización de madera en pequeños productores de la Amazonía Ecuatoriana. 159-176. En Torres, B., Vargas, J., Arteaga, Y., Torres, A., & Lozano, P. (Eds.), *Gente, Bosque y Biodiversidad: El rol del bosque sobre la biodiversidad y las poblaciones rurales.* (pág 253) Universidad Estatal Amazónica. ISBN: 978-9942-932-19-8 https://www.researchgate.net/publication/318378807_Analisis_de_la_cadena_de_produccion_y_comercializacion_de_madera_en_pequenos_productores_de_la_Amazonia_Ecuatoriana

Secretaría Técnica Planifica Ecuador. (2019). *Informe de avance del cumplimiento de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible.* https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/07/Informe-Avance-Agenda-2030-Ecuador-2019.pdf

Tamayo, F., Torres, B., Fischer, R., Vargas, J., Torres, A., Samaniego, E., Tipán, C., Ferrer, R., & Günter, S. (2020). Desforestación y aspectos socioculturales a nivel de paisajes en bosques tropicales de la Amazonía Ecuatoriana. En Torres, B., Fischer, R., Vargas, J., Gunter, S., & Inclán, D. (Eds.), *Desforestacion en paisajes forestales tropicales del Ecuador* (págs. 22-67). Universidad Estatal Amazónica-Instituto Johann Heinrich von Thünen. http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/LAFORET_WEB.pdf

Torres, B., Fischer, R., Vargas, J., & Günter, S. (2020). *Deforestación en paisajes forestales tropicales del Ecuador: bases científicas para perspectivas políticas* (Vol. 15). Puyo. http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/LAFORET_WEB.pdf

Vargas, D., & Campos, C. (2018). Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha, 31*(1), 58-69. https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3497

Vera, R., Cota-Sánchez, H., & Grijalva Olmedo, J. E. (2019). Biodiversidad, dinámica e impacto de los chakras en la Amazonía ecuatoriana. *Journal of Plant Ecology, 2*(1), 34–44. https://doi.org/10.1093/jpe/rtx060

Zarei, A., Asadi, E., Ebrahimi, A., Jafari, M., Malekian, A., Mohammadi, H., Chemura, A., & Maskell, G. (2020). Prediction of future grassland vegetation cover fluctuation under climate change scenarios. *Ecological Indicators, 119.* https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106858

Zumaeta Lozano, D. (2019). *Análisis multitemporal y predictivo del cambio del uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la microcuenca Yuyac, Amazónas, 2018.* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1986

ANEXOS

MARCO TEÓRICO

La disminución de cubierta es un problema que tiene repercusiones tanto económicas, sociales y ambientales. Desde la parte mundial como la Organización de Naciones Unidas (ONU) se han venido trabajando en objetivos de desarrollo sostenible para fomentar la lucha contra el cambio climático y la pérdida de ecosistemas. Ecuador por su parte, está generando alternativas como la aplicación de la REDD+, Programa Socio Bosque para reducir la deforestación y proteger los ecosistemas. El cantón Francisco de Orellana presenta constantes presiones en zonas de bosque donde nunca existió intervención humana debido a diferentes actividades económicas.

Objetivos del desarrollo sostenible

Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) son aquellos lineamientos globales acogidos por los gobiernos mundiales en 2015. De acuerdo con Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019), estos objetivos pretenden poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar la paz y la prosperidad para todos, equilibrando la sostenibilidad ambiental, económica y social. Conforman 17 ODS que deben ser cumplidos y monitoreados por países interesados, el mismo mantiene vigencia para el año 2030, incluyen 169 metas y 241 indicadores de índole integral. Esto posibilita a que los países trabajen acorde a sus realidades, capacidades, y patrones de desarrollo teniendo en cuenta las políticas internas y prioridades nacionales además de cumplir con las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (CDN).

Ratificación de la agenda 2030 por Ecuador

La incorporación de los ODS en Ecuador es dirigida por la Fundación Futuro Latinoamericano en conjunto con el grupo FARO, los cuales se enfocan en cumplir con los 17 objetivos sostenibles mundiales a través de la introducción de políticas públicas, fortaleciendo la sociedad y la implementación y seguimiento dentro de los GADs. Para dar cumplimiento a estos propósitos se han establecidos tres componentes importantes como espacios de dialogo y participación multisectorial, observatorios ciudadanos, y desarrollo de capacidades enfocados a los ODS. De tal manera, Ecuador se comprometió a cumplir con los ODS mediante poder Ejecutivo y Legislativo, por medio de votaciones se afirmó la obligatoriedad del país tras la aprobación de la Agenda 2030 (Andrade &

Peña, 2018).

Objetivo 13: Acción por el clima

La lucha contra el cambio climático es un tema primordial que se aborda en los países de todo el mundo debido a los impactos negativos que tiene sobre la economía, la vida de las personas, comunidades y el ambiente. Es evidente que los seres humanos en la actualidad sientan los efectos del aumento de las condiciones climáticas en carne propia, el aumento del nivel del mar, y los fenómenos meteorológicos extremos. Los altos niveles de gases de efecto invernadero (GEI) provienen de las actividades antrópica en su mayoría, estos incrementan los síntomas del calentamiento global (Naciones Unidas, 2018).

Importancia de la acción por el clima en Ecuador.

Ecuador dentro del Plan Nacional de Desarrollo, en el objetivo tres, plantea"garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones". En el informe publicado por ODS Territorio Ecuador, sobre buenas prácticas de la sociedad civil para el cumplimiento de los ODS (2019) determinan que las emisiones totales son del 0.15 % del total de emisiones de GEI a nivel mundial, esto corresponde a 5.9 toneladas de GEI emitidos, sobrepasando a Perú y Colombia, además Ecuador ha perdido el 40% de sus glaciares y en el volcán Antisana han desaparecido 350 m de glaciar en los últimos 20 años (Andrade & Peña, Buenas prácticas de la sociedad civil para el cumplimiento de los ODS, 2019).

Objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres

Para la protección de los ecosistemas el objetivo 15 menciona que los gobiernos participantes deben emplear acciones de protección, restauración y una gestión adecuada de los recursos naturales, para ello deben contribuir a la conservación forestal, disminución de la desertización fomentando la preservación de la biodiversidad. La masa forestal a nivel mundial representa el 30% y cada año se pierde alrededor de 13 millones de hectáreas de bosque nativo como consecuencia tenemos la desconfianza completa en la seguridad alimentaria, refugio de vida, pérdida de diversidad biológica y alteración de los medios de vida de los pueblos indígenas (Naciones Unidas, 2018).

Es importante proteger los ecosistemas terrestres debido a que su conservación permite enfrentar al cambio climático. Los bosques representan grandes sumideros de

carbono y capturan el dióxido de carbono (CO2) de la atmósfera y alojan una alta diversidad de especies por metro cuadrado y proporcionan servicios ambientales. Por ende, a nivel mundial se ha tomado medidas enfocados a la gestión forestal y lucha para frenar la desertificación.

En la región de América Latina y el Caribe durante los periodos 1990-2015 se efectuó una decadencia de más del 10% de cobertura vegetal, los cambios en el uso de suelo y las actividades agrícolas representan el 42% de emisiones de GEI. Los cultivos familiares suman un total de 16 millones de áreas explotadas en la región, mismas que generan la principal fuente de ingresos para las familias. Todos estos procesos afectan significativamente la disponibilidad de agua, por lo que para 2050 habitantes a nivel mundial sufrirán de escasez crónica de este líquido vital (Comisión Económica para América Latina [CEPAL], 2019).

Importancia de la acción por la vida de los ecosistemas en Ecuador.

En Ecuador, el objetivo 15 de los ODS establecidos en la Agenda 2030 por parte de la Organización de Naciones Unidas, son gestionados mediante el desarrollo de políticas que garanticen el uso sostenible de la diversidad genética, la biodiversidad, conservación de saberes ancestrales, además incluye los procesos de investigación. Estos principios permiten a Ecuador enfrentar la deforestación en función a los beneficios de las actuales y futuras generaciones.

En el informe de la Secretaría Técnica Planifica Ecuador sobre "Avance del cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, (2019), estimaron que para el año 2008 la deforestación bruta fue de 108.667 ha y para el año 2014 fue de 97 918 ha y en 2016 alcanzó los 94 353 ha a nivel nacional. Esto representa una tendencia decreciente no significativa del 51,7% en el año 2014 a 51.2% en el año 2016. Para solventar estos acontecimientos Ecuador se planteó el proyecto "Gestión Integrada para la Lucha contra la Desertificación, degradación de la tierra y Adaptación al Cambio climático" mediante procesos de zonificación y ordenamiento territorial de fincas, conservación de fuentes hídricas, protección de zonas rivereñas, identificación de semillas de especies arbóreas nativas, empleo de huertos y sistemas agroforestales.

Reducción de las emisiones derivados de la deforestación y degradación de los bosques (REDD+)

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) han sido proactivos con enfoques políticos e incentivos mediante la REDD+. Angelsen et al. (2010) mencionan que la aplicación de la REDD+ busca medidas de manera local, nacional e internacional para reducir las emisiones a causa de la deforestación y degradación de bosques en países en vías de desarrollo, el símbolo "+" hace referencia a un enfoque más amplio que antes no se tomaba en cuenta y es la regeneración y restauración de masa forestal, menos emisión y atenuación del bosque, secuestro de carbono y captura de carbono atmosférico.

Documentos estratégicos para la REDD+

Basándose en los planes de acción que cada país deberá mantener para el fortalecimiento de la REDD+ es necesario la implementación de procesos encaminados a la generación de una base de datos que permitan identificar, clasificar, evaluar las causas de la deforestación y degradación de los bosques estableciendo oportunidades para la conservación. De tal manera que, se recomienda el mapeo, la estratificación y clasificación de los ecosistemas en función al régimen uso de tierra, tendencia e institucionalidad.

La tendencia hace referencia al estado de puntos críticos de la deforestación, degradación, restauración y reforestación con el fin de determinar áreas importantes de mediación de la REDD+, además se debe incluir la evaluación de beneficios económicos, sociales, ambientales y los riesgos para abordar de manera eficiente con todas las salvaguardas establecidas (Agencia de las Naciones Unidas Ecológica [FAO], 2018).

REDD+ en Ecuador continental

Ecuador ha implementado lineamientos nacionales para reducir las emisiones por deforestación, en la que se incluye medidas, objetivos y políticas definidas para abordar las causas de la desaparición de masa forestal e implementar mecanismos para prevenirlos, priorizando las necesidades de la población. Se crea el Plan de Acción REDD+ "Bosques para el Buen vivir" (2016-2025) en la que se incluyó la participación del Ministerio del Ambiente el cual cumple un rol de Autoridad Nacional REDD+, agencias gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil (comunidades, propietarios de bosques) y la cooperación internacional. Esta iniciativa tiene como objetivo disminuir las emisiones de GEI, mitigar el cambio climático, cumplir los ODS 13 y 15 para conservar los ecosistemas. Se aborda desde una perspectiva social, donde se

propone la reducción de la pobreza y la conservación de culturas ancestrales (MAATE, 2018).

Programa Socio Bosque

El Proyecto Socio Bosque implica la provisión de incentivos económicos por la preservación voluntaria de los bosques nativos, los páramos, los manglares y la vegetación nativa en beneficio de los agricultores y las comunidades indígenas, este programa está funcionando desde el 2008 con la finalidad de conservar los bosques promoviendo el desarrollo sostenible (MAATE, 2019). La implementación de este programa ha beneficiado a más de 120 mil ciudadanos/as de todo el país, además ha permitido la conservación de 1’489,541.66 ha de bosque primario, contribuyendo a la reducción de las emisiones de GEI ocasionadas por la deforestación y mejorando los medios de vida de los habitantes que han establecido implementar este programa en sus áreas de terreno (MAATE, 2016).

Deforestación en el cantón Francisco de Orellana

La deforestación en la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) ha aumentado desde la aparición de la industria petrolera en 1950, la apertura de vías permitió el asentamiento de nuevos colonizadores los cuales empezaron a desarrollar diferentes actividades económicas que requería de un cambio de uso de suelo tanto para la ganadería y agricultura (Schlotzhauer & Torres, 2017). Desde entonces se han registrado actividades de aprovechamiento maderero ilegal, cultivos extensos de palma africana (*Elaeis guineensis Jacq*) y nuevos asentamientos en lugares donde no existía ocupación de tierra, entre otros.

Causas de la deforestación en el cantón

Desde la perspectiva de Padilla et al. (2015), menciona que deforestación en Francisco de Orellana es provocada por los cambios en el uso del suelo los cuales han afectado los sistemas naturales, productivos y ecológicos. Para el año 2011 la vegetación no alterada (VNA) alcanza un valor del 8.61% del área total de 6038.22 ha correspondientes a una zona de estudio, esto a diferencia del año 2021 con un valor de 19,4% de VNA lo que para el año 2020 el resultado disminuiría a 4,51% de VNA por las constantes presiones de cultivos permanentes como la palma africana, palmito, teca, maíz y malanga, además de frutos como la guaba, frutipan, naranjilla y limón mandarina.

Las actividades petroleras fueron causantes de la deforestación y además son causantes de contaminación por hidrocarburos por más de 50 años, motivo por el cual el estado ecuatoriano a través de Ministerio del Ambiente en 2018 estableció el Programa de Reparación ambiental y Social (PRAS) con el fin de solventar los daños ambientales a las comunidades kichwa y Shuar en la parroquia Dayuma y al ambiente (Racines, 2017). A partir del año 1960 muchos habitantes de otras provincias migraron al cantón Francisco de Orellana en busca de tierras productivas, los mestizos se adueñaron de hectáreas de tierras para establecer sus viviendas, cultivos y pastizales.

Cambios de uso de suelo en el cantón Francisco de Orellana

En la actualidad el uso del suelo comprende de dos tipos de cambio: el primero consiste para la construcción de infraestructura (petrolera) y el segundo en actividades agrícolas principalmente el monocultivo como; cacao, café, maíz, arroz, y palma africana ocupando grandes superficies de terreno, sistemas agroforestales en chacras y la ganadería, con el fin de comercializar estos productos (Torres et al., 2020).

Teledetección

La teledetección ha permitido generar datos empíricos, científicos y comprobados sobre la realidad superficial terrestre en un contexto espacial. De acuerdo con Logroño et al. (2020), mencionan que el funcionamiento se basa en la aplicación de sensores diseñados para ser colocados en satélites u dispositivos aéreos con el fin de capturar y clasificar información presente en la tierra a través de ondas electromagnéticas de alta eficiencia. El uso de esta tecnología se enfoca en la evaluación ambiental, monitoreo y determinación de cambios en la superficie, agricultura, gestión de recurso naturales, cartografía y vigilancia mediante técnicas conocidas como la clasificación supervisada, no supervisada y mixta (Vargas & Campos, 2018).

Imágenes satelitales

Es aquella información captada por los sensores de los satélites en forma de ráster que contiene un metadato de un área determinada. Actualmente, las imágenes satelitales tienen una variedad de usos orientándose principalmente al conocimiento del estado de coberturas forestales, cambios de uso de suelo, agricultura, monitoreo de cultivos, la hidrología, la geología, uso civil, ecología y dentro de otras áreas.

Gonzaga (2015), utilizó las imágenes satelitales (Landsat ETM+ y ASTER) para

analizar el estado de la cobertura vegetal por medio de Índices de Vegetación como: índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI), índice de estrés hídrico (MSI) y aplicó la Correlación de Pearson los cuales permitieron considerar el estado vegetal de las coberturas forestales presente en su área de estudio.

Sistemas de Información Geográfica para el análisis de la cobertura vegetal y cambios de uso de suelo

Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento de imágenes es la adopción de técnicas informáticas mediante SIG que permiten mejorar los pixeles para una mejor aplicación de algoritmos de clasificación. De acuerdo con Alvarado & Mainato (2021) para el correcto procesamiento de imágenes satelitales se debe realizar la corrección de distorsiones radiométricas y atmosféricas, con la finalidad de corregir errores del efecto aerosol y de relieve para su correcta interpretación. Las imágenes que ya fueron procesadas se emplea el uso de software ENVI y ArcGIS realizar una corrección atmosférica que permita identificar mejor la realidad de una superficie cubierta por vegetación. Con esta corrección se puede visualizar y clasificar la vegetación y áreas intervenidas por el hombre (Pinos, 2016).

Clasificación supervisada (CS)

Este método de clasificación requiere obtener conocimiento del área de estudio, donde en base a un proceso conocido como “áreas de entrenamiento” se entrega al software para el reconocimiento automático de las categorías presentes en las imágenes satelitales. Una vez que se haya definido las áreas de entrenamiento el ordenador calcula estadísticamente los valores digitales que caracteriza a una clase, luego clasifica a los pixeles restante juntándolas como una sola categoría en función a su radiometría (Guillén et al., 2019). Existen varios métodos de clasificación supervisada, tales como: máquina de vectores de soporte, mínima distancia, paralelepípedo y Clasificador por MV.

Método de clasificación por máxima verosimilitud (MV).

Este es un algoritmo que requiere de una clasificación supervisada. Lo fundamental es que, los pixeles tengan una alta probabilidad en una clase en particular, siendo igualmente probables para cada clase, parte de un proceso paramétrico que usa la estadística de función de distribución de probabilidad (PDF) gaussiana de segundo orden, por lo cual

es considerado un clasificador óptimo (Jog & Dixit, 2016).

La función de distribución de probabilidad Gaussian está dada por:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

Donde: "**σ**" representa la desviación estándar y "**μ**" representa el valor medio. Los resultados al emplear este clasificador serán más precisos y la desventaja es que requieren mayor tiempo de procesamiento debido a la complejidad de los cálculos.

Análisis de Cambio

Los resultados de los análisis facilitan apreciar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal y uso de suelo. Para realizar el análisis primero debe realizarse la clasificación correspondiente, por consiguiente, elaborar una matriz de cambio indicando la dinámica en las variables analizadas (cobertura de bosque-cambio de uso de suelo) según el intervalo de tiempo evaluado (Calderón et al., 2018).

La validación de los mapas en las comparaciones multitemporales en función a las clasificaciones se procede a utilizar el Índice de Kappa (IK), donde los valores entre 0,70 y 0.81 son considerados aceptables.

Proyección a futuro de la pérdida de cobertura vegetal

Las proyecciones a futuro estiman una proporción significativa sobre la existencia de cambios ya sea en la vegetación como en los cambios que puede llegar a sufrir un suelo. Desde el punto de vista de Hernández-Zaragoza et al. (2019), la Evaluación Multicriterio (EMC) y Multiobjetivo (MO) ha permitido predecir áreas de interés para establecer plantaciones forestales gracias a que la superficie analizada presentaba aptitudes de suelo adecuadas según los análisis de proyección realizados. Otros estudios demuestran datos transcendentales a través de la EMC y MO para la estimación de pérdida de áreas cubiertas por bosques a futuro (Pinos, 2016).

Según Zarei et al. (2020), en un estudio espacial y temporal en la provincia de Chaharmahal en Ian, estimaron que los cambios a futuro que puede sufrir una cubierta vegetal (Herbácea) son debido a los cambios en la temperatura y la precipitación además de generar variabilidad en el comportamiento de desarrollo de la vegetación, estos cambios tienen como resultado la repercusión de los medios de vida de la zona.