UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA RESERVA ECOLÓGICA ANTISANA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PERÍODOS 1990 – 2020.

AUTOR(ES):

Gino Jacobo Chimbo Salazar

Gabriela Estefania Paredes Quishpilema

DOCENTE - TUTOR:

Msc. 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	Sin cambios
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	Sin cambios
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.	20/20	Sin cambios
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	Sin cambios
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	Sin cambios

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	Sin cambios
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Sin cambios
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	Sin cambios
VALORACIÓN TOTAL	100/100	

DICTAMEN

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

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	**100/100**

Atentamente,

JESUS ANTONIO BONILLA DE GRACIA

Firmado digitalmente porJESUS ANTONIO BONILLA DE GRACIA
Fecha:2022-02-21 18:41+19:00

_____

Jesús Antonio Bonilla De Gracia

Dado en la ciudad de Puyo, a los 21 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	El título es claro y representa la idea principal del escrito.
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	Información clara y precisa fácil de identificar de qué se trata la investigación y su relevancia.
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.	20/20	Describe correctamente la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia.
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	Entrega correctamente conceptos de términos que son empleados en el estudio.
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	Describe el tipo de investigación a desarrollar, sin embargo, falta ordenar de mejor manera el formato de párrafos como de tablas.

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	resultados de manera organizada a partir del problema planteado.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Conclusiones claras y precisas, acorde a los objetivos trazados.
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	Correcta aplicación de las normas APA en las citas, fuentes y referencias.
VALORACIÓN TOTAL	98	

DICTAMEN

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

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	98

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
LUIS ALBERTO UVIDIA

Luis Alberto Uvidia Armijo

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, 02 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Gino Jacobo Chimbo Salazar, con C.I. 1500957632, con el Tema: "Análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la Reserva Ecológica Antisana mediante sistemas de información geográfica de los períodos 1990 – 2020", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, Ing. Deisy Valeria Quevedo Amay MsC, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3%, Informe generado con fecha 02 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

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	Trabajo de intregraciòn curricular Gabriela_Gino.docx (D126882028)
Submitted	2022-02-02T19:15:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	amb2017021@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	dv.quevedoa.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PARCIAL 1.docx**
Document PARCIAL 1.docx (D125031143)
Submitted by: amb2017021@uea.edu.ec
Receiver: vdelcorral.uea@analysis.urkund.com
2

SA **Tesis Chiquín Baños.docx**
Document Tesis Chiquín Baños.docx (D113702888)
1

SA **0 TESIS Chafla 10 03 2020.docx**
Document 0 TESIS Chafla 10 03 2020.docx (D65202147)
1

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

Puyo, 02 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Gabriela Estefanía Paredes Quishpilema, con C.I. 1500799026, con el Tema: "Análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la Reserva Ecológica Antisana mediante sistemas de información geográfica de los períodos 1990 – 2020.", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, Ing. Deisy Valeria Quevedo Amay MsC, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3%, Informe generado con fecha 02 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

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	Trabajo de intregraciòn curricular Gabriela_Gino.docx (D126882028)
Submitted	2022-02-02T19:15:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	amb2017021@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	dv.quevedoa.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PARCIAL 1.docx**
Document PARCIAL 1.docx (D125031143)
Submitted by: amb2017021@uea.edu.ec
Receiver: vdelcorral.uea@analysis.urkund.com
2

SA **Tesis Chiquín Baños.docx**
Document Tesis Chiquín Baños.docx (D113702888)
1

SA **0 TESIS Chafla 10 03 2020.docx**
Document 0 TESIS Chafla 10 03 2020.docx (D65202147)
1

Análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la Reserva Ecológica Antisana mediante sistemas de información geográfica de los períodos 1990 – 2020.

Chimbo Salazar Gino Jacobo[1]
amb2017021@uea.edu.ec
Paredes Quishpilema Gabriela Estefanía[2]
amb2017111@uea.edu.ec
Quevedo Amay Deisy Valeria M. Sc[3]
dv.quevedoa@uea.edu.ec

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

Resumen

El objetivo principal de este estudio fue realizar un análisis de los cambios dinámicos en la cobertura vegetal y uso de suelo de la Reserva Ecológica Antisana. Por medio del análisis multitemporal sobre la capa vegetal y uso de suelo que comprende una superficie de 1205 km^2 aproximadamente y cubriendo un rango total de 30 años (1990-2020). Se utilizó los mapas base del MAATE y se mapeó e identificó las capas de suelo, de los períodos 1990-2000, 2000-2008, 2008-2020. Este estudio multitemporal orientó al análisis de transiciones de los distintos tipos de cobertura, a lo largo del período de estudio.

A partir de estos mapas se estableció los cambios y la tasa anual de cambio (TAC). Posteriormente, se elaboró la matriz de transición o tabulación cruzada, en donde se calculó las pérdidas y ganancias con lo que se determinó el aumento o disminución de las coberturas y uso de suelo para el período 1990-2020. Entre los resultados se destaca que la Reserva Ecológica Antisana sufrió un cambio total de 68,44 km^2 (6844 ha), de las cuales se redujeron las siguientes coberturas como: bosque nativo (7,34 km^2), glaciar (7,09 km^2) y vegetación arbustiva (17,60 km^2). Asimismo, existen coberturas que aumentaron sus áreas como es el caso de área sin cobertura vegetal (13,61 km^2), tierra agropecuaria (9,53 km^2) y páramo (11,13 km^2).

Palabras Clave: cobertura vegetal, uso de suelo, análisis multitemporal, transiciones.

Abstract

The main objective of this study was to carry out an analysis of the dynamic changes in the vegetation cover and land use of the Antisana Ecological Reserve.

Through the multitemporal analysis on the vegetal layer and land use that comprises an area of approximately 1205 km^2 and covering a total range of 30 years (1990-2020). MAATE base maps were used, and soil layers were mapped and identified, from the periods 1990-2000, 2000-2008, 2008-2020. This multitemporal study focused on the analysis of transitions of the different types of coverage, throughout the study period.

From these maps the changes and the annual rate of change (TAC) were established. Subsequently, the transition matrix or cross-tabulation was elaborated, where the gains and losses were calculated, which determined the increase or decrease in land cover and use for the period 1990-2020. Among the results it is highlighted that the Antisana Ecological Reserve underwent a total change of 68.44 km^2 (6844 ha), of which the following covers were reduced such as: native forest (7.34 km2), glacier (7.09 km^2) and shrub vegetation (17.60 km^2). Likewise, there are coverages that increased their areas such as the area without vegetation cover (13.61 km^2), agricultural land (9.53 km^2) and paramo (11.13 km^2).

Keywords: vegetation cover, land use, multitemporal analysis, transitions.

Introducción

En los últimos tiempos las presiones antrópicas, cambio climático, crecimiento poblacional y el consumismo ha ido provocando la pérdida de la cobertura vegetal de los diferentes ecosistemas a nivel mundial, nacional y local. La cobertura vegetal y el uso de suelo han ido cambiando gravemente, modificando totalmente los paisajes naturales (gran y pequeña escala). Un análisis que se ha realizado recientemente a nivel nacional de los modelos climáticos que toma como referencia el periodo de 1981 – 2010 arrojó como resultado que la temperatura media anual ha incrementado 0,6ºC y que para el periodo 2011 – 2040 incrementará un 2,8ºC (Cadilhac et al., 2017). Es así que Manciati et al., (2014) menciona que como consecuencias del incremento de la temperatura a causa de las concentraciones de los gases de efecto invernadero han provocado el deshielo de los glaciares. Antisana también ha sufrido cambios a causa del incremento de temperatura que ha disminuido la cobertura de su glaciar.

La problemática radica en las actividades de origen agropecuario, cambio climático e incendios forestales, que afectan en gran medida al glaciar, a la vegetación de páramo (potrerillos y pastizales) y bosque nativo de los diferentes ecosistemas que posee la Reserva Ecológica Antisana (REA). Lo cual degrada la cobertura vegetal natural de la

zona, trayendo como consecuencia impactos ambientales negativos, afectando así a la diversidad tanto en la flora como también en la fauna presente en el área, así lo indica el estudio de vulnerabilidad de la biodiversidad que se encuentra dentro del "Proyecto de adaptación al efecto del retroceso acelerado de glaciares en los Andes Tropicales PRAA" (Consorcio Intercooperation - UICN, 2014).

Los páramos son muy importantes ya que provisionan y regulan los recursos hídricos. La reducción de los glaciares y caudales hídricos en los Andes tropicales tiene grandes consecuencias ya que muchas poblaciones son abastecidas del suministro de agua (Díaz, 2018). El volcán Antisana provee de agua potable a 750 000 habitantes de la zona sur de Quito. Es fundamental el estudio de la pérdida del glaciar y de las diferentes capas vegetativas puesto que los servicios ecosistémicos que presenta la reserva son de suma importancia y acarrean consecuencias a la población. (Laso, 2020)

La importancia de este estudio consiste en determinar la dinámica que ha tenido en estos treinta años la cobertura vegetal del Antisana, conociendo los distintos tipos de cambios que han provocado transformaciones en las formaciones vegetales originales. Con el análisis multitemporal se pretende identificar los grados de intervención en las diferentes zonas a fin de que posteriormente haya datos base para diferentes investigaciones en la REA. Los resultados a obtener en este trabajo podrían servir en nuevos estudios o como bases para planes de manejo ambiental, evaluación de impactos dentro de la reserva o para medidas de restauración.

Como Formulación del problema se ha planteado lo siguiente: ¿Qué capas vegetativas han sufrido cambios significativos durante los periodos de 1990 – 2020?

Esta investigación tiene como objetivo principal realizar el análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la Reserva Ecológica Antisana mediante el uso de cartografías de los años 1990 al 2020. Para ello primero se realiza un análisis de los aspectos biofísicos de la REA. Posterior se elabora las cartografías de los años 1990, 2000, 2008 y 2020. Por último, se identifica los cambios ocurridos de la cobertura vegetal de los últimos 30 años mediante interpretación visual y automatizada con ArcMap 10.4.

El motivo de esta investigación es debido a los cambios que se dado sobre la cobertura vegetal en Ecuador y en diferentes partes del mundo. La Reserva Ecológica Antisana es una de las áreas protegidas de mucha importancia a nivel nacional. Sin embargo, las dinámicas de la alteración de la cobertura vegetal son complejas y provocan

transformaciones inesperadas tanto en la estructura como en la funcionalidad del medio ambiente; y a causa de ello, ponen en riesgo la estabilidad del equilibrio dinámico de este tipo de ecosistema y la sostenibilidad para las generaciones venideras. Entre los principales impactos potenciales está el cambio climático que produce alteraciones al glaciar como el derretimiento de este (Cadilhac et al., 2017).

La información que se generó será de gran ayuda para las investigaciones venideras estableciendo directrices para una toma decisión adecuada, con el fin proponer visiones alternativas que sirvan de guía para analizar los resultados del diagnóstico de las distintas variables que influyen sobre ello.

Metodologías

El presente estudio se realizará en la Reserva Ecológica Antisana, la cual es un área protegida, en su interior existe páramos y bosques andinos orientales. La REA está ubicada en la parte oriental de la cordillera de los Andes, al sureste de Quito, abarcando las provincias de Napo y Pichincha. El área de estudio se encuentra en un rango altitudinal de 1.400 – 5.758 m.s.n.m. La reserva cubre gran parte de los páramos adyacentes al volcán Antisana y se expande hacia el norte desde la cuenca del río Tambo hasta la vía Pifo – Papallacta comprendiendo una extensión alrededor de 120.000 hectáreas (Zambrano, 2018).



Figura 1: Mapa de la ubicación del área de estudio.

El presente estudio se desarrolló en una investigación descriptiva comparativa. Ya que se realizaron comparaciones de las características como también las variables en base a una revisión bibliográfica de documentos y estudios similares (Hernández et al., 2014). Además, para el desarrollo se utilizó sistemas de información geográfica (SIG) con el objetivo de elaborar cartografías de los cambios que presenta la Reserva Ecológica Antisana en los últimos 30 años. Posterior a la obtención de los mapas de los diferentes periodos se realizó un análisis para la obtención de las variaciones que se ha producido en el periodo de estudio establecido.

Para el análisis de los aspectos biofísicos la información provino de la base de datos Google academic y Way back Machine. Mientras que para la identificación de los cambios ocurridos de las coberturas vegetales de la Reserva Ecológica Antisana se realizó el análisis multitemporal ya que es posible hallar cambios de la evolución del medio natural en relación con las repercusiones de la acción humana entre diferentes fechas de referencia (Cevallos, 2016). Se procedió a la elaboración de mapas de la cobertura y uso de suelo de los años 1990, 2000, 2008 y 2020 con el Software ArcMap. Los mapas fueron ejecutados en una escala de 1: 100 000 y con el siguiente procedimiento:

Indagación y generación de las cartografías de los cambios de la pérdida de cobertura vegetal

La fuente de información cartográfica base corresponde a shapefiles de Cobertura y Uso de la Tierra de los años mencionados anteriormente, obtenidos de la página oficial del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica con sitio en: http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/, también se utilizó el shapefile de Patrimonio de áreas naturales para delimitar el área de la Reserva Ecológica Antisana.

Elaboración de cartografías base

Los shapefiles de cobertura vegetal de los diferentes períodos se colocaron en ArcMap al igual con el Shapefile de patrimonio de áreas naturales, posterior se realizó un corte del área que se necesita (área de la Reserva Ecológica Antisana) con la herramienta *Clip* para mejorar la percepción del análisis de la información cartográfica.

Definición de la leyenda para la caracterización de la cobertura

Para el estudio multitemporal es necesario realizar una identificación y clasificación de categorías principales que presenta el área. De acuerdo con el mapa de

cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental se consideró tomar como referencia para la leyenda de las coberturas el Nivel II ya que presentan clases de cobertura y uso de suelo más detallada para un mejor análisis.

Tabla 1.

Leyenda Temática de Coberturas.

Nivel I	Nivel II
Bosque	Bosque Nativo
	Plantación Forestal
Tierra Agropecuaria	Cultivo Anual
	Cultivo Semipermanente
	Cultivo Permanente
	Pastizal
	Mosaico Agropecuario
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Arbustiva
	Vegetación Herbácea
	Páramo
Cuerpo de Agua	Natural
	Artificial
Zona Antrópicas	Área Poblada

Fuente. adaptado de MAE-MAGAP , (2015)

Determinación de los porcentajes de las principales capas de cobertura

Una vez ya definida las categorías se procedió a calcular los porcentajes de las coberturas, mediante ArcMap. Se introdujo el clip de la zona de estudio, posterior se calculó el área de los polígonos en km^2 con la herramienta *Calculate Geometry*. Una vez ya obtenido el área se procedió a realizar la agrupación de estos polígonos para sumarlos por las categorías principales para el análisis, con la ayuda de la herramienta *Dissolve* la cual permite simplificar los polígonos de igual categoría o cobertura. Después se obtiene la sumatoria de cada una de las categorías y a continuación se calcula los porcentajes de las coberturas con la herramienta *Field Calculator* en donde se hizo una regla de tres con el valor total del área de la capa vegetativa dividido con la sumatoria total de la reserva en km^2 y multiplicado por 100.

Cuantificación de los cambios de la cobertura

Con las superficies de cada cobertura vegetal se logra ver las variaciones del área que comprende la Reserva Ecológica Antisana comparando con los diferentes años (1990-2020). Para calcular la diferencia que existe entre las clases de cobertura, se empleó la metodología de Tabulación cruzada, ya que con esta se puede evaluar la pérdida o el aumento de área en km^2 de cada cobertura del período de estudio que abarca el año 1990 y el año 2020. Se realizó con la utilización del software ArcMap 10.4, empleando la herramienta *Tabulate Area* que automáticamente genera la matriz (Columba et al., 2016).

Con la matriz de tabulación cruzada se determinó las ganancias y las pérdidas. Para calcular las *Pérdidas,* se realiza el cálculo con los valores de la Columna Total menos la persistencia de cada tipo de cobertura. Indica la proporción entre la fecha 1 y fecha 2. Las *Ganancias,* se calculan restando los valores de la Fila total y la persistencia de cada tipo de cobertura, lo que nos indicará la proporción entre la fecha 1 y fecha 2 (Pineda et al., 2015).

También se calculó la tasa de cambio promedio anual de las coberturas y uso de tierra con unidades de medida km^2/año implementado por Figueredo et al., (2020). con la siguiente ecuación:

$$TAC = \frac{(Superficie_2 - Superficie_1)}{n}$$

Donde:

$Superficie_2$ = es el área en km^2 del periodo final de estudio

$Superficie_1$ = es el área en km^2 del periodo inicial de estudio

n= es el número de años de estudio

Resultados

Aspectos biofísicos de la Reserva Ecológica Antisana

Debido a la ubicación geográfica que se encuentra tiene un gran cantidad de recursos hídricos como: humedales, ríos, lagunas y los bosques montanos proveen de agua a la capital del país (ECOLAP & MAE, 2007). Según el Instituto Geofísico el Antisana es un Estratovolcán compuesto activo. Debido a la actividad volcánica que ha

tenido a lo largo de los años, comprende de grandes capas de materiales piroclásticos, formando unidades morfológicas tales como: cumbres, planicies, edificio volcánico y vertientes montañosas (Zambrano, 2018). El volcán del Antisana comprende de un casquete glaciar también de la franja peri glaciar y de muchas laderas, en cuanto a las planicies existen dos tipos: palustres-lacustres y planicies inclinadas (Alvarado, 2009, p. 48).

Debido a los pisos altitudinales que abarca tiene como resultado una variación en su clima que va desde los -0.6 hasta los 15º C. A demás presenta precipitaciones anuales altas en un rango de 990,8mm hasta los 1259,1 mm (Zambrano, 2018). Según el INAMHI la reserva cuenta con una presión atmosférica de 692,5hPa y con 100% de humedad del aire (Laso, 2020).

La vegetación que presenta posee una gran variedad especies florísticas así lo afirman en los estudios realizados por Balslev y Fuentes quienes mencionan que los bosques montañosos de la REA tienen un alto endemismo y albergan casi la mitad de especies florística de todo el país (ECOLAP y MAE, 2007). Algunas de las especies que más sobresalen son: almohadillas, chiquiragua (*Chuquiraga jussieui)*, variedad de orquídeas, musgos. También se ha convertido en un refugio para especies amenazadas como es el caso de cedro (*Cedrela odorata*), palma de ramos (*Ceroxylon echinulatum*), nogal (*Juglans neotropica*), arrayán (*Myrcianthes rhopaloides*), laurel de cera (*Myrica pubescens*), motilón (*Hyeronima macrocarpa*) (Andrade, 2016).

Debido a que se encuentra colindante con la Reserva Ecológica Cayambe-Coca y el Parque Nacional Sumaco Napo-Galeras existe gran biodiversidad, favoreciendo el mantenimiento de poblaciones de fauna que necesitan desplazarse ampliamente (ECOLAP & MAE, 2007). Según Zambrano (2018) debido a la conservación de los hábitats dentro de la REA se ha vuelto un refugio para especies en peligro de extinción como también especies vulnerables tal es el caso del cóndor (*Vultur gryphus*) y el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*). Estudios anteriores menciona que los mamíferos existentes dentro de la reserva representan el 19,78% del total de mamíferos del país, de igual manera las aves que habitan en el área representan el 26% del total que se tiene registro en el país, del mismo modo los anfibios y reptiles se evidencia que tienen el 10,45% del total de especies registradas a nivel nacional (Laso, 2020).

Mapa de transiciones de cobertura vegetal y uso de suelo: 1990-2020

Se realizaron cartografías de la cobertura vegetal y uso de suelo con base en el Ministerio del ambiente, agua y transición ecológica (MAATE) de los años 1990, 2000, 2008 y 2020 (**ver Anexo 1**, **Anexo *2***; **Anexo *3*, Anexo *4*)** resultado de la aplicación de shapefiles de capas vegetales: La leyenda para estas cartografías corresponde a los tipos de cobertura vegetal del primer año (1990): área sin cobertura vegetal, bosque nativo, glaciar, natural (agua), pastizal, páramo, tierra agropecuaria, vegetación arbustiva y vegetación herbácea y; para el año 2020, se incorporó la cobertura de área poblada e infraestructura. Así mismo se pudo identificar la desaparición de la categoría pastizal para el año 2020.

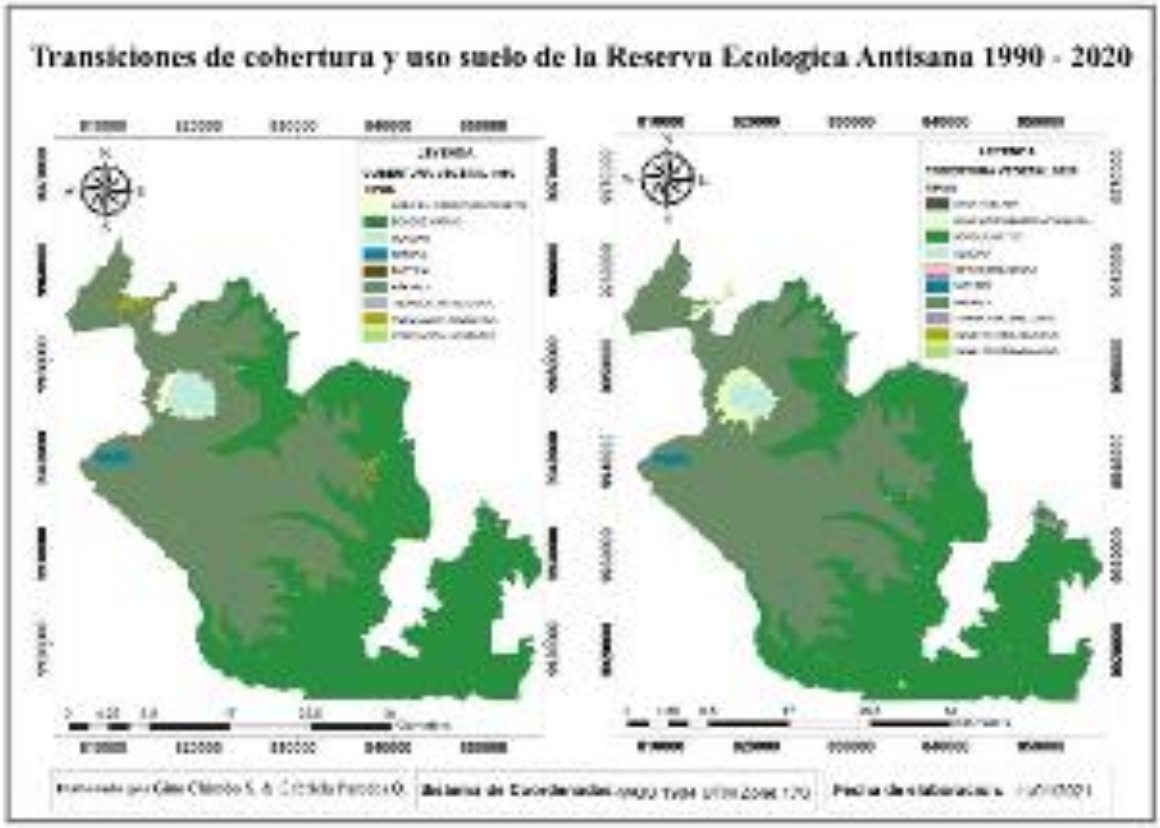


Figura 2. Transiciones de cobertura vegetal y uso de suelo de la Reserva Ecológica Antisana 1990-2020.
Fuente. Elaboración propia con base en MAATE, (2021).

La cartografía de la **Figura 2** de transiciones de cobertura y uso de suelo pertenece a los mapas correspondientes del año 1990 y 2020.

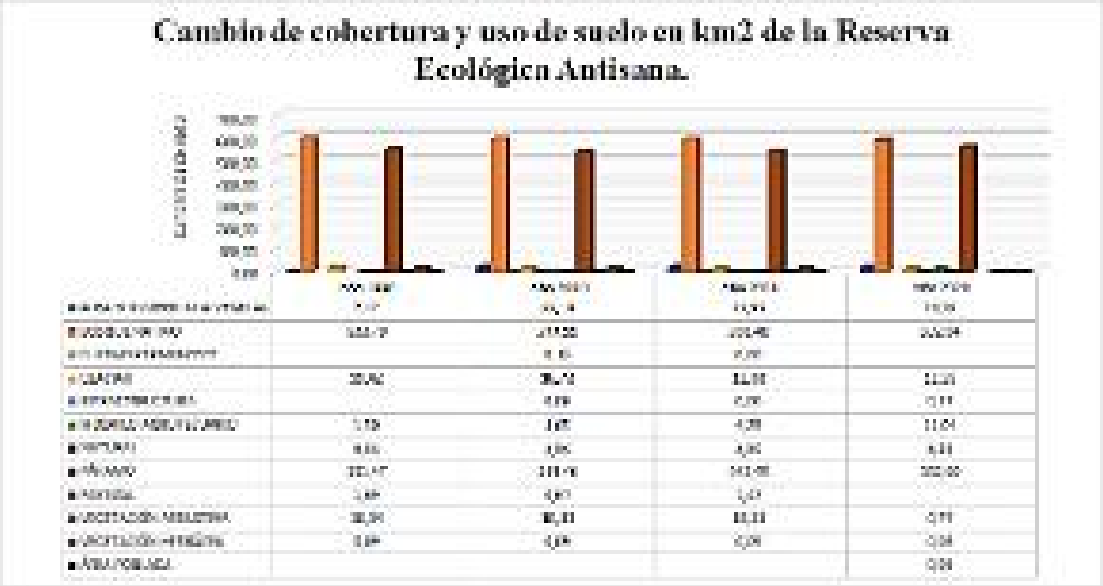


Figura 3. Cambio de cobertura y uso de suelo en km2 de la Reserva Ecológica Antisana.
Fuente. Elaboración propia.

Con respecto a la **Figura 3** las capas vegetales que presentan transformaciones dinámicas son: área sin cobertura vegetal de 7,17 km2 (1990) a 20,78km2 (2020), bosque nativo de 600,78 km2 (1990) a 592,94 km2 (2020), glaciar de 19,42 km2 (1990) a 12,33 km2 (2020), mosaico agropecuario de 1,50 km2 (1990) a 11,04 km2 (2020), páramo 551,47 km2 (1990) a 562,60 km2 (2020), pastizal de 1,69 km2 (1990) a 0 km2 (2020) y vegetación arbustiva de 18,34 km2 (1990) a 0,74 km2 (2020).



Figura 4. Cambio de cobertura y uso de suelo en porcentaje de la Reserva Ecológica Antisana.
Fuente. Elaboración propia.

Los resultados de la **Figura 4** muestran valores del área de estudio: la categoría área sin cobertura vegetal con valor mínimo del 0,59% en 1990 pasando a tener un valor máximo de 1,72% en 2020, mosaico agropecuario aumentó significativamente su cobertura que pasó de 0,12% en 1990 a 0,92% en 2020, páramo ganó áreas de 45,73 % en 1990 a 46,66% en 2020, bosque nativo en el año 1990 representa un valor de 49,82% el cual disminuyó a 49,17% en 2020, glaciar en el año 1990 poseía una cobertura que representa el 1,61% disminuyendo a 1,02% en 2020, pastizal redujo su cobertura de 0,14% en 1990 a 0% en 2020. Asimismo, la vegetación arbustiva perdió sus coberturas drásticamente de 1,52% en 1990 a 0,06% en 2020.



Figura 5. Cambios de las coberturas vegetativas en los periodos de estudio.
Fuente. Elaboración propia.

Según la **Figura** se aprecia los cambios de las coberturas vegetales en los tres periodos de estudio. En donde el área sin cubertura vegetal en el periodo 1990 – 2000 se ve un cambio notorio de 15,03 km^2 a comparación de los dos periodos que no se ve una gran transformación. Otra capa vegetativa que se puede evidenciar cambios visibles es la de páramo, que para el periodo 1990 – 2000 tiene una pérdida de 12,01 km^2 mientras que para el periodo 2000 – 2008 gana un poco de área a 3,03 km^2 y para el periodo 2008 – 2020 vuelve a ganar mucha más área llegando a los 20,11 km^2. En cuanto a la vegetación arbustiva se ve una gran disminución en el periodo 2008–2020 a comparación de los periodos anteriores. Así mismo se puede evidenciar que el glaciar ha sufrido cambios significantes, en el periodo 1990-2000 perdió 2,64 km^2 para el siguiente periodo 2000-

2008 siguió perdiendo cobertura con un valor de 4,48 km^2 y para el periodo 2008-2020 aumento un poco con un valor de 0,03 km^2.

Cambios dinámicos de la cobertura vegetal y uso de suelo

Los resultados alcanzados muestran para los cuatro diferentes años, las cantidades de superficie, porcentaje y la tasa anual de cambio sobre la cual la capa vegetal que mayor modificación tuvieron es: área sin cobertura vegetal, bosque nativo, glaciar, mosaico agropecuario, páramo y vegetación arbustiva.

Tabla 2.

Áreas relativas, absolutas y tasa de cambio anual de los diferentes tipos de coberturas vegetales de la Reserva Ecológica Antisana para los años 1990, 2000, 2008 y 2020.

TIPOS DE COBERTURA	1990		2000		2008		2020		CAMBIOS (Km2)				TAC
	ÁREA (Km2)	%	ÁREA (Km2)	%	ÁREA (Km2)	%	ÁREA (Km2)	%	1990-2000	2000-2008	2008-2020	1990-2020	
AREA SIN COBERTURA VEGETAL	7,17	0,59	22,19	1,84	22,95	1,90	20,78	1,72	15,03	0,76	-2,18	13,61	0,45
BOSQUE NATIVO	600,78	49,82	599,11	49,68	598,48	49,63	592,94	49,17	-1,68	-0,63	-5,54	-7,84	-0,26
CULTIVO PERMANENTE			0,12	0,01	0,00	0,00			0,12	-0,12	0,00	0,00	0,00
GLACIAR	19,42	1,61	16,78	1,39	12,30	1,02	12,33	1,02	-2,64	-4,48	0,03	-7,09	-0,24
INFRAESTRUCTURA			0,06	0,01	0,06	0,01	0,17	0,01	0,06	0,00	0,11	0,17	0,01
MOSAICO AGROPECUARIO	1,50	0,12	3,65	0,30	4,29	0,36	11,04	0,92	2,15	0,64	6,75	9,53	0,32
NATURAL	5,34	0,44	5,34	0,44	5,34	0,44	5,13	0,43	0,00	0,00	-0,21	-0,21	-0,01
PÁRAMO	551,47	45,73	539,46	44,74	542,49	44,99	562,60	46,66	-12,01	3,03	20,11	11,13	0,37
PASTIZAL	1,69	0,14	0,67	0,06	1,47	0,12			-1,02	0,80	-1,47	-1,69	-0,06
VEGETACIÓN ARBUSTIVA	18,34	1,52	18,33	1,52	18,33	1,52	0,74	0,06	-0,02	0,00	-17,58	-17,60	-0,59
VEGETACIÓN HERBÁCEA	0,09	0,01	0,09	0,01	0,09	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	-0,04	-0,04	0,00
ÁREA POBLADA							0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00
TOTAL	1205,81		1205,81		1205,81		1205,81						

Fuente. Elaboración propia.

Las capas vegetales que sufrieron cambios notorios en el período 1990-2020 según la tasa anual de cambio fueron las siguientes: área sin cobertura vegetal 0,45 km^2, Bosque nativo -0,26 km^2, glaciar -0,24 km^2, infraestructura 0,01 km^2, mosaico agropecuario 0,32 km^2, natural -0,01 km^2, páramo 0,37 km^2, pastizal -0,06 km^2 y vegetación arbustiva -0,59 km^2.

Tabla 3.

Matriz de transición o tabulación cruzada con pérdidas, ganancias y persistencia de los períodos 1990-2020.

TIPO DE COBERTURA	A. SIN COBERTURA VEGETAL	BOSQUE NATIVO	GLACIAR	NATURAL	PÁRAMO	INFRAESTRUCTURA	TIERRA AGROPECUARIA	V. ARBUSTIVA	V. HERBÁCEA	TOTAL 1990	PÉRDIDAS
A.SIN COBERTURA VEGETAL	**5.30**	0.46	0.19	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	6.91	1.61
BOSQUE NATIVO	0.69	**592.21**	0.00	0.04	0.08	0.00	8.37	0.00	0.08	601.47	9.26
GLACIAR	6.72	0.00	**12.25**	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	19.24	6.99
NATURAL	0.04	0.08	0.00	**4.92**	0.81	0.00	0.12	0.00	0.00	5.97	1.05
PÁRAMO	7.76	0.04	0.04	0.15	**541.94**	0.12	0.42	0.00	0.00	550.47	8.53
PASTIZAL	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00	**0.00**	1.00	0.00	0.00	1.73	1.73
TIERRA AGROP.	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.15**	0.00	0.00	1.38	0.23
V. ARBUSTIVA	0.08	0.00	0.00	0.00	17.36	0.00	0.00	**0.88**	0.00	18.32	17.44
V. HERBÁCEA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.12	0.12
TOTAL 2020	20.59	593.75	12.48	5.11	561.54	0.12	11.06	0.88	0.08	1158.65	46.96
GANANCIAS	15.29	1.54	0.23	0.19	19.60	0.12	9.91	0.00	0.08	46.96	1205.61

Nota: Los valores de esta tabla están expresados en km^2.

Fuente. Elaboración propia.

Las pérdidas en los tipos de cobertura vegetal en el año 1990 al 2020 (***Tabla 3***) demostraron que las categorías que presentaron transformaciones fueron: bosque nativo perdiendo 9,26 km^2 el cual se transformó en área sin cobertura vegetal (0,69 km^2), natural (0,04 km^2), páramo (0,08 km2), tierra agropecuaria (8,37 km^2) y vegetación herbácea (0,08 Km^2), manteniendo una persistencia de 5,30 km2. Seguido el glaciar con pérdidas de 6,99 km2 que se transformó en área sin cobertura vegetal (6,72 km^2), páramo (0,27 km^2), con persistencia de 12,25 km^2. Pastizal con 1,73 km^2 que se transformó en bosque nativo (0,73 km^2) y tierra agropecuaria (1 km^2), con una persistencia de 0 km^2. Vegetación arbustiva con una pérdida de 17,44 km^2 en cual se transformó en páramo (17,36 km^2), manteniendo una persistencia de 0,88 km^2.

De la misma manera, para el año 2020 los tipos de cobertura vegetal que registraron ganancias fueron: área sin cobertura vegetal con 15,29 km^2, páramo con 19,60 km^2 y mosaico agropecuario con 9,91 km^2.

Discusión

El análisis multitemporal de los cambios de las capas vegetales y uso de suelo de los períodos 1990-2000 demostró que las vegetaciones que resultaron degradadas con el paso del tiempo fueron el bosque nativo, pastizal, vegetación arbustiva y glaciar el cual se modificó en mosaico agropecuario, páramo y la notable expansión del área sin cobertura vegetal. Este tipo de cambios es una actividad muy conocida por áreas pobladas, dado que la frontera agropecuaria se ha expandido debido al desarrollo humano y por causas naturales como el cambio climático. Cabe resaltar que el cambio dinámico de la cobertura vegetal y uso de suelo es una problemática a nivel mundial.

Una comparación de los tipos de capas o coberturas vegetales y uso de suelo confirma una disminución de 7,84 km^2 de bosque nativo con una tasa anual de cambio de 0,26% entre 1990 hasta 2020. Glaciar tuvo una reducción de 7,09 km^2 con una tasa anual de 0,24% entre 1990-2020. Páramo aumentó su área vegetal en 11,13 km^2 con tasa anual de cambio de 0,37%. Los cambios más notables que se pudieron observar tanto en las tablas como en las cartografías: vegetación arbustiva, se redujo drásticamente hasta casi una desaparición total de 17,60 km^2 con tasa anual de cambio de 0,59% entre 1990-2020; Aumento del área sin cobertura vegetal de 13,61 km2 con tasa anual de cambio de 0,45% entre los períodos 1990-2020.

Por otro lado, el análisis multitemporal de las transformaciones de la capa del suelo por medio de la matriz de transición permitió distinguir que todas las modificaciones en el tipo de vegetación no son necesariamente deforestación provocada, sino una serie de transformaciones naturales como los descritos anteriormente. Según Pontius et al., (2004) argumenta que la matriz evalúa la modificación total de tipos de coberturas del suelo a manera de pérdidas y ganancias. El análisis de estos aspectos permitió diferenciar entre una evolución de la cobertura claramente metodológica y una evolución del uso del suelo aleatoria. Esto contribuyó a centrarse en los indicadores más fuertes de las evoluciones sistémicas para distinguir el patrón antropogénico y el natural y, por tanto, detectar los cambios de la capa vegetal y uso del suelo con mayor precisión.

El análisis multitemporal en forma general reveló, que dichas diferenciaciones se demuestran, en primera pretensión al incremento de las acciones antropogénicas como también el cambio climático, en segunda pretensión la eficacia de información espacial de la capa vegetal y uso del suelo, siendo en muchas partes no cercana a la situación del territorio.

Conclusiones

El cambio dinámico de espacio-tiempo de las coberturas vegetales y uso de suelo de la Reserva Ecológica Antisana. Es de gran importancia este tipo de estudios, ya que comúnmente no existen bases de datos históricos que contribuyan al conocimiento de las transformaciones vegetativas. Mediante el análisis multitemporal se identificó cambios entre los años 1990 al 2020, deduciendo la evolución del medio natural o la repercusión de la actividad humana.

La REA tiene una gran diversidad de especies florísticas como también faunística. Esto debido a la ubicación geográfica que presenta variedad de pisos ecológicos altitudinales que abarca desde la zona altoandina hasta los bosques lluviosos tropicales, lo que genera diversos tipos de ecosistemas. Es hábitat de un porcentaje alto de endemismo albergando especies vulnerables y en peligro de extinción como es el caso del ave emblemática del Ecuador el cóndor andino (*vultur gryphus).* A su vez la reserva es cuna de servicios ecosistémicos como: culturales, de regulación, aprovisionamiento y soporte. Es considerada una reserva acuífera ya que abastece de líquido vital al Distrito Metropolitano de Quito.

Por medio del análisis multitemporal se logró determinar que la capa de pastizal estuvo presente en los primeros dos periodos comprendidos entre 1990–2008 y posteriormente fueron reemplazadas por bosque nativo con 0,83 km^2 y tierra agropecuaria con 1 km^2, este remplazo es dado debido a la expansión agropecuaria que los pobladores cercanos del área han introducido ganado (ovino y bovino) a demás han tenido un mal manejo del suelo quemando con frecuencia los pastizales. De igual manera se encontró coberturas que para el primer periodo de estudio no existían y aparecieron posteriormente como es el caso de la cobertura de infraestructura que apareció en el año 2000 con un valor de 0,06 km^2 (alrededor de 6 ha) esto es a causa de la construcción de instalaciones para abastecer de recurso hídrico para el Distrito Metropolitano de Quito. A este caso también se suma la cobertura de área poblada que apareció en el año 2020 ya que en la parte baja de la REA existen asentamientos humanos y la red vial que conecta Papallacta-Quito.

De acuerdo con los resultados obtenidos fueron cinco capas de cobertura vegetal que sufrieron cambios notorios en el periodo de estudio de 30 años (1990 -2020). Según la tasa anual de cambio: vegetación arbustiva perdía año con año 0,59 km^2, Bosque nativo perdía 0,26 km^2 y glaciar perdía 0,24 km^2, mientras que para las capas de: área sin cobertura vegetal aumentaba año con año 0,45 km^2 y para páramo aumentaba 0,37 km^2. De acuerdo con la matriz de tabulación cruzada realizada en el periodo 1990 – 2020, la capa que tuvo más perdidas fue la de vegetación arbustiva con un valor de 17,44 km^2 y la capa con mayor ganancia fue la de páramo con 19,60 km^2.

Recomendaciones

Para estudios futuros de análisis multitemporal de la REA se recomienda utilizar la metodología de teledetección y obtener imágenes satelitales comerciales para tener una mejor calidad de los pixeles. A demás que trabajen con una escala de 1:100 000. Esto debido a que se visualiza de mejor manera las capas de cobertura vegetal como es el caso de: mosaico agropecuario, pastizal, infraestructura, que son muy pequeñas a comparación de las capas de bosque nativo, paramo, glaciar y otras.

Los resultados que presenta este estudio podrán ser utilizados para futuras investigaciones como datos base que puede utilizarse para la toma de decisiones, actualización del plan de manejo de la REA o también para proyecciones y así se puedan determinar las áreas que se verían afectadas por los procesos naturales o antropogénicos.

La proyección también tiene como objetivo obtener información de la magnitud, crecimiento, distribución de la población.

Referencias

Almeida, P., Duriavich, M., Napolitano, R., & Feoli, E. (2009). *Aplicación de técnicas SIG , Sensoramiento Remoto y Análisis Multicriterio para la Detección de Impactos Antropogénicos en la Cobertura de Suelos y su Proyección para el 2010 . Caso de estudio : Estuario de Santos (Brasil).* Revista Tecnológica ESPOL, 22, 73–79. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Almeida+P%2C+Duriavich+M%2C+Napolitano+R%2C+Feoli+E.+Aplicación+de+técnicas+SIG+%2C+Sensoramiento+Remoto+y+Análisis+Multicriterio+para+la+Detección+de+Impactos+Antropogénicos+en+la+Cobertura+de+Suelos

Alvarado, C. (2009). *Caracterización Hidrogeológica de las Vertientes Occidentales del Volcán Antisana como parte de los Estudios de los Glaciares y Páramos frente al Cambio Climático.* Universidad Central del Ecuador.

Andrade, R. (2016). *Propuesta técnica para el desarrollo de actividades ecoturísticas en la Reserva Ecológica Antisana* [Universidad Iberoamericana del Ecuador UNIBE]. http://repositorio.unibe.edu.ec/bitstream/handle/123456789/213/ANDRADE FLORES RAYMOND DAVID.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., & Calderon, E. (2017). *Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador.* Revista Neotropical Biodiversity, 3(1), 168–181. https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247

Cevallos, X. (2016). *Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la Parroquia Vilcabamba* [Universidad Técnica Particular de Loja]. http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/15545

Chóez, I. (2018). *Análisis de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el área de influencia del canal azúcar-río Verde mediante teledetección* [Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35083

Columba, M., Quisilema, W., Padilla, O., & Toulkeridis, T. (2016). *Identificación de zonas de recurrencia de incendios forestales mediante análisis multitemporal y aplicación de índices espectrales, en el distrito metropolitano de Quito.* Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa, 7–13(May). https://www.researchgate.net/publication/317017416_IDENTIFICACION_DE_ZONAS_DE_RECURRENCIA_DE_INCENDIOS_FORESTALES_MEDIANTE_ANALISIS_MU

LTITEMPORAL_Y_APLICACION_DE_INDICES_ESPECTRALES_EN_EL_DISTRITO_METROPOLITANO_DE_QUITO/download

Consorcio Intercooperation - UICN. (2014). *Plan de Manejo Adaptativo de la parte alta de la Reserva Ecológica Antisana*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Plan-de-Manejo-Adaptativo-REA.pdf

Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Cueva, J. (2012). *Elaboración y análisis del estado de la cobertura vegetal de la provincia de Loja - Ecuador* [Universidad Internacional de Andalucia]. In Universidad Internacional de Andalucía. https://dspace.unia.es/handle/10334/1794

Díaz, C. del C. (2018). *Análisis del comportamiento de las frecuencias de valores extremos de temperatura y precipitación en zonas de alta montaña: caso de estudio Volcán Antisana* [Escuela politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19488/1/CD-8886.pdf

ECOLAP, & MAE. (2007). *Guía del Patrimonio de áreas naturales protegidas del ecuador.* In ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. https://www.parks-and-tribes.com/national-parks/reserva-ecologica-antisana/reserva-ecologica-antisana.pdf

Ellis, E., Hernández, I., & Romero, J. (2017). *Los procesos y causas del cambio en la cobertura forestal de la Península Yucatán, México.* Revista Ecosistemas, 26(1), 101–111. https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.16

Falcón, O. (2014). *Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, en una región del estado de Quintana Roo, México*. In Centro de investigaciones en geografía ambiental. Universidad Autónoma de México.

Figueredo, J., Ramón, A., & Barrero, H. (2020). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de manejo "Los Números" Guisa, Granma*. Revista Cubana de Ciencias Forestales, 8(1), 1–15. https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/438/html

Flores, A. J. (2018). *Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal e influencia del Programa Socio Bosque, en la Parroquia Nono, periodo 1990-2016* [Pontificia Universidad Católica de Ecuador]. http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15890%0A

Flórez, G., Rincon, A., Cardona, P., & Alzate, A. (2017). *Análisis multitemporal de las*

coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. DYNA (Colombia), 84(201), 95–101. https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759

Francou, B., Rabatel, A., Soruco, A., Sicart, J. E., Silvestre, E., Ginot, P., Cáceres, B., Condom, T., Villacís, M., Ceballos, J. L., Lehmann, B., Anthelme, F., Dangles, O., Gomez, J., Favier, V., Maisincho, L., Jomelli, V., Vuille, M., Wagnon, P., … Mendoza, J. (2013). *Glaciares de los Andes Tropicales: Víctimas del Cambio Climático* (E. Silvestre, B. Francou, & M. Villacis (eds.); CAN-PRAA). Comunidad Andina Secretaria GeneraL. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Libro-Glaciares.pdf

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (M.-H. E. S. A. DE (ed.); Sexta edic).

Laguna, D. (2012). *Propuesta de clasificación de cobertura vegetal y uso del suelo 2012 Informe final de consultoría Propuesta de clasificación de cobertura vegetal y uso del suelo 2012 Informe final de consultoría.* In Programa conjunto de las Naciones Unidas para la reducción de emisiones provenientes de deforestación y de degradación de los bosques en Panamá.

Laso, W. (2020). *Valoración económico ambiental del servicio hidrológico agua en la Reserva Ecologica Antisana* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/17982/DISERTACIÓN_Walter Laso.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vidas Silvestre. (2004). Codificación de la Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre. In Boletín Oficial del Estado.

MAATE. (2021). *Mapa interactivo*. http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/

MAE. (2015). *Cobertura y uso de la Tierra. Mapa de Cobertura y Uso de La Tierra.* https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Mapa-de-Cobertua-y-uso-de-la-Tierra.pdf

MAE, & MAGAP. (2015). *Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013 -2014, Escala 1: 100 000*. MAE-MAGAP, 1–49. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal SNI 2014/USO DE LA TIERRA/01-METODOLOGIA_MAPA_COBERTURA_USO.pdf

Manciati, C., Villacís, M., Taupin, J. D., Cadier, E., Galárraga, R., & Cáceres, B. (2014). *Empirical mass balance modelling of South American tropical glaciers: Case study of*

Antisana volcano, Ecuador. Hydrological Sciences Journal, 59(8), 1519–1535. https://doi.org/10.1080/02626667.2014.888490

Múgica, M., Montes, C., Mata Olmo, R., & Castell Puig, C. (2020). *Protected areas as tools to strengthen the connections between science, management and society*. Revista Ecosistemas, 29(1), 1–8. https://doi.org/10.7818/ECOS.1904

Orjuela, H. B. (2016). *El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria*. Revista de Ciencias Agrícolas, 33(2), 117–124.

Pineda, C., Flores, G., Castro, M., Jiménez, P., Reyes, G., & López, E. (2015). *Cambios importantes en la cobertura de la tierra y análisis de transiciones sistemáticas en un sector del occidente de Honduras*. Revista Ciencias Espaciales, 8(2), 469–492. https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2093

Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). *Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. Agriculture*, Ecosystems and Environment, 101(2–3), 251–268. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008

Rojas, V. (2013). *Los servicios ambientales*. Revista de Derecho de La Universidad de Montevideo, 12(23), 37–44.

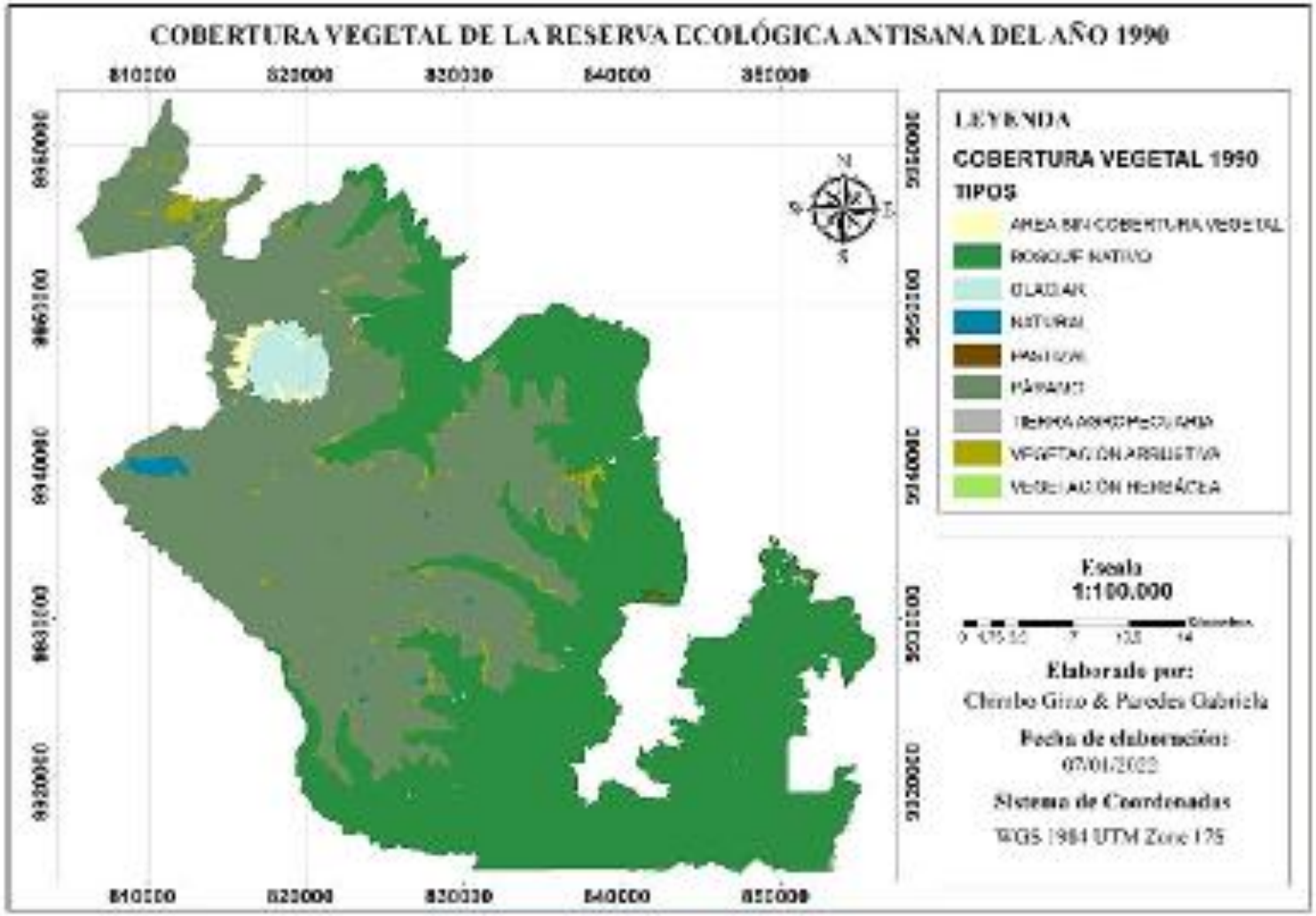
Silva, S., Sanchez, A., & Pérez, R. (2016). *Los servicios ambientales ante un cambio de paradigma*. Revista Latinoamericana El Ambiente y Las Ciencias, 34, 155–166. Ciencias ambientales; Epistemología; Pago por servicios ambientales; Servicios ecosistémicos

Valladares Borja, M. (2014). *Estudio de la variabilidad espacial y temporal de los glaciares y ecosistemas locales del Volcán Antisana*. Revista Enfoque UTE, 5(4), 1–16. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v5n4.44

Zambrano, E. (2018). *Análisis de la gestión turística de áreas protegidas, caso: Reserva Ecológica Antisana Zona Alta* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15518

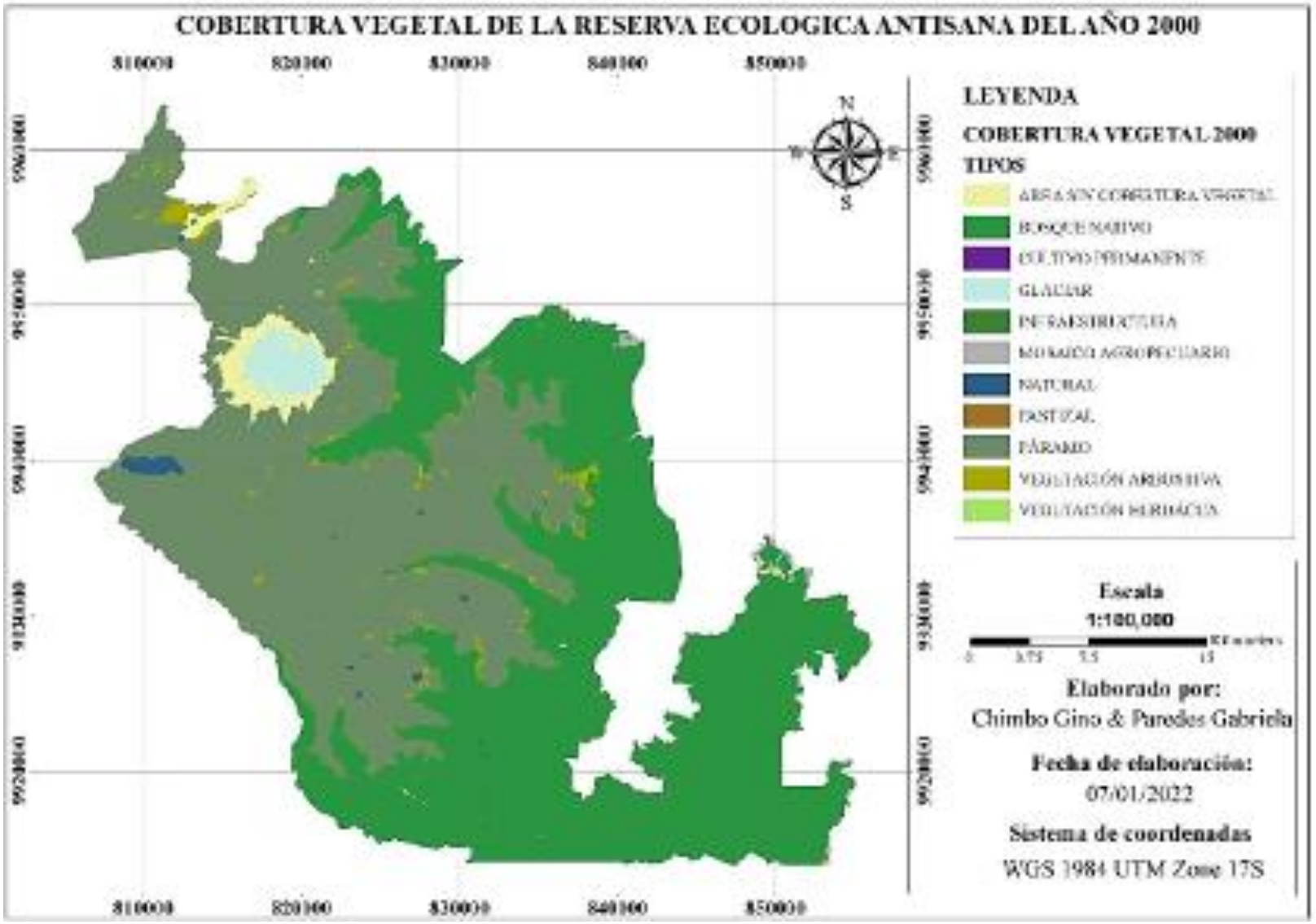
Anexos

Anexo 1. Mapa de cobertura de la REA del año 1990



Fuente: Elaboración propia con base en MAATE, (2021)

Anexo 2. Mapa de cobertura de la REA del año 2000



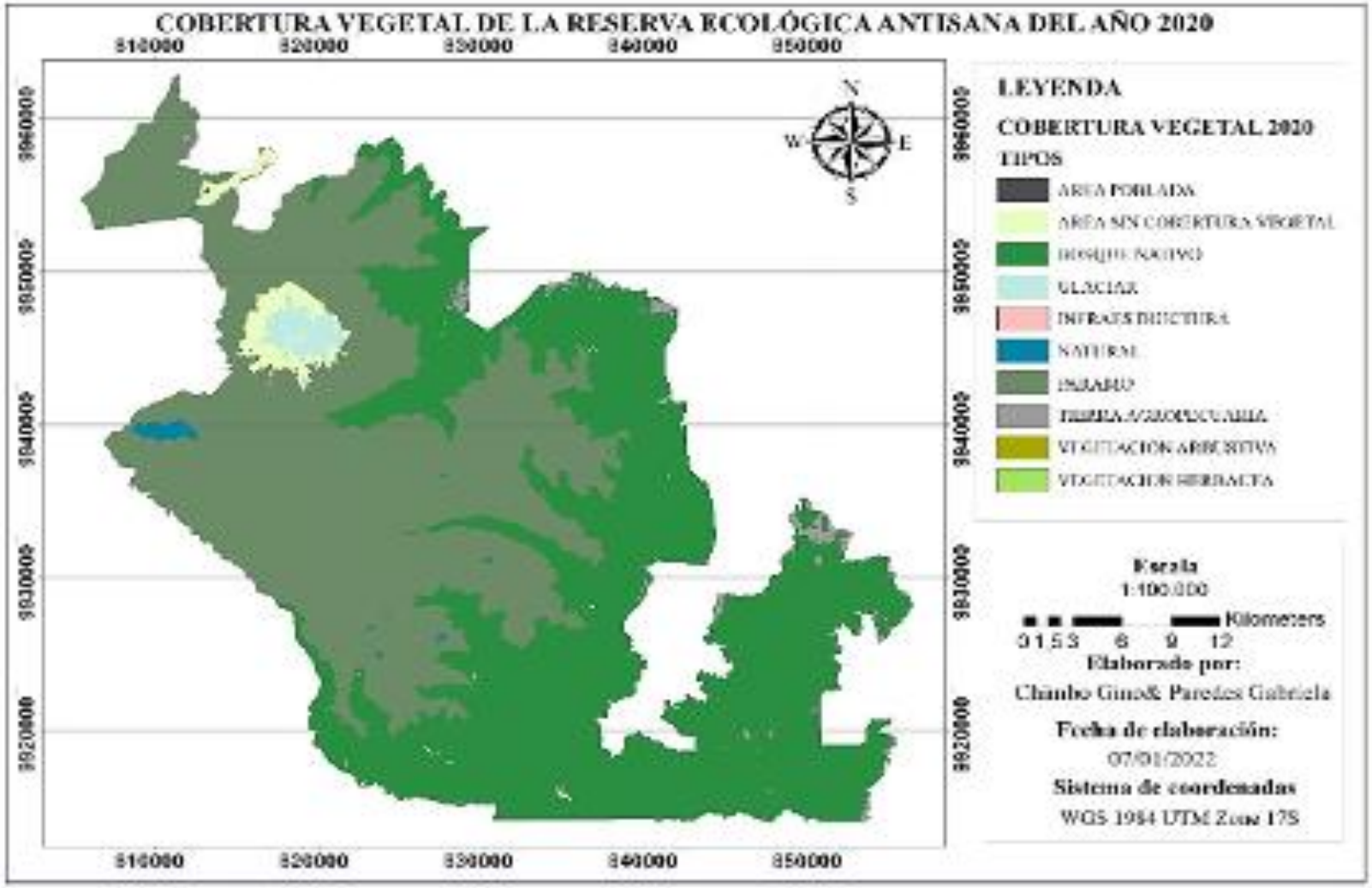
Fuente: Elaboración propia con base en MAATE, (2021)**.**

Anexo 3. Mapa de cobertura de la REA del año 2008



Fuente: Elaboración propia con base en MAATE, (2021)**.**

Anexo 4. Mapa de cobertura de la REA del año 2020



Fuente: Elaboración propia con base en MAATE, (2021)**.**

Anexo 5. Imagen satelital del año 1990



Fuente: Elaboración propia con base en Google Earth Pro**.**

Anexo 6. Imagen satelital del año 2020



Fuente: Elaboración propia con base en SASPlanet**.**

Anexo 5

Marco teórico

Según Valladares, (2014) en su investigación realizada sobre el cambio climático alude que es evidente modificaciones de los patrones climáticos, retroceso del glaciar e importantes cambios en las transformaciones ecológicas de la REA, producida por las actividades antrópicas. Así mismo menciona que el estratovolcán Antisana es de suma importancia por su alta biodiversidad y además es tomada como una reserva acuífera para los habitantes del Distrito Metropolitano de Quito. Tanto la cobertura vegetal como los glaciares sufren los efectos provocados por el calentamiento global cuya degradación es motivo de análisis y preocupación. La investigación se basó en el estudio espacial y temporal con una serie de cartografías obtenidas de los periodos 1990 – 2020 utilizando los sistemas de información geográfica.

Uso de suelo

El uso del suelo es la superficie terrestre donde el hombre realiza un sin número de actividades que puede influir en la producción de bienes o en la transformación de servicios. Como parte de los agroecosistemas, ofrecen servicios que ayudan a las actividades económicas y sociales basado en la capacidad de proporcionar elementos finitos (limitados) generando la productividad (Orjuela, 2016).

Cobertura vegetal

Es la capa de la superficie terrestre que comprende biomasas con una variedad de características fisonómicas y ambientales. La cobertura vegetal comprende pisos altitudinales compuestos por estratos de árboles, arbustos y especies rasantes (Flores, 2018).

Causas del cambio de cobertura

Las modificaciones que puede tener el suelo pueden ocurrir de forma natural, como la variación climática, erupciones volcánicas, entre otros factores, o también pueden ser de tipo antrópicos como el crecimiento urbanístico o rural, crecientes zonas agropecuarias, entre otras. Adicionalmente se pueden asociar componentes ambientales y culturales como es la topografía, calidad de suelo y factores biofísicos que son causas de pérdida o cambio de la cobertura (Ellis et al., 2017).

Efectos del cambio de la cobertura vegetal sobre la conservación de los recursos naturales

Mediante estudios de los cambios que sufre las coberturas y eso de suelo se puede predecir la tendencia de los procesos que dan la perdida de la biodiversidad, estos pueden ser debido a: la erosión, degradación, deforestación y otros factores. Los eventos naturales también pueden provocar variaciones en determinadas coberturas. Las unidades ambientales pueden cambiar por perturbaciones naturales como es el caso de las erupciones volcánicas, inundaciones, etc. También se da el cambio por actividades humanas como: los incendios, deforestación, expansión agrícola o aprovechamiento para la ganadería y otras acciones (Cevallos, 2016).

Categorías del uso de suelo

A nivel nacional se determinó las categorías del uso del suelo que fueron realizadas por ese entonces el Ministerio de Ambiente (MAE) juntamente con el Ministerio de agricultura, ganadería, acuacultura y pesca (MAGAP), en donde se establecen cuatro niveles de leyenda temática. Los niveles I y II son coberturas de interés para el MAE mientras que los niveles III y IV son tierras agropecuarias. (MAE y MAGAP, 2015). Para la realización de la investigación se tomó en consideración el nivel II ya que presenta clases de cobertura más detallada para el análisis multitemporal.

Área sin cobertura vegetal

Las áreas sin cobertura vegetal es el territorio o zonas que no presentan vegetación. Por lo general son suelos desnudos, coberturas arenosas o rocosas (Laguna, 2012).

Bosque Nativo

Según Flores, (2018) define a bosque nativo como una capa vegetativa que en está predomina generalmente árboles de especies nativas, de diferentes edades y tamaños con variedad en estratos. La Ley forestal menciona que bosque nativo es un ecosistema que puede ser primario como secundario después de haber tenido una sucesión natural. Generalmente el bosque nativo está dominado por especies nativas sin embargo alude que no se debe considerar como bosque nativo a las formaciones por especies pioneras. (Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vidas Silvestre, 2004).

Glaciar

Es denominado glaciar debido a la conformación de los volúmenes de hielo, productos de precipitaciones sólidas. Dato interesante es que a lo largo de los años los glaciares presentan registros variados. En algunos estudios el glaciar es tomado como parámetro debido a la sensibilidad que tiene ante los cambios climáticos y la reacción a las transformaciones (Francou et al., 2013).

Mosaico agropecuario

El mosaico agropecuario es el conjunto de especies cultivadas que no pueden ser individualizadas por lo que se encuentran mezcladas (MAE y MAGAP, 2015).

Páramo

Los páramos son ecosistemas con elevaciones superiores a los 3 000 msnm, por lo general se encuentra dominado por vegetaciones herbáceas y pajonales. También pueden presentar formaciones de bosques bajos y arbustivos. Por lo general siempre pasan nublados con mucha humedad por lo que es normal que sean lugares donde exista nacimientos de agua (Laguna, 2012).

Pastizales

Es el conjunto de formaciones vegetales dominadas por diferentes especies de pastos y estas pueden ser cultivados o de origen natural con fines productivos (Cueva, 2012).

Vegetación Arbustiva y Herbácea

Es el área compuesta por un conjunto de arbustos y vegetación herbácea que fue producida por un proceso biológico natural, en cual no se incluyen áreas agropecuarias. (MAE y MAGAP, 2015).

Servicios Ambientales afectados

Los servicios ambientales son componentes de la naturaleza como los ecosistemas, bosques, biodiversidad, que sin la intervención del hombre permiten la vida sobre el planeta Algunos de los beneficios o servicios son: la captación del carbono, alimentación (servicios de provisionamiento), regulación climática entre otros. (Rojas, 2013).

Para la conservación de los servicios ambientales es fundamental tener instrumentos de gestión y de política como también ordenamientos territoriales y de gestión. La conservación de estos son primordiales para un desarrollo económico y el bienestar de social (Silva et al., 2016).

Según la Ley Forestal define a servicios ambientales afectados como:

> Bajo el punto de vista profesional, un comisión deberá adquirir una lista de los servicios ambientales afectados por el ejercicio destructivo de los distintos ecosistemas, diferenciando aquellas coberturas vegetales que todavía puede ser regenerados, por medio de una sucesión de actividades llamados reversibles y aquellos que alcanzan a ser recuperados se los nombrará como degradados.(Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vidas Silvestre, 2004)

Áreas Protegidas

Las áreas protegidas son santuarios que no se tocan y además son herramientas para la protección y conservación de biodiversidad. Las áreas protegidas son lugares físicos valorados como importantes y como un mecanismo fundamental para la preservación de la naturaleza a largo plazo garantizando los servicios ecosistémicos y el bienestar social.(Múgica et al., 2020)

En la constitución de nuestro país menciona en el:

> Art. 405. El estado ecuatoriano garantizará la conservación de los diferentes ecosistemas y la sostenibilidad de los servicios ecológicos a través del sistema nacional de áreas protegidas. El Estado determinará los recursos financieros importantes para la sostenibilidad económica del sistema, y fomentará la cooperación de las asociaciones, pueblos y nacionalidades que han ocupado ancestralmente los sitios protegidos en su dirección. El sistema se compondrá por las entidades estatales, gobiernos autónomos descentralizados, privados y comunitarios, y el control será ejercida por el Estado.(Constitución de la Republica del Ecuador, 2008, p. 191).

Patrimonio Nacional de Áreas Naturales

Es definido como la agrupación de áreas silvestres cuya finalidad es la conservación y salvaguardar la flora y fauna silvestre. Tiene características escénicas y ecológicas permitiendo generar áreas de recreación, servicios ecosistémicos y bienes, a

su vez manteniendo un equilibrio del ecosistema. (Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vidas Silvestre, 2004)

Sistemas de Información Geográfica

Los sistemas de información geográfica SIG son elementos, datos, estadísticas o mapas que albergan información georreferenciada, los cuales permiten analizar e interpretar hechos relacionados con la superficie terrestre, dando paso a una gestión de datos especiales y almacenamiento que posteriormente sirven para la elaboración de complejos modelos y la obtención de resultados en base al análisis de los datos. (Chóez, 2018).

Debido al abanico de utilidades que brinda los SIG, también es utilizado como una herramienta para localizar impactos ambientales asociados con el uso del suelo llegando a complementar a un análisis de la dinámica de los cambios de la cobertura que sufre con el pasar del tiempo. En cuanto el uso de sistemas de información geográfica en el análisis multitemporal es utilizado para la cuantificación y medición de las capas vegetativas, lo que se realiza mediante una serie procedimientos y tratamientos a partir de la obtención de imágenes satelitales.

Análisis multitemporal

El análisis multitemporal consiste en la comparación de imágenes, mapas o cartografías en donde se comparan las coberturas en diferentes fechas o periodos de tiempo, permitiendo una evaluación de la situación de las coberturas seleccionadas para el estudio. El uso de la metodología del análisis multitemporal también puede emplearse para la determinación del grado de afectaciones de eventos naturales o antrópicos en los ecosistemas (Flórez et al., 2017).

El análisis multitemporal es utilizado como una herramienta para procesos de decisiones políticas y planificaciones ambientales, ya que mediante del resultado se puede identificar zonas vulnerables, además permite realizar proyecciones de escenarios a futuro si son identificadas las amenazas sobre el área, posteriormente se puede dar un control y con el pasar el tiempo con una buena gestión administrativa-ambiental se pueda suprimir. Esta metodología se basa fundamentalmente en el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) (Almeida et al., 2009).

Matriz transición o tabulación cruzada

La matriz de transición parte de un nivel de análisis general y se acerca a lo especifico de los cambios que se producen en los territorios de estudio, en esta tabla se denota: el cambio neto como también total, la ganancia, la perdida, la persistencia, el intercambio, comparando los cambios que se observa en las cartografías (Falcón, 2014).