



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

ESCUELA DE GEOGRAFÍA

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA GEÓGRAFA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**“ANÁLISIS DE LA DINÁMICA TEMPORAL DEL ÍNDICE DE
VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) PARA
LOS AÑOS 1986, 2001 Y 2017 EN LA RESERVA ECOLÓGICA
COTACACHI CAYAPAS, IMBABURA, MEDIANTE EL USO DE
GOOGLE EARTH ENGINE”**

ANGÉLICA PATRICIA ALDÁS ANDRADE

DIRECTOR: MTR. JORGE LUIS CAMPAÑA

QUITO, 2019

DEDICATORIA

Dedico por entero todo el esfuerzo que significó para mí la presente disertación a la memoria de mi amada Ñaña Lucy, quien siempre confió en mí, apoyándome plenamente en cada etapa de mi vida, siendo pilar fundamental en mi formación personal, profesional y sobre todo espiritual.

Con su ejemplo me mostró el amor incondicional a Dios y al prójimo, y en ella conocí valores como la sabiduría, la paciencia y la generosidad. Su vida religiosa dedicada al servicio de Dios me brindó una nueva apreciación del significado y la importancia de la fe y hoy me siento afortunada por haber sido testigo de su legado, la bondad hacia los demás; vivió siempre acorde lo dictaminado por sus creencias, ayudando tanto a familiares como a todo aquel que la necesitaba. Su recuerdo y ejemplo me mantuvieron soñando cuando quise rendirme. Ahora desde el cielo, donde el amor se hace eterno, continúa aún guiando mis pasos.

Angélica

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo, quiero agradecer en primer lugar a Dios por todas las bendiciones que me otorga día tras día.

De igual manera quiero extender mi total gratitud a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a la Facultad de Ciencias Humanas, especialmente a mi maestro Jorge Luis Campaña quien con paciencia guió paso a paso este trabajo; a mis maestras María Augusta Almeida y Daniela Mariño por sus enseñanzas y valiosos conocimientos impartidos a lo largo de la carrera. Cada uno de ustedes hizo que pudiera crecer como profesional, gracias por su dedicación y apoyo.

Quiero expresar también un profundo agradecimiento a mi familia, en especial a mi Mami Susi, quien desde el primer momento que supo de mi existencia me ha amado incondicionalmente y siempre ha sido un importante impulso para lograr mis objetivos. A su esposo, mi tío Julio, quien ha sido para mí un ejemplo de dedicación y pasión por su trabajo. A mi madre Yolanda, por su dedicación y lucha constante para que no me falte nada. A mi abuela Rubí, porque, aunque nacimos en épocas tan distintas ella ha sido mi cómplice y maestra de vida, le agradezco por permitirme crecer a su lado y por sus tiernas enseñanzas. Finalmente, quiero agradecer también a mi Tío Miguel por su apoyo y cariño sincero y por las palabras adecuadas en el momento adecuado. Gracias a cada uno de ustedes por trazar mi camino y permitirme caminar con mis propios pies.

A mi novio Bryan, a quien le debo el alegrarme los días con su compañía en el transcurso de todo este laborioso proceso, sin pedir nada a cambio y sin dudar de mi capacidad.

Finalmente quiero expresar mi más grande agradecimiento a mi amiga y colega Ari, gracias por la complicidad, los desvelos, las risas y hasta los regaños, gracias.

Angélica

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<i>DEDICATORIA</i>	i
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	ii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE ACRÓNIMOS	vii
RESUMEN	viii
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	6
1.3 Planteamiento del Problema	10
1.4 Objetivos	12
1.5 Marco Teórico	13
1.6 Marco Conceptual	16
CAPÍTULO II	
CARACTERIZACIÓN DE LA RESERVA ECOLÓGICA COTACACHI CAYAPAS (RECC)	21
2.1 Breve reseña histórica de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas	21
2.2 Aspectos biogeográficos	23
2.3 Aspectos socio-económicos	33
2.4 Problemas y presiones antrópicas de la RECC	40
CAPÍTULO III	
MARCO NORMATIVO E INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS EN ECUADOR	45
3.1 Evolución del marco normativo e institucional para la gestión de las Áreas Naturales Protegidas en Ecuador	45
3.2 Estado normativo del Subsistema Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE)	49

3.3 Instrumentos Normativos para la gestión de la Reserva Ecológica Cotacachi	
Cayapas - RECC	50
3.4 Resultados del Análisis Normativo	66
CAPÍTULO IV	
DESCRIPCIONES GENERALES	68
4.1 Descripción de la herramienta Google Earth Engine	68
4.2 Introducción al uso de Google Earth Engine (GEE).....	69
4.3 Principales usos de Google Earth Engine.....	85
4.4 Ventajas y Limitaciones.....	87
CAPÍTULO V	
METODOLOGÍA	90
5.1 Procesamiento Digital con Google Earth Engine	90
5.2 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	103
5.2.1 Definición	103
5.2.2 Características	104
5.2.3 Descripción del proceso de cálculo.....	106
5.3 Determinación cambio uso del suelo.....	108
5.3.1 Definición	108
5.3.2 Características	110
5.3.3 Descripción del proceso de cálculo.....	112
CAPÍTULO VI	
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	123
6.1 Determinación del estado actual de la cobertura vegetal de la RECC	123
6.2 Determinación de la transformación del suelo en la RECC para los años 1986,	
2001 y 2017	128
CONCLUSIONES.....	132
RECOMENDACIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
BIBLIOGRAFÍA.....	135
ANEXOS	1466

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Página de Inicio Google Earth Engine.....	71
Figura 2 :Formulario de Ingreso a GEE	72
Figura 3: Respuesta a solicitud de acceso a GEE	72
Figura 4: Página de inicio GEE.....	73
Figura 5:Exploración página de inicio GEE	75
Figura 6: Componentes del Editor de Código	76
Figura 7: Descripción pestaña Scripts	78
Figura 8: Gestor de Activos	79
Figura 9: Herramienta de Visualización de Capas	79
Figura 10: Pestaña Inspector.....	80
Figura 11: Herramienta de Geometría.....	81
Figura 12: Herramienta de configuración de geometría	81
Figura 13: Acceso a Catálogo de Datos GEE.....	82
Figura 14: Ejemplo de búsqueda en el Catálogo de Datos de GEE.....	83
Figura 15: Ejemplo de búsqueda de datos en Data Catalog.....	83
Figura 16: Tipos de Datasets en GEE.....	84
Figura 17: Visualización Workspace	85
Figura 18: Tiempo de funcionamiento misiones Landsat.....	92
Figura 19: Fotografía del Satélite Landsat 5	96
Figura 20: Fotografía del satélite Landsat 8	98
Figura 21: Límite de la RECC visualizado en Code Editor	99
Figura 22: Encabezado principal script	100
Figura 23: Visualización Colección Imágenes Landsat 5 color real año 1986.....	101
Figura 24: Visualización Colección Imágenes Landsat 5 color real año 2001.....	101
Figura 25: Visualización Colección Imágenes Landsat 8 en color real año 2017	102
Figura 26: Visualización Imágenes Colección Landsat 8 con función Fmask ejecutada.....	103
Figura 27: Espectro Electromagnético	104
Figura 28: Flujograma de descripción NDVI	105
Figura 29: Script ejecutado en code editor de GEE.....	108
Figura 30: Procesamiento digital de imágenes basado en píxeles.....	111

Figura 31: Feature Collection del Polígono de la RECC	112
Figura 32: Imagen satelital Landsat 5 año 1986.....	113
Figura 33: Imagen satelital Landsat 5 año 2001.....	113
Figura 34: Imagen satelital Landsat 8 año 2017.....	114
Figura 35: Entrenamiento de clasificadores para categorías uso de suelo.....	115
Figura 36: Clasificación Usos Suelo año 1986.....	115
Figura 37: Clasificación Usos Suelo año 2001.....	116
Figura 38: Clasificación Usos Suelo año 2017.....	116
Figura 39: Productos NDVI para los años 1986-2001 y 2017	128
Figura 40: Productos del cambio de uso del suelo para los años 1986-2001 y 2017	129
Figura 41: Comparación de productos obtenidos mediante GEE con coberturas oficiales	131

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de clima de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas.....	27
Tabla 2: Formaciones Vegetales de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas	29
Tabla 3: Comunidades y pueblos indígenas asociados a la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas	40
Tabla 5: Sensores de los satélites Landsat.....	93
Tabla 6: Niveles de las colecciones Landsat	94
Tabla 7: Detalle de las bandas espectrales del sensor TM Landsat 5 y ejemplos de aplicaciones	95
Tabla 8: Detalle de las bandas espectrales del sensor OLI Landsat 8 y ejemplos de aplicaciones	98
Tabla 9: Productos utilizados para cálculo de NDVI período 1986-1987	123
Tabla 10: Productos utilizados para cálculo de NDVI período 2000-2001	123
Tabla 11: Productos utilizados para cálculo de NDVI período 2017.....	124
Tabla 12: Rangos establecidos para la interpretación del NDVI.....	126
Tabla 13: Construcción y clasificación no supervisada para los años 1986-2001 y 2017	129

LISTA DE ACRÓNIMOS

AP: Áreas Protegidas

BM: Banco Mundial

EEM: Evaluación de Efectividad de Manejo

FAO: Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado

GEE: Google Earth Engine

GEI: Gases de Efecto Invernadero

IEE: Instituto Espacial Ecuatoriano

IGM: Instituto Geográfico Militar

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

IPBES: Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

MAE: Ministerio de Ambiente del Ecuador

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

ONG: Organización No Gubernamental

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

RAISG: Red Amazónica de Información Socioambiental

RECC: Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas

SENPLADES: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo

SIG: Sistemas de Información Geográficos

SNAP: Sistema Nacional de Áreas Protegidas

SUIA: Sistema Único de Información Ambiental

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

WCMC: World Conservation Monitoring Center

WWF: World Wildlife Fund

RESUMEN

En este trabajo se ha analizado la evolución temporal de la cobertura vegetal y los diferentes usos de suelo en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Ecuador con el fin de determinar si la reserva en su calidad de área protegida ha actuado como escudo ante la deforestación y demás presiones de origen antrópico. Para el presente estudio fue necesaria la utilización de tres series temporales de NDVI que fueron construidas a partir de imágenes Landsat TM y OLI para el periodo del 1986-2017 mediante la plataforma tecnológica Google Earth Engine. Los resultados muestran valores de NDVI más altos en el primer período de tiempo estudiado, mientras que con el paso de los años los valores siguientes mostraron un incremento en el estrés de la vegetación y dejaron al descubierto áreas con intensos procesos de deforestación y transformación de la cobertura vegetal natural en áreas dedicadas a actividades agropecuarias.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Los antecedentes de la presente investigación se han dividido en dos partes: La primera hace referencia a los trabajos que se enfocan en el análisis de la eficacia de manejo de las APs en Ecuador para frenar procesos de cambio y transformación en usos del suelo, mientras que la segunda parte hace referencia al desarrollo histórico que ha tenido la herramienta tecnológica Google Earth Engine.

1.1.1 Efectividad de manejo de las Áreas Protegidas

El manejo de un área protegida se mide a través de la ejecución de acciones indispensables que conllevan el logro de los objetivos planteados para ella. La efectividad del manejo es considerada entonces como el conjunto de acciones que, basándose en las aptitudes, capacidades y competencias particulares, permiten cumplir satisfactoriamente la función para la cual fue creada el área protegida (Tapia Armijos, Homeier, Espinoza, Leuschner, & De la Cruz, 2015).

El Estado por medio del Ministerio del Ambiente como gestor principal de las APs publicó en el 2005 el primer “*Análisis de las Necesidades de Financiamiento del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador (SNAP)*”. Posteriormente en el año 2014, generó el documento titulado: “*Evaluación de Efectividad de Manejo del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado: Guía Metodológica*” cuyo instrumento de evaluación fue el denominado Evaluación de Efectividad de Manejo (EEM), basado en la metodología METT (Management Effectiveness Tracking Tool) desarrollada en el año 2003 por el Banco Mundial (BM) en alianza con el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). Su principal propósito fue ofrecer un mecanismo que monitoree la eficacia en la gestión de las APs (MAE, 2014).

La metodología EEM utilizada por el MAE considera tres vías de análisis: la primera identifica a los ámbitos como los procesos de manejo (contexto, planificación, insumos, procesos, productos y resultados); la segunda considera los programas de manejo establecidos para las áreas protegidas que conforman el PANE; mientras que la tercera considera al AP en su conjunto. Esta forma de evaluación logra en los resultados tres

salidas, una por programas, otra por ámbitos, y la valoración final del área protegida (MAE, 2014).

Desde el punto de vista gubernamental la evaluación de efectividad a las APs se ha realizado empleando factores intrínsecos como la localización o la comparación de los niveles de deforestación, estas evaluaciones son consideradas un tanto subjetivas debido a que se ignoran otros aspectos importantes comparables y cuantificables respecto a la eficacia de las APs por lo que es necesario la implementación de nuevas formas de evaluación (López Rodríguez & Rosado, 2017).

Otros investigadores se han sumado a la tarea de estructurar mecanismos de evaluación que proporcionen resultados reales sobre la eficiencia de las APs, tal es el caso del Doctor Yntze Van der Hoek, docente e investigador de la Universidad Regional Amazónica IKIAM, quien examinó a través de imágenes satelitales si las áreas protegidas gubernamentales en Ecuador han sido efectivas al reducir la deforestación entre 2000 y 2008. En su artículo titulado *“The Potencial of protected areas to halt deforestation in Ecuador”* (2017), se concluyó que la deforestación fue menor dentro de las áreas protegidas y que la protección gubernamental llevó a evitar deforestación adicional entre 2600 y 7800 hectáreas de bosque por año. Aunque las APs apoyan a la conservación y a la salud de los servicios ecosistémicos aún es posible incrementar más su efectividad (Van Der Hoek, 2017).

De la misma forma, los resultados del Doctor Pablo Cuenca, también docente e investigador de la Universidad Regional Amazónica IKIAM en su artículo titulado: *“How do protected landscapes associated with high biodiversity and poppulation levels change?”* (2017) señalaron que la protección total o efectiva a los bosques resulta casi imposible debido a la presión antrópica existente en los paisajes que rodean a las APs. A través del tratamiento y análisis de imágenes satelitales se evaluó si las APs han experimentado diferentes patrones de cambio en la cubierta forestal y la fragmentación en comparación con paisajes circundantes no protegidos. El estudio concluyó que efectivamente las APs funcionan como escudo contra la deforestación especialmente en zonas con alta densidad poblacional, pero no pueden evitar la fragmentación de los bosques circundantes (Cuenca & Echeverría, 2017).

En otro estudio también publicado por el Doctor Pablo Cuenca titulado: *“How much deforestation do protected areas avoid in tropical Andean landscapes?”* (2016) se

observó la evaluación del impacto de las APs en la prevención de la deforestación. Por medio de métodos de emparejamiento se evaluó el impacto de la deforestación en APs de bosques andinos tropicales ecuatorianos entre los años 1990 y 2008. Los resultados mostraron que los bosques protegidos habrían sido deforestados de no ser por el carácter proteccionista de las políticas de conservación. Finalmente, se concluyó que las evaluaciones de impacto de las APs deberían ser periódicas para poder así determinar la efectividad de las APs en términos de deforestación evitada (Cuenca , Echeverría, & Arriagada, How much deforestation do protected areas avoid in tropical Andean landscapes?, 2016).

A diferencia de los estudios presentados anteriormente, el siguiente estudio titulado: *“Management effectiveness evaluation in protected areas of southern Ecuador”* (2017) desarrollado por Fausto López Rodríguez y Daniel Rosado evaluó la efectividad de la gestión de 36 APs en el sur de Ecuador pertenecientes a tres categorías: PANE (creadas y financiadas por el Estado), Áreas de Bosque y Vegetación Protectoras (ABVP) creadas, pero no financiadas por el Estado y finalmente las Reservas Privadas (declaradas y financiadas por entidades privadas), mediante aplicando cuestionarios adaptados a las características socioeconómicas y ambientales propias de la región. Los resultados mostraron que las APs privadas y las pertenecientes al PANE obtuvieron niveles más altos de efectividad que las Áreas de Bosque y Vegetación Protectora, se adjudicó dichas diferencias a la disponibilidad de recursos mientras que factores como la extensión, edad del AP y localización fueron considerados irrelevantes (López Rodríguez & Rosado, 2017).

Por otra parte, los investigadores María Fernanda Tapia Armijos, Jurgen Homeier y David Draper Munt en su estudio titulado *“Spatio-Temporal analysis of the human footprint in South Ecuador: Influence of human pressure on ecosystems and effectiveness of protected areas”* adaptaron el índice de huella humana para evaluar los patrones espacio-temporales de la presión humana en el sur de Ecuador entre los años 1982, 1990 y 2008. Se usó el índice de huella humana para evaluar la efectividad de las APs para reducir los niveles de presión humana en el paisaje circundante. Los resultados mostraron que el Parque Nacional Podocarpus, el área protegida más importante del área de estudio, parece ser parcialmente eficaz en la reducción de la presión humana en el interior y en las zonas de amortiguamiento donde sólo se detectó un bajo aumento en

HF. Sin embargo, los valores de HF observados en el paisaje circundante fueron superiores a los observados en la zona de amortiguamiento y dentro del área protegida.

En vista a la diferencia de enfoques y por lo tanto de metodologías utilizadas para estimar la efectividad de las APs del Ecuador, es clave la identificación de las tendencias actuales e históricas de cambio y usos del suelo, así como la estimación del estado actual de la cobertura vegetal para de esta manera generar argumentos con base técnica y científica que permitan a los gestores de las APs tomar medidas eficaces de manejo que aseguren la conservación de la biodiversidad y el cumplimiento de los objetivos de conservación propias de cada AP del país.

1.1.2 Google Earth Engine

También en base a la presente disertación es necesario señalar los antecedentes referentes a la herramienta Google Earth Engine, mismos que se detallan a continuación:

Debido a la evidente y rápida transformación de la superficie terrestre a causa de las actividades antrópicas, Google Inc. crea en 2007 una plataforma tecnológica online llamada Google Earth Engine, una versión más sofisticada, avanzada y robusta que Google Earth (Vasconcelos, 2015), que permite realizar análisis y cuenta con una amplia cobertura de datos actuales e históricos multidisciplinarios a lo largo del mundo, pero con el objetivo común de preservar los recursos naturales (Cabrera, 2014).

El primer proyecto operativo en el cual se utilizó Google Earth Engine fue un sistema de monitoreo forestal en 2007 creado por la ONG brasileña IMAZON donde se utilizó fotografías satelitales de la plataforma para analizar los niveles de deforestación en dicho país (De Souza Jr, Hayashi, & Verissimo, 2009), los buenos resultados de la investigación permitieron crear la Alerta de Deforestación y Degradación de la Amazonía Brasileña que a partir de ese entonces funciona mensualmente; en 2012 los resultados de la investigación fueron presentados durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible Río 20 (Vasconcelos, 2015).

Con la consecuente reducción de la deforestación en Brasil, Google trabajó en otro de los más importantes estudios de caso dirigido por el profesor Matt Hansen de la Universidad de Maryland, quien en 2013 en su estudio llamado “*Mapas globales de alta resolución del cambio de la cubierta forestal del siglo XXI*” analizó casi el total de la

superficie terrestre para estudiar la extensión, pérdida y ganancia de la cobertura arbórea global en un período de tiempo mayor a una década (Google, 2018).

Posteriormente, el equipo de *Map of Life* desarrolló en el año 2012 en conjunto con Google Earth Engine un mapa interactivo en el que los usuarios puedan observar y evaluar la seguridad de especies a través del uso de predicciones para localizar las ubicaciones de especies en peligro de extinción (Google, 2018),

En el 2014 bajo iniciativa de World Resources Institute se desarrolló *Global Forest Watch*, un sistema dinámico de monitoreo forestal que permite mejorar la gestión y conservación de la cobertura forestal (Collet, 2015), la plataforma utiliza Google Earth Engine para medir y visualizar los cambios en los bosques del mundo permitiendo al usuario sintetizar datos y recibir alertas sobre posibles amenazas casi en tiempo real (Google, 2018).

Otro proyecto destacado que utiliza Google Earth Engine es *Collect Earth*, desarrollado en 2014 por la FAO es una herramienta gratuita que permite analizar la superficie con el fin de evaluar la deforestación y demás formas de cambio de uso de suelo (Google, 2018)..

La plataforma ha permitido que desarrolladores de diferentes partes del mundo puedan generar sus propios estudios con la información disponible y publicar tanto sus resultados, como sus datos de modo que estos puedan ser replicados por demás investigadores alrededor del mundo (Cabrera, 2014).

Tal es el caso de Jan Niklas Schmid quien en 2017 desarrolló su tesis llamada “*Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands*”: por medio de la plataforma analizó series temporales de Landsat 5 y 8 para estudiar el desarrollo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en tres áreas de estudio localizadas en Alemania que forman parte de la red de biodiversidad Exploratories; el estudio concluyó que en todos los sitios el NDVI fue en aumento en los años 1984 - 1990 y sin embargo en los años 2013 - 2016 este disminuyó fuertemente, dicha disminución se asoció al cambio de uso de suelo y sus efectos negativos sobre la biodiversidad y la salud de los ecosistemas (Niklas Schmid, 2018).

A la fecha y a nivel nacional no se han desarrollado estudios que utilicen la herramienta Google Earth Engine.

1.2 Justificación

En las últimas décadas las actividades de origen antrópico se han convertido en el principal agente transformador de los ecosistemas, modificándolos o destruyéndolos con el fin de desarrollar actividades económicas como la agricultura, la urbanización, extracción de recursos, entre otras (Morales Hernández & Carrillo González, 2016); dichos cambios no sólo generan alteraciones negativas en la naturaleza, sino que también repercuten en los servicios ecosistémicos de los cuales los seres humanos y demás seres vivos subsisten (Lawrence & Vandecar, 2015).

A nivel global la intensa degradación de la naturaleza pone en riesgo el bienestar de al menos 3200 millones de personas, según cifras de IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) , debido a la rápida expansión y el manejo no sostenible de las tierras, generando pérdidas significativas de la diversidad biológica y afectando a beneficios como la purificación del agua, regulación de la temperatura global, provisión de energía y otras contribuciones de la naturaleza que son esenciales para la vida (IPBES, 2018). Al mismo tiempo, la deforestación, la degradación forestal y los cambios en el uso del suelo contribuyen con alrededor del 12 % de las emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Banco Mundial, 2018) , cifras que alertan de las repercusiones negativas que tienen las actividades antrópicas sobre la naturaleza.

En la región el panorama es similar, según la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), América Latina y el Caribe durante el periodo de 2000-2005 perdieron 4,7 millones de hectáreas de cobertura forestal lo que correspondía a un 65% de las pérdidas mundiales (FAO, 2016). Por otra parte, si bien es cierto que América Latina produce el 5% de las emisiones mundiales de gases efecto invernadero según el informe del año 2016 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), su contribución a las cifras mundiales va en rápido aumento debido a la excesiva pérdida de la cobertura vegetal y demandas del sector industrial.

En cuanto a Ecuador, según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) la cobertura natural es de 14.12 millones de hectáreas, es decir 57% de la superficie total del país; sin embargo, la deforestación ha sido un grave problema para los ecosistemas puesto que el ritmo de aprovechamiento forestal y la explotación irracional del recurso han

favorecido a su fragilidad y vulnerabilidad (SENPLADES & MAE, 2013). En el período 1990- 2000 la deforestación promedio anual llegó a ser de 89.944 ha/año y aunque para el período 2008-2012 se pudo apreciar una reducción notable con una deforestación promedio de 65.880 ha/año estas cifras muestran la necesidad urgente de implementar mecanismos que promuevan el manejo sustentable del bosque y demás ecosistemas (MAE, Plan Nacional de Restauración Forestal 2014-2017, 2014).

Los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal son algunos de los mayores desafíos actuales, se presentan a todas las escalas y a una velocidad sin precedentes, motivo por el cual múltiples gobiernos han impulsado medidas de protección sobre los ecosistemas naturales buscando garantizar la continuidad de la cadena de recursos, además de hacer frente al cambio climático y sus efectos adversos (Holland, Morales, Naughton-Treves, Robinson, & Suárez, 2014).

Una de las medidas de planificación con mayor éxito para prevenir la pérdida y degradación de los ecosistemas es el establecimiento de Áreas Protegidas. Actualmente, éstas concentran los mayores esfuerzos en protección a los ecosistemas y por lo tanto a la biodiversidad mundial (Alcaraz Segura, Baldi, Durante, & Garbulsky, 2009). Según datos de la UICN y el Centro de Monitoreo de la Conservación Ambiental del PNUMA, el 14,7% de todas las tierras del planeta y el 10% de las aguas territoriales están bajo algún tipo de protección, ya sea mediante parques nacionales o áreas de conservación (UICN & UNEP-WCMC, 2015).

En Ecuador también existen mecanismos tanto normativos como jurídicos de carácter proteccionista ambiental, como son la promulgación de leyes, planes, estrategias y políticas públicas que persiguen objetivos de calidad ambiental, de manejo y conservación de los recursos naturales y del medio ambiente (Remache Sagva, 2016). Muchas de estos mecanismos toman su espacio en el territorio a través de programas como el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, el programa de incentivos económicos Socio Bosque, la iniciativa de Bosques Protectores, entre otros, respondiendo así a los problemas ambientales que enfrenta el país mediante restricciones de acceso y uso que buscan garantizar la biodiversidad y el mantenimiento de estos importantes espacios (Columbia Zárate, 2013).

La situación de las áreas protegidas en Ecuador está regulada por el Ministerio del Ambiente (MAE), principal ente rector, quien con un importante esfuerzo oficial ha procurado proteger la biodiversidad local (Yáñez M, 2016); sin embargo, pese a dichos esfuerzos persisten problemáticas que afectan de múltiples formas a los ecosistemas naturales, por lo tanto, su monitoreo regular es imperativo para adoptar medidas eficientes de gestión y cumplir con los objetivos de conservación (Cisneros Castro, 2010).

Particularmente, la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (RECC) al igual que muchas otras que conforman el Patrimonio de Áreas Naturales del Ecuador ha sentido el impacto negativo a consecuencia de las actividades antrópicas; la explotación maderera, la minería ilegal y el avance de la frontera agrícola han sido los principales factores de cambio en la reserva (GAD Cantón Santa Ana de Cotacachi, 2015) , dichos procesos generan el detrimento de los recursos forestales y alteración del balance hídrico, además desencadenan impactos sociales adversos en las comunidades locales interrumpiendo sus formas tradicionales de vida limitando su control y acceso a los recursos naturales (Pabón Garcés, 2017).

En este contexto, se seleccionó a la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas como área de estudio del presente trabajo acorde a tres principales factores: importancia ecológica, localización geográfica y antigüedad. En cuanto a su importancia ecológica debido a que es una de las áreas de mayor riqueza florística y faunística del Ecuador ya que abarca 11 zonas de vida que van desde los bosques siempre verdes de tierras bajas hasta los páramos. Debido a su localización geográfica porque se encuentra en las provincias de Esmeraldas e Imbabura y pertenece a la región Biogeográfica del Chocó, un corredor natural neotropical con una gran biodiversidad (MAE, 2007) y finalmente por su antigüedad, puesto que la reserva fue creada en el año 1968 lo que la convierte en una de las áreas protegidas terrestres más antiguas del Ecuador; este factor es importante para el presente estudio ya que se desea apreciar el cambio en la cobertura vegetal durante una prolongada serie de tiempo.

Adicionalmente, la factibilidad del presente estudio radica en la disponibilidad de información satelital derivada de las misiones Landsat. Durante los primeros años de creación de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas la misión Landsat 1 (1972) ya se encontraba en órbita por lo es posible obtener información satelital de esa época; para

los siguientes períodos de tiempo se emplearán imágenes procedentes de misiones posteriores, específicamente Landsat 5 y 8. En la actualidad éstas imágenes satelitales no tienen ningún tipo de restricción de uso o costo, además son parte del archivo histórico de la plataforma Google Earth Engine lo que facilita su descarga y procesamiento.

Para llevar a cabo este estudio se utilizará la herramienta Google Earth Engine tanto como para la obtención de las respectivas imágenes satelitales, así como en el análisis del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) de la cobertura vegetal en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (RECC), antes de haber sido declarada como área protegida durante sus primeros años de gestión y en la actualidad.

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma basada en servidores externos o comúnmente conocido como “nube” que facilita el acceso a los recursos de computación de alto rendimiento para el procesamiento de grandes conjuntos de datos geoespaciales en forma rápida a escala global (Gaute, y otros, 2017). El uso de GEE facilita sustancialmente la realización de los cálculos necesarios para el análisis del NDVI, ya que utiliza una amplia infraestructura de datos que son almacenados y ejecutados de manera eficiente mediante cargas de trabajo que se distribuyen entre múltiples CPU en diferentes datacenters (Niklas Schmid, 2018) además es gratis y únicamente requiere una conexión a internet estable.

Los resultados de esta investigación permitirán conocer el estado actual de la cobertura vegetal de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas y su variación en el transcurso de tiempo lo que a su vez dejará en evidencia la efectividad de la implementación de la política pública sobre el área protegida determinándose así qué cantidad de superficie en hectáreas se ha conservado bajo las condiciones iniciales de protección, o a su vez, qué cantidad de superficie ha incrementado o disminuido. Otro resultado esperado es el establecimiento de un procedimiento guía para el análisis del NDVI que pueda ser replicado para otras áreas de estudio y finalmente, poder identificar qué zonas poseen los cambios más drásticos de cobertura vegetal, determinar sus posibles causas y con ello mejorar los mecanismos de gestión de la reserva.

1.3 Planteamiento del Problema

Las áreas protegidas (APs) son cruciales para la manutención de un ambiente sano tanto para las personas como para la naturaleza (Cantú Salazar & Gaston, 2010), son vitales para las culturas y el sustento de comunidades indígenas y locales; además, proporcionan agua y aire limpio, traen beneficios a millones de personas a través del turismo, y protegen contra el cambio climático y las amenazas naturales (UNEP-WCMC & UICN, 2016). La mayoría de APs comparten el objetivo común de intentar limitar la tala indiscriminada en los bosques a través de las restricciones de acceso y uso especialmente donde las comunidades locales coexisten y dependen de los recursos (Cuenca , Echeverría, & Arriagada, How much deforestation do protected areas avoid in tropical Andean landscapes?, 2016).

El establecimiento de áreas protegidas es además una de las estrategias más comunes de mitigación y prevención de los efectos derivados por el cambio de uso del suelo, (Figuroa & Sánchez Cordero, 2008) en consecuencia, constituyen un instrumento de política pública para frenar las tendencias de cambio y transformación de los ecosistemas (Sahagún Sánchez & Reyes Hernández, 2018). Sin embargo, pese a su carácter legal las APs no están libres de las presiones antropogénicas por lo que muchas veces su objetivo proteccionista resulta deficiente y la integridad natural es alterada (Cifuentes A, Izurieta V, & Henrique De Faria, 2000).

El éxito de las estrategias de conservación a través de las APs podría radicar en la capacidad de los directivos en conciliar los objetivos de conservación de la biodiversidad con cuestiones sociales y económicas promoviendo una mayor participación por parte de las comunidades locales en dar cumplimiento a las estrategias de conservación; sin embargo, hay muy pocos estudios cuantitativos que identifiquen cuáles son los factores clave que conducen a un mejor cumplimiento de las políticas de conservación de las APs (Andrade & Rhodes, 2012).

Las APs son considerados como un elemento importante del paisaje y deben ser evaluados constantemente con el fin de conocer si protegen los recursos naturales y proporcionan beneficios para la sociedad (Cuenca , Echeverría, & Arriagada, How much deforestation do protected areas avoid in tropical Andean landscapes?, 2016). De modo que determinar la eficiencia real de las APs en detener la deforestación y demás

procesos de cambio es una necesidad urgente para establecer mejoras significativas en la gestión de dichos espacios y disminuir pérdidas de la biodiversidad (Van Der Hoek, 2017).

Particularmente en Ecuador, se registra un ritmo acelerado de transformación en el uso del suelo y deforestación en áreas naturales protegidas, esto responde principalmente a la expansión de la frontera agropecuaria y la apertura de nuevas carreteras en zonas boscosas (MAE, 2012); un ejemplo claro de ello es que Ecuador tiene la mayor densidad de carreteras en la Amazonía respecto a los demás países amazónicos con 37,5 km de carretera/km², muchas de estas incluso atraviesan áreas protegidas y territorios indígenas, debido principalmente a la apertura de caminos para la explotación petrolera y maderera (RAISG, 2012).

Por otra parte, la privilegiada localización del país ha permitido la existencia de lugares que concentran altísimos niveles de biodiversidad (Van Der Hoek, 2017). Entre éstas se puede destacar la Región Biogeográfica del Chocó sobre la cual se encuentra gran parte de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (Botsch, y otros, 2017). Gracias a su rango altitudinal la RECC abarca una variedad de ecosistemas y se constituye en una de las áreas con mayor riqueza florística y faunística del país (Ministerio del Ambiente, 2018); posee un total de 78 especies de flora endémicas, 2 107 especies de plantas vasculares o el equivalente al 13,8% del total registradas en Ecuador; en cuanto a fauna, posee el 12,4 % de especies endémicas de aves, 28% de reptiles y 38% de anfibios (MAE, 2007) convirtiéndola así en una de las áreas protegidas con los niveles más altos de endemismo que se pueda encontrar en superficies continentales (MAE, 2007).

Culturalmente, alrededor de la reserva se encuentran los pueblos quichuas y mestizos de la sierra, en la zona alta habitan las comunidades Kichwas y Awá, mientras que en la zona baja se asientan las poblaciones Chachi, Épera y afro ecuatorianas (Cruz, 2016). Adicionalmente, dentro de la reserva se puede encontrar la laguna de Cuicocha, el volcán Cotacachi, el cerro de Yanahúrco, y demás atractivos turísticos que gracias a su riqueza paisajística hacen a la RECC la tercera área protegida más visitada del país (GAD Cantón Santa Ana de Cotacachi, 2015). Dichas características la convierten en un lugar privilegiado para el desarrollo y conservación de la biodiversidad además de ser un importante sustento para los locales (Haro, 2016).

A pesar de la importancia biológica, ambiental y cultural descrita los procesos de modificación, así como la sobreexplotación de los recursos naturales en la RECC han generado condiciones adversas para su mantenimiento y conservación (MAE, 2007). A partir de la década de los 60 el propio Estado fomentó la deforestación y el cambio de uso de suelo adjudicando más de 450 mil hectáreas de bosque a beneficiarios agrupados para actividades agrícolas, más recientemente, el desarrollo de las palmicultoras en esta última década ha generado una agresiva deforestación y la transformación de bosques nativos y secundarios a monocultivos, situación que ha incrementado aún más la vulnerabilidad de los ecosistemas (Haro, 2016).

El presente estudio nace en respuesta a la necesidad de monitorear la cobertura vegetal de la RECC y así evidenciar qué cambios ha sufrido a lo largo de su historia, consecuentemente conocer su estado actual y finalmente generar un sustento técnico con argumentación científica que permita establecer medidas eficaces de manejo. Además, este estudio desea aportar en la evaluación de la efectividad real de la RECC con respecto al detenimiento de los procesos de cambio y transformación de usos del suelo, es decir, se desea conocer de qué forma la protección de la RECC previene la deforestación y mantiene a salvo los ecosistemas naturales de las presiones antrópicas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Establecer la eficiencia de manejo de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas para controlar la deforestación y detener procesos de cambio en el uso del suelo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar la dinámica temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas en los años 1986, 2001 y 2017 mediante el uso de Google Earth Engine.
- Determinar el estado actual de la cobertura vegetal en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas.
- Identificar los cambios de uso de suelo en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas en los años 1986, 2001 y 2017.

- Analizar la influencia que ha tenido la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas como instrumento de política pública sobre las dinámicas territoriales y el cambio de uso del suelo.

1.5 Marco Teórico

Durante la última década, el desarrollo de las fuerzas productivas y el crecimiento de las demandas de recursos han generado fuertes desequilibrios en las relaciones sociedad-naturaleza, lo cual se considera el objeto de estudio de la geografía, en este contexto emergen las preocupaciones de la conservación ecológica (Toledo & Moguel, 1992). Por una parte, la naturaleza es el escenario donde transcurre la acción evolutiva de los paisajes y los seres vivos; mientras que la Geografía contribuye en la comprensión de la realidad en los paisajes físicos a través de modelos que aspiran explicar dichos sistemas complejos desde una perspectiva espacial y espacio temporal (López Bermúdez, 2002).

Entre los aportes que la geografía ha realizado como ciencia holística en su interés por el tema conservacionista destacan las investigaciones realizadas por el geógrafo Baily (1996), quien escribió un libro sobre geografía ecosistémica donde aplica instrumentos geográficos como escalas, mapas y delimitación de bordes en el estudio de ecosistemas. Otra publicación similar es la realizada por Convis (2001) titulada: “*Geografía de la Conservación: casos de estudios en SIG, mapeo en computadoras y activismo*” donde en base a herramientas propias de la geografía se estudia la evaluación de los recursos naturales; en América Latina destacan los aportes del geógrafo José Rodríguez Rojas (1993), de origen chileno y naturalizado ecuatoriano, quien realizó investigaciones desde la geografía que contribuyen al plan de manejo del Parque Nacional Galápagos, estos ejemplos de investigaciones son algunos de los más claros aportes que ha realizado la geografía tradicional interesada por la conservación (Ladle & Whittaker, 2011).

No obstante, el desarrollo industrial, el crecimiento urbano, el aumento exponencial de la población y el cambio climático son algunos de los factores que han contribuido a consolidar la necesidad de conservar los recursos del planeta, especialmente porque se reconoce la importancia de la diversidad para preservar las especies, ecosistemas y paisajes. De esta forma la conservación ecológica es una rama del conocimiento reciente que ha aportado a campos tales como la biogeografía, la ecología regional y la ecología del paisaje (Morera Beita, Romero Vargas, & Sandoval Murillo, 2013).

Por lo que se refiere a la ecología del paisaje es la ciencia que busca abordar la compleja relación de las sociedades humanas y sus espacios de vida, de manera que sea posible entender los ecosistemas naturales, así como sus diversos grados de transformación antropogénica por medio de la incorporación de los avances tecnológicos disponibles tales como los sensores remotos y los Sistemas de Información Geográficos (SIG) (Etter, 1991).

El término “Ecología del Paisaje” fue propuesto por el biogeógrafo alemán Carl Troll en 1938, cuatro años después de que el botánico inglés Tansley (1935) acuñara el término “ecosistema” con el objetivo de integrar el componente espacial en la ecología de sistemas (San Vicente & Lozano Valencia, 2008) . Troll justificó al término Ecología del Paisaje de la siguiente manera: *“Los dos conceptos, ecología y paisaje están relacionados con el entorno del hombre y la variada superficie terrestre que éste tiene que usar de manera adecuada para su economía agrícola y forestal con el fin de aprovechar las materias primas; al igual que la explotación minera o la fuerza hidráulica que producen energía para impulsar sus industrias; un entorno natural que el hombre, con sus actividades, transforma siempre de un paisaje natural a un paisaje económica y culturalmente aprovechado”* , por lo tanto, el paisaje observable en la actualidad es el producto de las interrelaciones del ser humano con el entorno que lo rodea (Morláns, 2005).

En concreto, la Ecología del Paisaje estudia la manera en que las actividades antrópicas modifican los elementos que conforman el paisaje, sus características y sus relaciones espacio-funcionales, así como la forma en que los organismos silvestres y los ciclos geoquímicos se comportan ante la calidad y disposición de dichos elementos; por consiguiente, su importancia radica en su aplicación por parte de los planificadores y gestores del territorio en la toma de decisiones, sobre objetivos como el mantenimiento de la biodiversidad (Gurrutxaga San Vicente, Mikel; Lozano Valencia, Pedro J, 2008).

La ecología del paisaje tanto como la geografía han influenciado decididamente en el establecimiento de espacios protegidos a partir del desarrollo de conocimientos sobre la relación entre el ser humano y la naturaleza, así como sus afectaciones (Herrera Calvo & Díaz Varela, 2013). Algunos científicos e investigadores consideran que probablemente la manera más objetiva para conservar la biodiversidad y la naturaleza es delimitar porciones del espacio donde no se lleven a cabo actividades humanas (Díaz Pineda, Schmitz, & Hernández, 2002). De esta forma se desarrolla la concepción de los

espacios naturales protegidos, misma que se lleva a cabo en base a la imposición de una frontera entre dichos espacios y su territorio circundante mediante la aplicación de leyes y normativas que condicionan o restringen las actividades que se pueden realizar ya sea dentro o fuera (Díaz Pineda & Schmitz, 2003).

El surgimiento de los primeros espacios protegidos se asocia al establecimiento del primer Parque Nacional del mundo, llamado Parque Nacional Yellowstone (1872), en respuesta a la necesidad de preservarlo de la destrucción generada en la sociedad capitalista e industrial de los siglos XIX y XX en Estados Unidos (Tolón Becerra & Lastra Bravo, 2008). Dicha necesidad de preservar se ha hecho presente en todas las culturas y sociedades del mundo durante mucho tiempo; sin embargo, sus objetivos iniciales se limitaban a aspectos estéticos, de recreación y de protección frente a las amenazas del desarrollo industrial y urbanístico muchas veces a modo de museos que reflejaban cierto grado de aislamiento, además a medida que surgieron los primeros intentos por delimitar espacios naturales protegidos también aparecieron los primeros organismos internacionales tales como UICN o WWF, especializados en promulgar la conservación de la naturaleza (I Subirós , Varga Linde, I Pascual, & Ribas Palom, 2006).

A partir de la creación del Parque Nacional Yellowstone se registró un notable aumento del número de países que integraban medidas de protección a sus bosques y vegetación natural, países como nueva Zelanda y Canadá comenzaron a proteger sus ecosistemas bajo las categorías de parques y bosques nacionales (Lara Novillo, 2016) a este incremento exponencial del número de declaratorias y superficie Tolón Becerra describió como la segunda etapa del desarrollo de espacios protegidos, misma que se caracterizó por un aumento mayoritariamente de Parques Nacionales (Tolón Becerra & Lastra Bravo, 2008). Además, se amplió el rango de actividades permitidas en dichos espacios permitiendo a más de los objetivos iniciales de protección y conservación actividades relacionadas a la investigación científica, reconocimiento histórico cultural, actividades educacionales y socioeconómicas rompiéndose así el paradigma que Antonio Carlos Diegues (2000) describió como el mito de la naturaleza intocada (Cavalcanti Schiel, 2007).

Dicho mito de la naturaleza intocada hace referencia a la concepción impuesta en el siglo pasado a partir de la creación de Yellowstone como referente principal de las espacios naturales protegidos del mundo, cuyos principios conservacionistas

contrastaban radicalmente con la realidad de los llamados “países subdesarrollados” donde los ecosistemas naturales se encontraban habitados por poblaciones indígenas y grupos tradicionales que durante siglos de conocimiento ancestral desarrollaron formas de apropiación comunal de los espacios y recursos naturales, muchas veces conservando y potenciando la diversidad biológica (Diegues, 2000).

La Cumbre de Río (1992) marca una nueva etapa en el desarrollo de las áreas naturales protegidas, ya que en esta concentración internacional de esfuerzos se fijan directrices en un contexto mundial donde se integran políticas de conservación y desarrollo sostenible; el mismo año en el IV Congreso Mundial de Parques y Espacios Protegidos celebrado en Caracas se establece la visión definitiva de los espacios protegidos como lugares de importancia ambiental ligados a la resolución de los graves problemas del mundo actual como la destrucción ambiental, la contaminación y la pobreza (Toledo, 2005).

Finalmente, estos avances en el conocimiento de la ecología, desde una perspectiva geográfica, han permitido generar un conocimiento que, sin una connotación netamente disciplinaria, favorece la comprensión y la preservación de la biodiversidad en las condiciones críticas actuales que enfrenta el planeta (Gurrutxaga San Vicente & Lozano Valencia, 2009).

1.6 Marco Conceptual

En el desarrollo de la presente disertación existen términos que necesitan una definición previa para su entendimiento, por lo que a continuación se prosigue a especificarlos:

- **Análisis Multitemporal:** Se le conoce al análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y que permite evaluar los cambios en la situación de sus coberturas (Ramirez Zapata, 2015).
- **Áreas Naturales Protegidas:** Según la UICN (1998) es “una superficie de tierra y/o mar especialmente consagrada a la protección y el mantenimiento de la diversidad biológica, así como de los recursos naturales y los recursos culturales asociados, y manejada a través de medios jurídicos u otros medios eficaces”; a lo que alega Dudley (2008), mencionando que “es un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado,

mediante medios legales y otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos así como sus valores culturales asociados” (Dudley, Nigel;, 2008).

- **“Cloud Computing”:** Es una nueva tendencia de software, en la cual todos los servicios prestados al ordenador se hacen directamente desde Internet, por lo tanto, no requiere de la instalación de una enorme cantidad de archivos en el ordenador, ya que el programa que se desea utilizar, se ejecutará directamente desde el servidor del proveedor de software, aligerando la carga en los discos duros. Esta tecnología es la que emplea Google Earth Engine para la realización de geoprosesamientos (Malathi, 2011).
- **Conservación:** Es el arte de usar adecuadamente la naturaleza con miras a asegurar la permanencia de buenas condiciones de vida para el hombre actual y las futuras generaciones, así como el mantenimiento de la diversidad biológica y la base de recursos (Sarmiento, 2002).
- **Cobertura Vegetal:** Puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos (Martínez, Montoya, Calderón, & Camacho, 2018).
- **Deforestación:** La Conferencia de las Partes de la CMNUCC definió la deforestación como "la conversión directa antropogénica de tierras con cobertura forestal a tierras sin cobertura forestal". La FAO define la deforestación como "la conversión del bosque a otro uso de la tierra o la reducción a largo plazo de la cobertura del dosel arbóreo por debajo del umbral mínimo del 10 por ciento" (FAO, 2015)
- **Efectividad de las Áreas Naturales Protegidas:** Se define como “lo bien que las áreas protegidas están siendo gestionadas” principalmente los logros alcanzados en la protección de los valores existentes y el nivel alcanzado en el cumplimiento de las metas y objetivos de conservación (Hockings, Stolton, Leverington, Dudley, & Courrau, 2006).

La efectividad del manejo es considerada como el conjunto de acciones que, basándose en las aptitudes, capacidades y competencias particulares, permiten cumplir satisfactoriamente la función para la cual fue creada el área protegida (Cifuentes A, Izurieta V, & Henrique De Faria, 2000).

- **Google Earth Engine:** Es una plataforma para el análisis científico a escala petabyte (PB) y la visualización de conjuntos de datos geoespaciales, tanto para el beneficio público como para los usuarios comerciales. La infraestructura computacional de Google puede ser utilizada para detectar cambios, tendencias y cuantificar diferencias en la superficie de la Tierra. Entre las aplicaciones se incluyen: la detección de la deforestación, la clasificación de la cubierta vegetal, la estimación de la biomasa forestal y del carbono, crecimiento urbanístico y el mapeo de áreas (Google, 2018).
- **Imágenes Satelitales:** Son el producto obtenido por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial mediante la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo celeste, producto que posteriormente se transmite a estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis (León , 2002).
- **Índices de vegetación:** Los índices de vegetación, o índices verdes, son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen (Muñoz Aguayo, 2013).
- **Índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI:** Es el índice de vegetación más utilizado para todo tipo de aplicaciones. La razón fundamental es su sencillez de cálculo, y disponer de un rango de variación fijo (entre -1 y $+1$), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes, etc. Este índice da lugar a isolíneas de vegetación de pendiente creciente y convergente en el origen (Muñoz Aguayo, 2013)
- **Paisaje:** Unidad de estudio de la Ecología de Paisajes, incluye todos los atributos (área, relieve, conectividad, etc.) en una estructura dinámica distinguible en el tiempo como ente evolutivo y en el espacio como todo lo que se aprecia de una sola mirada (Sarmiento, 2002).

Para la geografía es un área de la superficie terrestre que nace como resultante de la interacción entre diversos factores (bióticos, abióticos y

antrópicos) y que cuenta con un reflejo visual en el espacio (Zubelzu Mínguez & Allende Álvarez, 2015).

- **Políticas Públicas:** Son acciones de gobierno con objetivos de interés público, que surgen de decisiones sustentadas en un proceso de diagnóstico y análisis de factibilidad y tiene dos características fundamentales: 1) buscar objetivos de interés o beneficio público; y 2) ser resultado de un proceso de investigación que implica el uso de un método para asegurar que la decisión tomada es la mejor alternativa posible para resolver un determinado problema público (Franco Corzo, 2018).

Una política es un comportamiento propositivo, intencional, planeado, no simplemente reactivo, casual. Se pone en movimiento con la decisión de alcanzar ciertos objetivos a través de ciertos medios: es una acción con sentido. Es un proceso, un curso de acción que involucra todo un conjunto complejo de decisiones y operadores (Ruiz López & Cadenas Ayala, 2018).

- **Política Pública Ambiental:** Son el conjunto de objetivos, principios, criterios y orientaciones generales para la protección del medio ambiente de una sociedad particular. Esas políticas se ponen en marcha mediante una amplia variedad de instrumentos y planes (Gabaldón & Becerra Rodríguez, 2002).
- **Presión Antropogénica:** “Es la demanda o influencia que la población ejerce sobre un ambiente determinado, demandando diferentes recursos, causado por múltiples factores los cuales pueden acarrear consecuencias de carácter social, político económico y ambiental” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2016).
- **Recursos Naturales:** Se denominan recursos naturales a aquellos bienes materiales y servicios que proporciona la naturaleza sin alteración por parte del ser humano; y que son valiosos para las sociedades humanas por contribuir a su bienestar y desarrollo de manera directa (materias primas, minerales, alimentos) o indirecta (servicios ecológicos indispensables para la continuidad de la vida en el planeta (Lopresti, 2007).
- **Reserva Ecológica:** “Categoría de Manejo de un Área Estatal Protegida, que comprende uno o más ecosistemas con especies de flora y fauna silvestres importantes y amenazadas de extinción, por lo cual se prohíbe cualquier tipo

de explotación u ocupación; formaciones geológicas singulares en áreas naturales o parcialmente alteradas. De mínimo 10 000 Ha. de superficie” (MAE, 2013).

- **Servicios Ecosistémicos:** La Evaluación Ecosistémica del Milenio (EM) los define como “los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas». Esto incluye a) servicios de aprovisionamiento tales como agua y alimentos, b) servicios reguladores por los beneficios obtenidos de la regulación de procesos como control de plagas y de inundaciones, c) servicios culturales como los que proveen beneficios espirituales, recreacionales y culturales, y d) servicios de apoyo a la producción de otros servicios, como la formación del suelo o, los ciclos de nutrientes, que mantienen la vida sobre la Tierra” (Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2011).
- **Sistema Nacional de Áreas Protegidas:** Es el conjunto de áreas protegidas naturales que garantizan la cobertura y conectividad de ecosistemas importantes en los niveles terrestre, marino y costero marino, de sus recursos culturales y de las principales fuentes hídricas (MAE, 2018).
- **Teledetección:** Es una disciplina científica que integra un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías utilizadas para la observación, el análisis, la interpretación de fenómenos terrestres y planetarios (Chuvieco, 1995).

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DE LA RESERVA ECOLÓGICA COTACACHI CAYAPAS (RECC)

2.1 Breve reseña histórica de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas

El 29 de agosto de 1968 por decreto ejecutivo N°1468 el espacio natural protegido que corresponde hoy en día a la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (RECC) fue declarado inicialmente con el nombre de Reserva Nacional Cotacachi Cayapas, posteriormente, el 24 de septiembre del mismo año se establece mediante registro oficial N°17 con el objetivo principal de realizar trabajos investigativos y experimentación científica (MAE, 2007). Formalmente, por medio del acuerdo ministerial N°0322 del 20 de noviembre del año 1979 se estableció bajo la categoría de Reserva Ecológica con una extensión aproximada de 204.420 hectáreas (Haro V, 2016).

En sus primeros 15 años de gestión la RECC fue administrada sin un plan de manejo específico, no fue sino hasta 1983 que se elaboró su primer plan oficial de manejo, mismo que tuvo una vigencia de casi dos décadas (MAE, 2007). Este hecho generó un crecimiento desordenado de las comunidades dentro de la reserva y su zona de amortiguamiento, por lo tanto, dio inicio a los primeros registros de presiones antrópicas sobre los recursos existentes en la reserva (Pozo A, 2017)

Durante este tiempo, el país experimentaba una serie de constantes cambios y transformaciones en nombre del progreso, destacándose la implementación de la Ley de Reforma Agraria y la institucionalización del IERAC, por sus siglas Instituto Nacional de Reforma Agraria y Colonización, dichas medidas fomentadas por el estado ecuatoriano generaron la explotación acelerada de los recursos naturales a través de actividades como la deforestación, la agricultura y la división de las tierras rurales (Claire Terán, 2001). Tales acciones consecuentemente, influyeron sobre las dinámicas territoriales a diferentes escalas, por una parte, estaban las pequeñas comunidades locales quienes se beneficiaron de los recursos en forma artesanal y por otra se observó la implementación sin retorno de cambios estructurales en el uso de la tierra, así como el balance entre diferentes cultivos y la aplicación de tecnologías para la modernización del campo (Gondard & Mazurek , 2001), en consecuencia mayor presión sobre los ecosistemas naturales y su inevitable degradación (Albán, 2010).

En 1977 se crea la Unión de Organizaciones Campesinas e Indígenas de Cotacachi, UNORCAC, con el fin de participar de la creación de políticas públicas del Estado y la lucha contra el racismo, además de conseguir la provisión de servicios básicos en las áreas de educación, salud, seguridad social y agua. Como organización han sido actores fundamentales en el desarrollo social, político, económico y territorial de la RECC. (Ortiz Crespo, 2004).

Tras años de explotación de los recursos y servicios ambientales de la reserva y desde una perspectiva de concientización sobre la importancia de los mismos, con el apoyo del INEFAN, Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre, en 1984 se plantea a través del primer Plan de Manejo que la reserva sea dividida administrativamente en dos zonas: una zona alta y una zona baja. La zona alta comprendió la parte oriental, es decir Imbabura considerando las poblaciones de Cuellaje, Piñán, Vacas Galindo y Peñaherrera dentro de su jurisdicción y la zona baja correspondió al territorio localizado en la provincia de Esmeraldas (Claire Terán, 2001).

En 1987, el INEFAN y la UNORCAC coordinaron actividades para el manejo sustentable de recursos y a promover la educación ambiental en la zona de amortiguamiento de la RECC como consecuencia de la disminución del agua en la zona ocasionada por el terremoto ocurrido en esa época y por la quema de vegetación en sus páramos (Báez, García, Guerrero, & Larrea, 1999). La relación entre la UNORCAC y el INEFAN permitió que la población adquiriese mayor conciencia ambiental y se superase la concepción que la RECC prohibía el uso de los recursos naturales (Ortiz Crespo, 2004).

El 28 de octubre de 2002, por medio del Acuerdo Ministerial N° 129 se amplió la Reserva en 39.218 hectáreas, actualmente cuenta con una superficie es de 243.638 hectáreas (MAE, 2017).

Finalmente, en mayo de 2006 con el Proyecto Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ministerio del Ambiente (SNAP-GEF), una alianza conformada por Conservación Internacional, EcoCiencia, Randi Randi y Biosfera se lleva a cabo el proceso de actualización del Plan de Manejo de la Reserva mismo que se mantiene vigente hasta la actualidad (MAE, 2007).

2.2 Aspectos biogeográficos

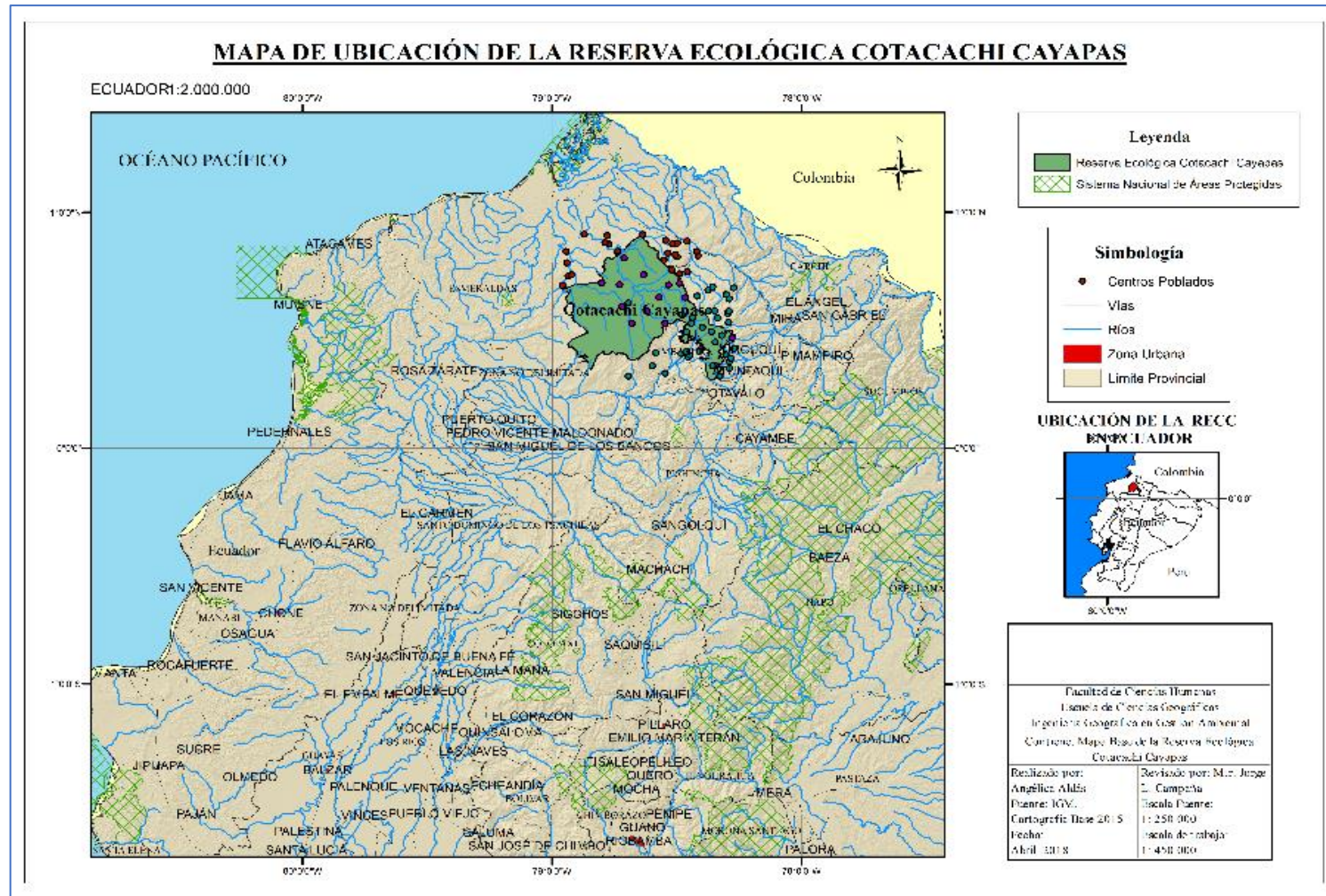
2.2.1 Localización

La RECC se encuentra en el corazón del corredor de conservación Chocó- Manabí, mismo que pertenece a una de las Ecorregiones Terrestres Prioritarias (ETP) Tumbes Chocó Magdalena y Andes Tropicales, dos de las 34 regiones con mayor endemismo y a su vez más amenazadas del planeta (MAE, 2007), comprendiendo así vastos territorios que se extienden tanto en la zona andina como en la zona baja del noroccidente (ECOLAP & MAE, 2007).

Su gran rango altitudinal que va desde los 38 a los 4.939 metros sobre el nivel mar (msnm) se debe a su ubicación y tamaño, haciendo que la RECC sea una de las áreas protegidas terrestres que más tipos de ecosistemas alberga. En la parte alta de la cordillera se encuentran los páramos y arenales del volcán Cotacachi, más abajo están los bosques montanos de la vertiente pacífica, mientras que en las tierras bajas se encuentran los exuberantes bosques húmedos tropicales (ECOLAP & MAE, 2007).

A grandes rasgos, la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (RECC) se divide en dos sectores territoriales que se consideran como divisiones administrativas, la línea que separa dichos sectores es el límite provincial entre Esmeraldas e Imbabura (Claire Terán, 2001). Específicamente la RECC se asienta sobre los cantones Eloy Alfaro y San Lorenzo de la provincia de Esmeraldas y los cantones Cotacachi y Urucuquí de Imbabura. Las coordenadas geográficas en las que se encuentra la Reserva son aproximadamente: al Norte, $78,65^{\circ}\text{O} - 0,86^{\circ}\text{N}$; al Sur, $78,35^{\circ}\text{O} - 0,29^{\circ}\text{N}$; al Este, $78,26^{\circ}\text{O} - 0,48^{\circ}\text{N}$, y al Oeste, $78,96^{\circ}\text{O} - 0,68^{\circ}\text{N}$ (MAE, 2007).

Mapa N° 1: Mapa de ubicación de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas



Elaborado por: Angélica Aldás, 2018

2.2.2 Geología y geomorfología

En la Reserva se determinan las siguientes características morfológicas: geoformas primarias de origen estructural, volcánico, denudacional, fluvial y glacial, y geoformas secundarias como los depósitos aluviales, las superficies de acumulación y las planicies aluviales (MAE, 2007).

La formación geológica más antigua de la RECC es Macuchi con cerca de 100 millones de años que comprende la mayor parte de la Cordillera de Toisán y una gran parte del sector Cayapas. Las formaciones más recientes corresponden a depósitos volcánicos no diferenciados, de menos de un millón de años, que cubren casi toda la parte alta de la Reserva (ECOLAP & MAE, 2007).

Por otra parte, el área este de la Reserva la constituyen páramos muy ondulados disectados por ríos y riachuelos rocosos, con extensas áreas de ciénega y decenas de lagunas de tamaño variable ubicadas en zonas de escaso drenaje; en la parte occidental el terreno desciende bruscamente hacia las extensas llanuras de la costa por una serie de subcordilleras y cuchillas como Toisán, Cayapas y Lanchas (ECOLAP & MAE, 2007).

En el interior de la Reserva, el terreno se torna sumamente accidentado y la abundancia de ríos y sus afluentes dan formación a numerosas cascadas como por ejemplo la cascada Salto de San Miguel (MAE, 2007).

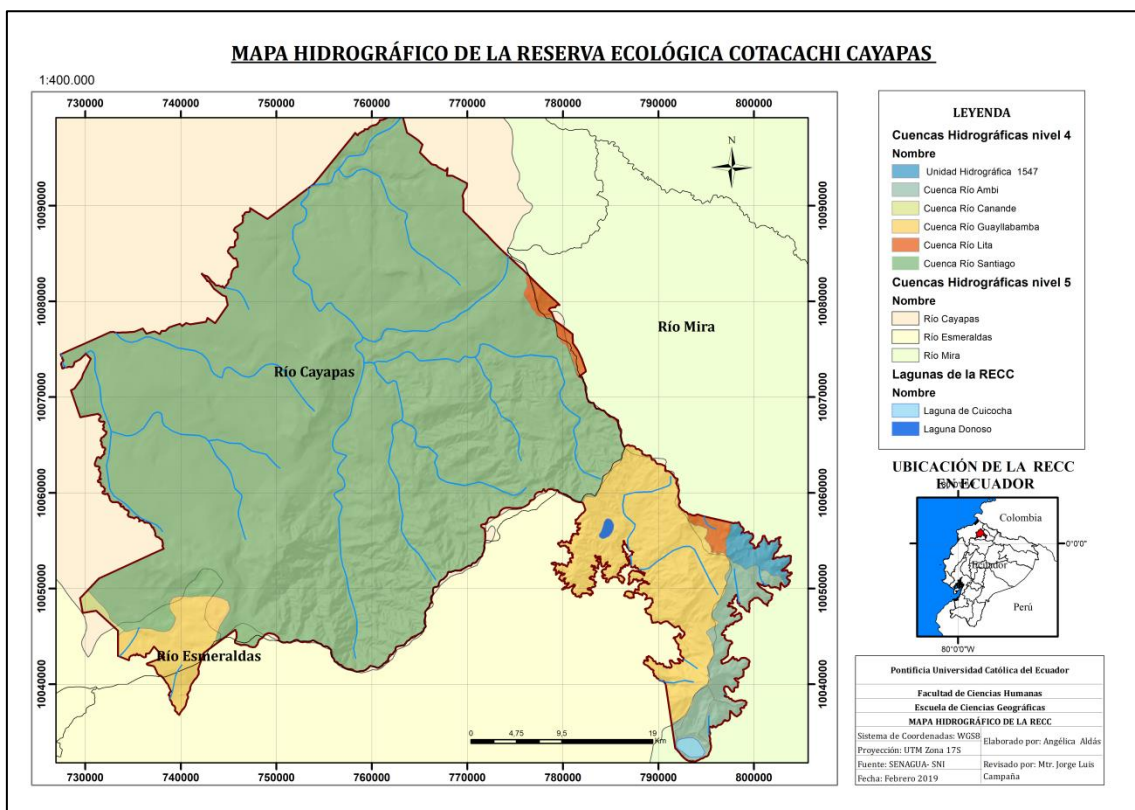
Además, en la RECC existen tres puntos sobresalientes de volcanismo: el cerro Yanahurco (4 538 msnm), el volcán Cotacachi (4 939 msnm) y la laguna del volcán Cuicocha. Por una parte, el cerro Yanahurco es un volcán apagado y fuertemente erosionado a diferencia del Cotacachi que es un estratovolcán altamente esculpido al punto que se lo puede apreciar como una pirámide bordeada por paredes casi verticales; mientras que la caldera del volcán Cuicocha, ubicada al pie del Cotacachi, mide 3 km de diámetro, limitada por paredes interiores en pendiente pronunciada, la cual contiene una laguna muy profunda (200 m) sin desagadero (ECOLAP & MAE, 2007).

2.2.3 Hidrografía

Los ríos más importantes que tienen origen en la zona andina de la RECC y cuyas aguas drenan en el Océano Pacífico son: el río Santiago-Cayapas, cabe destacar que su cuenca hidrográfica abarca la mayor superficie dentro de la Reserva, mientras que las cuencas hidrográficas correspondientes a los ríos Esmeraldas y El Mira representan pequeños porcentajes (ECOLAP & MAE, 2007).

Existen 34 microcuencas que tienen relación con la Reserva, 8 poseen su área total dentro de la misma y las restantes tienen la mayor superficie fuera del área protegida (ECOLAP & MAE, 2007). Algunas de las demás microcuencas que forman parte de la Reserva nacen en la parte alta, siendo las de mayor representatividad: río Barbudo, río Puniyacu, río las Piedras, río Lachas, río San Miguel, río Pitura, río Pantavi, río Cariyacu. Río Irubí, río Salado, río Mediano, río Toabunichi, río Cojones, río Negro, río Naranjal, San Vicente, río Blanco y río Francisco. La cuenca del Río Santiago-Cayapas comprende las subcuencas de los ríos Santiago, Agua Clara, San Miguel y Cayapas, de las cuales, la subcuenca del río Santiago, localizada en la parte occidental de la RECC, es la de mayor superficie dentro de la misma. Las microcuencas que drenan la cuenca del río Mira nacen en la parte alta y norte de la RECC, mientras que las microcuencas que abastecen la cuenca del río Esmeraldas (subcuenca del río Guayllabamba), se localizan en la parte sur (ECOLAP & MAE, 2007).

Mapa N° 2: Mapa Hidrográfico de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas



Elaborado por: Angélica Aldás, 2018

2.2.4 Clima

La temperatura de la Reserva oscila entre los 4 y los 24 ° Centígrados y tiene un promedio de precipitación que va de los 1000 a 5000 mm/año; sin embargo, acorde a la

clasificación de los climas del Ecuador propuesta por la ORISTOM, la RECC posee los siguientes 4 climas: tropical megatérmico húmedo, megatérmico lluvioso, ecuatorial de alta montaña y ecuatorial mesotérmico semihúmedo (MAE, 2007).

Tabla 1: Tipos de clima de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas

Tipo de clima	Rango Altitudinal (msnm)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Humedad Relativa (%)
Tropical Megatérmico	38-600	18-24	2.000 – 4.000	>90
Megatérmico Lluvioso	>600	24	4.000 -5.000	>90
Ecuatorial de Alta Montaña	3.000	<12	1.000 – 2.000	>80
Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo	1.000 – 2.000	>18	1.000 – 2.000	>80

Fuente: MAE, 2007

Elaborado por: Angélica Aldás 2018

2.2.5 Formaciones Vegetales

El amplio rango altitudinal que abarca la Reserva da lugar a la presencia de diferentes formaciones vegetales; la costa ecuatoriana pertenece a la Subregión Norte, sector de tierras bajas, de modo que según la clasificación de ecosistemas del Ecuador continental de Sierra 1999, la RECC en la región costa posee la formación vegetal conocida como Bosque siempreverde de tierras bajas (ECOLAP & MAE, 2007).

Esta formación se caracteriza por ir de los 0 a los 300 msnm, posee un dosel mayor a los 30m de altura y las especies predominantes son arbóreas de las familias Myristicaceae, Arecaceae, Moraceae, Fabaceae y Meliaceae; cubiertas por abundantes epífitas y trepadoras. Al mismo tiempo, el estrato bajo se encuentra mayormente poblado por herbáceas cuyas especies sobresalientes son las familias Arcaeae (ECOLAP & MAE, 2007).

Por otra parte, en el sector de las estribaciones de la Cordillera Occidental la formación vegetal predominante es el Bosque siempreverde piemontano que se extiende en un rango altitudinal de entre los 300 a los 1.300 msnm (ECOLAP & MAE, 2007). Las especies predominantes son arbóreas, especialmente palmas y las familias Mimosaceae, Fabaceae, Burseraceae y Meliaceae, el dosel puede sobrepasar los 30 metros de altura y los troncos de los árboles suelen estar cubiertos por orquídeas, bromelias, helechos y

arárecas mientras que el estrato bajo está densamente poblado por especies herbáceas de las familias Marantaceae y Araceae, además de helechos (MAE, 2007).

Ascendiendo por la Cordillera Occidental, específicamente entre los 1.300 y 1.800 msnm en la Región Sierra, en el sector Norte de la Cordillera Occidental se localizan los Bosques siempreverde montano bajos, esta formación vegetal se caracteriza por abarcar una sola franja angosta a lo largo del flanco occidental de la Cordillera de los Andes (ECOLAP & MAE, 2007) y su dosel llega hasta una altura de entre 25 y 30 metros. En esta franja altitudinal es característico que gran parte de especies arbóreas propias de tierras bajas desaparezcan, al mismo tiempo especies de leñosas y trepadoras disminuyen su presencia mientras que las epífitas aumentan tanto en número de especies como de individuos (ECOLAP & MAE, 2007).

En el mismo sector Norte de la Cordillera Occidental, también se puede encontrar la formación vegetal denominada Bosque de neblina montano que se extiende en un rango altitudinal de 1.800 a 3.000 msnm; son bosques densamente poblados cuyos doseles pueden alcanzar hasta los 25 metros de altura. En esta franja altitudinal especies de orquídeas, helechos y bromelias son ampliamente diversas tanto en número como en individuos. Un hecho que no se debe pasar por alto es que cerca del 95% de árboles de dosel en las colinas de los Bosques nublados del río Santiago- Cayapas son representados por el tangar o figueroa y probablemente en este lugar de RECC sea el único sitio donde todavía existan adultos de esta especie (ECOLAP & MAE, 2007).

La formación vegetal Bosque siempre verde montano alto es también conocida como Ceja Andina posee vegetación de transición entre los bosques montanos y los páramos, se parece al bosque de neblina pero su diferencia radica en sus suelos densamente cubiertos por musgos y por el crecimiento irregular de árboles casi horizontales, se localiza en un rango altitudinal de 3.000 a 3.400 msnm (ECOLAP & MAE, 2007).

De 3.400 a 4.000 msnm se encuentra la formación vegetal Páramo herbáceo o también conocida como pajonal se encuentra dominada por hierbas de penacho en los géneros *Calamagrostis* y *Festuca*, entremezclados con otros tipos de hierbas y pequeños arbustos. La especie *Calamagrostis effusa* está restringida a los páramos de las provincias de Carchi e Imbabura (ECOLAP & MAE, 2007).

Finalmente, a partir de los 4.700 msnm se encuentra la formación vegetal denominada Gelidofitia cuya flora característica son los líquenes y musgos, poseen raíces muy desarrolladas y hojas pequeñas (ECOLAP & MAE, 2007).

Tabla 2: Formaciones Vegetales de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas

Región	Subregión	Sector	Formación Vegetal	Rango Altitudinal (msnm)	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Costa	Norte	Tierras Bajas	Bosque siempre verde de tierras bajas	0 - 300	2 788,06	51,05
		Estribaciones de la Cordillera Occidental	Bosque siempre verde piemontano	300 - 1.300	125 903,09	1,13
Sierra	Norte	Norte de la Cordillera Occidental	Bosque siempreverde montano bajo	1.300 - 1.800	43 874,53	17,79
			Bosque de neblina montano	1.800 - 3.000	43 576,77	17,67
			Bosque siempreverde montano alto	3.000 - 3.400	10 906,24	4,42
			Páramo Herbáceo	3.400 - 4.000	18 766,93	7,61
			Gelidofitia	> 4.700	227,92	0,09

Fuente: ECOLAP & MAE, 2007

Elaborado por: Angélica Aldás, 2018

2.2.6 Flora

Según el Plan de Manejo actual de la RECC, la flora en su interior ha sido poco estudiada exceptuándose los islotes de la laguna de Cuicocha (MAE, 2007). Hasta el momento, se conoce que la Reserva posee un total de 2.107 especies de plantas vasculares, lo que representa un 13,8% del número total de plantas vasculares registradas para Ecuador. Así mismo, en la Reserva se registran 254 familias nativas, de las cuales 163 o el equivalente al 64,2% del total de familias nativas del país se localiza en esta área protegida, siendo la familia con mayor número de especies la Orchidaceae con 201 especies, le siguen las familias Melastomataceae con un total de 149 especies y la familia Araceae con 147 especies (MAE, 2007).

En otro aspecto, la familia que representa el mayor número de géneros es la Poaceae con un total de 59, le siguen las familias Asteraceae con 45 y Orchidaceae con 44. El número de géneros nativos registrados en el país es de 2.110 mientras que en la RECC y su zona de amortiguamiento se han registrado un total de 709 géneros lo que equivale al 33, 6% del total de géneros registrados para Ecuador, indicando que la Reserva posee la tercera parte de géneros nativos (MAE, 2007).

Cada formación vegetal al interior de la RECC posee flora y fauna característicos empezando por el bosque siempre verde piemontano mismo que posee el mayor número de especies de plantas, con un total de 1.400 especies, entre su flora característica sobresalen las palmas *Wettinia quinaria*, *Pholidostachys dactyloides*, *Iriartea deltoidea* y *Aiphanes erinacea* de la familia Arecaceae. Otras especies arbóreas presentes son *Virola dixonii*, *Otoba gordoniiifolia* (Myristicaceae); *Protium amplum* (Burseraceae); *Vitex flavens* (Verbenaceae); *Caryodaphnopsis theobromifolia* (Lauraceae). Entre las herbáceas encontramos: *Irbachia alata* (Gentianaceae); *Begonia glabra* (Begoniaceae); *Monstera pinnatipartita* (Araceae) (ECOLAP & MAE, 2007).

A esta formación le sigue el bosque siempreverde de tierras bajas, con 1.204 especies, siendo las más representativas el sande (*Brosimum utile*), la damagua (*Poulsenia armata*), caucho (*Castilla elastica*), la tagua (*Phytelephas aequatorialis*), *Wettinia quinaria*, *Astrocaryum standleyanum* (Arecaceae); el tangaré (*Carapaguianensis*), *Guarea polymera* (Meliaceae), el cuangare (*Otoba gordoniiifolia*), el guagaripo (*Nectandra guararipo*), el chanul (*Humiristrum procerum*) *Theobroma gileri* (Sterculiaceae), *Matisia alata* (Bombacaceae), el guarumo (*Cecropia garciae*), el árbol endémico *Swartzia littlei* (Fabaceae), *Conostegia cuatrecasii* (Melastomataceae), *Tetrathylacium macrophyllum* (Flacourtiaceae), la hemiepífita *Rhodspatha densinervia*, y la herbácea *Xanthosoma daguense* (Araceae) (ECOLAP & MAE, 2007).

Finalmente, el bosque húmedo de neblina montano, con 546 especies y cuya flora endémica está representada por: *Anthurium mindense*, *Anthurium gualeanum* (Araceae); *Gunnera pilosa* (Haloragaceae), *Bocconia integrifolia* (Papaveraceae), *Piper aduncum* (Piperaceae), *Miconia crocea* (Melastomataceae), *Cedrela montana* (Meliaceae), *Chusquea scandens* (Poaceae), *Puya glomerifera* (Bromeliaceae), *Centropogon calycinus* (Campanulaceae), *Meriania máxima* (Melastomataceae), *Cinnamomum palaciosii*, *C. triplinerve* (Lauraceae); *Freziera canescens* (Theaceae) (ECOLAP & MAE, 2007).

La formación de bosque siempreverde montano bajo es la formación vegetal menos estudiada ya que apenas se registra un total de 83 especies registradas en esta formación. Su flora más representativa consta de: pumamaqui (*Oreopanax confusus*), *Anthurium albispatha* (Araceae; endémica), *Buddleja americana* (Buddlejaceae), *Nectandra membranacea* (Lauraceae), *Cladocolea archeri* (Loranthaceae), *Byrsonima putumayensis* (Malpighiaceae), *Bellucia pentámera*, *Blakea punctulata*

(Melastomataceae); *Siparuna laurifolia* (Monimiaceae) ,*Fuchsiama crostigma* (Onagraceae) (ECOLAP & MAE, 2007). Es una marcada zona transicional, donde casi todas las especies arbóreas de tierras bajas son reemplazadas por especies andinas. Esta zona es conocida como los flancos occidentales cuya cualidad es el elevado endemismo de especies de flora. En el subdosel y sotobosque son abundantes las familias Rubiaceae, Melastomataceae y Clusiaceae, sin embargo, existe poca información sobre la flora de esta zona por lo que es necesaria la realización de estudios a profundidad dadas las evidencias de un su alto endemismo. Los troncos de los árboles en esta formación están repletos de musgos, líquenes, bromelias, orquídeas y otros, evidencia de la humedad relativa imperante en la zona. (MAE, 2007).

La representación de la flora de la RECC, en relación con las demás áreas que integran el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, tiene un total de 78 especies endémicas registradas en el libro rojo. El número más alto de especies endémicas se presenta en la familia Orchidaceae y en relación al país representa aproximadamente el 13%, a esta familia se siguen las familias Asteraceae, Melastomataceae, Rubiaceae, Poaceae, Bromeliaceae, Piperaceae, Araceae, Solanaceae y Dryopteridaceae (ECOLAP & MAE, 2007). En base a la información mencionada queda justificada la importancia ecológica de conservar apropiadamente la diversidad biológica presente en la reserva.

3.2.7 Fauna

La RECC es el hogar de muchas poblaciones de aves, mamíferos y anfibios restringidas a la biorregión geográfica del Chocó (ECOLAP & MAE, 2007). Muchas especies, se encuentran en peligro de extinción (MAE, 2007).

Los mamíferos de las órdenes Chiroptera y Rodentia son las más abundantes, son animales de tamaño pequeño que en conjunto suman 90 especies. La mayoría de mamíferos prefieren zonas bajas, específicamente los bosques siempre verdes de tierras bajas y el bosque siempre verde piemontano (Albuja, 1988). Entre los mamíferos de tamaño más grande que aún habitan dentro de los límites de la Reserva se puede encontrar al tigrillo (*Leopardus pardalis*), tigrillo de cola larga (*Leopardus wiedii*), yaguarundi (*Puma yagouaroundi*), gato andino (*Oncifelis colocolo*), puma (*Puma concolor*), jaguar (*Panthera onca*), oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) perezoso de dos uñas de occidente (*Choloepus hoffmanni*), guanfando (*Speothos venaticus*), nutria

común (*Lontralongicaudis*), aullador de la costa (*Alouatta palliata*) y machín blanco de occidente (*Cebus albifrons aequatorialis*) (Tirira, 2001).

Es importante recalcar que el alto endemismo de la RECC sumado a los diferentes grados de amenaza antrópica han ocasionado que especies endémicas sean parte de las listas de especies o en peligro de extinción, algunas de ellas son: el güemel (*Hippocamelus antisensis*), el oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*) y la danta (*Tapirus bairdii*) probablemente ya casi extintas en la Reserva; mientras que la pacarana (*Dinomys branickii*), en categoría vulnerable, es la única especie viva de la familia Dinomyidae en el mundo (Mena & Suárez, 1993). Otra especie altamente amenazada es el mono de araña de la Costa o maquisapa (*Ateles fusciceps*) cuyo principal factor de amenaza es la pérdida de su hábitat que actualmente es ocupado por pastos y monocultivos (ECOLAP & MAE, 2007).

Además, están el puercoespín andino (*Coendou quichua*; VU) y el mono capuchino (*Cebus capucinus*; VU) quienes habitaban principalmente en la provincia de Esmeraldas y los bosques aledaños a la misma, actualmente, las poblaciones más saludables habitan las zonas inaccesibles de la RECC (Mena & Suárez, 1993). Adicionalmente, se ha reportado la presencia del murciélago más grande de América y el máximo predador de su orden: el **gran falso vampiro** (*Vampyrum spectrum*; NT) (Tirira, 2001).

En cuanto a aves, se estima que el número total de especies que habitan la reserva se encuentra entre 500 y 600 (Freile y Santander, 2005); sin embargo, el actual Plan de Manejo de la RECC engloba 689 especies. La mayor riqueza de aves se localiza bajo los 600 msnm; a dicha altitud el área que cubre la Reserva es insuficiente para la manutención de poblaciones viables de algunas especies amenazadas como: águila arpía (*Harpia harpyja*; VU), pavón grande (*Crax rubra*; EN), guacamayo verde mayor (*Ara ambigua*; EN), barbudo cinco colores (*Capito quinticolor*; EN), dactis pechiescarlata (*Dacnis berlepschi*; VU) y tangara bigotiazul (*Tangara johanna*; VU), por lo que su conservación depende del manejo de la zona de amortiguamiento de la RECC (Vázquez, Freire, & Suárez, 2005). Por otra parte, la zona alta de la Reserva es probablemente el hogar más importante de numerosas especies con alto grado de amenaza como: halcón montés plumizo (*Micrastur plumbeus*; EN), cuco hormiguero franjeado (*Neomorphus radiolosus*; EN) y pájaro paraguas longuipéndulo (*Cephalopterus penduliger*) (ECOLAP & MAE, 2007).

Respecto a anfibio y reptiles, sobre los 2.500 msnm se han registrado 253 especies, de las cuales 124 son de anfibios y 111 de reptiles. Aproximadamente 60 % de las especies de ranas son endémicas para el Occidente del Ecuador, especialmente aquellas de la familia Centrolenidae, y géneros como *Eleutherodactylus* (Brachycephala Brachycephalidae) y *Colostethus* (Dendrobatidae) (Almendáriz y Carr 1992). La mayor diversidad de anfibios se ubica en los bosques montanos, mientras que la diversidad de reptiles se concentra en los bosques de tierras bajas (ECOLAP & MAE, 2007).

El estado de conservación de reptiles no se conoce con exactitud, sin embargo, los anfibios al ser especies vulnerables y altamente sensibles a factores como el cambio climático y presión en su hábitat su porcentaje de especies amenazadas alcanza un 39,5% destacándose entre ellas las siguientes: ranita de cristal (*Centrolene ilex*), rana jambato del Pacífico (*Atelopus elegans*), *A. coynei*, *A. longirostris*, *A. mindoensis*, *Rhaebo blombergi*, *R. caeruleostictus* (Bufonidae); *Hemiphractus fasciatus* (Hemiphractidae), *Hyloxalus awa*, *H. chocoensis*, *H. toachi* (Dendrobatidae); rana mona del Chocó (*Agalychnis litodryas*), la salamandra (*Bolitoglossa chica*), y las ciegas (*Caecilia leucocephala*) y *Caecilia pachynema* (Caeciliidae) (AmphibiaWeb Ecuador, 2006).

Con base en los datos mencionados anteriormente, se demuestra la importancia que la RECC representa para la conservación de la biodiversidad local y regional.

2.3 Aspectos socio-económicos

Las relaciones entre las sociedades y la naturaleza han sido desde sus inicios un referente para permitir dar cuenta de los valores que algunas concentraciones humanas otorgan al territorio, haciendo de su compromiso con la gestión y el cuidado del paisaje una forma autóctona de vida (Cedeño Canga, 2015).

Dentro de la RECC, así como en sus alrededores se evidencia la presencia de asentamientos humanos cultural y étnicamente diferentes. En 2005 se estimó el número de habitantes pertenecientes a distintas etnias y concentraciones asociadas a la RECC. Así por ejemplo se determinó que el número de afroecuatorianos cuenta con una población estimada de 24.000 mil habitantes, la comunidad indígena Chachi con un total de 3.500 mil habitantes, además se estimó que en la Zona Alta existe una población 35.246 habitantes y la presencia de un número indeterminado de colonos que

ocupan las riberas de los ríos Santiago, Cayapas, Onzolé y sus afluentes (ECOLAP & MAE, 2007).

La población asociada a la Reserva se ha caracterizado por desarrollar agrupaciones que les ha permitido intervenir en la generación de políticas públicas, luchar contra la discriminación, y fomentar la educación ambiental (Ortiz Crespo, Cotacachi: una apuesta por la democracia participativa, 2004).

2.3.1 Pueblos y nacionalidades indígenas identificados en la RECC y su Zona de Amortiguamiento

La diversidad étnica relativa a la RECC es un importante factor que ha dado cabida al desarrollo de distintas manifestaciones culturales y demográficas, al mismo tiempo que ha impulsado en cierta forma la protección y mantenimiento hasta la actualidad de conocimientos ancestrales que han logrado ser conservados pese a la llegada de la modernidad cada vez más influyente en las formas de desarrollo local y que a su vez han sido un factor influyente en las dinámicas territoriales referentes a la Reserva (Haro, 2016; Cruz, 2016).

2.3.1.1 Pueblo Kichwa Otavalo

El territorio relacionado al grupo indígena Kichwa se encuentra localizado casi totalmente dentro de la Reserva repartido en propiedades individuales y el espacio correspondiente a la formación vegetal páramo, es decir, en la Zona Alta de la Reserva (MAE, 2007). En esta misma zona, está presente una fuerte dependencia sobre el agua de riego para la producción; sin embargo, los pobladores perciben una reducción en el recurso principalmente debido a la quema y tala de bosques, ambas actividades asociadas a la expansión de la frontera agropecuaria hacia el páramo (Terán Rosero, 2014).

En la Zona de Amortiguamiento se asientan nueve comunidades Kichwas que se encuentran organizadas en el Comité Ecoturístico Kuichik Kucha (CEKK) cuyo objetivo es fomentar y dinamizar el turismo como una alternativa de desarrollo social, económico y ambiental en las comunidades asociadas (Flores Endara, 2017). Este asentamiento humano se caracteriza por desarrollar mayoritariamente actividades agropecuarias en minifundios, artesanías y cerámica, comercio a nivel nacional e internacional y muestran fijación cultural a la música y además son el grupo con mayor densidad poblacional de todas las áreas alrededor de la RECC (MAE, 2007).

Culturalmente, los Kichwas han experimentado profundos cambios en su cultura originaria perdiendo elementos fundamentales de su relación con la tierra, formas de organización socio-económica, e incluso de sus vínculos simbólicos con el cosmos, pero a costa de dichos cambios ha ganado experiencia y habilidad en lo que se refiere al manejo del comercio y la producción de tejidos que actualmente buscan vincular con su identidad cultural (Criollo Rosero & Fichamba Lema, 2011).

Otro aspecto cultural destacado es que consideran a la familia monogámica como su célula primordial y reconocen otras formas familiares como la unión familiar, el matrimonio católico, la unión libre y el matrimonio contractual propuesto por el estado (Benítez Bastidas, et al. 2016). Estas comunidades se organizan por el derecho a la tierra, por la defensa a distintas formas de producción artesanal y comercial, organizaciones que pueden ser urbanas y rurales, siendo consideradas organizaciones de primer grado; estas se vinculan y se unen con otras, creando las organizaciones de segundo grado como la FISI (Federación Indígena y Campesina de Imbabura) y UNORCAC (Ortiz Crespo, 2012).

2.3.1.2 Nacionalidad Awá

A principios de 1900 la consolidación del Municipio de Ricaurte (Colombia) aceleró el proceso de colonización de los territorios Awá; a esto se sumó un evento particularmente importante, la guerra de los mil días entre conservadores y liberales, propiciando una migración hacia la zona norte de Ecuador en las provincias de Carchi, Esmeraldas y en menor proporción Imbabura (Pineda, 2011). Aunque la llegada de población Awá a territorio ecuatoriano se remonta a casi un siglo, particularmente, en 1982 los Awá iniciaron un proceso organizativo, apoyados por la fundación Alotrópico del Ecuador (Bustamante Ponce, 2016). Este proceso incluyó desplazamientos hasta Quito para concertar con el Consejo Nacional de Coordinación de las Nacionalidades Indígenas del Ecuador (CONACNIE) la defensa de su territorio y años más tarde, en 1986 lograron consolidarse como Federación de Centros Awá del Ecuador, cuyo propósito es la recuperación, fortalecimiento cultural, así como el cuidado y defensa de su territorio (CONAIE, 2018).

La nacionalidad Awá está ubicada en las provincias de Carchi, Imbabura y Esmeraldas del territorio ecuatoriano con una población aproximada de 3.500 habitantes divididos en 19 comunidades: San Marcos, Tarabita, Ishpi, Gualpi Alto, Gualpi Bajo, Sabalero,

Gare, Pailón, Aguaña, Río Tigre, El Noboso, Río Verde, Palmira del Toctoni y San Vicente, están ubicadas en la provincia del Carchi, mientras que las comunidades de: Mataje, Guadualito, Pambilo, la Unión y Río Bogotá, ubicadas al norte de la provincia de Esmeraldas (CONAIE, 2018). Sin embargo, su mayor número de habitantes se localiza en el vecino país de Colombia con una población aproximada de 30.000 personas que ocupan cerca de 450.000 hectáreas de bosque. En total conforman una población de 3.500 personas y 550 familias según un censo propio realizado en el 2002 (Sánchez Torres, 2015).

El territorio Awá en Ecuador limita al norte con Colombia, al sur por la parroquia de Lita (Ibarra- Imbabura), al este por la parroquia Chical (Tulcán- Carchi) y al oeste por la parroquia Tululbi (San Lorenzo- Esmeraldas). Su idioma oficial es el Awapit y viven en pequeñas comunidades de familias extensas cuyo eje económico productivo es la agricultura, mismo que se complementa con actividades como la cacería, la pesca y la crianza de animales domésticos. Sus productos agrícolas más destacados son: la yuca, plátano, fréjol, maíz, caña de azúcar, chonta duro, ají, camote, limón, productos propios del clima tropical (Basantes Flores, 2015).

La cultura Awá posee diferentes creencias ligadas a un mundo simbólico de un pueblo ligado a la naturaleza y a creencias dadas por los procesos de evangelización de su gente. Así por ejemplo, para los Awá, encontrarse de frente con un colibrí, es símbolo de muerte, o es el anuncio que alguien muy cercano va a morir; también está la creencia que al encontrar una cruz en el camino, es señal de la dirección correcta, también tienen la costumbre de dejar jugar, ni bañar a los niños después de las cuatro de la tarde, porque puede darles mal aire, entre otras (CONAIE, 2018).

Actualmente, algunas comunidades Awá mediante el apoyo de la Fundación Sinchi Sacha se hallan desarrollando proyectos de fortalecimiento de la producción artesanal y, al mismo tiempo, identificando mercados con líneas de exportación. Los resultados de estos proyectos están demostrando mayor rentabilidad que la comercialización de la madera y se avizora mejor futuro que la propia producción agrícola para estos pueblos (MAE, 2007).

2.3.1.3 Nacionalidad Chachi

El pueblo Chachi, conocido comúnmente como Cayapas, habita extensas áreas en la zona selvática de la provincia de Esmeraldas, al noroeste del territorio ecuatoriano, y

constituye uno de los pocos grupos étnicos que sobreviven en la costa ecuatoriana, con su cultura y organicidad propia (Sánchez Torres, 2015). Su nombre deriva de la palabra «Cayapa», que en lengua Tupi-Caribe significa “Salteadores de los Montes”. El origen de sus corrientes migratorias es aún tema de discusión entre los investigadores. Muchos de ellos sostienen que son descendientes de los antiguos Chibchas que vinieron de Centroamérica, pero otros aseguran que son originarios de la provincia de Imbabura, de donde huyeron a causa de las conquistas de los incas y de los españoles (Cevallos Salgado, 2011).

Originalmente, vivían de la agricultura, la caza y la pesca, sin embargo, en la actualidad, debido al alcance de la colonización y al establecimiento de empresas madereras, su territorio se ve amenazado tanto por el despojo, así como por el deterioro de sus ecosistemas; incluyendo la contaminación de ríos, tala indiscriminada de los bosques, desaparición de la fauna, etc. Esta situación ha obligado a los Chachis a buscar fuentes de ingresos complementarios (Garcés & Benítez, 1993).

En la actualidad ocupan un territorio de 105.000 ha y su población es de 10.222 habitantes (INEC, 2014). Tienen mayoritariamente una economía tradicional que combina la agricultura, la caza y la pesca. El plátano, yuca y maíz son sus cultivos de subsistencia (Garcés & Benítez, 1993). El cacao (*Theobroma cacao*) y el café (*Coffea Arabica*) los destinan al mercado (CODENPE, 2005). En sus chacras siembran, además, plantas de fibra, tintóreas, ictiológicas y alucinógenas (Sánchez Torres, 2015).

Su organización social básica es la familia ampliada. La monogamia es estricta y complementada con endogamia (Moreno, 1989). La autoridad tradicional es el “Una iChaitarucula” o Gobernador, que es el líder y el que vigila el cumplimiento de la “Ley Tradicional Oral”. Su función es vital para el mantenimiento de las tradiciones, así como de los valores y normas éticas de su cultura, no obstante, su autoridad ha disminuido en los últimos años. El “Miruku”, shamán o curandero es el intermediario con el mundo de los espíritus que habitan la selva. Todavía conservan muchas de sus tradiciones y costumbres, así como su cosmovisión (Cevallos Salgado, 2011).

2.3.1.4 Pueblo Épera

La nacionalidad Épera se ubica en la parte norte de la provincia de Esmeraldas, en el cantón Eloy Alfaro, en las parroquias de Borbón, su idioma es el Sia Padee, que significa, idioma propio. El número de habitantes es aproximadamente de 394 personas

dispuestos en 4 comunidades: Borbón, Las Palmas, Bella Aurora y Santa Rosa. En 1964 (Sánchez Torres, 2015). Algunas familias Éperas partieron desde su tierra en el Chocó colombiano, migrando hacia el Ecuador en busca trabajo, logrando así laborar como jornaleros en algunas fincas y de esta manera consiguieron subsistir en estas nuevas tierras (CONAIE, 2018).

Se ubicaron en diferentes partes de la costa ecuatoriana. Al pasar algunos años de su llegada, empezaron a entablar conversaciones con la idea de unificarse; para cumplir con este objetivo, realizaron reuniones con el fin principal de para fortalecerse, organizarse y así “ubicar en un solo lugar a todas las familias Éperas” (Cevallos Salgado, 2011). Con ayuda de la iglesia católica lograron estar unidos, hasta que en 1993 lograron conseguir un pequeño territorio de 333 hectáreas de tierra por el río Cayapas, a 40 minutos de la parroquia de Borbón, vía Fluvial a Santa Rosa comunidad central de los Éperas. (Quintero & Marlene, 2013).

La base de su organización social está constituida por familias ampliadas de hasta 15 personas, aunque la tendencia es hacia la conformación de familias nucleares. Su economía se basa en la agricultura en pequeñas fincas familiares, en la recolección, la pesca y la caza para el autoconsumo, más enfocada hacia el mercado está la artesanía, principalmente la cestería; además existe un buen número de personas que trabajan como asalariados en grandes fincas agrícolas y en zonas maderera (Sánchez Torres, 2015).

En la actualidad, la mayoría vive en zonas urbanas en donde busca trabajo asalariado (INEC, 2006). Los que viven en zonas rurales de la Costa se dedican a la pesca artesanal con trasmallo y espinel o a la agricultura. Generalmente en la temporada de aguaje, niños y mujeres recolectan invertebrados marinos como el pulpo, bivalvos y cangrejos. Cultivan banano, cacao, café, arroz, aguacate, cítricos y otros frutales como el caimito, entre otros productos (CONAIE, 2018).

Conocen y cultivan muchas plantas medicinales y están interesados en difundir este conocimiento entre sus comunidades (Torres, 2008). La cosmovisión de esta etnia está muy ligada a la vida junto a los animales y a la selva. Si bien el idioma se encuentra próximo a disiparse en las nuevas generaciones, mucho del conocimiento ancestral, tradiciones y costumbres como el trabajo solidario en actividades agrícolas, la caza y la pesca tradicional, así como los nexos de una familia ampliada, la vivienda típica, la

música y el baile (karishipai), mantienen toda su expresividad, fundamentalmente entre las mujeres (Sánchez Torres, 2015).

2.3.1.5 Pueblo Afroecuatoriano

La presencia del pueblo negro en Esmeraldas se remonta al siglo XVI. Se cree que los primeros grupos procedieron de barcos con prisioneros africanos que encallaron frente a las costas de Esmeraldas. Paulatinamente, otros grupos llegaron durante el siglo XVII para trabajar como esclavos en trabajos relacionados por ejemplo a la explotación minera en Playa de Oro; la marimba esmeraldeña es su expresión musical más representativa del pueblo negro y es también una clara manifestación de sus raíces culturales africanas (MAE, Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, 2012).

La población afro ecuatoriana está organizada con una estructura tradicional conocida como Palenques. En los cantones de Eloy Alfaro y San Lorenzo existen 9 palenques, con comunidades dispersas sobre 110.000 hectáreas. El Consejo Regional de Palenques es una organización de tercer grado que tiene un rol político a nivel local y nacional; conviven con los Awás y junto a ellos son considerados un sector de extrema pobreza (Terán Rosero, 2014). Además, poseen su propia definición de la biodiversidad como “territorio más cultura”. Sin embargo, a diferencia de sus vecinos Chachi y Awá, los pueblos afroesmeraldeños cercanos a la RECC no han hecho propuestas de reservas ancestrales o de protección de sus recursos estratégicos (MAE, 2007).

Antiguamente, las actividades productivas se vinculaban a la extracción del caucho, de la tagua, del oro y de la madera. Hasta el año 2006, las actividades predominantes fueron la pesca, el aprovechamiento forestal maderero y las vinculadas a las camaroneras y palmicultoras (Cedeño Canga, 2015). A nivel familiar, la agricultura se orienta al cultivo de cacao, plátano, arroz y pimienta negra. Complementan la agricultura con la caza, pesca, artesanía y el aprovechamiento forestal. Otra actividad importante es el turismo enfocado en sus bailes y su comida (MAE, 2007).

2.3.1.6 Comunidades asociadas a la RECC

Tabla 3: Comunidades y pueblos indígenas asociados a la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas

Nombre	Población	Idioma	Dentro o Fuera de la RECC	Localización		
				Provincia	Cantón	Parroquia
Pueblo Kichwa	157 comunas	Español-Kichwa	Zona Alta de la Reserva	Imbabura	Otavalo, Cotacachi, Ibarra y San Antonio Ante	Varias parroquias
Nacionalidad Awá	13 000 (3,82% vive en Ecuador)	Awapit	Cerca de la Reserva	Imbabura, Esmeraldas, Carchi	San Lorenzo, Tulcán, San Miguel de Urququí, Ibarra	Tulubí, Mataje, Sta. Rita, Tambo Alto, Tobar Donoso, El Chical, La Merced, de Buenos Aires, Lita
Nacionalidad Chachi	6 040 habitantes	Chá palaa	Algunos centros Chachi dentro de la Reserva	Esmeraldas	San Lorenzo, Eloy Alfaro, Río Verde, Quinindé, Muisne	Tululbi, San José de Cayapas, Telembí, Santo Domingo de Onzolé, Borbón, Atahualpa, Chumundé, Cube, Malimpia, San José de Chamanga, San Gregorio
Pueblo Épera	250 habitantes	Sia Pedee	Fuera de la Reserva en Zona de Amortiguamiento	Esmeraldas	Eloy Alfaro	Borbón, La Concepción
Pueblo Afroecuatoriano	70. 167 habitantes	Castellano	Zona Baja de la Reserva	Esmeraldas Carchi e Imbabura	Río Verde, San Lorenzo, Eloy Alfaro	Alto Tambo

Fuente: MAE, 2006 Elaborado por: Angélica Aldás. 2018

2.4 Problemas y presiones antrópicas de la RECC

Las formas locales de desarrollo que han existido dentro de la Reserva desde antes de su declaratoria como área protegida hasta la actualidad han ocasionado que los recursos naturales presentes en la reserva hayan sido vulnerados, amenazando de ese modo directamente la conservación de la biodiversidad en la RECC (Young & Keating, 2001). Varios de los problemas que se describen a continuación se encuentran estrictamente relacionados con actividades productivas de las cuales los pobladores subsisten y encuentran a partir de ellas sus medios de vida.

La relación entre las comunidades locales y su entorno dan cabida a que las siguientes actividades productivas sean las de mayor relevancia en cuanto a afectación de los ecosistemas en RECC: explotación irracional del bosque, avance de la frontera agropecuaria, monocultivo de palma africana, invasión de tierras, explotación minera, cacería indiscriminada, contaminación de recursos hídricos y turismo intensivo; otros factores que representan amenazas para la conservación de la biodiversidad en la RECC son el cambio climático y los incendios forestales (MAE, 2007).

El cambio de uso de suelo en la RECC está dado en gran medida por actividades como la explotación del bosque, el avance de la frontera agropecuaria y el monocultivo de palma africana. En lo que a la explotación irracional del bosque respecta, se debe destacar que gran parte de la Reserva es reconocida por sus bosques tropicales en la zona baja (Minda Batallas, 2004). La producción de madera en dichos bosques representa uno de los mayores ingresos económicos para la provincia de Esmeraldas (Southgate & Whitaker, 1992), motivo por el cual la población de esta zona ha sobreexplotado el recurso generando un deterioro acelerado de los ecosistemas, mismos que albergan una gran cantidad de especies endémicas y cuyo hábitat depende exclusivamente del manejo que se dé al bosque (Becker & Ghimire, 2003).

Del mismo modo el avance de la frontera agrícola y ganadera representan para la Reserva procesos acelerados de transformación en el uso del suelo; principalmente ocasionado por a la adjudicación de más de 45.000 hectáreas de bosque a beneficiarios agrupados para actividades agrícolas en los años 60 impulsados por el IERAC (ECOLAP & MAE, 2007).

La intensidad de dichas actividades genera que los ecosistemas de los flancos oriental y occidental se vean mermados extensivamente y que las prácticas agrícolas deterioren la calidad de los nutrientes presentes en el suelo (Vélez Proaño, 2010). Entre las prácticas agrícolas más comunes se encuentra el monocultivo, principalmente de palma africana. Esta actividad económica se desarrolla en la zona baja de la RECC, por sus condiciones climáticas privilegiadas que benefician el establecimiento y desarrollo del cultivo, aunque fomentan agresivamente la deforestación de bosques nativos y secundarios poniendo en riesgo la biodiversidad de la región (Johnson, 2014). Las fuentes de agua también son afectadas por el cultivo de palma africana, ya que en sus procesos de producción se emplean grandes cantidades de plaguicidas y químicos tóxicos cerca de las poblaciones (Pedersen & Skov, 2001).

En este contexto, la actividad palmicultora es una severa amenaza que atenta contra la integridad de los ecosistemas de la Reserva en la zona baja (ECOLAP & MAE, 2007).

Por otra parte, la ganadería se expande con velocidad a través de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva acelerando a su vez la deforestación (ECOLAP & MAE, 2007). En la Zona Alta, la ganadería representa la principal actividad económica, pero prácticas como la quema de pajonal y el sobrepastoreo contribuyen al empobrecimiento de la estructura y composición florística del páramo mermando también las poblaciones faunísticas vinculadas dichos ecosistemas como por ejemplo el cóndor andino, *Vultur gryphus* y el oso de anteojos, *Tremarctos ornatu* (Yáñez & Yáñez, 1999). Al mismo tiempo, la quema de pajonal incide directamente en la salud del páramo al interferir con su función de almacenaje y aprovisionamiento de agua para las poblaciones cercanas (Hofstede, y otros, 2002).

Otros de los problemas graves que afectan a la Reserva son la invasión de tierras y la explotación minera, por una parte, la invasión de tierras se presenta en la Zona de Amortiguamiento de la RECC y está asociada directamente con la deforestación (Crespo Enríquez, 2014). Los pobladores ocupan la tierra y para evidenciar su legitimidad practican actividades como la ganadería y agricultura descritas anteriormente. Los lugares más conflictivos que se ha identificado son las cuencas de los ríos Negro y Bravo y los sectores de río Canandé, San Miguel, Corriente Grande, Alto Tambo y El Cristal (Esmeraldas) mientras que en Imbabura en la zona de Piñán se presentan fuertes conflictos por invasión de tierras (MAE, 2007). Las organizaciones como cooperativas y asociaciones presionan por seguir ocupando tierras destinadas a la conservación amenazando con destruir la integridad física de la Reserva a corto y largo plazo (Sánchez Echeverría, 2014).

En cuanto a la explotación minera la zona de Junín, en el cantón Cotacachi (cordillera de Toisán), provincia de Imbabura, es rica en cobre y a pesar de la oposición de sus habitantes ante las actividades extractivas, las concesiones mineras ya han empezado trabajos de exploración (Murilo Martín & Sacher, 2017). En otras zonas como en el río Santiago, específicamente en la parroquia 5 de Junio en los territorios de Playa de Oro y los márgenes de los ríos Cayapas y Bravo se encuentran otras dos concesiones diseñadas para la explotación de oro. En conclusión, la incursión de actividades extractivas en estas zonas representa una amenaza para las especies únicas que

requieren de estos ecosistemas para sobrevivir por lo tanto es también una grave amenaza para la conservación de la biodiversidad (ECOLAP & MAE, 2007).

Ciertamente, la cacería indiscriminada también es otro de los graves problemas que posee la Reserva; con fines lucrativos o de alimentación, esta actividad ha reducido notoriamente las poblaciones de mamíferos grandes utilizados no únicamente para alimentación sino también como trofeos (MAE, 2007). La mastofauna requiere de espacios geográficos amplios para que sus poblaciones sean viables, pero con la invasión y destrucción de hábitat han sido exterminadas de la Reserva especies como la Danta, *Tapirus bairdii*, en las tierras bajas y el Güemul, *Hippocamelus antisensis*, en la Zona Alta. Además, el Oso Hormiguero, *Myrmecophaga tridactyla*, de las tierras bajas probablemente ya está extinto a nivel regional (Yáñez & Yáñez, 1999). A nivel nacional, 55 especies se encuentran En Peligro Crítico por causa de la persecución humana en combinación con la destrucción de su hábitat, tal como es el caso de las siguientes especies: Mono Araña de Cabeza Café, *Ateles fusciceps*, y las aves Pavón Grande, *Crax rubra*, Guacamayo Verde Mayor, *Ara ambiguus*, en la Zona Baja; y el Cóndor Andino, *Vultur gryphus* y Loro Orejiamarillo *Ognorhynchus icterotis* en la Zona Alta. A nivel regional las siguientes especies de animales grandes tienen un alto riesgo de extinción por las mismas causas, entre ellas el Oso de Anteojos, *Tremarctos ornatus*, el Águila Crestada, *Morphnus guianensis*, el Águila Harpía, *Harpia harpyja*, la Pava Bronceada, *Penelope ortonii*, la Amazona Frentirroja, *Amazona autumnalis* y el Cuco-Hormiguero Franjeado, *Neomorphus radiolosus* (Tirira, 2001). Hay que enfatizar que estas especies no sobrevivirán en el área de estudio (o en el país) sin un control estricto de la cacería (MAE, 2007).

Finalmente, pero no menos importante está el problema de la contaminación de los recursos hídricos. En efecto, la contaminación en las microcuencas aledañas a la RECC se debe a factores de origen antrópico como, por ejemplo: factores agrícolas asociados al sobrepastoreo y agroquímicos vertidos sin tratamiento en las fuentes de agua; así como también al inadecuado manejo de aguas servidas, lavanderías y basura; a las industrias de curtiembre, galpones de pollos, invernaderos florícolas, plantaciones de frutales donde se utilizan agroquímicos y principalmente a la industria minera (MAE, 2007). Los recursos hídricos que se generan en la RECC y abastecen a las provincias de Imbabura y Esmeraldas tienen suma importancia porque muchas poblaciones dependen de este recurso (Vásquez & Tisalema Espinoza, 2017).

La integridad de los ecosistemas de la RECC, se encuentra severamente amenazada por las actividades descritas anteriormente, motivo por el cual en la presente disertación se desea conocer el grado de afectación que ha experimentado la cobertura vegetal de la Reserva a lo largo de su historia con el fin de conocer y administrar eficientemente sus ecosistemas (Sierra, 1999; Dodson y Gentry, 1991).

CAPÍTULO III

MARCO NORMATIVO E INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS EN ECUADOR

3.1 Evolución del marco normativo e institucional para la gestión de las Áreas Naturales Protegidas en Ecuador

La gestión de las Áreas Naturales Protegidas en Ecuador se remonta al año de 1936 cuando se declararon algunas islas del Archipiélago de Galápagos como parte de la primera área protegida del país, los principales intereses de su establecimiento fueron proteger las especies y fomentar la investigación científica (Elbers, 2011). Oficialmente, en julio de 1959 se funda el Parque Nacional Galápagos con un área de 8.006 km² correspondientes al 97 de la superficie insular, incluyendo las Islas Darwin, Wolf, Pinta, Marchena, Genovesa, Fernandina, Isabela, Santiago, Baltra, Sata Cruz, San Cristóbal y Floreana (DPNG, 2014).

Tuvieron que transcurrir 16 años para que la segunda área protegida del país sea declarada, en 1966 se crea la Reserva Geobotánica Pululahua, de igual manera con fines de investigación, protección y recreación (Paredes Martínez, 2016). El siguiente espacio natural en ser declarado fue la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, fundada en el año de 1968 inicialmente bajo la categoría de Reserva Nacional misma que se mantuvo bajo la temática de promoción a la conservación de la naturaleza, así como a la investigación y experimentación científica (Haro V, 2016).

En la década de 1960, al mismo tiempo que se impulsa la protección de espacios naturales, Ecuador retoma la explotación petrolera principalmente en la región Amazónica, con la colaboración de corporaciones extranjeras a pesar de que el país en aquella época no contaba con algún tipo de regulación ambiental o preocupación alguna por materias ambientales (Soria, 2002).

Este hecho se evidencia aún más cuando en el año de 1964, por la toma del poder político en Ecuador a manos de una dictadura militar se expide la primera Ley de Reforma Agraria y Colonización (Jordan, 2003); dicha ley generó cambios radicales en los procesos de posesión de la tierra, así como sus diferentes usos, impulsando de varias formas la transformación de los espacios naturales a espacios destinados para la explotación agropecuaria, forestal, entre otros fines con el objetivo principal de incluir

en los procesos de desarrollo económico y social a los campesinos que habitaban los espacios rurales marginados (Brassel, Herrera, & Laforge, 2008).

Posteriormente y pese a una segunda Reforma Agraria, en la década de 1970, se crean la mayor parte de Parques Nacionales en el país, áreas que por su tamaño y relevancia constituyeron un mayor porcentaje de territorio destinado para la conservación, al mismo tiempo el boom petrolero y el incremento de carreteras en el país mostraron un crecimiento exponencial (Paredes Martínez, 2016). Los primeros espacios protegidos se establecieron principalmente en sitios con escasos procesos de colonización, mismos que eran atractivos para el Estado no únicamente por sus extraordinarios recursos biológicos, sino también por su importancia en el ámbito energético de modo el Estado pudiera fortalecer su dominio sobre dichos espacios (MAE, 2007).

Más adelante, el manejo integral y sistémico de las áreas protegidas en Ecuador se fundamentaría en la Estrategia Preliminar para la Conservación de Áreas Silvestres Sobresalientes de 1976 (Vázquez P & Ulloa V, 1997); es así que, en la misma década el país contó por primera vez con legislación relevante para áreas naturales protegidas, misma que sirvió de base para que se generase la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre (Paredes Martínez, 2016). Institucionalmente, la gestión de las áreas protegidas también dio un giro cuando en 1974 el Ministerio de Agricultura y Ganadería, bajo la Dirección General de Desarrollo Forestal delega la dependencia de todas las áreas protegidas existentes hasta ese momento al departamento de Áreas Naturales y Recursos Silvestres; delegación que estuvo a cargo de la gestión y manejo de las áreas protegidas durante 18 años (MAE, 2007).

Posteriormente, en 1982, se creó el Programa Nacional Forestal mismo que seis años más tarde se transformaría en la Subsecretaría Forestal bajo la cual operó la Dirección Nacional Forestal y con ella el Departamento de Áreas Naturales y Vida Silvestre, dependientes del MAG (MAE, 2007).

En septiembre de 1992, se crea el Instituto Ecuatoriano Forestal de Áreas Naturales y Vida Silvestre (INEFAN), con su creación se fortalecieron las políticas de administración del manejo forestal y de áreas naturales (Paredes Martínez, 2016). Este Instituto marcó un antes y un después para las áreas protegidas del Estado, elevando la categoría del Departamento de Áreas Naturales y Vida Silvestre a Dirección Nacional de Áreas Naturales y Vida Silvestre. Mediante esta institución finalmente el país tuvo

una lógica para el manejo de los recursos forestales, áreas protegidas, así como el control del tráfico de flora y fauna silvestres (MAE, 2007).

El 4 de octubre de 1996, mediante decreto ejecutivo No. 195 se crea el Ministerio de Medio Ambiente para asumir el rol de autoridad ambiental responsable de la coordinación, ejecución, unificación y supervisión de las políticas en materia ambiental (Albuja Baquero, 2011). Es importante destacar que la Comisión Asesora Ambiental (CAAM), adscrita a la Presidencia de la República, formuló la base política para la creación del Ministerio del Ambiente; con la creación de este ministerio el INEFAN fue incluido en esta cartera de Estado mediante decreto ejecutivo No. 505 en enero de 1999 dando como entidad resultante de tal fusión el Ministerio del Ambiente (MAE, 2007).

Actualmente, la Subsecretaría de Patrimonio Natural a través de la Dirección Nacional de Biodiversidad y la Unidad de Áreas Protegidas y Ecosistemas Frágiles, ejercen el rol rector de las áreas protegidas, en conjunto con la Subsecretaría Marino Costera, cada uno en sus respectivos ámbitos de acción (A.M. No. 024 del 2009 y A. M. No. 025 del 2012).

El marco político desarrollado para el SNAP ha sido influenciado hasta la fecha por cuatro estrategias que, pese a no haber sido todas oficializadas, a su tiempo forjaron el enfoque de manejo actual para las áreas protegidas (Paredes Martínez, 2016). La primera fue la Estrategia Preliminar para la Conservación de Áreas Silvestres Sobresalientes del Ecuador (Vázquez P & Ulloa V, 1997) , que marcó las directrices para avanzar desde una visión gubernamental comercial de los recursos forestales hacia una perspectiva de protección y conservación de la biodiversidad (MAE, 2007).

La segunda Estrategia para el SNAP se desarrolló doce años más tarde en conjunto con la comunidad conservacionista internacional; en esta se destacaron los lineamientos para la incorporación del SNAP en los procesos de planificación y ordenamiento territorial, así como la participación comunitaria en el manejo y gestión de las áreas protegidas (Claire Terán, 2001).

En la Constitución de 1998, en el artículo 86 se inserta lo relativo al derecho de la población de vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado; así como también se declara de interés público la preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país; el manejo sustentable de los recursos naturales y de igual forma

permitió institucionalizar al SNAP al declarar “el establecimiento de un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas que garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecológicos, de conformidad con los convenios y tratados internacionales” (Constitución Política del Estado, 1998).

En 1999, se elaboró el Plan Estratégico del Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador desde el cual ya se visibiliza al SNAP como un sistema integrado por varios subsistemas, entre ellos el del PANE (MAE, 2007). Esta configuración de subsistemas es ratificada en el Anteproyecto de Ley de Biodiversidad de 2002 y posteriormente en el documento Políticas y Plan Estratégico del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador 2007 – 2016 (Paredes Martínez, 2016).

Finalmente, con la nueva Constitución del 2008 no sólo se garantiza los derechos de la naturaleza si no que en el Art. 405 también se declara la existencia del SNAP con sus cuatro subsistemas y añade: “el Estado asignará los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema, y quien fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Complementario a este proceso histórico, han existido otras leyes ambientales tales como: los Decretos conservacionistas para las Islas Galápagos, la Ley de Preservación y Zonas de Parques Nacionales de 1972, la Declaración de Parques Nacionales y la Delimitación de Zonas de Reserva Ecológica de 1979, entre otras; que no han marcado un efecto práctico debido a la falta de apoyo político para su aplicación; hecho que evidencia la falta de practicidad que han tenido las políticas públicas durante décadas sobre la conservación de las áreas naturales protegidas y por lo tanto han sido parte causal de su degradación (Guambuguete, 2016).

Bajo este contexto y en vista de las varias modificaciones sufridas por las leyes ambientales en relación a la generación de áreas Naturales Protegidas, es importante identificar el rol del Estado como principal precursor de estos espacios, es decir identificar si las áreas protegidas cumplen una función efectiva al mantener protegidos los ecosistemas de la degradación o son únicamente áreas protegidas en papel.

3.2 Estado normativo del Subsistema Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE)

Bajo este contexto es importante analizar el estado normativo del PANE dado que la RECC está adscrita a este subsistema y por lo tanto sus políticas responderán a las establecidas para este tipo de administración.

El Subsistema PANE está reconocido en el artículo 405 de la Constitución del Ecuador que establece:

“El sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. El sistema se integrará por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, y su rectoría y regulación será ejercida por el Estado. El Estado asignará los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema, y fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión...” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Por otra parte, la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Protegidas y Vida Silvestre en su artículo 66 manifiesta:

“El Subsistema del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado está constituido por el conjunto de áreas silvestres que se destacan por su valor protector, científico, escénico, educacional, turístico y recreacional, por su flora y fauna, o porque constituyen ecosistemas que contribuyen a mantener el equilibrio del ambiente. Corresponde al Ministerio del Ambiente, manejar, administrar y delimitar las áreas que forman este patrimonio”.

Actualmente existen 50 áreas protegidas declaradas en el Patrimonio de Áreas Naturales del Estado. Las categorías de manejo y número de áreas protegidas que corresponden al PANE continental son: seis Áreas Nacionales de Recreación, diez Parques Nacionales, 27 diez Refugios de Vida Silvestre, cinco Reservas Biológicas, cuatro Reservas de Producción de Fauna, nueve Reservas Ecológicas, una Reserva Geobotánica y tres Reservas Marinas. Las áreas protegidas del PANE están distribuidas en las tres regiones del Ecuador continental de la siguiente manera: 22 en la costa, nueve en la sierra, nueve en amazonía y ocho que comparten dos regiones. Los paisajes que protegen las áreas

protegidas del PANE son 40 terrestres, cuatro terrestres y marinos y cuatro marinos. Estas áreas protegidas están distribuidas en 21 provincias y 48 cantones (MAE, 2007).

Las áreas protegidas del PANE continental presentan diversas extensiones de territorio desde la más pequeña como el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas con 242 ha y la más grande el Parque Nacional Yasuní con un millón de ha. Aproximadamente (Paredes Martínez, 2016).

3.3 Instrumentos Normativos para la gestión de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas - RECC

El marco normativo e institucional hace referencia a los instrumentos normativos nacionales e internacionales que respaldan los esfuerzos relacionados con la protección, conservación de la naturaleza y el manejo de Áreas Protegidas. El siguiente resumen de las políticas públicas que intervienen en la administración y gestión de las áreas naturales protegidas en el Ecuador se dividirá en políticas a escala nacional y tratados/convenios internacionales.

3.3.1 Modelos Internacionales más relevantes relacionados con Áreas Protegidas ratificados por el Estado Ecuatoriano

3.3.1.1 Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)

El Convenio sobre la Diversidad Biológica de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, Científica y Cultural (UNESCO) fue ratificado en el Ecuador mediante el Registro Oficial No. 647 el 6 de marzo de 1995; y su finalidad es la conservación de la diversidad biológica, utilización sostenible de sus componentes, así como la participación justa y equilibrada de los beneficios que conlleva la utilización de los recursos genéticos (MAE, 2016).

El CDB propone los lineamientos correspondientes a las obligaciones, derechos, estrategias y sobre biodiversidad que los países firmantes se comprometen a seguir. En el caso de la conservación in situ, señala que las partes contratantes establecerán un sistema de Áreas Protegidas o áreas para conservar la diversidad biológica y de ser necesario elaborarán directrices para su selección, establecimiento y organización (Paredes Martínez, 2016). Como también promoverán la protección, conservación, rehabilitación, restauración y recuperación de ecosistemas y hábitats naturales; el mantenimiento y protección de poblaciones viables de especies amenazadas con el fin

de recuperarlas en sus entornos naturales (Art. 8, numerales a – f) Además, respetarán, preservarán, mantendrán y promoverán los conocimientos y las prácticas ancestrales de las comunidades indígenas adecuadas para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica (Rodríguez, 2009).

3.3.1.2 Convenio sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de la UNESCO

El Convenio para la Protección del Patrimonio Natural y Cultural de la UNESCO fue ratificado por el Estado Ecuatoriano el 16 de junio de 1975. Este convenio tiene sus fundamentos en la Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura en su décimo séptima reunión en París el 17 de octubre de 1972. Se crea como resultado de la preocupación de la comunidad internacional sobre el patrimonio cultural y natural que está siendo amenazado tanto por su deterioro, así como también por la evolución de la vida social y económica (Rodríguez, 2009). El Convenio establece medidas para inventariar y proteger dos tipos de patrimonio mundial:

1. El patrimonio Cultural expresado en:
 - Monumentos (obras arquitectónicas, de escultura o de pintura)
 - Conjuntos (grupos de construcciones, aislados o reunidas cuya arquitectura, unidad e integración con el paisaje le dé un valor universal excepcional desde la historia, el arte o la ciencia)
 - Lugares (Obras del hombre, o del hombre y la naturaleza) 20
2. El Patrimonio Natural:
 - Monumentos naturales,
 - Formaciones geológicas y fisiográficas que constituyen el hábitat de especies animal o vegetal amenazadas.
 - Lugares naturales o zonas naturales estrictamente delimitadas.

En relación a las APs el documento señala lo siguiente en su artículo 4:

“Cada uno de los Estados Partes en la presente Convención reconoce que la obligación de identificar, proteger, conservar, rehabilitar y transmitir a las generaciones futuras el patrimonio cultural y natural situado en su territorio, le incumbe primordialmente. Procurará actuar con ese objeto por su propio esfuerzo y hasta el máximo de los recursos de que disponga, y llegado el caso, mediante la asistencia y la

cooperación internacionales de que se pueda beneficiar, sobre todo en los aspectos financiero, artístico, científico y técnico...”

3.3.1.3 Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional Ramsar

La Convención sobre los Humedales es un tratado intergubernamental aprobado el 2 de febrero de 1971 en la ciudad iraní de Ramsar, situada en la costa meridional del Mar Caspio. Ramsar es el primero de los modernos tratados intergubernamentales mundiales sobre conservación y uso racional de los recursos naturales (MAE, 2013).

Ecuador es parte contratante desde 1990, entró en vigencia el 7 de enero de 1991. A la fecha el país ha designado al menos 19 sitios Ramsar; incluyendo el recientemente creado Complejo de Humedales Cuyabeno Lagartococha Yasuní con una extensión de 770.000 hectáreas haciendo de éste el sitio Ramsar más grande del Ecuador (Ramsar. Org, 2018)

En lo referente a áreas protegidas el convenio en su acápite Reservas de la Naturaleza artículo 4, Anexo I dice lo siguiente:

Art. 4.1.- Se solicita a los Estados que se adhieren a la Convención promover la conservación de los humedales en su territorio mediante el establecimiento de áreas protegidas en humedales, estén o no incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional.

4.2.- Se espera que las Partes Contratantes realicen intercambios de datos y publicaciones relativas a los humedales, manejen los humedales en base a los principios de uso racional y promuevan la capacitación en los campos de investigación, manejo y custodia de los humedales.

4.3.- La Convención convoca al establecimiento de medidas estrictas de protección para los sitios Ramsar que sean de pequeñas dimensiones o especialmente sensibles. También pone particular énfasis en la necesidad de asegurar que las características ecológicas de tales áreas no corran riesgo y en la necesidad de Bonificar los sitios Ramsar más grandes y las áreas que incluyan humedales.

3.3.1.4 Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) es el acuerdo multilateral internacional que guía las acciones sobre cambio climático de los 192 Estados que lo han ratificado (MAE, 2017).

Ecuador ratificó su participación en la CMNUCC el 4 de octubre de 1994, marcando el inicio y evolución de las políticas públicas para abordar el tema de cambio climático y creándose la base política que busca medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático a nivel nacional (MAE, 2017).

Entre los artículos más destacados que se relacionan con las APs se encuentran los siguientes:

Artículo 4: Compromisos

1. Todas las Partes, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo, de sus objetivos y de sus circunstancias, deberán:
 - b) Formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático, teniendo en cuenta las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, y medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático.
 - d) Promover la gestión sostenible y promover y apoyar con su cooperación la conservación y el reforzamiento, según proceda, de los sumideros y depósitos de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, inclusive la biomasa, los bosques y los océanos, así como otros ecosistemas terrestres, costeros y marinos;
 - e) Cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos del cambio climático; desarrollar y elaborar planes apropiados e integrados para la ordenación de las zonas costeras, los recursos hídricos y la agricultura, y para la protección y rehabilitación de las zonas.

3.3.1.5 Convenio Internacional de Lucha Contra la Desertificación

Debido a los fracasos de esfuerzos previos desarrollados para mitigar las sequías y el avance de la desertificación, la Conferencia de Río de 1992 manifestó su preocupación e invitó a preparar una Conferencia Internacional de Lucha contra la Desertificación (CCD); posteriormente el 22 de diciembre del mismo año un Comité Intergubernamental de Negociación preparó el texto original de la Convención y sus anexos correspondientes para finalmente firmar formalmente la CCD dos años más tarde, en octubre de 1994 (Mae, 2013).

La CCD, así como organismos intergubernamentales reconocen la desertificación y la sequía como problemas graves que trascienden fronteras y cuyos efectos inciden en todas las regiones del mundo, motivo por el cual esta Convención resalta la necesidad de unir esfuerzos internacionalmente para hacer frente al problema de la desertificación y la sequía imponiendo las bases que los países firmantes deben incorporar a sus políticas nacionales para adoptar medidas de control sobre sus principales causales (Rodríguez, 2009).

El Gobierno Ecuatoriano ratificó su participación en esta Convención el 6 de septiembre de 1995. Este tratado en relación a las APs del país menciona en su artículo 5: De las obligaciones de los países Partes Afectados:

- (a) Otorgar la debida prioridad a la lucha contra la desertificación y la mitigación de los efectos de la sequía y asignar recursos suficientes, conforme a sus circunstancias y capacidades.
- (b) Establecer estrategias y prioridades, en el marco de sus planes y políticas nacionales de desarrollo sostenible, a los efectos de luchar contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía.
- (c) Crear un entorno propicio, según corresponda, mediante el fortalecimiento de la legislación pertinente en vigor y, en caso de que ésta no exista, la promulgación de nuevas leyes y el establecimiento de políticas y programas de acción a largo plazo.

Estos entre otros artículos, hacen referencia a la importancia de generar desde la política pública espacios de sostenibilidad ambiental, mismos que pueden ser implementados a través de las APs (Rodríguez, 2009).

3.3.1.6 Convenio sobre las Maderas Tropicales, ratificado en los años: 1994, 1995 y 2008

Ecuador ha ratificado su participación en este Convenio en tres ocasiones, en los años 1994, 1995 y 2008. Los principales objetivos de este convenio incluyen promover la expansión y diversificación del comercio internacional de maderas tropicales sosteniblemente, aprovecharlos legalmente y promover la ordenación sostenible de los bosques productores de maderas tropicales (MAE, 2009).

Otro de los principales objetivos de este tratado es alentar a los miembros para brindar apoyo y desarrollar la repoblación de los bosques de maderas tropicales, así como la rehabilitación y regeneración de las tierras forestales degradadas, teniendo presentes los intereses de las comunidades locales que dependen de los recursos forestales (MAE, 2009).

En este contexto, la ratificación a este Convenio en relación al manejo de las APs sugiere un uso sustentable de los bosques, incluyendo aquellos que se localizan en las Zonas de Amortiguamiento y cercanías de ciertas APs; por lo tanto, propone un uso racional del recurso forestal que garantice su regeneración eficientemente al elaborar políticas nacionales encaminadas a la utilización sostenible y la conservación de los bosques productores de maderas manteniendo el equilibrio ecológico (Rodríguez, 2009).

3.3.1.7 Decisión. 523 de la Comunidad Andina de Naciones, que aprueba la Estrategia Regional de Biodiversidad para los Países del Trópico Andino

A nivel Regional la Comunidad Andina de Naciones (CAN) al reconocer que los países miembros concentran un alto porcentaje de la biodiversidad mundial y además representan el lugar que provee alrededor del 35% de la producción agroalimentaria e industrial del mundo; sugiere necesario fortalecer la acción comunitaria respecto de los procesos e instrumentos internacionales para proteger con mayor eficacia la biodiversidad a escala regional.

La Estrategia Regional de Biodiversidad promueve el interés en buscar medidas de carácter legal que permitan proteger la biodiversidad *ex situ* mediante la colaboración internacional de los países miembros y la promoción de estrategias transfronterizas.

Esta estrategia incluye un importante componente de enfoque ecosistémico y a la vez profundiza el tema de la gestión y manejo de APs, tanto de ecosistemas terrestres y

marino costeros transfronterizos, motivo por el cual esta estrategia cobra importancia vital en la CAN. Ecuador ratificó su participación en dicha estrategia por medio de Registro Oficial No. 671, 27 de septiembre de 2002.

3.3.1.8 Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres CITES

Esta Convención es relevante, debido a que dentro de la RECC habita una extensa cantidad de especies que están enlistadas en los acápites del Convenio y que a su vez se encuentran amenazadas, ya sea por tráfico, maltrato, o debido al deterioro de su hábitat lo cual implica peligro de extinción (MAE, 2009).

Ecuador suscribió a esta convención en diciembre de 1974 y tiene por principal objetivo proteger a las especies de flora y fauna amenazadas o en vías de extinción a través del control del comercio internacional.

3.3.2 Referencias Normativas Nacionales

3.3.2.1 Constitución de la República del Ecuador de 2008

Ley Fundamental o Carta Magna, columna vertebral del resto de leyes, ya que define el origen de la soberanía en el país, como los derechos, deberes y obligaciones de los sujetos (Ciudadanos-Naturaleza), además establece las funciones del Estado (Ejecutivo, Legislativo, Judicial, Electoral, Transparencia y Control Social). En el capítulo tercero, sección IV: Personas usuarias y consumidoras menciona que:

Art. 57.-...Las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas tienen el derecho de participar en el uso, usufructo, administración y conservación de los recursos naturales renovables que se hallen en sus tierras. El Estado establecerá y ejecutará programas, con la participación de la comunidad, para asegurar la conservación y utilización sustentable de la biodiversidad...”

Art. 321.- El Estado reconoce y garantiza el derecho a la propiedad en sus formas pública, privada, comunitaria, estatal, asociativa, cooperativa, mixta, y que deberá cumplir su función social y ambiental.

Art.323.- Con el objeto de ejecutar planes de desarrollo social, manejo sustentable del ambiente y de bienestar colectivo, las instituciones del Estado, por razones de utilidad pública o interés social y nacional, podrán declarar la expropiación

de bienes, previa justa valoración, indemnización y pago de conformidad con la ley. Se prohíbe toda forma de confiscación.

Art. 405.- "...El Estado fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión. Las personas naturales o jurídicas extranjeras no podrán adquirir a ningún título tierras o concesiones en las áreas de seguridad nacional ni en áreas protegidas, de acuerdo con la ley." (Asamblea Nacional, 2008).

3.3.2.2 Ley de Gestión Ambiental

La Ley de Gestión Ambiental fue promulgada el 30 de julio de 1999, como un conjunto de políticas, normas y actividades operativas y administrativas de planeamiento, 19 financiamiento y control a nivel público y privado del uso del medio ambiente y sus recursos naturales, con el fin de garantizar el desarrollo sostenible del Ecuador (MAE-CEPP, 2016). Según lo establecido en el Artículo No 13 de esta ley, los consejos provinciales y municipales dictarán políticas ambientales seccionales con sujeción a las normativas vigentes, respetando las regulaciones nacionales sobre el SNAP para determinar los usos del suelo. Consultarán a los representantes de los pueblos indígenas, afroecuatorianos y poblaciones locales para el establecimiento y manejo de áreas de conservación.

3.3.2.3 Texto unificado de legislación ambiental secundaria del MAE

Tiene como objetivos estratégicos la conservación y utilización sustentablemente de la biodiversidad, respetando la multiculturalidad y los conocimientos ancestrales, además previene la contaminación y la vulnerabilidad de los ecosistemas con el fin garantizar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, asimismo promueve la justicia social y reconoce al agua, suelo y aire como recursos naturales estratégicos. En los libros I: De la autoridad ambiental y libro III: Del Régimen Forestal: De las Áreas Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres detalla:

Art. 7.- Estructura Organizacional

7.1. Subsecretaría de Patrimonio Natural. "MISION: Dirigir y promover la gestión ambiental para la conservación y uso sustentable del patrimonio natural del Ecuador..." "ATRIBUCIONES Y RESPONSABILIDADES..." (Se detallan en el siguiente capítulo sobre entidades con competencia).

7.1.1. Dirección Nacional de Biodiversidad, Atribuciones Y Responsabilidades. ”
MISION: Contribuir al desarrollo sustentable del país mediante la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de sus beneficios...” “...ATRIBUCIONES Y RESPONSABILIDADES...”

Art. 170.- “Las actividades permitidas en el Sistema de Áreas Naturales del Estado, son las siguientes: preservación, protección, investigación, recuperación y restauración, educación y cultura, recreación y turismo controlados, pesca y caza deportiva controladas, aprovechamiento racional de la fauna y flora silvestres...”

Art. 178.- “El Ministerio del Ambiente o la dependencia correspondiente de éste, en base los criterios del Plan de Manejo de cada Área Natural, limitará: a) El número de visitantes por año a los sitios de visita en cada una de las Áreas Naturales del Estado; b) El número y la capacidad de los vehículos, embarcaciones o naves que ingresen a las Áreas 25 Naturales del Estado; c) El número máximo de personas que conforman los grupos de visitas; d) El número máximo de personas por guía calificado por el Ministerio del Ambiente.”

Art. 179.- “En el Patrimonio Nacional de Áreas Naturales, el Ministerio del Ambiente podrá otorgar concesiones y celebrar contratos de comodato, arrendamiento y cualquier otra Figura legal adecuada para la prestación de servicios o la utilización sustentable de recursos de las áreas naturales del Estado, con base al respectivo plan de manejo y en función de la categoría de manejo del área protegida.”

Art. 180.- “Están sujetas al pago de derechos por concesión de patentes de operación turística, ingresos y prestación de servicios dentro de las Áreas Naturales del Estado, las actividades que a continuación se señalan: a) la operación turística y recreacional que realicen personas naturales o jurídicas; b) El ingreso de visitantes; c) El uso de servicios existentes dentro de las Áreas Naturales; d) El aprovechamiento de los recursos por parte de los visitantes.”

Art. 194.- “Las personas autorizadas para dirigir a grupos turísticos dentro de las Áreas Naturales del Estado serán guías naturalistas o guías auxiliares, con diploma conferido por el Ministerio del Ambiente o la dependencia correspondiente de éste, previa la aprobación del respectivo curso de capacitación y su inscripción en el Registro Forestal...” ”... Los guías naturalistas estarán sujetos a las disposiciones del presente Libro III Del Régimen Forestal y del Libro IV de la Biodiversidad...”

3.3.2.4 Ley Forestal y de Conservación de Áreas naturales y Vida Silvestre

Fue concebida con la intención de que se defina y delimite el patrimonio forestal y las áreas naturales de vida silvestre, a fin de lograr una correcta administración por parte del Estado de los patrimonios y recursos, a fin de preservar su valor científico, cultural y económico.

Art. 5.- “El Ministerio del Ambiente, tendrá los siguientes objetivos y funciones:...” “...f) Administrar, conservar y fomentar los bosques de protección y de producción, tierras de aptitud forestal, fauna y flora silvestre, parques nacionales y unidades equivalentes y áreas de reserva para los fines antedichos...”

Art. 13.- “Declarase obligatoria y de interés público la forestación y reforestación de las tierras de aptitud forestal, tanto públicas como privadas, y prohíbese su utilización en otros fines...”

Art. 44.- “...la movilización de productos forestales y de flora y fauna silvestres, requerirá de la correspondiente guía de circulación expedida por el Ministerio del Ambiente. Se establecerán puestos de control forestal y de fauna silvestre de atención permanente, los cuales contarán con el apoyo y presencia de la fuerza pública.”

Art. 66.- “El patrimonio de áreas naturales del Estado se halla constituido por el conjunto de áreas silvestres que se destacan por su valor protector, científico, escénico, educacional, turístico y recreacional, por su flora y fauna, o porque constituyen ecosistemas que contribuyen a mantener el equilibrio del medio ambiente.”

Art. 75.- “Cualquiera que sea la finalidad, prohíbese ocupar las tierras del patrimonio de áreas naturales del Estado, alterar o dañar la demarcación de las unidades de manejo u ocasionar deterioro de los recursos naturales en ellas existentes. Se prohíbe igualmente, contaminar el medio ambiente terrestre, acuático o aéreo, o atentar contra la vida silvestre, terrestre, acuática o aérea, existente en las unidades de manejo...”

3.3.2.5 Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales

Normaliza el uso y aprovechamiento de la tierra con el propósito de asegurar la alimentación para todos los ecuatorianos, además la presente Ley procura otorgar la garantía de seguridad en la tenencia individual y colectiva de la tierra con el fin de garantizar la justicia social en el bien común y en la seguridad jurídica. Asimismo, ésta ley está orientada a minimizar los riesgos propios de la actividad agraria con el fin que

exista un equilibrio de los ecosistemas y del ambiente. Con esta visión seguidamente se describen los artículos que sirven de guía en la ley analizada

Art. 11.- La propiedad de la tierra rural deberá cumplir con la función social. Esta presupone que el sistema productivo agrario establecido en el predio mantenga una producción sostenible y sustentable para garantizar la soberanía alimentaria, la generación de trabajo familiar o de empleo, el desarrollo y fortalecimiento de las capacidades de producción, agro industria y exportación agropecuaria, de conformidad con la Ley.

Art. 12.- La propiedad de la tierra rural deberá cumplir con la función ambiental. En consecuencia, deberá contribuir al desarrollo sustentable, al uso racional del suelo y al mantenimiento de su fertilidad de tal manera que conserve el recurso, la agrobiodiversidad y las cuencas hidrográficas para mantener la aptitud productiva, la producción alimentaria, asegurar la disponibilidad de agua de calidad y contribuya a la conservación de la biodiversidad.

Art. 13.- Las actividades productivas agrarias en los ecosistemas frágiles requerirán de un instrumento de manejo que sea elaborado por el Estado en forma participativa, debe sustentarse en los estudios y parámetros que establezca la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 23.- Se reconocerá y garantizará a favor de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, afroecuatorianos y montubios, el derecho a conservar la propiedad comunitaria y a mantener la posesión de sus tierras y territorios ancestrales y comunales que les sean adjudicados a perpetuidad gratuitamente, de conformidad con la Constitución, pactos, convenios, declaraciones y demás instrumentos internacionales de derechos colectivos. Igualmente se garantizará el derecho a participar en el uso, usufructo, administración y conservación de sus tierras y territorios. El Estado garantizará la seguridad jurídica de tales tierras y territorios y establecerá políticas públicas para el fortalecimiento y desarrollo de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades a través de inversiones prioritarias.

Art. 63.- Exclusiones. No pueden ser adjudicatarios de tierras rurales estatales:

c) Las personas naturales cuya actividad económica no es compatible con las actividades agropecuaria, forestal, silvícola, acuícola, de conservación de recursos naturales renovables; recreación o ecoturismo; y las personas jurídicas que no tienen por

objeto las indicadas actividades, en los programas de redistribución; d) Quienes han sido beneficiarios de una adjudicación anterior de tierras, con excepción de las y los adjudicatarios de predios cuya superficie es inferior a la Unidad Productiva Familiar;

Art. 84.- Afectación ambiental. Las personas naturales o jurídicas que ejecuten acciones que afecten a ecosistemas frágiles declarados por la Autoridad Ambiental Nacional en territorios comunitarios o en tierras de posesión ancestral, serán sancionados y deberán reparar y restaurar los daños causados de conformidad con la Constitución y la Ley.

3.3.2.6 Ley de organización y régimen de las comunas

El Estado hará efectiva la protección y tutela, especialmente por medio del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sin embargo, se prohíbe el fraccionamiento de páramos, así como de las tierras destinadas a la siembra de árboles (Arias, et al., 2007). Posteriormente se expresan los artículos que respaldan a la comunidad y en la parte siguiente su argumento correspondiente.

Art. 6.- Los habitantes de las comunas podrán poseer bienes colectivos, como tierras de labranza y pastoreo, industrias, acequias, herramientas, semovientes, establecimientos educacionales, etc.

Art. 7.- Los bienes que posean o adquieran en común, serán patrimonio de todos sus habitantes; su uso y goce se adecuarán, en cada caso, a la mejor conveniencia de cada uno de ellos, mediante la reglamentación que se dicte, libremente, para su administración.

Art. 18.- El Ministerio de Agricultura y Ganadería prestará su apoyo directo a las comunas en todo lo que se refiera a su mejoramiento material e intelectual, ayudándolas en el financiamiento económico para la adquisición de bienes colectivos, como tierras de labranza, instalación de industrias, obras de irrigación, etc.; y solicitará de los demás organismos del Estado o de otras entidades, su colaboración para llenar necesidades que no tengan relación con las atribuciones de dicho Ministerio.

3.3.2.7 Reglamento Especial de Turismo en Áreas Naturales Protegidas

Hace hincapié a las actividades turísticas en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas con medidas de control y mecanismos que garanticen la conservación de los

ecosistemas y el uso sustentable de recursos naturales, seguidamente se especifican los artículos que acogen a la presente investigación. Capítulo I: Ámbito y principios:

Art. 3.- “Son principios rectores para la gestión relacionada a las actividades turísticas en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, los siguientes: 1. Las medidas de control y mecanismos que garanticen la conservación de los ecosistemas y el uso sustentable de los recursos naturales; 2. El manejo participativo en la planificación de las actividades turísticas en las áreas del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas;” “...4. La zonificación adecuada de las actividades turísticas dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas;” “...6. La protección de las especies y ecosistemas vulnerables, frágiles y en peligro de extinción;”

Art. 4.- Regulación.- Previo al otorgamiento de la autorización para construir o remodelar cualquier estructura, edificación, facilidad, establecimiento o embarcación destinados a fines turísticos en el Patrimonio de Áreas Naturales del Estado PANE, el interesado deberá cumplir con la normativa turística y ambiental vigente, así como también con las prescripciones contenidas en el Plan de Manejo del área protegida en la que se pretenda ejercer la actividad, atendiendo el grado de riesgo ambiental que suponga la construcción o remodelación.

Art. 16.- La determinación del número de permisos tendrá como fundamento los estudios técnicos elaborados por la Autoridad Ambiental Nacional y los respectivos Planes de Manejo, para lo cual se observará los siguientes parámetros. La capacidad de visitantes admisibles en cada sitio de visita de las áreas del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado PANE, que será fijado mediante estudios técnicos avalados por la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 27.- Los Estudios de Impacto Ambiental que se deban realizar previo al inicio de las actividades y modalidades turísticas en el Patrimonio de Áreas Naturales del Estado PANE, deberán contener los componentes a los que se refiere la legislación ambiental aplicable. Para el caso de construcción de nueva infraestructura turística o de remodelación de la ya existente, los estudios de impacto ambiental deberán estar en concordancia con el estudio técnico de visitantes avalado por la Autoridad Ambiental Nacional, debiendo incluir el inventario de las especies vulnerables.

Art. 29.- De la capacitación y educación. - La capacitación al personal operativo de las Autoridades Nacionales de Ambiente y de Turismo, de los guías, de los

operadores turísticos y miembros de la población local se orientará principalmente al desarrollo y fomento de: 1. Los conocimientos, habilidades y destrezas sobre el manejo de los recursos naturales y culturales existentes en el área protegida.

Art. 31.- Las modalidades de turismo permitidas en el Patrimonio de Áreas Naturales del Estado PANE son: 1. Turismo de Naturaleza.- Es aquel en que la motivación del viaje es la contemplación y esparcimiento asociada a la oferta de atractivos naturales de flora, fauna, paisajísticos, geológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrológicos, entre otros; 3. Turismo de Aventura.- En el que el contacto con la naturaleza requiere de esfuerzos físicos y de diferentes niveles de riesgo moderado y controlado, pudiendo realizar actividades tales como rafting, kayak, surf, vela, senderismo, rapel, cabalgata, ciclo turismo, espeleología, montañismo, buceo, entre otros, conforme a lo establecido en la normativa turística correspondiente; 4. Ecoturismo.- Consiste en visitar las áreas naturales, conservando su ambiente, con bajo impacto y propiciando un involucramiento activo y socioeconómicamente benéfico para las poblaciones locales; 6. Otras modalidades de turismo compatibles con la normativa aplicable.

3.3.2.8 Código Orgánico Organización Territorial Autonomía y Descentralización

Art. 4.- “Fines de los gobiernos autónomos descentralizados. -...” “...d) La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de medio ambiente sostenible y sustentable;...”

Art. 10.- “Niveles de organización territorial. - El Estado ecuatoriano se organiza territorialmente en regiones, provincias, cantones y parroquias rurales...”

Art. 54.- “Funciones. - Son funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal las siguientes:...” “...e) Elaborar y ejecutar el plan cantonal de desarrollo, el de ordenamiento territorial y las políticas públicas en el ámbito de sus competencias y en su circunscripción territorial, de manera coordinada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquia, y realizar en forma permanente, el seguimiento y rendición de cuentas sobre el cumplimiento de las metas establecidas;...” “...k) Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales;...”

Art. 100.- “Territorios ancestrales.- Los territorios ancestrales de las comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, afroecuatorianos y montubios que se encuentren en áreas naturales protegidas, continuarán ocupados y administrados por éstas de forma comunitaria, con políticas, planes y programas de conservación y protección del ambiente de acuerdo con sus conocimientos y prácticas ancestrales en concordancia con las políticas y planes de conservación del Sistema Nacional de Áreas protegidas del Estado...”.

3.3.2.9 Ley de Minería

En relación de la RECC con la Ley de Minería es importante señalar que dentro de la Reserva y en parte de su zona de amortiguamiento se localizan varios yacimientos minerales potenciales tanto de interés local como nacional; en algunos casos, dichos yacimientos minerales se encuentran ya en procesos de explotación; hecho que genera preocupación en el caso de la minería ilegal, ya que amenaza a los ecosistemas presentes en la RECC.

Art. 82.- “...obligación de reforestar con plantas nativas si se hubiere realizado tala por actividad minera...” Sin embargo, no se aclara quien debe coordinar, supervisar ni r esta actividad de reforestación. Además, el artículo es sumamente general y no incluye el caso de delitos ambientales o de infracciones si la tala fuera del tipo que señalan la Ley Forestal y/o el Código Penal

3.3.2.10 Pueblos y nacionalidades indígenas en Áreas Protegidas en la Constitución

Esta normativa tiene relación con la RECC debido a que en ella habitan los Pueblos y nacionalidades indígenas Kichwas, Awá, Chachi y Afroecuatorianos.

El Estado reconocerá y garantizará a los pueblos indígenas, de conformidad con esta Constitución y la ley, el respeto al orden público y a los derechos humanos, los siguientes derechos colectivos:

1. Mantener, desarrollar y fortalecer su identidad y tradiciones en lo espiritual, cultural, lingüístico, social, político y económico.
2. Conservar la propiedad imprescriptible de las tierras comunitarias, que serán inalienables, inembargables e indivisibles, salvo la facultad del Estado para

declarar su utilidad pública. Estas tierras estarán exentas del pago del impuesto predial.

3. Mantener la posesión ancestral de las tierras comunitarias y a obtener su adjudicación gratuita, conforme a la ley.

4. Participar en el uso, usufructo, administración y conservación de los recursos naturales renovables que se hallen en sus tierras.

5. Ser consultados sobre planes y programas de prospección y explotación de recursos no renovables que se hallen en sus tierras y que puedan afectarlos ambiental o culturalmente; participar en los beneficios que esos proyectos reporten, en cuanto sea posible y recibir indemnizaciones por los perjuicios socioambientales que les causen.

6. Conservar y promover sus prácticas de manejo de la biodiversidad y de su entorno natural.

7. Conservar y desarrollar sus formas tradicionales de convivencia y organización social, de generación y ejercicio de la autoridad.

8. A no ser desplazados, como pueblos, de sus tierras.

9. A la propiedad intelectual colectiva de sus conocimientos ancestrales; a su valoración, uso y desarrollo conforme a la ley.

10. Mantener, desarrollar y administrar su patrimonio cultural e histórico.

12. A sus sistemas, conocimientos y prácticas de medicina tradicional, incluido el derecho a la protección de los lugares rituales y sagrados, plantas, animales, minerales y ecosistemas de interés vital desde el punto de vista de aquella.

13. Formular prioridades en planes y proyectos para el desarrollo y mejoramiento de sus condiciones económicas y sociales; y a un adecuado financiamiento del Estado.

14. Participar, mediante representantes, en los organismos oficiales que determine la ley.

3.4 Resultados del Análisis Normativo

A nivel nacional con base en la historia disponible en los documentos oficiales, acerca del Subsistema PANE, se muestra que el Estado ha sido el ente que ha jugado el rol preponderante en el establecimiento de las áreas protegidas.

Por otra parte, revisada la base legal existente, es claro que la normativa promueve la gestión operativa de las APs de forma sistemática, ordenada y sustentable con involucramiento de los actores locales. Los actores locales incluyen tanto a las comunidades indígenas, visitantes, así como a los responsables administrativos de las áreas protegidas, quienes toman un rol importante en la gestión operativa siempre y cuando se sujeten a los derechos y responsabilidades que la normativa vigente establece en sus procesos de regularización.

El mayor reto de las comunidades y pueblos indígenas que subsisten a partir de las APs radica en la dificultad que tienen de legalizar posesiones individuales o colectivas debido a la naturaleza jurídica de un área declarada patrimonio nacional, dado que la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre de 1981, aún vigente, no permite la constitución de derechos reales o de propiedad sobre áreas del PANE, lo cual contrasta con lo que ocurre dentro de áreas protegidas en donde se encuentran poblaciones con derechos de posesión, posesionarios colectivos e individuales y propietarios con presencia anterior a las declaratorias; los mismos que realizan todo tipo de actividades que se contraponen con los objetivos de conservación y las respectivas categorías de manejo (MAE, 2007).

La mayoría de categorías de manejo de las áreas protegidas, se orientan principalmente hacia objetivos de protección de la biodiversidad, dejando poco o nada cubiertos aquellos objetivos relacionados con el uso sustentable de recursos naturales, debido a que en la época que fue publicada la Ley Forestal y de Conservación de la Vida Silvestre, que definió las categorías de manejo, estos conceptos no existían. Las definiciones de las categorías de manejo que obedecen a esa Ley tampoco ofrecen oportunidades de participación en la gestión de las áreas protegidas.

Frente a estos factores, la Autoridad Ambiental apoyada por la Cooperación Internacional, así como por el trabajo de diferentes ONG, han promovido por varias décadas el uso sustentable de los recursos naturales, diversificación de alternativas productivas y apoyo a la gestión de las áreas protegidas a través de la firma de

convenios de uso y manejo acuerdos de manejo compartido con gobiernos seccionales y establecimiento de plataformas de participación como los Comités de Gestión. Estas acciones han promovido una mejor aceptación de las áreas protegidas, así como el interés por los beneficios que éstas pueden generar para el mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones ubicadas al interior o en las zonas de amortiguamiento (MAE, 2007).

Particularmente, en la RECC los principales conflictos a los que los pueblos y comunidades indígena se enfrentan responden a los mismos mencionados a escala nacional, es decir, problemas y dificultades con la posesión de la tierra que habitan. Las condiciones estructurales de la normativa vigente juegan un rol fundamental en las dinámicas de uso y aprovechamiento de suelo, así como en la conservación de ecosistemas presentes en la RECC, por lo que las interrelaciones entre la autoridad ambiental y los demás actores se presentan como ejes de funcionamiento basados no únicamente en el alcance y aplicabilidad de la normativa vigente sino también en las imposiciones propias de cada comunidad en base a sus propios requerimientos.

Por lo tanto, este estudio más adelante visibilizará a partir de técnicas de teledetección y el rol en la conservación que han jugado las comunidades y actores locales, así como la interrelación de las áreas protegidas con los espacios culturales.

CAPÍTULO IV DESCRIPCIONES GENERALES

4.1 Descripción de la herramienta Google Earth Engine

La rápida transformación de la superficie terrestre a causa de las actividades antrópicas, impulsa a las compañías Google Inc. y Mountain View a crear en el año 2007 una plataforma tecnológica online llamada Google Earth Engine, una versión más sofisticada, avanzada y robusta que Google Earth (Vasconcelos, 2015).

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma tecnológica gratuita basada en tecnología “nube” para el análisis de datos ambientales (Niklas Schmid, 2018). Permite estudiar fenómenos ocurridos en la superficie de la Tierra a escala planetaria y cuenta con una amplia cobertura de datos actuales e históricos multidisciplinarios. Su objetivo principal es la preservación de los recursos naturales (Cabrera, 2014).

Adicionalmente, reúne más de 40 años de imágenes satelitales mundiales y proporciona desde las herramientas hasta la potencia computacional necesaria para analizar y explotar dicho vasto almacén de datos (Google, 2018).

Principalmente, GEE se enfoca en el desarrollo de algoritmos interactivos a escala global, lo que representa un sustancial avance en el manejo hábil de datos con alto impacto en la ciencia de la teledetección, así como en la identificación de los desafíos globales que involucran grandes conjuntos de datos geoespaciales (Anaya, Sione, & Rodríguez Montellano, 2018).

Esta aplicación difiere de *Google Earth* principalmente porque brinda al desarrollador la posibilidad de procesar, analizar y gestionar los datos espaciales requiriendo únicamente una conexión a internet estable (Vasconcelos, 2015). Además, permite dar seguimiento al entorno de forma remota poniendo a disposición un modelo digital y dinámico del planeta que se actualiza diariamente (Massey, Sankey, Yadav, Congalton, & Tilton, 2018).

De este modo Google Earth Engine es una muestra clara del potencial obtenido al combinar la creación de visores con la incorporación de imágenes satelitales y datos vectoriales, así como, diferentes tipos de algoritmos que permiten el procesado de información espacial para una rápida y eficiente toma de decisiones (Kumar & Mutanga, 2018).

4.2 Introducción al uso de Google Earth Engine (GEE)

4.2.1 Conceptos Principales

4.2.1.1 Tecnología Nube o “Cloud Computing”

La nube informática no es un producto, es un modo de transmisión y almacenaje de datos. Es un paradigma que permite un acceso universal y práctico a la demanda de una red compartida y a un conjunto de fuentes informáticas configurables como Google Earth Engine, que pueden estar aprovisionados y liberados con un mínimo de administración (NIST, 2018).

Tal servicio informático, que funciona a través de Internet, tiene como objetivo el poder utilizar recursos informáticos sin tenerlos, así como también el disponer de ellos en cualquier momento y lugar que tenga acceso a Internet (Cloud, 2018).

La nube es un concepto revolucionario que supone un gran avance en la transmisión y almacenamiento de datos (Solutions, 2018); Google Earth Engine utiliza esta herramienta para almacenar su archivo de datos públicos y a su vez ponerlos a disposición de los desarrolladores alrededor el mundo (Kumar & Mutanga, 2018). Por lo tanto, es importante destacar que el desarrollador o investigador no necesitará almacenar grandes cantidades de información en su computador personal.

4.2.1.2 Big Data / Escala Petabyte

En español el concepto de Big Data se traduce a grandes volúmenes de datos. Es un término evolutivo que describe una cantidad voluminosa de datos estructurados y estandarizados con el potencial de ser extraídos para obtener información en base a su análisis (Ramírez Navia, 2018).

Al hablar de Big Data se hace referencia a conjuntos de datos o combinaciones de conjuntos de datos cuyo tamaño (volumen), complejidad (variabilidad) y velocidad de crecimiento (velocidad) dificultan su captura, gestión, procesamiento o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales dentro del tiempo necesario para que sean útiles (Espinoza Paredes, 2015).

Pese a que el tamaño utilizado para determinar si un conjunto de datos determinado se considera Big Data no está firmemente definido y sigue cambiando con el tiempo, la mayoría de los analistas y profesionales actualmente consideran Big Data a conjuntos de datos que van desde 30-50 Terabytes a varios Petabytes (Ramírez Navia, 2018).

La naturaleza compleja de los datos encontrados en el archivo de datos públicos de Google Earth Engine se debe principalmente a la recopilación obtenida por las tecnologías modernas, como los sensores remotos, los sensores incorporados en dispositivos, las búsquedas en Internet, teléfonos inteligentes y dispositivos GPS, entre otras cuya escala temporal es verdaderamente amplia (Turpo Cayo, 2018).

4.2.1.3 Computation Engine

Computation Engine se traduce al español como Motor de Cómputo. Computation Engine es el poder computacional obtenido por un grupo o conglomerado de ordenadores unidos entre sí (clúster) usualmente por una red de fibra a nivel mundial que se comportan como si fuesen una única computadora permitiendo realizar análisis de varios conjuntos de datos en el menor tiempo posible (Díaz Hormazábal & Valencia Diego, 2018). Su velocidad y potencia radican en los súper computadores de Google, mismas que distribuyen entre sí las operaciones y los algoritmos de cálculo (Turpo Cayo, 2018).

De esta manera, se puede procesar imágenes satelitales de todo un continente o incluso de todo el planeta en tan solo en minutos (Díaz Hormazábal & Valencia Diego, 2018).

4.2.1.4 Lenguaje de programación JavaScript

El JavaScript es un lenguaje sencillo de programación. Proviene del Java y se utiliza principalmente para la creación de páginas web, sin embargo, también ha sido ampliamente utilizado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y en distintas tecnologías de la información con el objetivo de crear algoritmos y comandos que ejecuten análisis geoespaciales específicos (Navarrete, 2016).

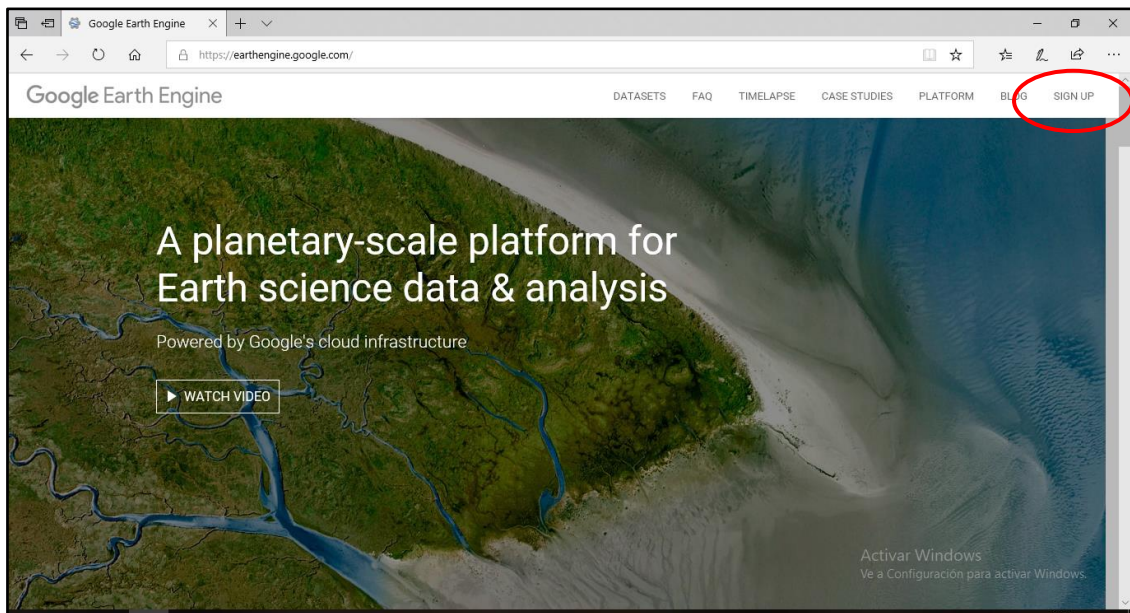
Está conformado por Scripts o Comandos que pueden ser ejecutados ya sea dentro de navegadores web o dentro de aplicaciones como Google Earth Engine (Kumar & Mutanga, 2018); este último utiliza el lenguaje de JavaScript para desarrollar cálculos, análisis y visualizaciones; pese que GEE soporta también lenguaje de programación Python, está mejor adaptado a JavaScript por lo tanto es más amigable con el usuario (Turpo Cayo, 2018).

4.2.2 Acceso a GEE

Para ingresar a la plataforma se debe abrir un navegador (de preferencia Google) e ir a la siguiente página web: <http://earthengine.google.org> .

La primera página que se verá una vez que se haya realizado el ingreso al link anterior es lo siguiente:

Figura 1: Página de Inicio Google Earth Engine

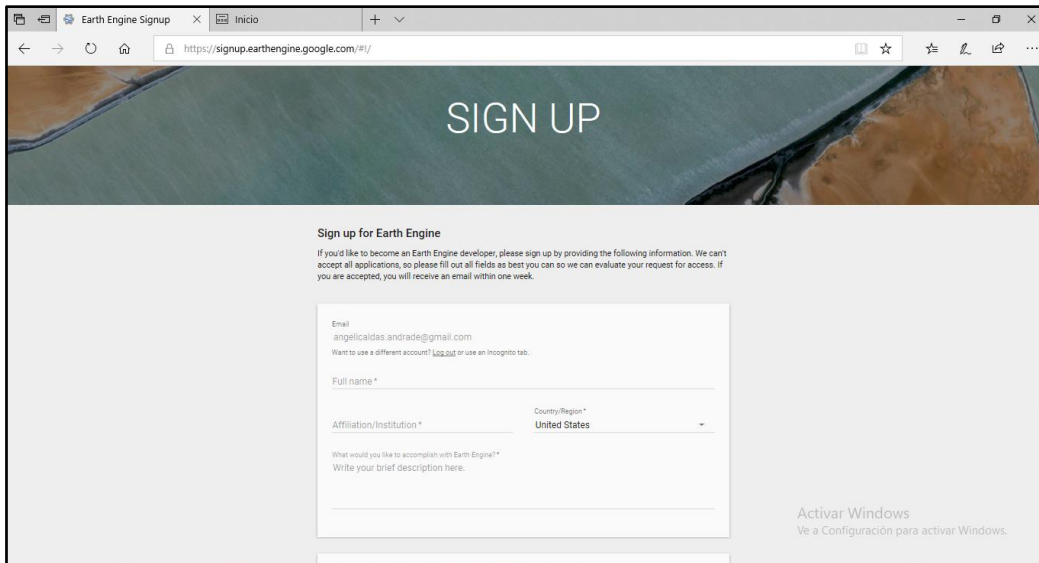


Fuente: Elaboración propia, 2018

En la Figura 1, se observa que en la parte superior se encuentra un grupo ordenado de pestañas correspondientes a los distintos accesos y fases de la plataforma; entre ellos se encuentran las pestañas correspondientes a: conjunto de datos, preguntas frecuentes, timelapse, casos de estudio, plataforma, blog e ingresar (sign in).

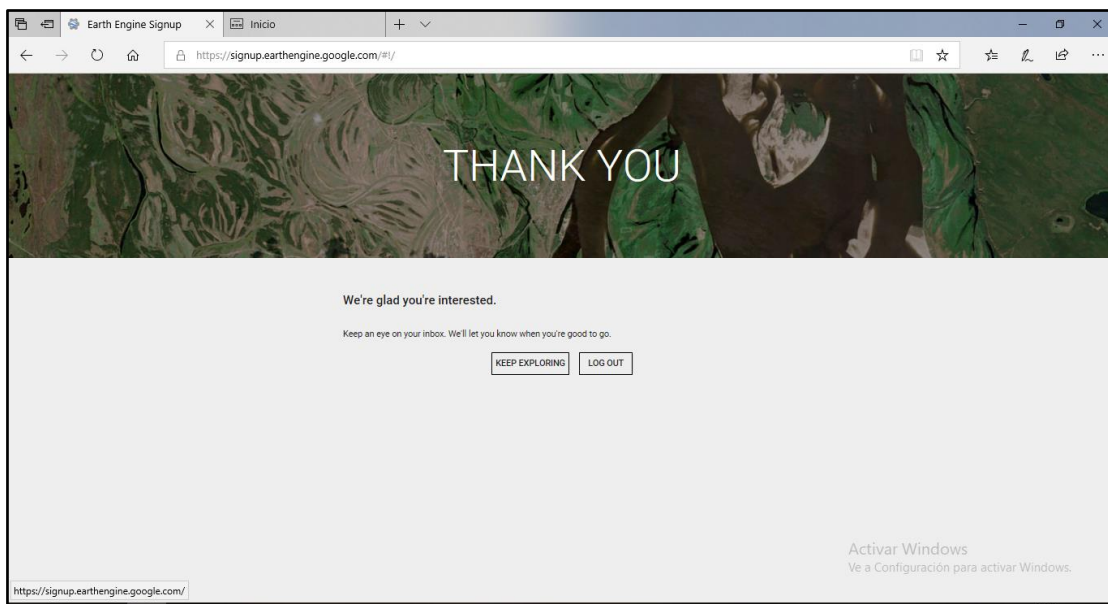
Posteriormente, para ingresar por primera vez a la plataforma y tener acceso a los diferentes beneficios que ésta ofrece, se debe dar click sobre el botón **SIGN IN**, luego se debe llenar un formulario mediante el cual se solicita acceso y a su vez crear una cuenta de usuario; dicha solicitud requiere entre otros datos una breve descripción de los motivos que impulsan el interés del usuario en formar parte de los desarrolladores de GEE.

Figura 2 :Formulario de Ingreso a GEE



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 3: Respuesta a solicitud de acceso a GEE



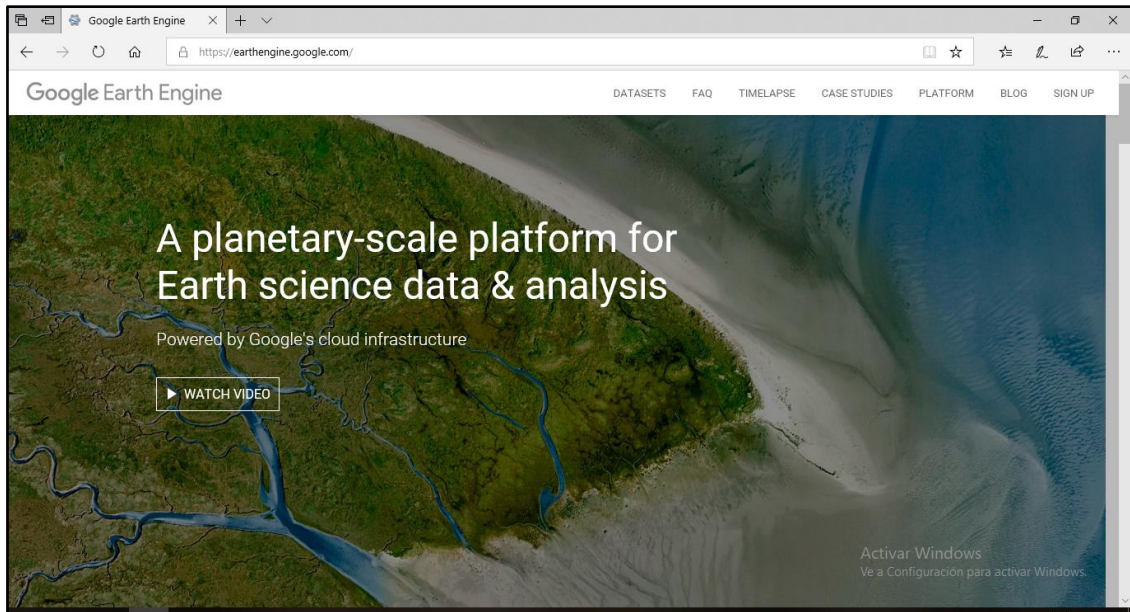
Fuente: Elaboración propia, 2018

Si se acepta la inscripción, la plataforma notificará a través de un correo electrónico que la cuenta de usuario ha sido habilitada para su posterior uso.

4.2.3 Página de Inicio

La página de inicio es la primera vista que se obtiene luego de acceder a Google Earth Engine; allí se puede observar un texto introductorio, una galería de mapas destacados y enlaces importantes de GEE.

Figura 4: Página de inicio GEE



Fuente: Elaboración propia, 2018

La página de inicio muestra diferentes accesos, los cuales se describen a continuación:

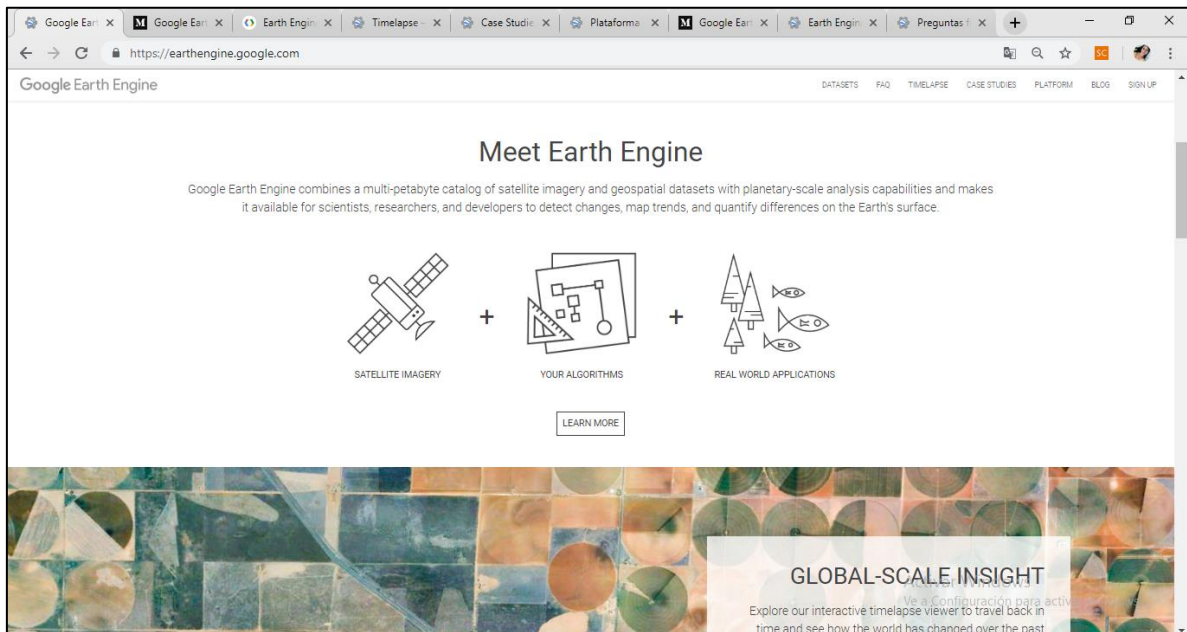
- **Datasets:** Se encuentra localizada en la barra de la parte superior, esta pestaña redirecciona al usuario hacia un enlace donde es posible navegar en los conjuntos de datos disponibles en GEE. Por ejemplo, al ingresar la palabra "Landsat" se mostrarán los conjuntos de datos con Landsat en su nombre, descripción o etiquetas, mientras que al ingresar "Brasil" se muestran ubicaciones con Brasil en su nombre.
- **FAQ:** Por su significado Frequently Asked Questions, esta pestaña abre un enlace con una muestra de las preguntas más frecuentes que los usuarios y desarrolladores de GEE podrían tener.
- **Timelapse:** Es un video global que permite ver el cambio de la superficie terrestre en los últimos 32 años de forma interactiva por la biblioteca de CREATE Lab¹. Está compuesto por 33 mosaicos anuales sin nubes, uno por cada año entre 1984 y 2016.

- ¹ CREATE Lab, es una tecnología creada por Carnegie Mellon University, para crear y ver intervalos de tiempo ampliables de la superficie terrestre en el espacio-tiempo.

- **Case Studies:** Muestra una selección de los casos de estudio más destacados y recientes que han utilizado la plataforma GEE para el desarrollo de sus análisis y resultados.
- **Plataform:** Por su traducción al español significa Plataforma; esta pestaña permite al usuario ingresar a la plataforma informática de GEE donde se permite a los usuarios ejecutar análisis geoespaciales en la infraestructura de Google. Dispone de varias formas de interacción con la plataforma: Code Editor, Explorer, entre otras.
- **Blog:** Esta pestaña permite al usuario interactuar con otros desarrolladores y conocer múltiples proyectos que se ejecutan con el aporte de GEE, además permite también socializar mediante un chat de preguntas y respuestas online con el resto de investigadores dejando conocer así su experiencia en sus respectivas áreas de trabajo.
- **Sign In:** Este enlace permite ingresar a la plataforma de GEE y acceder con un propio y único usuario, dicho usuario corresponde al correo electrónico en cuenta de Gmail y finalmente el ingreso se completa digitando una contraseña preestablecida por el desarrollador.
- **Barra de Búsqueda:** Se encuentra en la parte superior de la página, permite buscar lugares o conjuntos de datos. **Iniciar Sesión:** Se encuentra en la parte superior derecha, permite a los socios de Earth Engine ingresar a la plataforma con su usuario y contraseña. Debajo del botón Iniciar sesión hay tres botones: Inicio , Catálogo de datos y Área de trabajo .
- **Galería Destacada:** Debajo del texto introductorio se encuentra la galería Destacada, donde se puede encontrar rápidamente ejemplos de algunos de los más recientes productos de análisis realizados por el GEE y las organizaciones que lo utilizan. Estos incluyen enlaces para ver conjuntos de datos masivos con el complemento de Google Earth.

Continuando con la exploración de la Página de Inicio, al deslizar el cursor hacia abajo es posible encontrar una lista de enlaces rápidos como Meet Earth Engine, Convenient Tools, Simple Powerfull API, entre otros enlaces destacados, dichos enlaces destacados permiten al usuario (sobre todo usuarios nuevos) dirigirse con mayor facilidad a un enlace de su interés.

Figura 5: Exploración página de inicio GEE



Fuente: Elaboración propia, 2018

4.2.4 Poder Computacional de Google Earth Engine

El poder computacional de GEE radica en dos de sus componentes principales; el primero de ellos es el CODE EDITOR o EDITOR DE CÓDIGO, el cual es un IDE basado en web para escribir y ejecutar scripts, por lo que requiere conocimiento en programación (Turpo Cayo, 2018). El segundo componente es el EXPLORER, el cual es una aplicación web liviana para explorar el catálogo de datos y ejecutar análisis simples, sirve para interactuar visualmente (Google, 2018).

De estas dos formas se puede interactuar con la plataforma informática para el procesamiento paralelo de datos geospaciales a escala global en tiempo real.

4.2.4.1 Code Editor

Code Editor o Editor de código es una interfaz de programación que se encuentra disponible en el siguiente link: code.earthengine.google.com.

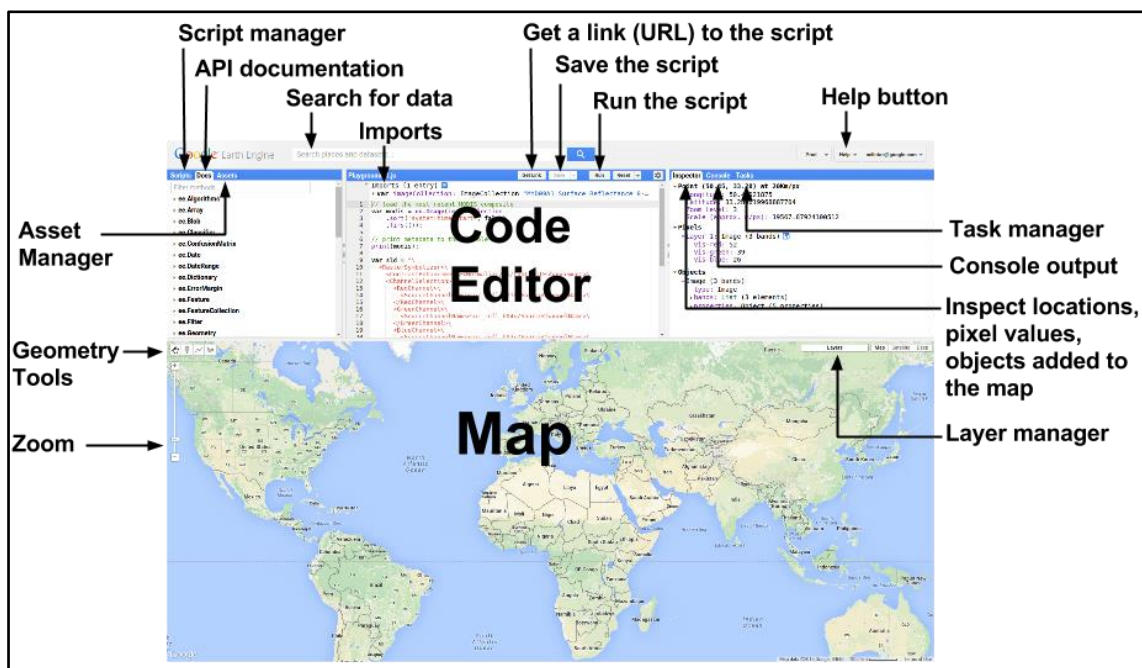
Es una potente herramienta geoespacial para crear análisis personalizados complejos mediante un entorno de desarrollo integrado (IDE) en línea que a su vez soporta lenguaje de programación JavaScript o Python (Google, 2018).

Las funciones del Editor de código están diseñadas para que el desarrollo de flujos de trabajo geospaciales complejos sea rápido y fácil.

El Editor de Código tiene los siguientes elementos (Figura 5):

- Editor de código JavaScript
- Visualización de mapa para visualizar conjuntos de datos geospaciales
- Documentación de referencia de la API (pestaña Documentos)
- Gestor de scripts basado en Git (pestaña Scripts)
- Salida de consola (pestaña de consola)
- Administrador de tareas (pestaña Tareas) para manejar consultas de larga ejecución
- Consulta de mapa interactivo (pestaña Inspector)
- Búsqueda del archivo de datos o guiones guardados.
- Herramientas de dibujo de geometría

Figura 6: Componentes del Editor de Código



Fuente: Google, 2018

El Editor de código tiene una variedad de características que permiten aprovechar la API de Earth Engine, a continuación, algunas de las funciones más relevantes:

- Ver scripts de ejemplo o guardar scripts propios del desarrollador.
- Consultar los objetos colocados en el mapa con la pestaña **Inspector**.

- Mostrar y graficar los resultados numéricos usando la API de visualización de Google.
- Compartir una URL única para su script con colaboradores y amigos con el botón **Obtener enlace**.
- Las secuencias de comandos que desarrolla en el Editor de Código son enviadas a Google para su procesamiento y los mosaicos y / o mensajes del mapa generados se envían para su visualización en la pestaña **Mapa** y / o **Consola** (Google, 2018).

Todo lo que se necesita para ejecutar el Editor de código es un navegador web (preferentemente Google Chrome para mejores resultados) y una conexión a internet estable (Turpo Cayo, 2018).

A continuación, se describen con mayor detalle las funciones más relevantes pertenecientes a Code Editor o Editor de Código:

a) **Editor de JavaScript**

El editor de JavaScript permite al desarrollador ejecutar los comandos requeridos bajo estricto lenguaje de programación JAVA. Requiere del desarrollador un conocimiento entre básico a intermedio para su ejecución y posee las siguientes funciones (Google, 2018):

- Dar formato y resaltar el código mientras se escribe
- Subrayar el código con problemas, ofrecer correcciones y otras sugerencias para la sintaxis correcta
- Autocompletar pares de comillas, paréntesis y paréntesis.
- Ofrecer sugerencias de finalización de código para las funciones de Earth Engine

Sobre el editor de código hay botones para ejecutar y guardar el script, restablecer el mapa de salida y la consola, además obtener un enlace al script. Cuando se presiona el botón **Obtener enlace**, aparece un enlace único en la barra de direcciones del navegador; este enlace representa el código en el editor en el momento en que se presionó el botón (Google, 2018).

b) Referencia API (pestaña Docs)

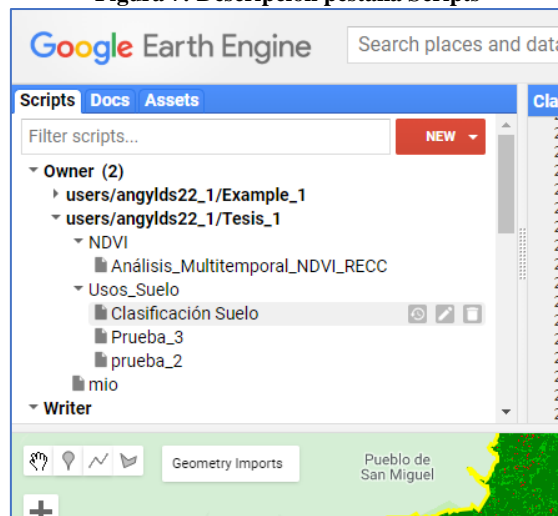
En la parte izquierda del Editor de código se encuentra la pestaña **Documentos**, que contiene la documentación completa de la API de JavaScript. La documentación se puede buscar y navegar desde la pestaña **Documentos** (Google, 2018).

c) Gestor de scripts (pestaña Scripts)

La pestaña **Scripts** se encuentra junto a los documentos API en el panel izquierdo del Editor de código. El administrador de **scripts** almacena **scripts** privados, compartidos y ejemplos en repositorios alojados por Google; los repositorios son organizados por nivel de acceso, con las secuencias de comandos privados almacenados en un repositorio al que únicamente el desarrollador tiene acceso a menos que decida compartir su información.

Están divididos en: **Writer** (permite acceso solo de escritura a nuevos desarrolladores), **Reader** (permite acceso solo de lectura a los desarrolladores), **Example** (permite acceder a scripts de ejemplo de GEE) y **Archive** (permite archivar y guardar los scripts que el desarrollador considere necesarios en su hoja de trabajo) (Google, 2018).

Figura 7: Descripción pestaña Scripts

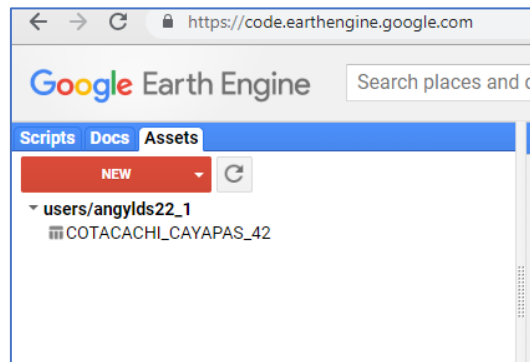


Fuente: Elaboración propia, 2018

d) Gestor de activos (pestaña Activos)

El Administrador de activos se encuentra en la pestaña **Activos** en el panel izquierdo. Permite cargar y administrar sus propios recursos de imagen en Earth Engine (Google, 2018).

Figura 8: Gestor de Activos



Fuente: Elaboración propia, 2018

e) Mapa

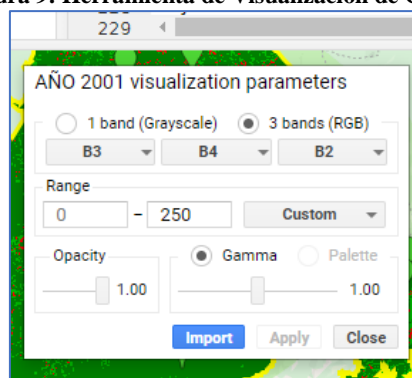
El objeto Mapa en la API se refiere a la visualización del mapa en el Editor de código (Google, 2018).

f) Administrador de capas

El administrador de capas se localiza en la esquina superior derecha del mapa para ajustar la visualización de las capas agregadas al mapa. Específicamente, permite alternar la visibilidad de una capa o ajustar su transparencia con el control deslizante. Permite calcular estadísticas a partir de todos los píxeles en la ventana del Mapa en el nivel de zoom actual (Google, 2018).

Adicionalmente permite la utilización de los controles deslizantes para ajustar la distancia y/o la transparencia; y con las funciones Aplicar e Importar permite aplicar los parámetros de visualización a la pantalla actual y cargar un objeto de parámetros de visualización como una nueva variable en la sección de importaciones de su script respectivamente (Google, 2018).

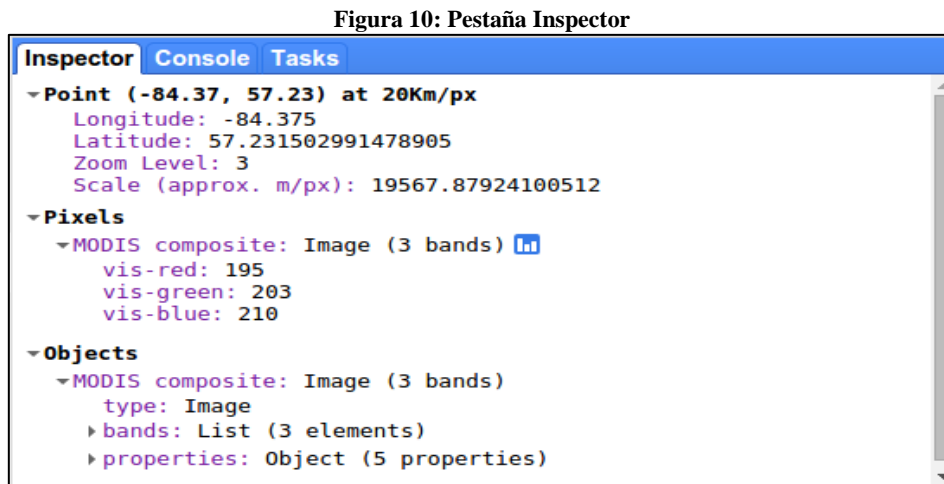
Figura 9: Herramienta de Visualización de Capas



Fuente: Elaboración propia, 2018

g) Pestaña inspector

La pestaña **Inspector** junto al administrador de tareas permite consultar interactivamente el mapa. Al activar la pestaña **Inspector**, el cursor se convierte en un punto de mira que muestra los valores de ubicación y capa debajo del cursor al hacer clic en el mapa (Google, 2018).



Fuente: Elaboración propia, 2018

h) Pestaña de consola

El apartado Consola muestra el resultado de un print del script, como texto, objetos o gráficos. La consola es interactiva, por lo que puede expandir los objetos impresos para obtener más detalles sobre ellos (Google, 2018).

i) Pestaña tareas (Tasks)

La pestaña tareas sirve para mostrar todas las tareas que el editor de código GEE se encuentra ejecutando, ya sean estas cortas o de prolongada ejecución. En este mismo apartado el botón **Export Object** sirve para realizar cálculos grandes que den como resultado un **Imageo Feature Collection**. Complementariamente, permite gestionar las tareas exportadas, así como elegir la resolución o el tamaño de las imágenes y el formato (CSV, GeoJSON, KML o KMZ) para las tablas (Google, 2018).

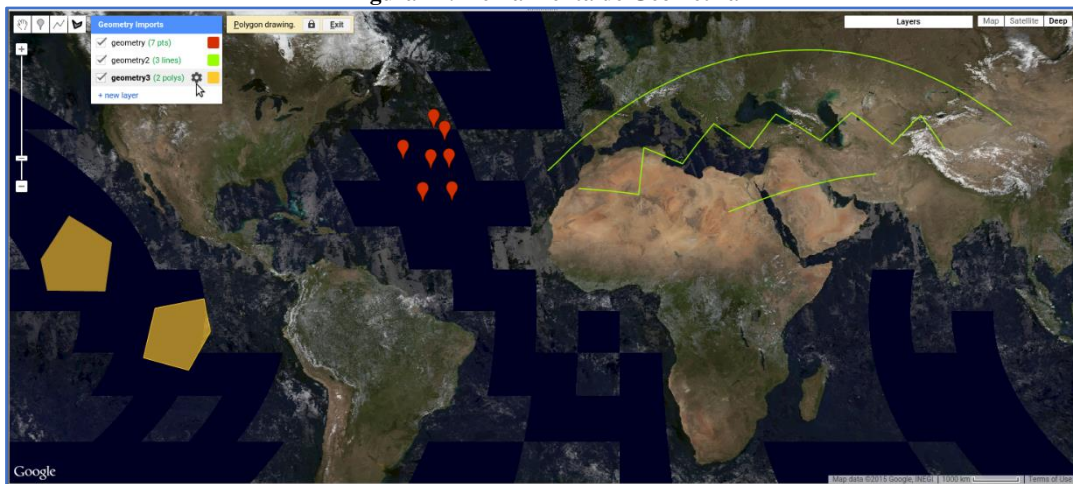
j) Herramientas de geometría

Esta función permite al desarrollador importar geometrías a su script ya sea importando geometrías predeterminadas o dibujando nuevas geometrías en la pantalla (Google, 2018).

Para crear geometrías, se debe usar las herramientas de dibujo de geometría localizadas en la esquina superior izquierda de la pantalla del mapa.

El uso de cualquiera de las herramientas de dibujo creará automáticamente una nueva capa de geometría y agregará una importación para esa capa a la sección Importaciones y considerar que cada figura dibujada es geodésica por defecto, es decir se encuentra georreferenciada (Google, 2018). Las herramientas de dibujo de geometría están en la esquina superior izquierda de la pantalla del mapa.

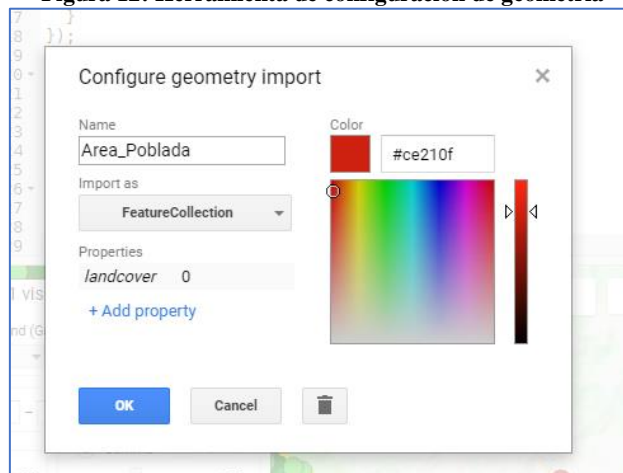
Figura 11: Herramienta de Geometría



Fuente: Google, 2018

La herramienta de configuración de la capa de geometría se muestra en un cuadro de diálogo similar al de la Figura 11. Se debe considerar que es posible importar las formas dibujadas como geometrías, entidades o colecciones de entidades; la configuración de importación de geometría también permite cambiar el color con el que se muestra la capa, agregar propiedades a la capa (si se importa como un Feature, Feature Collection) o cambiar el nombre de la capa (Google, 2018).

Figura 12: Herramienta de configuración de geometría



Fuente: Elaboración propia, 2018

k) ¡Ayuda!

El botón de **Ayuda** permite ver los enlaces direccionados al manual de usuarios, el foro de ayuda, una visita guiada al Editor de códigos y una lista de los atajos de teclado que ayudan con la codificación, ejecución del código y visualización de datos en el mapa (Google, 2018).

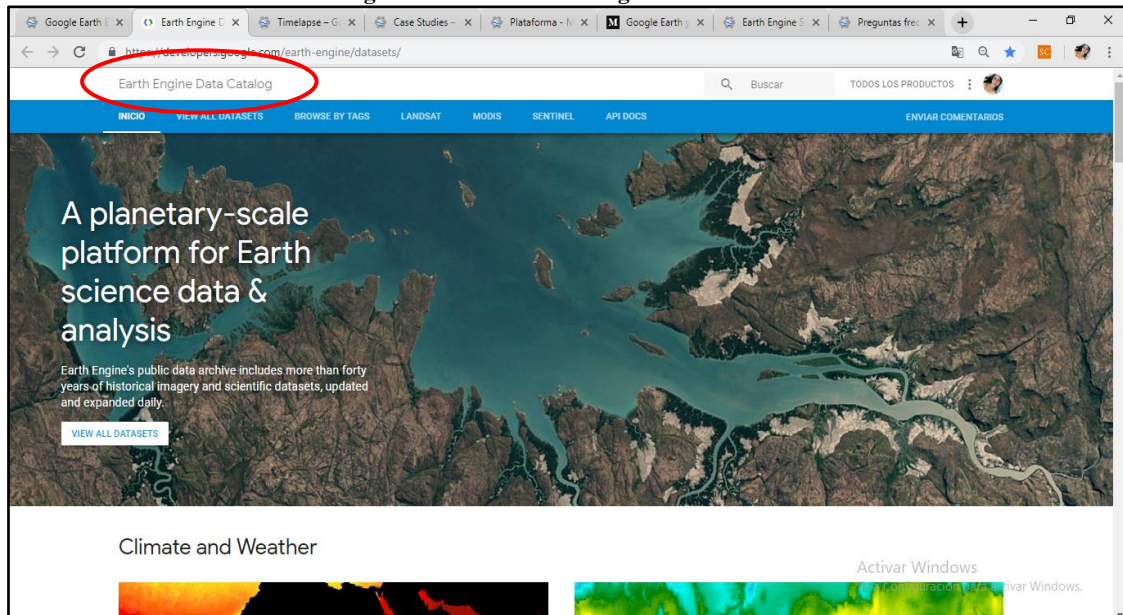
4.2.4.2 Explorer

El Explorador de GEE es una interfaz gráfica de usuario que posee dos componentes: Data Catalog y Work Space (Google, 2018).

4.2.4.2.1 Data Catalog

El Catálogo de Datos es una de los principales componentes de GEE, enumera los conjuntos de datos disponibles para su visualización y análisis; para su acceso únicamente se debe dar click en el botón DATA CATALOG localizado en la parte superior derecha de cualquier página de GEE, tal como se muestra a continuación (Google, 2018):

Figura 13: Acceso a Catálogo de Datos GEE

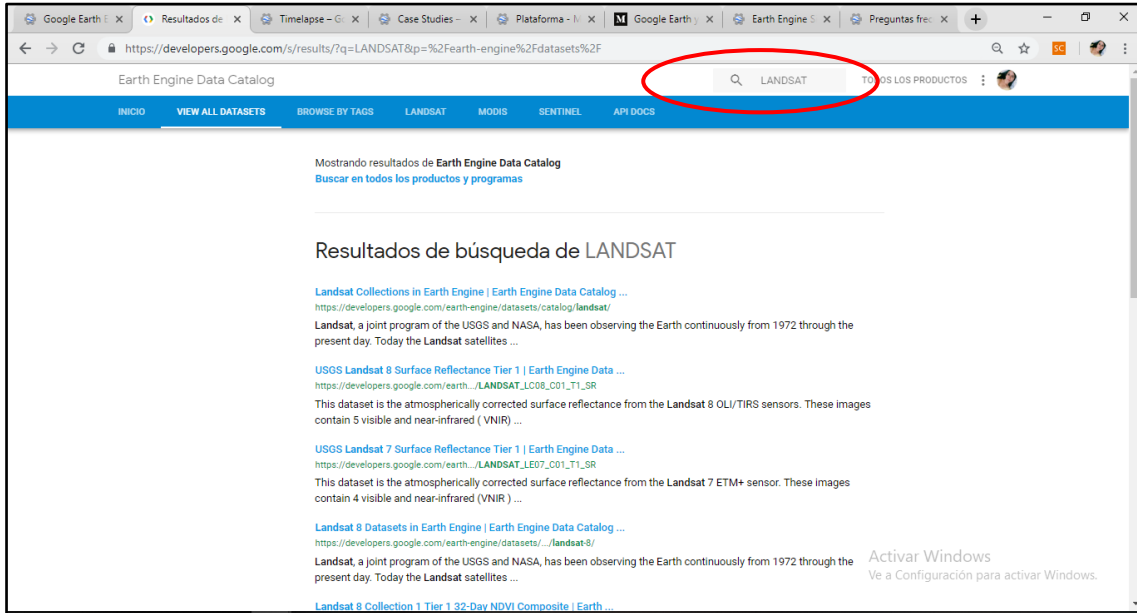


Fuente: Elaboración propia, 2018

En la página Catálogo de datos, se puede ver una lista de Etiquetas, con enlaces a conjuntos de datos que tienen esas etiquetas aplicadas. Debajo de eso hay una lista de varios tipos de datos, que incluyen breves descripciones y enlaces directos a algunos de los conjuntos de datos disponibles (Google, 2018).

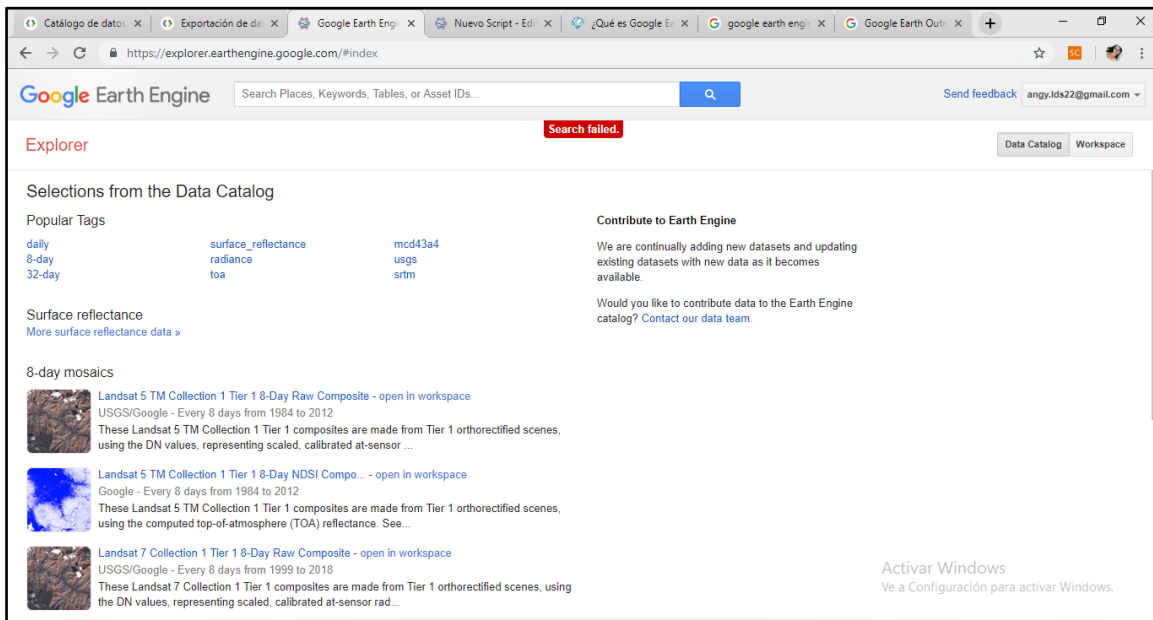
Estas listas muestran o enlazan a la mayoría de los conjuntos de datos y mosaicos disponibles en la plataforma. Para acceder a TODOS los conjuntos de datos disponibles, se usa la barra de búsqueda en la parte superior de la página (Google, 2018).

Figura 14: Ejemplo de búsqueda en el Catálogo de Datos de GEE



Fuente: Elaboración propia, 2018

Figura 15: Ejemplo de búsqueda de datos en Data Catalog



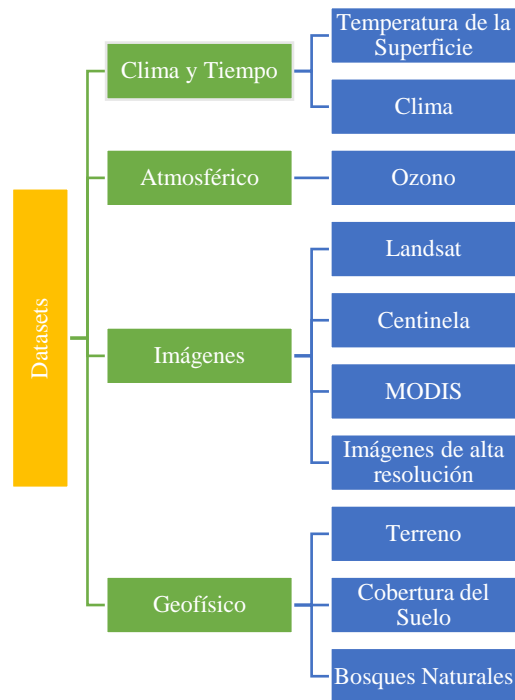
Fuente: Elaboración propia, 2018

a) Datasets

El Conjunto de datos públicos pertenecientes a GEE es un archivo histórico de imágenes satelitales y datos científicos, actualizados y ampliados diariamente mismos

que incluyen información sobre distintos fenómenos naturales que inciden en la superficie terrestre, como por ejemplo el clima, la temperatura, fenómenos atmosféricos, geológicos, demográficos, territoriales y demás obtenidos de distintos sensores a bordo de misiones espaciales como MODIS, ASTER, LANDSAT, AVHRR, entre otras (Google, 2018).

Figura 16: Tipos de Datasets en GEE



Fuente: Google 2018 Elaboración propia

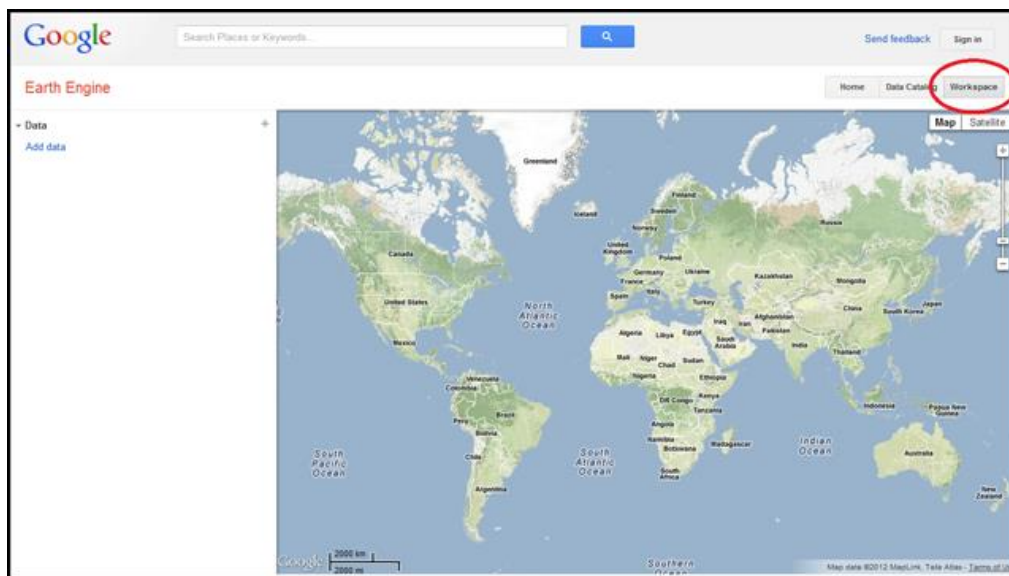
4.2.4.2.2 Workspace

El área de trabajo o Workspace es lugar donde se administra, analiza y visualiza el conjunto de datos pertenecientes a GEE siendo esta una interfaz de visualización. Se divide en dos espacios: un primero ubicado a la derecha correspondiente al mapa y un segundo ubicado a la izquierda, correspondiente al espacio donde se visualizarán la lista de capas utilizadas en el mapa (Google, 2018).

La navegación por esta plataforma es exactamente igual que en la interfaz de Google Maps, donde para desplazarse alrededor del mapa se debe hacer clic y arrastrar el cursor hacia cualquier parte. Por otra parte, para acercar y alejar hay varias técnicas como, por ejemplo, usar los botones de zoom [+] y [-] y el control deslizante de zoom en el mapa. También puede hacer doble clic en cualquier parte del mapa para ampliarlo (Google, 2018).

Para cambiar el fondo del mapa, se debe usar los botones en la parte superior derecha del mapa para seleccionar **Vista de mapa** o **vista de satélite**. Al seleccionar Vista de mapa, aparecerá una casilla de verificación debajo del botón Mapa para activar / desactivar Terreno en lugar de la vista de mapa de ruta habitual. Al seleccionar Satélite, aparecerá una casilla de verificación debajo del botón Satélite que permitirá activar / desactivar las etiquetas (bordes, países, ciudades, cuerpos de agua, etc.) (Google, 2018).

Figura 17: Visualización Workspace



Fuente: Elaboración propia, 2018

4.3 Principales usos de Google Earth Engine

La compañía Google Inc. creó esta plataforma digital con la intención de monitorear el cambio drástico que ha sufrido la superficie de la Tierra en los últimos años (Niklas Schmid, 2018), por tal motivo, investigadores de todo el mundo se han sumado a explotar su máximo potencial a través de diferentes estudios y proyectos (Kumar & Mutanga, 2018). Google confía que toda la información recopilada será importante para su posterior análisis y aplicación a los desafíos sociales de la actualidad, como por ejemplo analizar el cambio de los bosques con el tiempo y dirigir recursos para responder a desastres futuros (Díaz Hormazábal & Valencia Diego, 2018).

Algunas de sus aplicaciones actuales incluyen detectar la deforestación, clasificar la cubierta terrestre y el cambio de la misma, estimar la biomasa forestal, el carbono y cartografiar las áreas sin carreteras del mundo (Matellanes, 2018).

Recientemente, Google Inc. ha trabajado principalmente con tres científicos: Greg Asner, Carlos Souza y Matt Hansen, quienes se encuentran a la vanguardia del análisis de bosques para integrar la información satelital con el potencial computacional de la compañía (Google, 2018).

A modo de ejemplo, en 1970 Turquía tardó 10 años para inventariar sus bosques requiriendo para ello a más del tiempo empleado mucha inversión capital; para el momento en que el estudio concluyó la superficie arbórea de Turquía había cambiado significativamente (Asociación Geoinnova, 2018). Opuesto al estudio anterior, está el Mapa Mundial Forestal, mismo que fue realizado en tan sólo un día gracias al potencial computacional de GEE (Kumar & Mutanga, 2018). Dicho estudio tradicionalmente para su elaboración hubiese requerido 15.000 horas de procesamiento, sin embargo, con GEE fue posible realizarlo en tiempo récord utilizando 1000 ordenadores con 53.000 imágenes Landsat, de entre los 1984 y 2010; demostrando así la eficacia de GEE (Butler, 2014).

Previo al acceso a esta tecnología, los costes económicos incluyendo medios y personal necesarios solían ser sumamente elevados, al contrario de lo que ocurre en la actualidad donde el precio llega a ser prácticamente nulo y además el personal contratado no necesita especial capacitación o sistemas especializados más que el acceso constante a internet (Asociación Geoinnova, 2018).

Por lo tanto, países en desarrollo pueden realizar estudios sobre la deforestación y el estado de sus bosques, mapear sus recursos estratégicos, realizar análisis multitemporales del crecimiento urbano, dar seguimiento diario a la tala ilegal, entre otras aplicaciones con el fin de tomar decisiones adecuadas sobre su territorio (Google, 2018).

Por otra parte, compañías como **Tesfay Woldemariam** del **World Resources Institute** y la FAO también se encuentran vinculadas en diversos proyectos de investigación que han dado nuevas utilidades a la herramienta (Google, 2018). De allí que vinculado con los temas ambientales surgieron los proyectos Collect Earth, Open Foris, Map of Life, Global Forest Watch, Tiger Habitat Monitoring entre otros, para lograr sus objetivos ambiciosos se requiere un monitoreo constante de la superficie y según expertos para lograrlo hace falta mucho control sobre lo que se va avanzando, por lo cual esta tecnología es clave (Hansen, 2017).

Un detalle que no debe ser pasado por alto es que la utilización de la vista geoespacial no puede ni debe desplazar al trabajo de campo tradicional (Asociación Geoinnova, 2018). La diferencia es que hoy, un técnico puede tener acceso a imágenes satelitales de excelente calidad a bajos costes y con ello acelerar la generación de análisis para la toma rápida de decisiones por ejemplo en caso de desastres, y con ello completar la información recopilada del terreno (Turpo Cayo, 2018).

Si bien mayoritariamente los casos de estudio más reconocidos se han basado en el estudio de los bosques, GEE no solo tiene esa utilidad. Existen muchas otras organizaciones que utilizan la plataforma para trabajar por ejemplo sobre el control de las plagas, detección de la pesca ilegal, obtener información real de las cosechas, predecir inundaciones y muchas otras utilidades más (Cabrera, 2014). Otros ejemplos de la utilidad de este instrumento se relacionan directamente sobre la posibilidad de brotes de malaria, mediante el análisis de los suelos y la densidad de la población (Malaria Risk Mapping) (Minale & Alemu, 2018).

Para concluir, Google Earth Engine es una herramienta tecnológica abierta, gratuita, accesible y en constante evolución. Compartir y combinar sus usos con otros mecanismos permite que sus posibilidades se potencien de una manera inimaginable (Asociación Geoinnova, 2018).

4.4 Ventajas y Limitaciones

En el extenso mundo de GEE es importante reconocer que esta nueva aplicación posee algunas ventajas sobre otros softwares tradicionales, pero del mismo modo también presenta ciertas limitaciones que deben ser identificadas para poder elegir la herramienta adecuada según los requerimientos del estudio (Turpo Cayo, 2018).

Desde este punto de vista, una de las principales ventajas de GEE es ser una excelente herramienta para proyectos que requieren cubrir grandes extensiones de terreno, esto se debe principalmente a la disponibilidad de información existente dentro de la propia plataforma y su capacidad operacional (Ruiz de Eguino, 2018).

Sin duda, la extensa biblioteca de datos disponibles en la plataforma es otra gran ventaja, ya que permite encontrar imágenes satelitales, datos geofísicos, datos climáticos y datos demográficos derivados de distintos satélites alrededor del mundo (Google, 2018). En consecuencia, brinda la posibilidad al desarrollador de realizar estudios de cualquier localidad del mundo en forma remota (Niklas Schmid, 2018).

En este mismo contexto, otra de las ventajas de GEE consiste en que los datos y las herramientas de procesamiento de imágenes satelitales, edición de mapas digitales y validación del mapeo quedan disponibles y operativos en las computadoras de Google o “nube”. Por lo tanto, el tiempo necesario para el procesamiento previo, el análisis, la divulgación de los datos y la generación de alertas disminuye considerablemente (Asociación Geoinnova, 2018).

Ciertamente, otro beneficio importante de GEE consiste en la posibilidad de integrarse con sistemas de comunicación móvil, tales con smartphones y tablets, así como con la red de computadoras e internet, lo que facilita el acceso colaborativo a la información por parte de los usuarios quienes suministran datos recolectados en campo casi en tiempo real (Souza, J. 2017).

Otra ventaja que se puede destacar es el espacio ahorrado en el procesador personal o de trabajo; significa que el usuario no necesita almacenar en su PC grandes cantidades de información, ya sea por la descarga de imágenes satelitales o por la adquisición de softwares (ERDAS, ArcGis, IDRISI, etc.) que permitan el procesamiento de las mismas (Sánchez Paus, 2017); ya que tal como se mencionó anteriormente toda la información usada quedará siempre disponible en la nube de Google (Google, 2018).

La gratuidad de la herramienta es sin duda una característica que le da ventaja sobre los demás softwares tradicionales (Asociación Geoinnova, 2018); dicha situación implica que el desarrollador no debe invertir en la adquisición de imágenes satelitales ni en la compra de programas especializados requiriendo únicamente acceso a una red de internet constante (Díaz Hormazábal & Valencia Diego, 2018).

Por otra parte, la herramienta permite al desarrollador guardar y compartir sus rutinas de trabajo, hecho que facilita la divulgación de información en caso de desastres permitiendo el acceso rápido a la información (Turpo Cayo, 2018). En este mismo aspecto, la herramienta posee un blog que se mantiene activo constantemente y por medio de éste los usuarios pueden realizar consultas en línea, chatear, compartir datos relevantes sus investigaciones e incluso intercambiar scripts (Niklas Schmid, 2018).

Finalmente, se debe reconocer que la plataforma posee una característica de compatibilidad con otras plataformas usadas en teledetección, por ejemplo, es posible insertar en un mapa de GEE vectores realizados en ArcGis y viceversa; por lo tanto, el intercambio de información se magnifica (Vasconcelos, 2015).

Al contrario de lo descrito anteriormente, una de las desventajas o limitaciones de la plataforma está relacionada con la realización de trabajos que requieren cubrir grandes detalles de la superficie terrestre (Turpo Cayo, 2018). La limitación relacionada a una escala de trabajo pequeña se debe en gran medida a la resolución espacial propia de las imágenes satelitales, ya que de la variedad de satélites que brindan la información disponible en la plataforma disponen resoluciones mínimas de 30 metros, motivo por el cual se dificulta la obtención a detalle de un estudio específico (Asociación Geoinnova, 2018), es decir, su fuerte se centra en el estudio de grandes áreas de terreno.

De la misma manera, otra limitación de GEE se debe a la evolución constante del software, en otras palabras, el software no ha sido completado en su totalidad (Turpo Cayo, 2018). Específicamente este aspecto limita al desarrollador que desee interactuar con la plataforma mediante lenguaje de programación Python ya que, si bien la plataforma soporta dicho lenguaje, aún no es posible desarrollar ni editar varios algoritmos por completo mediante lenguaje Python sin antes haber obtenido instaladores que permitan su correcto funcionamiento, mientras que con otras plataformas sí (Google, 2018) .

Por el mismo motivo, la plataforma se encuentra mejor adaptada para trabajar con imágenes satelitales que con datos vectoriales. Los análisis basados en relaciones espaciales de píxeles son más difíciles de completar ya que la segmentación se realiza a través de vectores (Turpo Cayo, 2018). En consecuencia, la segmentación de imágenes y las opciones de modelado hidrológico son limitadas (Asociación Geoinnova, 2018).

Una de las limitaciones que no debe ser pasada por alto al hablar de GEE, radica en la imposibilidad de trabajar o realizar análisis de cualquier tipo sin una conexión a internet, esto dificulta la realización de estudios en zonas donde el acceso a internet es limitado o en situaciones de fallos de energía total (Kumar & Mutanga, 2018).

Finalmente, pese que el software presenta algunas limitaciones, es importante destacar que son más los beneficios obtenidos, esto debido a que en un futuro cercano la programación y las tecnologías relacionadas con el desarrollo de procesos en “nube” serán adaptadas a todas las aplicaciones y herramientas de teledetección para procesar inmensas cantidades de información que solo el Big Data puede soportar (Ramos López , 2018) .

CAPÍTULO V METODOLOGÍA

5.1 Procesamiento Digital con Google Earth Engine

La apertura de los archivos Landsat en 2008 resultó en una nueva riqueza de imágenes satelitales para la comunidad científica, facilitando sustancialmente la adquisición de imágenes disponibles y a su vez incrementando múltiples investigaciones alrededor del mundo (Niklas Schmid, 2018). En el pasado, cuando las imágenes debían ser compradas su distribución estaba limitada a quienes podían pagar por ellas valores de hasta 4000 USD. Google lleva esto un paso más allá y combina el acceso a casi 40 años de datos satelitales con la suficiente tecnología para analizar tal cantidad de información (Solarte Fajardo, 2018).

GEE utiliza la extensa infraestructura de tecnología basada en la nube de Google para almacenar los conjuntos de datos y ejecutar cálculos de manera eficiente mediante la computación en paralelo, lo que significa que las cargas de trabajo se distribuyen entre diversas CPU en los centros de trabajo de Google (Díaz Hormazábal & Valencia Diego, 2018).

La potencia de computación resultante ofrecida por GEE, supera todas las estaciones de trabajo de escritorio de alta gama, y permite a los investigadores que no cuenten con la suficiente financiación utilizar supercomputadores para calcular operaciones GIS a escala planetaria que implican miles de imágenes, requiriendo nada más que una conexión a Internet (Niklas Schmid, 2018).

Los Datasets requeridos para el presente estudio han sido adquiridos y manipulados en la interfaz de programación de aplicaciones (API) de JavaScript, además ha sido necesaria la generación de Scripts a través del entorno de desarrollo integrado (IDE) que permitió acceso directo a todas las funciones de GEE sin la necesidad de autorizar o configurar otros servicios.

En términos generales, se utilizaron 2 scripts uno para la obtención del NDVI de cada año de estudio (1986-2001 y 2017) y un segundo script para la determinación del cambio de uso del suelo en la RECC. Los scripts desarrollados en esta tesis se basan en los recursos del archivo de datos públicos de GEE y en la base de datos del Sistema

Nacional de Información (SNI). Cada script contó con los siguientes componentes principales:

- 1 Feature Collection tipo polígono con los límites de la RECC
- 1 Colección de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8
- 2 Funciones NDVI para Landsat 5 (1986 y 2001) y 1 Función NDVI para Landsat 8 (2017)
- 1 Función Fmask para excluir los píxeles que NO serán contabilizados en los cálculos respectivos de NDVI
- Comandos para crear gráficos de series de tiempo para cada colección de imágenes de NDVI
- Comandos para agregar datos NDVI como MapLyres al mapa base de GEE
- 1 Función de clasificación No Supervisada para identificar usos de suelo
- Comandos para agregar datos de tendencia de cambios como MapLyres al mapa base de GEE

5.1.1 Selección y adquisición de imágenes satelitales

Con la finalidad de estudiar el cambio de uso de suelo y el estado actual de la cobertura vegetal en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas para los años 1986, 2001 y 2017 fue necesaria la recopilación de imágenes satelitales derivadas de las misiones Landsat 5 y 8. Las colecciones de imágenes satelitales se encuentran disponibles en la base de datos de la USGS y a su vez forman parte del archivo de datos públicos de GEE.

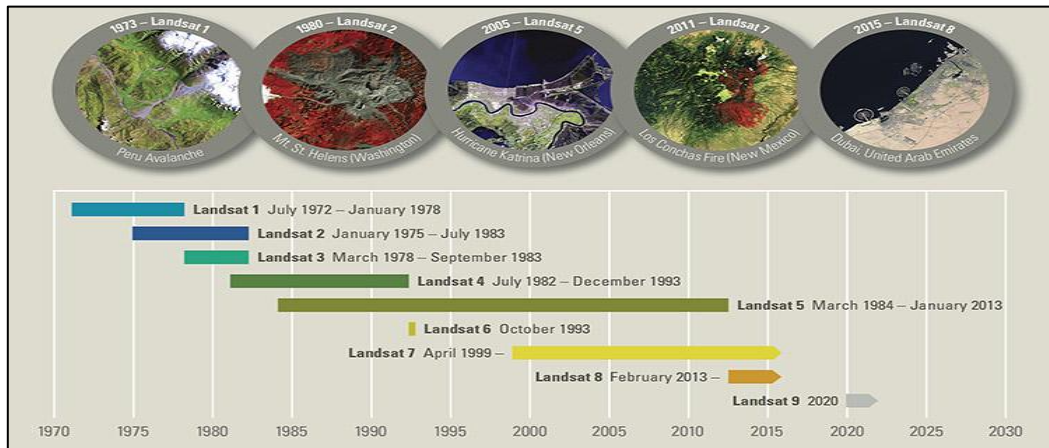
El criterio de selección aplicado para determinar la idoneidad de la información satelital se basó principalmente en el tiempo de funcionamiento propio de las misiones Landsat. Dichas misiones han recopilado información de la superficie terrestre desde el año 1972 cuando fue puesto en órbita el Satélite de Tecnología de Recursos de la Tierra (ERTS-1) conocido más adelante como Landsat 1 (Sánchez García & Toral Ruiz, 2016). Desde entonces, los satélites Landsat han adquirido continuamente imágenes basadas en el espacio de la superficie de la Tierra, proporcionando valiosos datos que sirven como recursos para la investigación del uso de la tierra y el cambio en su superficie (USGS, 2018).

Por tal motivo los datos proporcionados por los satélites Landsat son adecuados para el presente estudio, ya que para monitorear el cambio del uso de suelo a lo largo del tiempo en la RECC se necesitó conocer las condiciones de su superficie en los años

propuestos, situación que a la vez permitirá determinar si ésta ha sido eficiente en detener procesos de cambio y mantener a salvo su vegetación natural.

Por lo tanto, se ha seleccionado la misión Landsat 5 para obtener datos de los años 1986 y 2001, mientras que para el año 2017 se seleccionaron datos de Landsat 8.

Figura 18: Tiempo de funcionamiento misiones Landsat



Fuente: USGS, 2018

De igual manera, los sensores con los que han sido equipadas las misiones Landsat son un factor que ha determinado su utilidad para el presente estudio. Thematic Mapper (TM) y OLI son sensores que poseen las misiones Landsat 5 y Landsat 8 respectivamente; resultan sumamente útiles en diferentes aplicaciones tales como cartografía de aguas litorales, discriminación de suelo y vegetación, discriminación de cultivos, delimitación de masas de agua, contenido de biomasa, determinación de humedad en el suelo y vegetación, entre otras. Considerando que el presente estudio busca también determinar cuál es el estado actual de la cobertura vegetal en la RECC, fue necesario utilizar las bandas 3, 4 y 5 correspondientes al rojo e infrarrojo cercano propias de cada sensor.

Tabla 4: Sensores de los satélites Landsat

Siglas	Nombre	Detalle
RBV	<i>Return Bean Vidicon</i>	Multiespectral 3 bandas
MSS	<i>Multispectral Scanner Sensor</i>	Multiespectral 4 bandas
TM	<i>Thematic Mapper</i>	7 bandas
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>	Multiespectral (instrumento de nueva generación, solo presente en el Landsat 7)
OLI	<i>Operational Land Imager</i>	Multiespectral 8 bandas y un banda especializada en detección de nubes

Fuente: USGS, 2018

5.1.1.1 Colecciones Landsat

En 2016, el USGS reorganizó el archivo Landsat en una colección escalonada. Esta estructura garantiza que los productos Landsat Nivel-1 brinden un archivo consistente de en cuanto a la calidad de datos conocidos para respaldar los análisis multitemporales, controlando al mismo tiempo la mejora continua del archivo y el acceso a todos los datos a medida que se adquieren (USGS, 2018).

La definición de la colección consta de tres categorías: Nivel 1, Nivel 2 y Tiempo real. Los datos en el Nivel 1 cumplen con los criterios formales de calidad geométrica y radiométrica. El nivel 2 no cumple con los criterios del nivel 1. El nivel de tiempo real contiene datos inmediatamente después de las adquisiciones que utilizan parámetros estimados. Los datos en tiempo real se reprocesan y evalúan para su inclusión en el Nivel 1 o Nivel 2 tan pronto como los parámetros finales estén disponibles (USGS, 2018).

Landsat Collection 1 consta de productos de datos de nivel 1 generados desde Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) / Sensor infrarrojo térmico (TIRS), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM) y Landsat 1-5 instrumentos de escáner multiespectral (MSS) (USGS, 2018); por lo tanto las imágenes usadas en el presente estudio pertenecen a la Colección 1, es decir, que poseen los datos más consistentes.

Dicha implementación de Colecciones representa un avance significativo en la gestión del Archivo de Landsat al garantizar una calidad constante a lo largo del tiempo y en

todos los instrumentos, haciendo más sencilla y óptima su búsqueda en GEE (USGS, 2018).

5.1.1.2 Niveles de colección Landsat

Son la estructura de inventario para los productos de datos de nivel 1 y se basan en la calidad de los datos y el nivel de procesamiento. El propósito de la definición de nivel es permitir una identificación más fácil de las escenas adecuadas para el análisis a nivel de píxel de series temporales y proporcionar datos temporales que se procesan inmediatamente después del enlace descendente para ser dispensados rápidamente en situaciones de respuesta de emergencia con calibración limitada (USGS, 2018).

Tabla 5: Niveles de las colecciones Landsat

Nivel	Descripción	Aplicaciones
Nivel 1 (T1)	Escenas Landsat con la mayor calidad de datos disponibles (incluye datos corregidos de precisión y Terreno con radiometría bien caracterizada). Son considerados los más consistentes	Se consideran adecuadas para el análisis de series de tiempo
Nivel 2 (T2)	Escenas Landsat que no cumplen con los criterios del Nivel 1 durante el procesamiento (incluye datos procesados de Terreno Sistemático (L1GT) y Sistemático (L1GS), así como cualquier información de L1TP que no cumpla con las especificaciones del Nivel 1 debido a una cubierta de nubes significativa	Los usuarios interesados en las escenas de Nivel 2 pueden analizar el RMSE y otras propiedades para determinar su idoneidad
Tiempo Real (RT)	Datos Landsat 7 ETM + y Landsat 8 OLI / TIRS recién adquiridos, son procesados en el enlace descendente. Una vez procesados pasan a ser de nivel 1 o 2 en los siguientes 14 y 26 días posteriores a su descarga	Los datos se colocan en el nivel de tiempo real y se ponen a disposición para su descarga inmediata. Son útiles como respuesta ante emergencias por terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas .

Fuente: USGS, 2018

5.1.1.3 Identificadores de producto Landsat

Es la identificación con la que se nombra al producto Landsat Collection 1, incluye los niveles de procesamiento actualizados, la fecha de procesamiento, el número de colección y la categoría de nivel de colección; esto resulta útil en GEE para poder llamar o acceder a la colección de imágenes adecuada sin duda de cometer errores en el proceso de adquisición de imágenes (USGS, 2018).

5.1.1.4 Características de las imágenes Landsat 5

El 1 de marzo de 1984, se lanzó desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg, California la quinta misión del grupo Landsat. Fue diseñado y construido al mismo tiempo que Landsat 4 llevando consigo 2 tipos de escáner: el sistema de escáner multiespectral (MSS) y los instrumentos Thematic Mapper (TM) (USGS, 2018).

Landsat 5, fue diseñado con una vida útil de 3 años, sin embargo, completó más 150,000 órbitas terrestres, recopiló más de 2.5 millones de imágenes de la Tierra y estuvo en funcionamiento durante casi 29 años. Por tal motivo, Landsat 5 pasó a formar parte de los Récords Mundiales de Guinness como el “ Satélite de Observación de la Tierra con mayor tiempo de operación” (Sánchez García & Toral Ruiz, 2016).

A bordo del satélite Landsat 5 se encuentra el sensor TM, el cual es un equipo de barrido multiespectral que, mediante 100 detectores, proporciona una resolución espacial de 30 m para las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 utilizando 16 detectores por banda, y de 120 m en la banda térmica (banda 6) que utiliza 4 detectores (Ariza, 2013).

Para el presente estudio y con el interés de conocer cuáles eran las condiciones físicas de la RECC en los años 1986 y 2001 se seleccionó la colección de imágenes Landsat 5 TM Collection Tier 1 Raw Scenes; misma que se encuentra disponible en el archivo de datos públicos de GEE y posee las siguientes características:

- ✓ **Disponibilidad de datos (tiempo):** enero 1, 1984 – mayo 5, 2012
- ✓ **Proveedor:** USGS
- ✓ **ImageCollection ID:** LANDSAT/LT05/C01/T1
- ✓ **Intervalo:** 16 días
- ✓ **Resolución :**30 metros

Tabla 6: Detalle de las bandas espectrales del sensor TM Landsat 5 y ejemplos de aplicaciones

Banda	Longitud de onda (μm)	Color	Aplicaciones
1	0,45- 0,52	azul-verde	Cartografía de aguas litorales, y discriminación entre suelo y vegetación
2	0,52- 0,60	verde	Estado fenológico de la vegetación

3	0,63- 0,69	rojo	Discriminación de tipos de cultivos
4	0,76- 0,90	infrarrojo cercano	Delimitación de masas de agua y contenido en biomasa
5	1,55- 1,75	infrarrojo lejano	Medida de la humedad del suelo y vegetación
6	10,40-12,5	infrarrojo térmico	Medida de la humedad del suelo, estrés hídrico
7	2.08- 2,35	infrarrojo lejano	Rocas alteradas y suelos

Fuente: USGS, 2018

Figura 19: Fotografía del Satélite Landsat 5



Fuente: USGS, 2018

5.1.1.5 Características de las imágenes Landsat 8

El 11 de febrero de 2018 se celebró el quinto aniversario del lanzamiento del Landsat 8 desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg en California (USGS, 2018). Landsat 8, una misión conjunta de la NASA y el USGS, se suma al registro de datos continuo más largo de la superficie de la Tierra visto desde el espacio (Ariza, 2013). Desde su lanzamiento, Landsat 8 ha completado más de 25,500 órbitas terrestres, ha viajado más

de 700 millones de millas y ha contribuido con más de 1.1 millones de escenas al archivo USGS Landsat (USGS, 2018).

A bordo de la misión Landsat 8 se encuentran los sensores Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo (TIRS), los cuales representan avances evolutivos en la tecnología de sensores remotos y en su rendimiento (Sánchez García & Toral Ruiz, 2016). OLI y TIRS miden la superficie terrestre en el visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta, e infrarrojo térmico con una resolución moderada entre 49 y 328 pies (15 y 100 metros) dependiendo de la longitud de onda espectral (Ariza, 2013).

Además, el sensor OLI proporciona dos nuevas bandas espectrales, una especialmente adaptada para la detección de nubes cirrus y la otra para las observaciones de las zonas costeras. Estas nuevas bandas, están diseñadas a medir la calidad del agua y facilitar la detección de nubes altas y delgadas que previamente han sido difíciles de observar en las imágenes Landsat (Ariza, 2013).

Por su parte, TIRS recoge datos de otras dos bandas espectrales en la región térmica, anteriormente cubierto por una única banda de ancho espectral en Landsat 4-7, midiendo la energía térmica de la superficie de la tierra (Almeida, 2015).

El satélite Landsat 8 también está diseñado para entregar cerca de 400 escenas por día (150 escenas más que su antecesor el Landsat 7) estas imágenes son cargadas en el servidor de datos del USGS, aumentando de esta manera la probabilidad de capturar y entregar escenas gratis de la cobertura terrestre casi en tiempo real (Peguero Orta, 2016; Sánchez García & Toral Ruiz, 2016).

Para el presente estudio y con el interés de conocer cuáles eran las condiciones físicas de la RECC en el año 2017 se seleccionó la colección de imágenes Landsat 8 Collection 1 Tier TOA Reflectance; misma que se encuentra disponible en el archivo de datos públicos de GEE y posee las siguientes características:

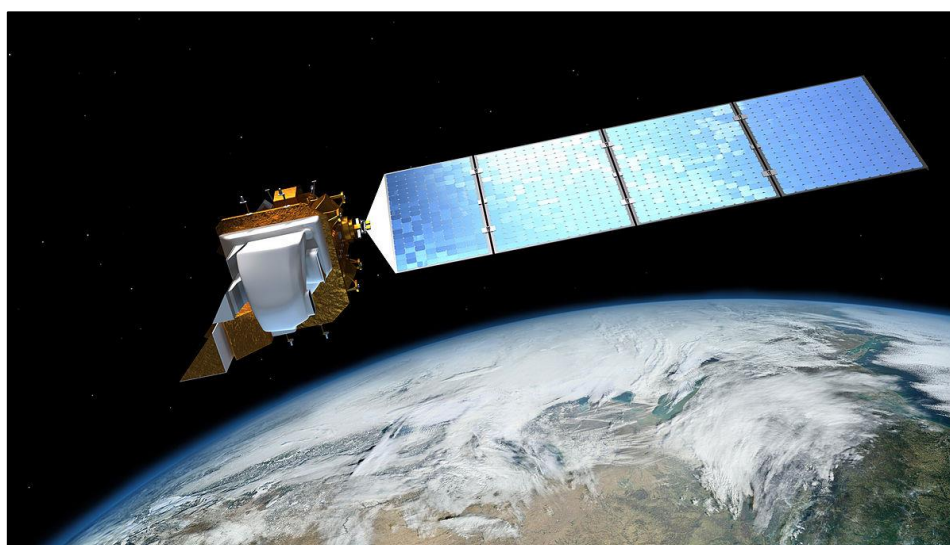
- ✓ **Disponibilidad de datos (tiempo):** abril 11, 2013 – febrero 5, 2019
- ✓ **Proveedor:** USGS/ Google
- ✓ **ImageCollection ID:** LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA
- ✓ **Intervalo:** 16 días
- ✓ **Resolución :**30 metros

Tabla 7: Detalle de las bandas espectrales del sensor OLI Landsat 8 y ejemplos de aplicaciones

Banda	Longitud de onda (µm)	Color	Aplicaciones
1	0.43 - 0.45	Aerosol costero	Observación de aguas poco profundas y seguimiento a partículas finas como polvo y humo
2	0.45 - 0.51	azul	Estado fenológico de la vegetación
3	0.53 - 0.59	verde	Delimitación de masas de agua y contenido en biomasa
4	0.64 - 0.67	rojo	Discriminación de tipos de cultivos
5	0.85 - 0.88	infrarrojo cercano	Observa salud de la vegetación , cálculo de biomasa
6	1.57 - 1.65	infrarrojo de onda corta 1	Medida de la humedad del suelo, estrés hídrico
7	2.11 - 2.29	Infrarrojo de onda corta 2	Discriminar tierra mojada y tierra seca
8	0.52 - 0.90	Banda Pancromática	Discriminación de blanco y negro
9	1.36 - 1.38	Cirrus	Detección de nubes cirrus altas y cúmulos

Fuente: USGS, 2018

Figura 20: Fotografía del satélite Landsat 8



Fuente: USGS, 2018

5.1.1.6 Scripts requeridos en la obtención de la Colección de Imágenes

Landsat 5 y Landsat 8:

- ✓ En primer lugar, se obtuvo las colecciones de imágenes respectivas para cada año de estudio de la siguiente manera:

```
var Landsat5 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1')
```

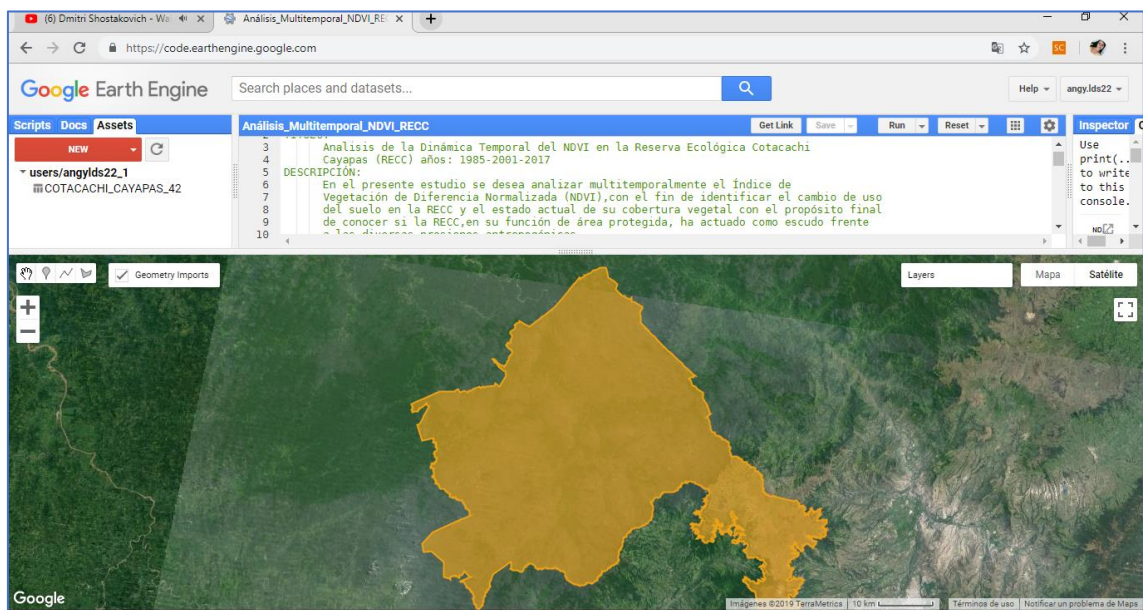
```
var Land8_2017 = ee.ImageCollection ('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA');
```

- ✓ Posteriormente, se localizó el área de estudio, mediante la función **Zoom to a location**, dando como resultado el siguiente algoritmo:

```
Map.setCenter(-78.542061, 0.511193, 10)
```

- ✓ Para lograr una mejor visualización del área de estudio se procedió a cargar la cobertura en formato shapefile del límite de la RECC de la siguiente manera:

Figura 21: Límite de la RECC visualizado en Code Editor



Fuente: Elaboración propia

- ✓ Luego de haber localizado el área de estudio, se procedió a filtrar las colecciones de imágenes por las fechas requeridas, para los años 1986, 2001 y 2017:

```
//Filtrado por fechas: 1986, 2001 y 20017
```

```
//1986
```

```
var Land5_1986filter = Landsat5.filterDate ('1986-01-01', '1986-12-31');
```

```
//2001
```

```
var Land5_2001filter = Landsat5.filterDate ('2001-01-01', '2001-12-31');
```

```
//2017
```

```
var Land8_2017filter = Land8_2017.filterDate ('2017-01-01', '2017-12-31');
```

- ✓ Finalmente, se cargaron los filtros a las capas del mapa:

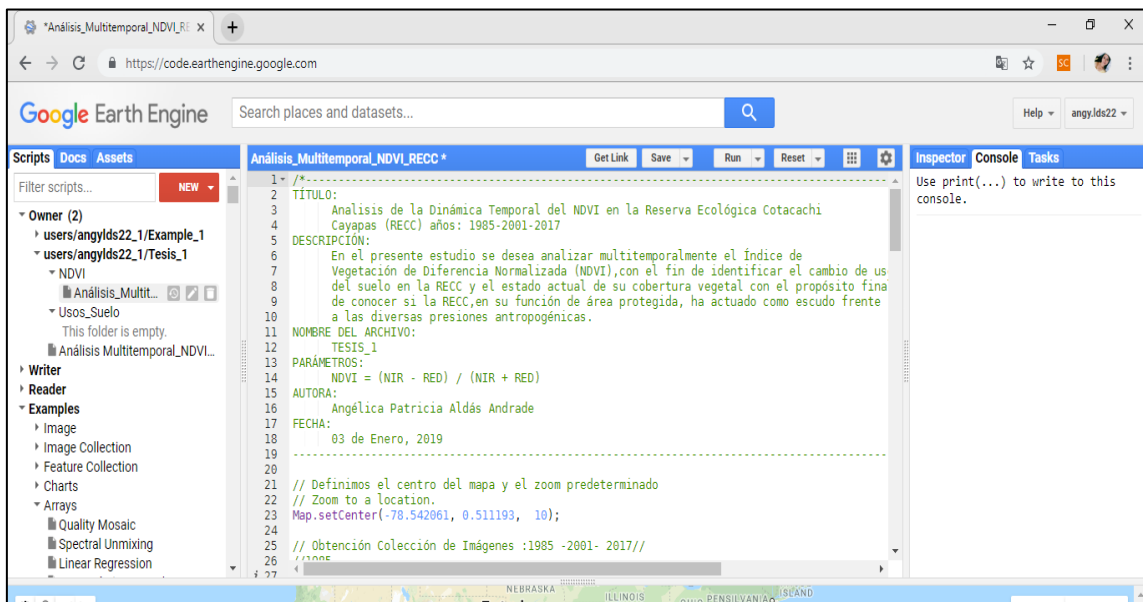
```
Map.addLayer({eeObject: Land5_1986filter,visParams: {min: 6000,max: 180000,bands:['B4','B3','B2']},name: 'Landsat5 1986'});
```

```
Map.addLayer({eeObject: Land5_2001filter,visParams: {min: 6000,max: 180000,bands:['B4','B3','B2']},name: 'Landsat5 2001'});
```

```
Map.addLayer({eeObject: Land8_2017filter,visParams: {min: 6000,max: 180000,bands:['B5','B4','B3']},name: 'Landsat8 2017'});
```

En la Figura 21 que se muestra a continuación se puede observar el encabezado del Script, el cual contiene información relevante sobre el trabajo realizado:

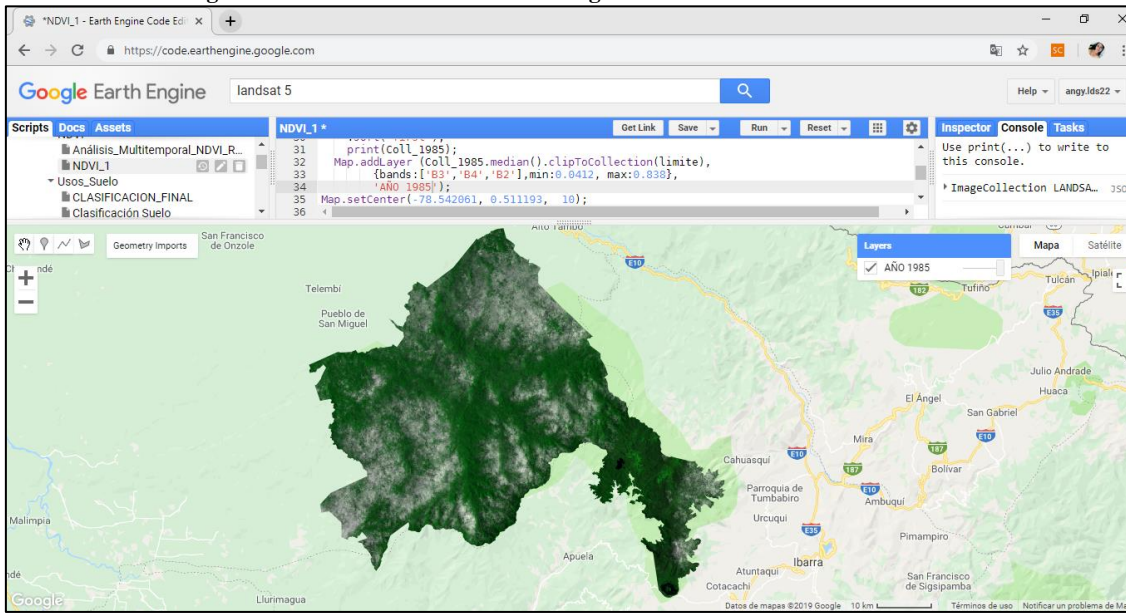
Figura 22: Encabezado principal script



Fuente: Elaboración propia

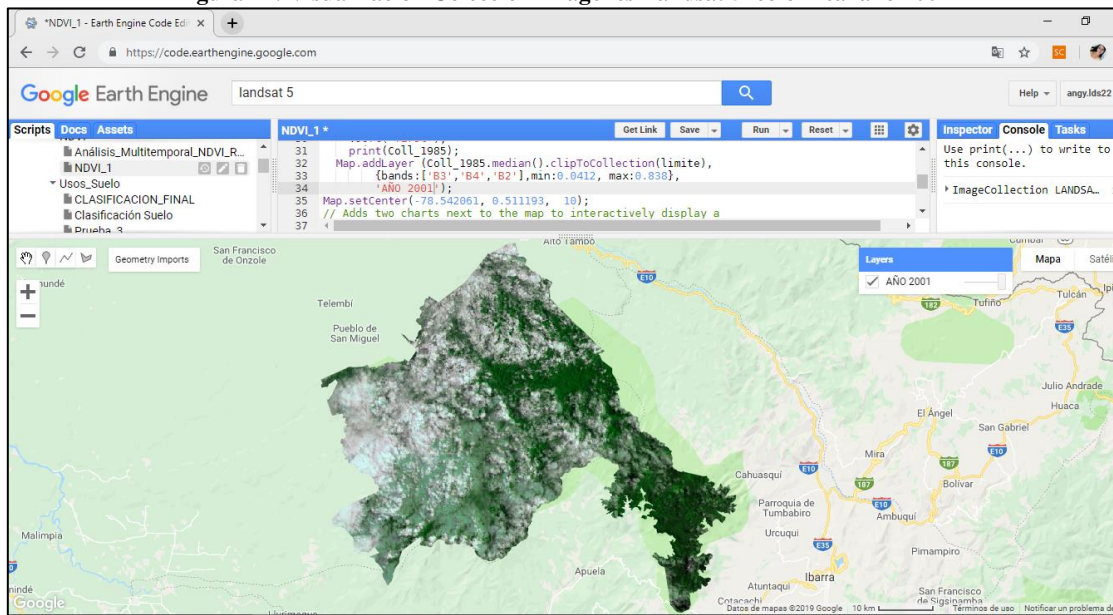
En la Figura 22, se observa la Colección de imágenes Landsat 5 en el año 1986 a color real en la API de code editor:

Figura 23: Visualización Colección Imágenes Landsat 5 color real año 1986



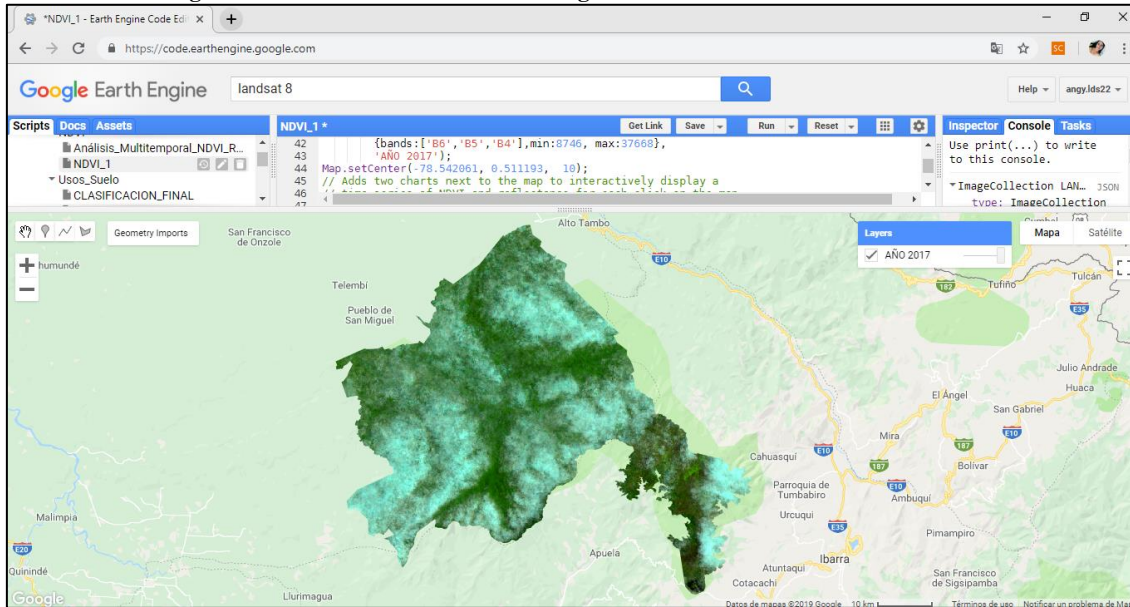
Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Visualización Colección Imágenes Landsat 5 color real año 2001



Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Visualización Colección Imágenes Landsat 8 en color real año 2017



Fuente: Elaboración propia

5.1.1.6 Aplicación de función máscara (Fmask)

Function of Mask o usualmente llamada Fmask, es un algoritmo de varias pasadas que rellena los píxeles cuyos valores corresponden a cualquier tipo de nubosidad, sombra de nube, nieve y hielo en el procesamiento digital de datos Landsat (Google, 2018). Utiliza un “árbol de decisión” para etiquetar prospectivamente los píxeles de cada escena y así validarlos o descartarlos y finalmente otorgarles una categoría; adicionalmente, crea una máscara de sombra de nubes al estimar iterativamente las alturas de las nubes y proyectarlas en el suelo. Fue desarrollado en METLAB en la Universidad de Boston (Foga, 2017).

Para el presente estudio y con el fin de obtener una base de datos sólida se ha empleado la función Fmask para discriminar entre los píxeles necesarios para el cálculo de NDVI y los píxeles excluidos, los cuales corresponden a nubosidad. Como se pudo apreciar en la figura 24 debido a que la RECC está localizada en una zona tropical la presencia de nubes es muy alta, por lo tanto, el enmascaramiento es sumamente necesario.

A continuación, se muestran los algoritmos usados para la aplicación de la función Fmask:

✓ Función Fmask para imágenes Landsat 5:

```
var addFmask5 = function(image){
```

```

var datamask = image.select('B4','B3');

var cloudMask = datamask.neq(1).and(datamask.neq(2)).and(datamask.neq(3)).
and(datamask.neq(4)); return image.updateMask(cloudMask);};

```

✓ **Función Fmask para imágenes Landsat 8:**

```

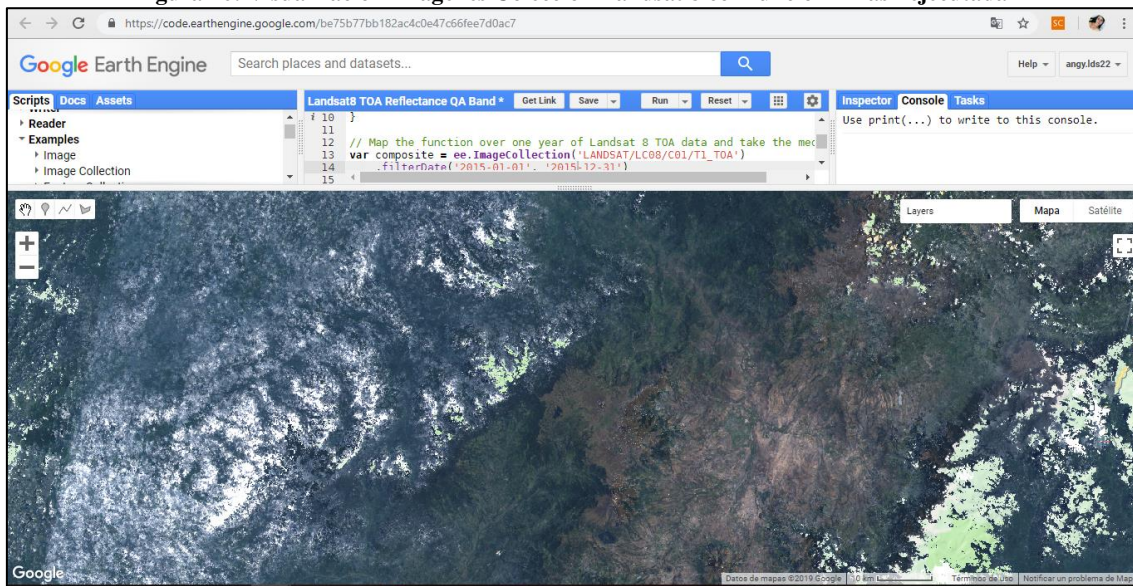
var addFmask8 = function(image){

var datamask = image.select('B5','B4');

var cloudMask = datamask.neq(1).and(datamask.neq(2)).and(datamask.neq(3)).
and(datamask.neq(4)); return image.updateMask(cloudMask);

```

Figura 26: Visualización Imágenes Colección Landsat 8 con función Fmask ejecutada



Fuente: Elaboración propia

5.2 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

5.2.1 Definición

Desde el lanzamiento de los primeros satélites de observación de la Tierra, se ha realizado un gran esfuerzo para estudiar el estado y dinámica de la vegetación por medio de los índices de vegetación (Tituaña Jami, 2018).

La mayoría de los Índices de Vegetación utilizan la radiancia, la reflectividad a nivel del suelo, o la reflectividad aparente al exterior de la atmósfera (MappingGis, 2018).

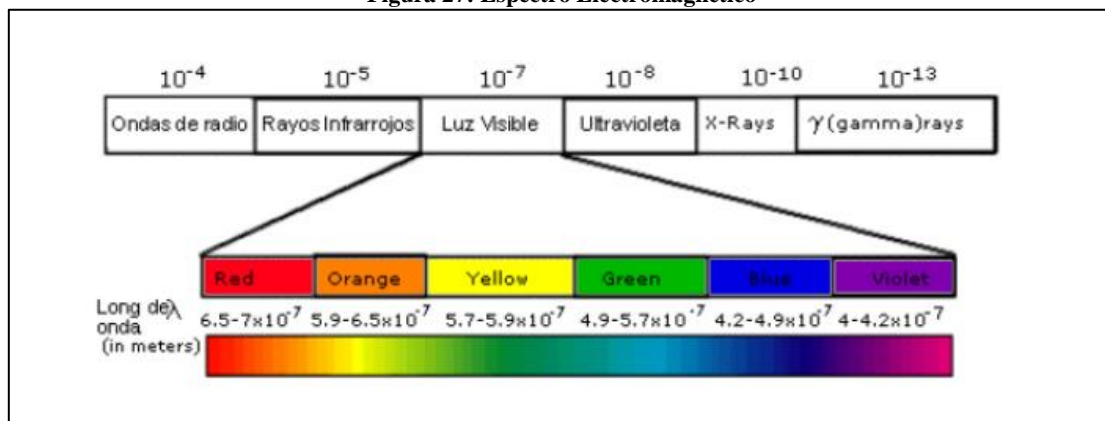
El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) formulado por (Rouse, Haas, Schell, Deering & Harlan, 1974) es un *índice de vegetación* ampliamente utilizado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Se expresa de la siguiente forma (Sánchez García & Toral Ruiz, 2016):

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

Es decir, el NDVI se calcula mediante la diferencia entre la *reflectancia* de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (del visible – rojo) dividido por la suma de estas dos bandas de *reflectancia*. Su rango de variación queda comprendido entre los valores -1 y +1 (Sánchez García & Toral Ruiz, 2016).

Dependiendo del sensor del cual se obtenga la información satelital, las bandas correspondientes al rojo e infrarrojo cercano pueden variar, por ejemplo, para el satélite Landsat 8 la banda 4 corresponde al Visible (VIS- rojo) y la banda 5 al infrarrojo cercano (NIR); mientras que para el satélite Landsat 5 la banda 3 corresponde al Visible y la banda 4 al NIR.

Figura 27: Espectro Electromagnético



Fuente: Google, 2018

5.2.2 Características

Se ha demostrado que los valores de las bandas del Rojo (Red) o visible (VIS) y del Infrarrojo Cercano (NIR) son los más relacionados a diferentes parámetros relativos a la vegetación, tales como biomasa verde y concentración de clorofila (Sánchez García & Toral Ruiz, 2016). Sus principales utilidades sobre las imágenes satelitales han sido

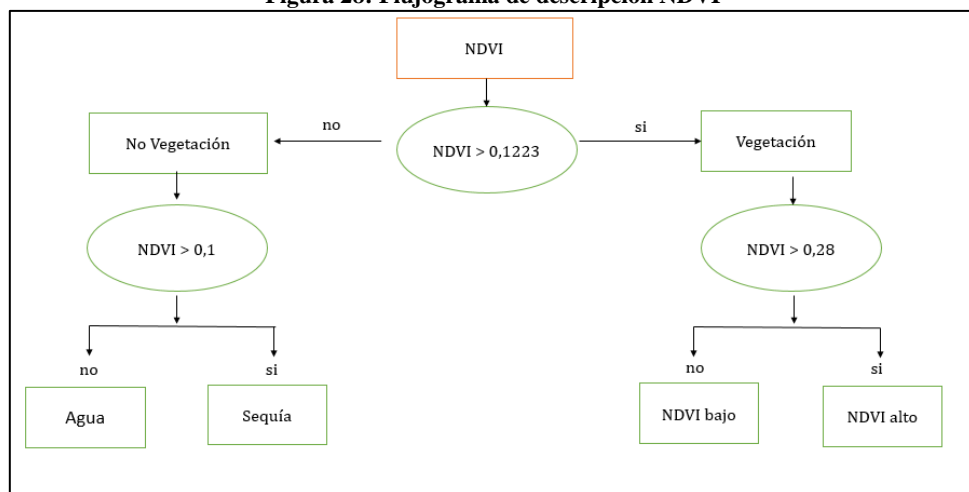
para estudios sobre clasificación de cultivos, fenología, cubierta verde y detección de cambios. Conforme, sobre un suelo desnudo, se va desarrollando la vegetación, disminuye la reflectividad en el rojo y aumenta la del infrarrojo cercano (Almeida, 2015).

En otras palabras, éste índice brinda una idea aproximada de la vitalidad y la densidad de la vegetación en un píxel basado en diferentes intensidades de la luz reflejada por el sol en el visible (0,4 a 0,7 μ m) y del infrarrojo cercano (0,7 a 1,1 μ m) del espectro electromagnético (Niklas Schmid, 2018).

El NDVI también puede servir como un indicador de la actividad u/o capacidad fotosintética; su monitoreo sirve para detectar cambios en la cobertura terrestre y el uso de la tierra, anomalías en las estaciones de crecimiento, así como para identificar las áreas de sequía y desertificación (Lee, Cardille, & Coe, 2018).

Como se mencionó anteriormente, el rango de valores de NDVI varía entre -1 y +1. Por tal motivo, valores como 0,1 y 0,2 corresponderán a superficies de piedra, arena y nieve; valores de 0,3 se pueden relacionar a una superficie con escasa vegetación, valores entre 0,4 y 0,6 son comunes en bosques templados mientras que valores entre 0,8 - 1,0 corresponden a superficies con vegetación altamente densa como selvas tropicales, y finalmente, valores por debajo de cero indican la presencia de agua (Niklas Schmid, 2018).

Figura 28: Flujograma de descripción NDVI



Fuente: Turpo Cayo, 2018 Elaboración Propia

Por otra parte, debido a que el NDVI se calcula a partir de imágenes de satélite que pueden contener nubes y aerosoles que puedan distorsionar los datos, es importante filtrar los píxeles contaminados para garantizar una alta calidad en los resultados. En

este estudio, esto se consiguió mediante el uso de la función Fmask (descrita anteriormente) que GEE proporciona.

5.2.3 Descripción del proceso de cálculo

Para obtención del NDVI correspondiente a cada serie de tiempo (1986-2001 y 2017) fue necesaria la generación de 3 scripts: 2 a partir de las imágenes Landsat 5 para el NDVI de los años 1986 - 2001 y un tercero a partir de Landsat 8 para el NDVI del año 2017. Esta diferenciación fue necesaria debido a que Landsat 5 utiliza las bandas 3 y 4 para rojo e infrarrojo cercano, mientras que Landsat 8 utiliza las bandas 4 y 5 para rojo e infrarrojo cercano respectivamente. Adicionalmente, para el análisis de las coberturas vegetales se usó la combinación 5-4-3 y la 6-5-4.

A continuación, se muestran los Scripts clasificados por año de estudio:

✓ NDVI año 1986

```
var Landsat1986 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA')  
  
  .filterBounds(limite)  
  
  .filterDate('1986-01-01','1986-12-31')  
  
  .select(['B4', 'B3'])  
  
  .map(addFmask5)  
  
  .map(addNDVI1986).select('NDVI1986');
```

✓ NDVI año 2001

```
var Landsat2001 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA')  
  
  .filterBounds(limite)  
  
  .filterDate('2001-01-01','2001-12-31')  
  
  .select(['B4', 'B3'])  
  
  .map(addFmask5)  
  
  .map(addNDVI2001).select('NDVI2001');
```

✓ NDVI año 2017

```
var Landsat2017 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA')  
  
  .filterBounds(limite)
```

```

.filterDate('2017-01-01','2017-12-31')

.select(['B5', 'B4'])

.map(addFmask8)

.map(addNDVI2017).select('NDVI2017');

```

El resultado de este proceso es una matriz ráster en tonos de gris, cuyos valores varían entre 0,1 y 0,6 para la vegetación. Para mejorar la visualización se asignó una paleta de colores verde, amarilla y roja con el objetivo de suavizar el mapa final y obtener mejores resultados visuales.

Por otra parte, con el objetivo de analizar sistemáticamente las variaciones en el tiempo del NDVI fue necesaria la aplicación de algoritmos que permitan generar gráficos estadísticos de las series temporales correspondientes a cada año de estudio y exportar las características como una capa adicional al mapa. GEE computa automáticamente el NDVI medio de todos los píxeles de la colección.

Para ello se usó el siguiente código:

```

var series1986 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
    Landsat1986,    limite,    ee.Reducer.mean(),    'NDVI1986',    30,
    'system:time_start','label').setChartType('ScatterChart')
    .setOptions({ title: 'NDVI 1986',
    vAxis: {title: 'NDVI1986'}, lineWidth: 1, pointSize: 4,});

var series2001 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
    Landsat2001,    limite,    ee.Reducer.mean(),    'NDVI2001',    30,
    'system:time_start','label').setChartType('ScatterChart') .setOptions({
    title: 'NDVI 2001', vAxis: {title: 'NDVI2001'},lineWidth: 1, pointSize: 4,});

var series2017 = ui.Chart.image.seriesByRegion(
    Landsat2017,    limite,    ee.Reducer.mean(),    'NDVI2017',    30,
    'system:time_start','label' .setChartType('ScatterChart' .setOptions({
    title: 'NDVI 2017',vAxis: {title: 'NDVI2017'}, lineWidth: 1,pointSize: 4,});

print(series1986,series2001,series2017);

```

```
Map.addLayer({eeObject: Landsat1986,visParams: {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']},name: 'Landsat5 1986',opacity:1});
```

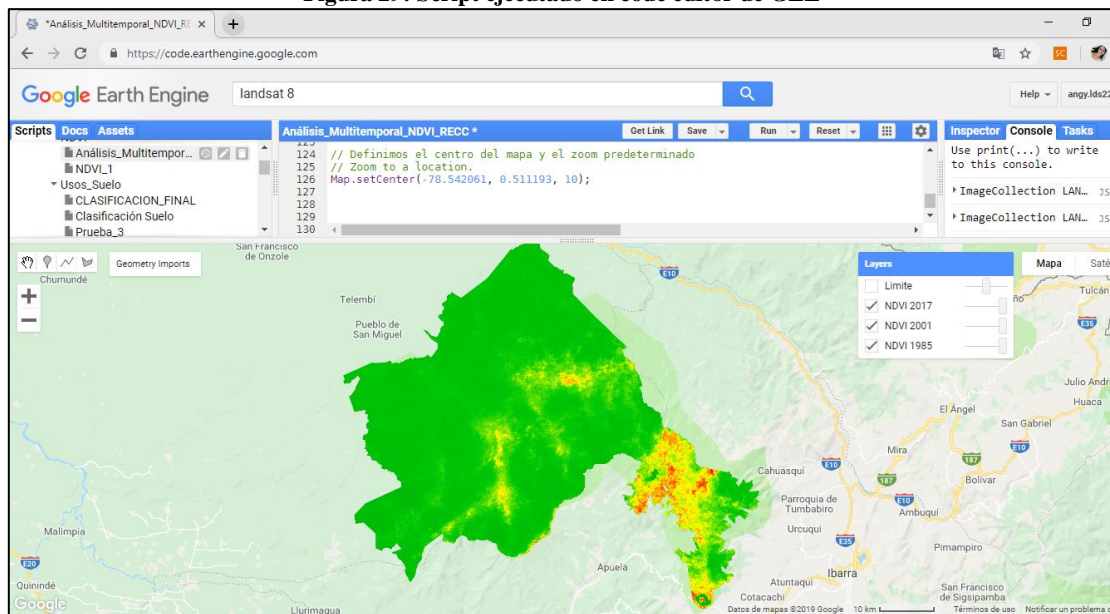
```
Map.addLayer({eeObject: Landsat2001,visParams: {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']},name: 'Landsat5 2001',opacity:0});
```

```
Map.addLayer({eeObject: Landsat2017,visParams: {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']},name: 'Landsat8 2017',opacity:0});
```

```
Map.addLayer({eeObject: limite,name: 'Limite',opacity:0.5,visParams:{color: 'eca31a'}});
```

Finalmente, se cortaron las imágenes obtenidas a partir del NDVI con el polígono correspondiente a la RECC, se ajustó la gama de color con la que se muestran los resultados NDVI y el resultado final se muestra en la Figura 28:

Figura 29: Script ejecutado en code editor de GEE



Fuente: Elaboración propia

5.3 Determinación cambio uso del suelo

5.3.1 Definición

El cambio de uso de suelo se define como el proceso mediante el cual un determinado espacio de la superficie terrestre ha sido alterado a lo largo del tiempo, ya sea por causas naturales o de origen antrópico (Lepers, Geist, & Lambin, 2003).

El cambio en la cobertura de la tierra subyace en muchas políticas de desarrollo ambiental; diversos estudios concluyen que ni la población ni la pobreza por sí solas constituyen las principales causas del cambio en los usos del suelo de todo el mundo

(GOFC-GOLD, 2009). Al contrario de lo que se creía, las respuestas de las personas a las oportunidades económicas, mediadas por factores institucionales, impulsan cambios en la cobertura del suelo (Lambin, y otros, 2001).

Si bien la cobertura terrestre y el uso de la tierra están relacionados, no son lo mismo. En un área geográfica, relacionar las coberturas terrestres (por ejemplo, tipos de vegetación) identificadas desde imágenes satelitales, con los usos reales de la tierra en el campo, constituye uno de los mayores desafíos en el mapeo del uso de la tierra (Cihlar y Jansen, 2001).

Por una parte, la cobertura del suelo es la cobertura (bio) física observada en la superficie de la tierra; al considerar la cobertura terrestre en el estricto sentido de la palabra, debe limitarse a describir la vegetación y las características modificadas por el ser humano (Di Gregorio & Jansen, 2010). En consecuencia, las áreas donde la superficie consiste en roca o suelo desnudo están describiendo la tierra en vez de la cobertura de la tierra (Cihlar y Jansen, 2001). Mientras que, el uso de la tierra se caracteriza por los acuerdos, actividades e insumos que las personas realizan en un determinado tipo de cobertura de la tierra para producirla, cambiarla o mantenerla. La definición del uso del suelo de esta manera establece un vínculo directo entre la cobertura del suelo y las acciones de las personas en su entorno (Salazar Álvarez, 2015).

Los siguientes ejemplos son una ilustración adicional de las definiciones anteriores:

- "pastizal" es un término de cobertura, mientras que "cancha de tenis" se refieren al uso de una cubierta de césped; y
- "área de recreación" es un término de uso de la tierra que puede aplicarse a diferentes tipos de cobertura de la tierra: por ejemplo, superficies arenosas como una playa; un área edificada como un parque de recreo; bosques etc. (Di Gregorio & Jansen, 2010).

Consecuentemente, la deforestación se ha reconocido a nivel global como la forma de conversión de suelo más representativa debido al desbroce de bosques primarios para transformarlos en tierras cultivables (Lambin & Meyfroidt, 2011). Las áreas boscosas son consideradas en su mayoría, reservas para apertura de pastos y cultivos; el interés, en términos productivos, está en la capa de suelo bajo el bosque (Gerique, 2014).

Ecuador tuvo el mayor porcentaje de deforestación entre 1990 y 2000 con 1,2% por año. Actualmente, presenta la red vial más densa entre los países amazónicos con 37,5 km por kilómetro cuadrado (Zambrano & Barragán, 2014) situación que ha facilitado la expansión de la frontera agrícola y de pastizales para ganado, intensificación del suelo y extracción de madera. Las políticas de conservación, tales como la creación de áreas protegidas, sugieren evitar la rápida transformación de los bosques naturales en tierras agropecuarias, sin embargo, la población mundial aumenta de manera exponencial, de modo que la demanda de alimentos exige la disponibilidad de tierras cultivables (GIBBS, et. al., 2010).

Las causas del cambio de uso de la tierra descritas anteriormente inciden directamente sobre las dinámicas territoriales en la RECC, donde dichos factores de cambio ejercen presión sobre los recursos y debilitan los ecosistemas naturales. Las mayores presiones antrópicas ante las que debe enfrentarse la Reserva son la deforestación, la transformación de espacios naturales en paisajes agropecuarios y la minería ilegal; actividades que en ciertos lugares de la RECC infringen las normativas relacionadas para las categorías de uso propias de las APs.

Acorde a lo descrito, es necesario cuantificar el cambio de uso del suelo a partir de procesos antrópicos. En el presente estudio se pretende demostrar la transformación del suelo en el área ocupada por la RECC desde sus primeros años de creación hasta la actualidad. Esta caracterización aportará al objetivo principal de la investigación sobre identificar si la Reserva ha sido efectiva frenando las modificaciones de origen antrópico y funcionando como escudo ante la deforestación.

5.3.2 Características

Para la categorización de los diferentes usos de suelo encontrados en la Reserva se utilizaron las categorías de uso Nivel I proporcionadas por el MAE, específicamente del Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra (escala 1:100 000) año 2016. Las categorías a identificarse fueron:

- Bosque: incluye bosque maduro, secundario o vegetación en regeneración
- Vegetación Arbustiva y Herbácea: incluye páramo, vegetación herbácea y arbustiva
- Tierra Agropecuaria: enfocado a los de ciclo corto o consumo familiar
- Cuerpo de Agua: Incluye lagos, lagunas

- Otros: incluye áreas que no han podido ser mapeadas

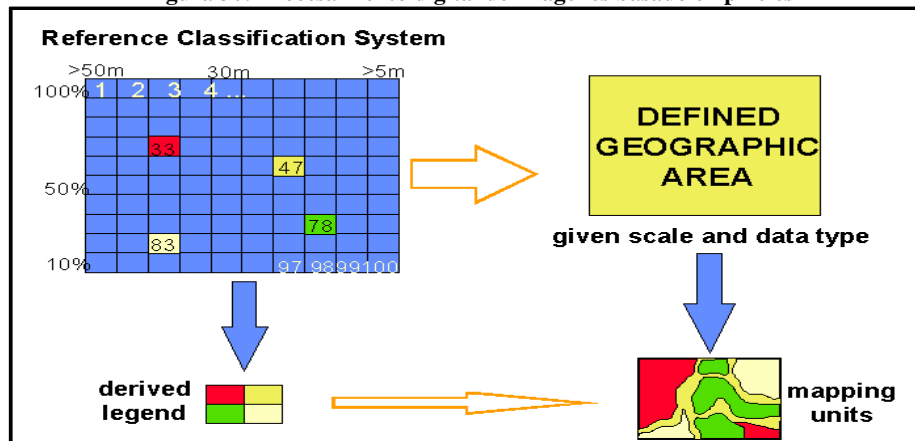
En términos generales, para interpretar imágenes satelitales en teledetección es posible realizarlo mediante tres métodos: a) interpretación visual, b) procesamiento digital de imágenes basado en píxeles, y c) segmentación de imagen (Puig et al., 2002). Para el presente estudio el método seleccionado corresponde al procesamiento digital de imágenes basado en píxeles mediante la herramienta Google Earth Engine.

Dicho método consiste en utilizar los algoritmos informáticos para realizar clasificaciones no supervisadas y supervisadas (Jensen, 1995). Cada píxel es considerado una unidad de suelo y se agrega a grupos de píxeles similares; el agrupamiento puede basarse únicamente en el número digital del píxel; a ésta técnica se la conoce como “clasificación no supervisada”. En cambio, con la clasificación supervisada, un analista asigna píxeles que representan una cobertura terrestre, a una clase basándose en el conocimiento que tenga el desarrollador sobre el área de estudio.

El procesamiento digital de imágenes es objetivo, porque depende de algoritmos informáticos para asignar píxeles a clases de suelo (Eastman, 2009), GEE utiliza dichos algoritmos para reunir grupos de píxeles sobre la base de sus respuestas espectrales a un conjunto de reglas establecidas por el desarrollador para clasificar la cobertura terrestre y los usos de la tierra.

Una ventaja de este enfoque es el costo relativamente bajo en áreas extensas. No obstante, la vinculación cuidadosa de la cobertura terrestre con la información de verificación de campo sobre el uso de la tierra es necesaria a fin de evitar errores a gran escala (Di Gregorio & Jansen, 2010).

Figura 30: Procesamiento digital de imágenes basado en píxeles



Fuente: Di Gregorio, 2010

5.3.3 Descripción del proceso de cálculo

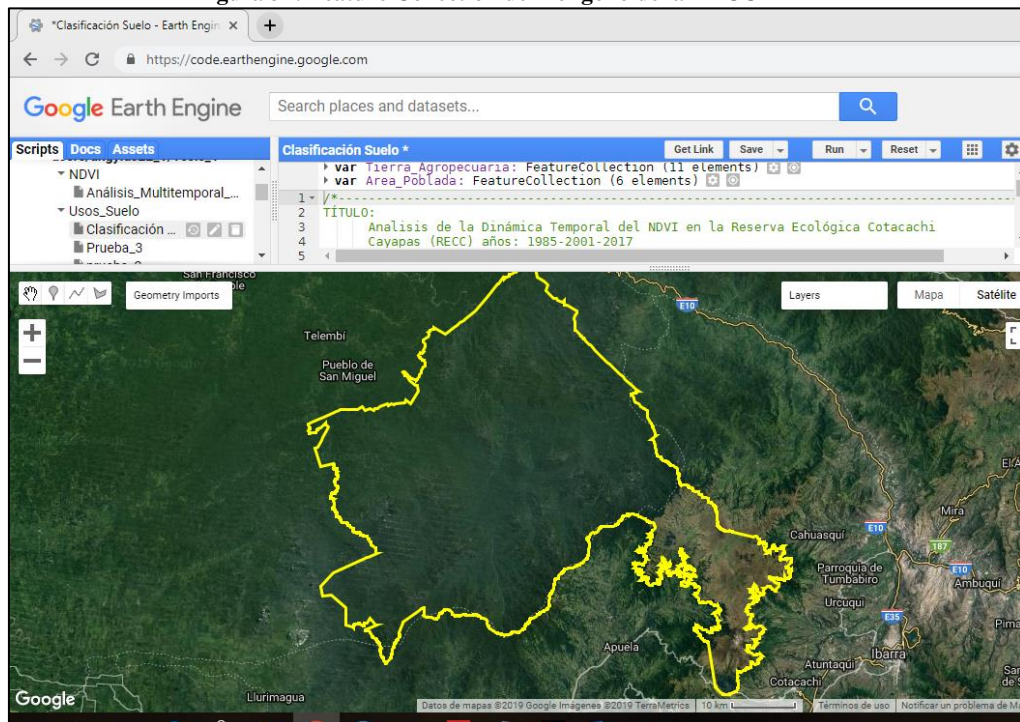
A partir de las imágenes satelitales proporcionadas por GEE, se procedió a determinar o clasificar los usos de suelo para los años correspondientes a: 1986, 2001 y 2017. Las categorías a identificarse corresponden a las descritas anteriormente: Bosque, Vegetación Arbustiva, Tierra Agropecuaria, Cuerpo de Agua, y Otros.

Una ventaja importante de Landsat es la disponibilidad de imágenes más antiguas para establecer una línea base y así determinar los índices de cambio a largo plazo; para esta parte del estudio se utilizaron escenas de las colecciones de imágenes con la menor cantidad de nubes posible. Dichas escenas corresponden al mes de septiembre debido a que es la época con menor nubosidad en la región (sobre todo de Esmeraldas).

Para la fase de procesamiento fueron necesarios los siguientes pasos:

- ✓ Inicialmente, se procedió importar el polígono de la Reserva.

Figura 31: Feature Collection del Polígono de la RECC

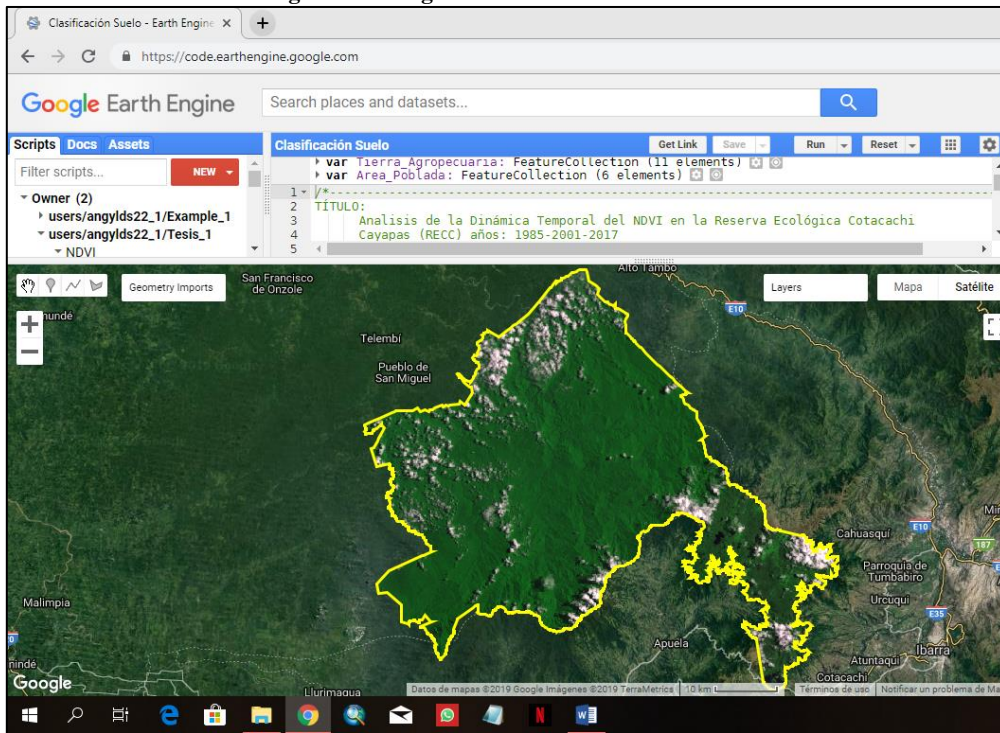


Fuente: Elaboración Propia

- ✓ Luego se realizó la importación de las imágenes mediante GEE. Para este punto del estudio fue necesaria la selección de las escenas que contengan la menor cantidad posible de nubes y sombras de nubes. Esto se logró a través de una búsqueda de las imágenes más idóneas en Explorer de Earth Engine.

A continuación, en las ilustraciones 29,30 y 31 se muestran las escenas utilizadas:

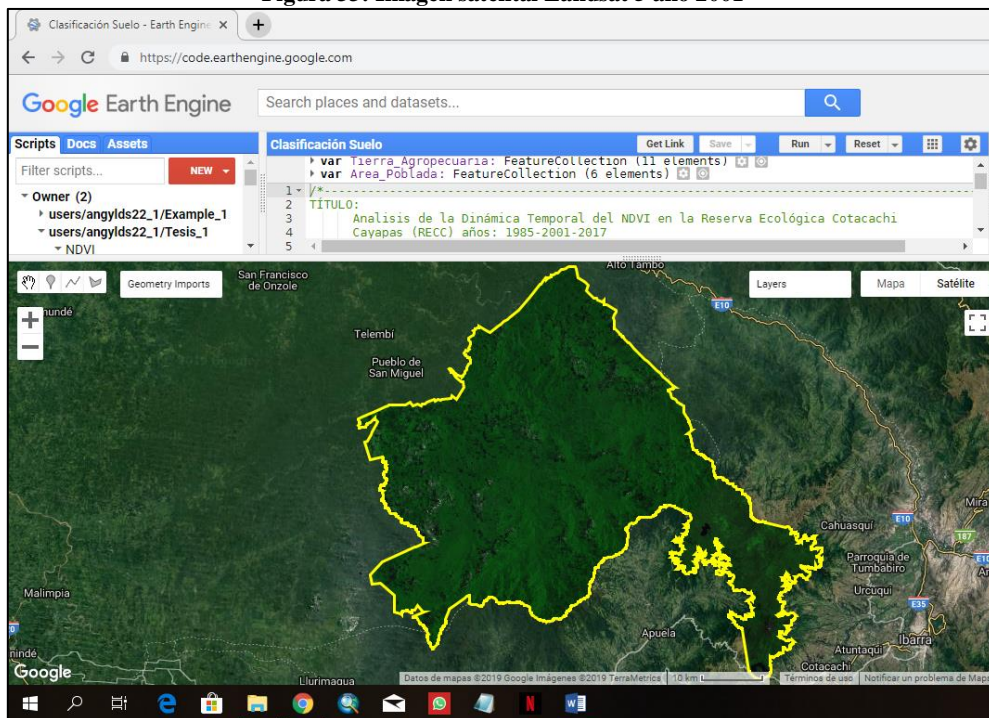
Figura 32: Imagen satelital Landsat 5 año 1986



Fuente: Elaboración Propia

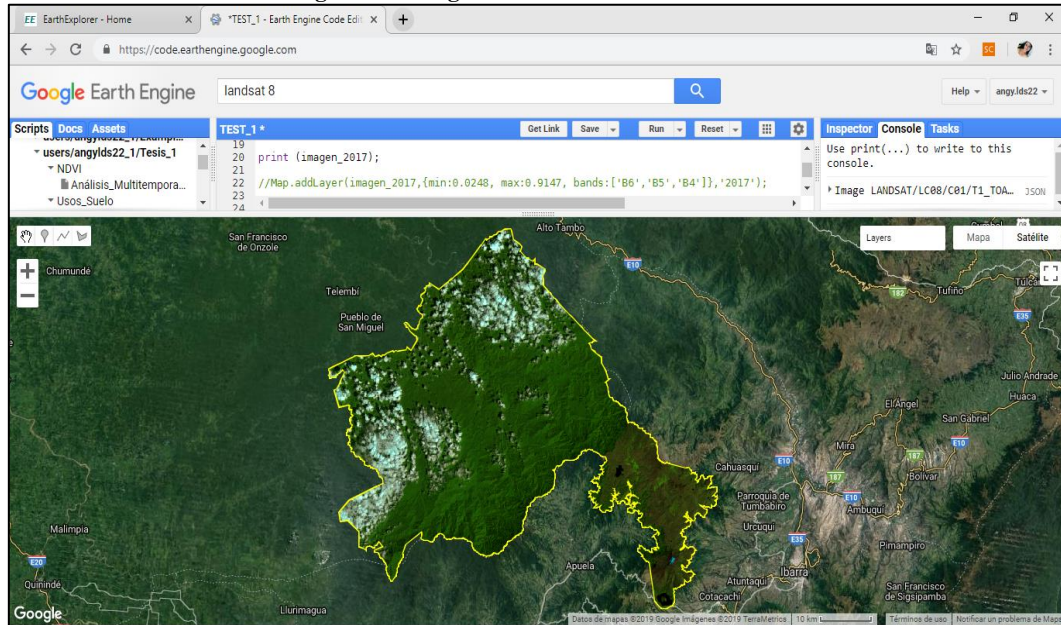
En la figura 32 se puede observar la escena utilizada para la determinación del uso de suelo en el año 2001 sin nubes; tal imagen es el resultado de una composición con las mejores escenas de todo ese año para obtener una imagen más limpia.

Figura 33: Imagen satelital Landsat 5 año 2001



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34: Imagen satelital Landsat 8 año 2017



Fuente: Elaboración Propia

- ✓ Posteriormente se aplicó la función Fmask, con la finalidad de enmascarar los píxeles que no serán tomados en cuenta para la clasificación, los cuales que corresponden a nubosidad. A continuación, se muestran los scripts utilizados:

***Función Fmask para imágenes Landsat 5:**

```
var addFmask5 = function(image){
var datamask = image.select('B4','B3');
var cloudMask = datamask.neq(1).and(datamask.neq(2)).and(datamask.neq(3)).
and(datamask.neq(4)); return image.updateMask(cloudMask);};
```

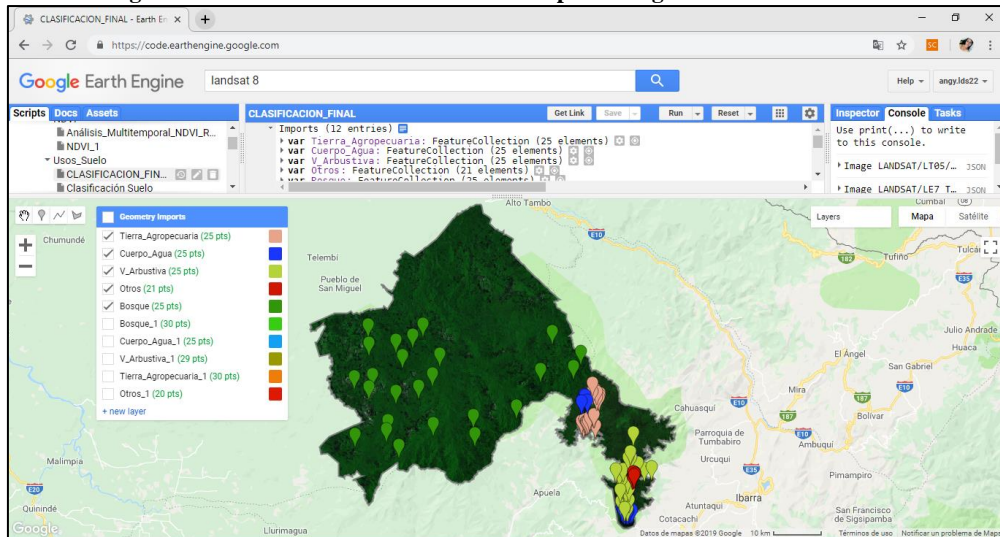
***Función Fmask para imágenes Landsat 8:**

```
var addFmask8 = function(image){
var datamask = image.select('B5','B4');
var cloudMask = datamask.neq(1).and(datamask.neq(2)).and(datamask.neq(3)).
and(datamask.neq(4)); return image.updateMask(cloudMask);
```

- ✓ No se aplicó una metodología estricta en el proceso de clasificación digital de las imágenes, se emplearon diferentes herramientas sobre cada una de las imágenes para obtener un resultado más cercano a la realidad.

- ✓ Se realizó una clasificación no supervisada que se basa en identificar zonas donde se estima el tipo de unidad existente y posteriormente se toman “muestras” de los valores espectrales presentes en ese sitio. El programa busca valores espectrales similares a los de las muestras, En GEE este proceso se lo conoce como entrenamiento de clasificadores y sirve para que el software busque los valores espectrales similares a los de las muestras.

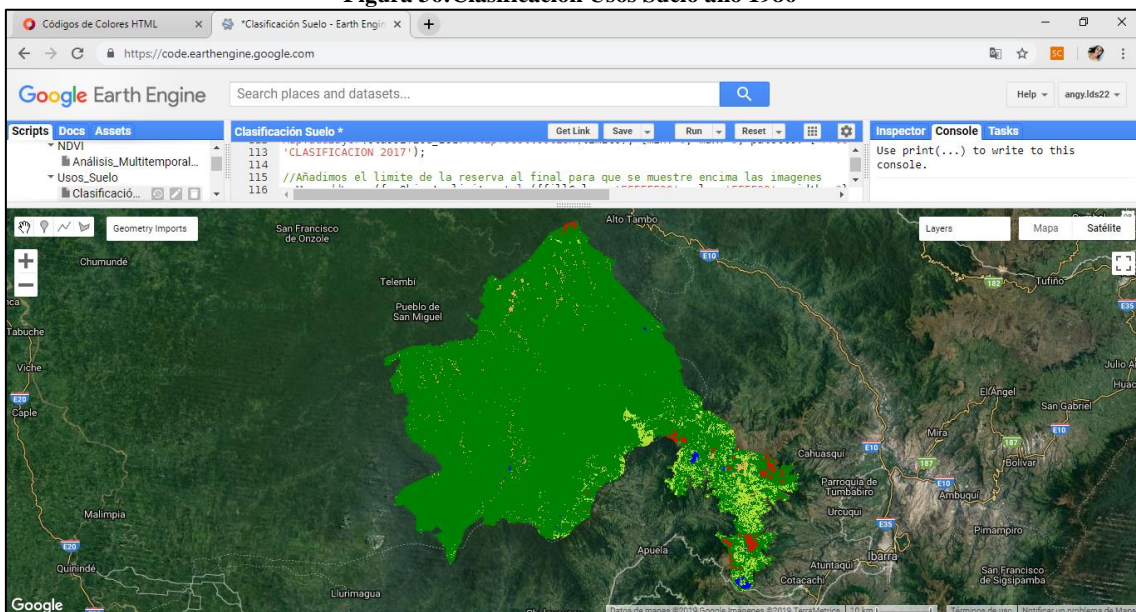
Figura 35: Entrenamiento de clasificadores para categorías uso de suelo



Fuente: Elaboración Propia

- ✓ Una vez seleccionadas todas las muestras de las unidades que se desea clasificar, el software, basado en un algoritmo matemático (Regla de Decisión) clasificó los píxeles de la imagen en las diferentes clases definidas.

Figura 36: Clasificación Usos Suelo año 1986



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestran los scripts utilizados para cada paso en determinar el cambio de uso de suelo para la RECC:

- **Importación colección de imágenes año 1986:**

```
var coleccion_L5_1986= ee.ImageCollection ('LANDSAT/LT05/C01/T1')  
  
  .filterBounds (limite)           // filtrado por area de interes//  
  
  .filterDate('1986-08-28','1986-09-07');//filtrado por fecha//  
  
Map.addLayer (coleccion_L5_1986.median().clipToCollection(limite),  
  {bands:['B3','B4','B2'], max:250},  
  'AÑO 1986');
```

- **Importación colección de imágenes año 2001:**

```
Var coleccion_L5_2001= ee.Image (ee.ImageCollection  
( 'LANDSAT/LE7_TOA_1YEAR' ) / / ( 'LANDSAT/LT05/C01/T1' )  
  
  .filterBounds (limite)           // filtrado por área de interés//  
  
  .filterDate('2001-01-01','2001-12-31') //filtrado por fecha//  
  
  .sort ('CLOUD_COVER')  
  
  .first());  
  
Map.addLayer (coleccion_L5_2001.clipToCollection(limite),  
  {bands:['B3','B4','B2'], max:250}, 'AÑO 2001');           //se añade al  
  mapa//
```

- **Importación colección de imágenes año 2017:**

```
var coleccion_L8_2017= ee.Image (ee.ImageCollection  
( 'LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA' )  
  
  .filterBounds (Ref)  
  
  .filterDate('2017-01-01','2017-12-31')  
  
  .sort ('CLOUD_COVER')  
  
  .first());  
  
Map.addLayer (coleccion_L8_2017.clipToCollection(limite),  
  {bands:['B3','B4','B2'], max:250}, 'AÑO 2017');
```

- **Unión puntos de muestreo clasificadores con colección de imágenes**

```
var newfc1986 =
Cuerpo_Agua.merge(Tierra_Agropecuaria).merge(V_Arbustiva).merge(Bosque);.merge
(Otros)

var newfc2001 =
Cuerpo_Agua.merge(Tierra_Agropecuaria).merge(V_Arbustiva).merge(Bosque);.merge
(Otros)

var newfc2017 =
Cuerpo_Agua.merge(Tierra_Agropecuaria).merge(V_Arbustiva).merge(Bosque);.merge
(Otros)
```

- **Generación puntos de entrenamiento**

```
var bands = ['B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7'];
var bandsComp = ['B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B7'];
var classProperty = 'landcover';
var training_1986 = compuesta_1.select(bands)
    .sampleRegions({collection: newfc1986, properties: ['landcover'], scale: 5});
var training_2001 = coleccion_L5_2001.select(bandsComp)
    .sampleRegions({collection: newfc2001, properties: ['landcover'], scale: 5});
var training_2017 = coleccion_L8_2017.select(bandsComp)
    .sampleRegions({collection: newfc2017, properties: ['landcover'], scale: 5});
```

- **Entrenamiento de clasificadores**

```
//1986
var classifier_1986 = ee.Classifier.cart()
    .train({features: training_1986, classProperty: 'landcover',
        inputProperties: bands});

//2001
var classifier_2001 = ee.Classifier.cart()
```

```

.train({features: training_2001, classProperty: 'landcover',
inputProperties: bandsComp});

//2017
var classifier_2017 = ee.Classifier.cart()
.train({features: training_2017, classProperty: 'landcover',
inputProperties: bandsComp});

```

- **Clasificación Imágenes**

```

//1986
var classified_1986 = compuesta_1.select(bands).classify(classifier_1986);

//2001
var classified_2001 = coleccion_L5_2001.select(bandsComp).classify(classifier_2001);

//2017
var classified_2017 = coleccion_L8_2017.select(bandsComp).classify(classifier_2017);

```

- **Mostrar clasificación en el mapa**

```

Map.addLayer(classified_1986.clipToCollection(limite), {min: 0, max: 3, palette:
['FF0000', '0000FF', '008000','00BC00']},
'CLASIFICACION 1986');

Map.addLayer(classified_2001.clipToCollection(limite), {min: 0, max: 3, palette:
['FF0000', '0000FF', '008000','00BC00']},
'CLASIFICACION 2001');

Map.addLayer(classified_2017.clipToCollection(limite), {min: 0, max: 3, palette:
['FF0000', '0000FF', '008000','00BC00']},
'CLASIFICACION 2017');

```

- **Corte de imágenes clasificadas con límite de la Reserva**

```

Map.addLayer({eeObject: limite.style({fillColor: 'FFFFFF00',color:'FFFF00', width:
3}),name: 'Limite',opacity:1,visParams:{ } });

```

- **Localización de mapa según ubicación de la Reserva**

```
Map.setCenter(-78.542061, 0.511193, 10);
```

- **Creación de Leyenda en Mapa de clasificación Usos del Suelo para la RECC**

```
// Título General y texto descriptivo
```

```
var header = ui.Label('Clasificación de suelo', {fontSize: '36px', color: 'red'});
```

```
var text = ui.Label('Resultado de la clasificación del suelo de los años 1986, 2001, 2017', {fontSize: '11px'});
```

```
var toolPanel = ui.Panel([header, text], 'flow', {width: '300px'});
```

```
ui.root.widgets().add(toolPanel);
```

```
//Se define el panel para la leyenda y su título.
```

```
var legendPanel = ui.Panel({style:{fontWeight: 'bold', fontSize: '10px', margin: '0 0 0 8px', padding: '0'}});toolPanel.add(legendPanel);
```

```
//Localización de la Leyenda sobre el mapa
```

```
var keyPanel = ui.Panel();legendPanel.add(keyPanel);
```

```
// Generación de Leyenda
```

Bosque

```
keyPanel.add( ui.Panel( [ ui.Label("", { backgroundColor: 'FF0000',padding: '8px',margin: '0'}), ui.Label("Bosque", { margin: '0 0 4px 6px'})], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal')) );
```

Cuerpo de Agua

```
keyPanel.add( ui.Panel( [ui.Label("", { backgroundColor: '0000FF',padding: '8px',margin: '0'}), ui.Label('Cuerpo de Agua', { margin: '0 0 4px 6px'}) ], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal')) ); keyPanel.add(ui.Panel( [ui.Label("", { backgroundColor: '008000',padding: '8px',margin: '0'}), ui.Label('Vegetación', { margin: '0 0 4px 6px'})], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal')));
```

Vegetación Arbustiva y herbácea

```
keyPanel.add(ui.Panel( [ui.Label("", { backgroundColor: '00BC00',padding: '8px',margin: '0'}), ui.Label("V_Arbustiva", { margin: '0 0 4px 6px'})], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal')));
```

Tierra Agropecuaria

```
keyPanel.add(ui.Panel( [ui.Label("", {backgroundColor: '00BC00',padding: '8px',margin: '0'}), ui.Label('Tierra Agropecuaria', {margin: '0 0 4px 6px'})], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal')));
```

Otros

```
keyPanel.add(ui.Panel( [ui.Label("", {backgroundColor: '00BC00',padding: '8px',margin: '0'}), ui.Label('Otros', {margin: '0 0 4px 6px'})], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal')));
```

- **Exportación de clasificación (ráster) a polígono**

```
//1986
```

```
Export.image.toDrive({ image: classified_1986, description: 'clasificacion_1986', scale: 30, region: limite, fileFormat: 'GEOTIFF',formatOptions: {cloudOptimized: true}});
```

```
//2001
```

```
Export.image.toDrive( image: classified_2001, description: 'clasificacion_2001',scale: 30, region: limite,fileFormat: 'GEOTIFF',formatOptions: { cloudOptimized: true } });
```

```
//2017
```

```
Export.image.toDrive({image: classified_2017,description: 'clasificacion_2017',scale: 30,region: limite,fileFormat: 'GEOTIFF',formatOptions: {cloudOptimized: true}});
```

Posteriormente, se realizó la verificación o validación de los resultados. En términos generales, para los usos de tierras tropicales, se requirió un alto nivel de opinión de expertos y de conocimiento del terreno.

Como parte del proceso de validación de información hubiese sido necesaria una visita al campo, sin embargo, para este estudio la validación se llevó a cabo comparando los mapas obtenidos en GEE con los mapas del archivo de datos de la RECC para fechas cercanas a las propuestas en el estudio. Esto se debe a que uno de los principales objetivos fue demostrar la precisión y confiabilidad técnica de GEE como herramienta en teledetección para detectar cambios en la superficie terrestre sin la necesidad de estar presente en el área de estudio.

5.3.3.1 Cálculo del cambio en el uso de la tierra

Este apartado describe cómo se calculó el cambio en el uso de la tierra. El procedimiento incluyó los siguientes tres pasos básicos:

- ✓ **Preparación:** Confirmación de que los mapas para cada fecha individual utilicen el mismo sistema de clasificación y de que las imágenes fueron coherentes en relación con el área cubierta, la estación y el sensor (resolución espacial y espectral).
- ✓ **Superposición:** Utilización de GEE como software de procesamiento de imágenes para superponer mapas de uso de la tierra de fechas diferentes. El proceso de superposición generó una nueva tabla de atributos donde cada polígono o píxel en el mapa contiene el uso de la tierra registrado en la primera y en la última fecha.
- ✓ **Creación de la matriz de cambios en el uso de la tierra:** La información de la tabla de atributos de los cambios en el uso de la tierra es un elemento para desarrollar una matriz de cambios en la cobertura terrestre. Los valores de la unidad de superficie se sintetizan para cada combinación de cambio en el uso de la tierra (Alatorre, Bbeguería, & Vicente Serrano, 2010).

CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Determinación del estado actual de la cobertura vegetal de la RECC

Para cuantificar los cambios temporales y así determinar el estado actual de la cobertura vegetal de la Reserva se analizaron datos satelitales de un período igual a 32 años y se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para series de tiempo comprendidas entre los años 1986 -2001 y 2017. Para las temporalidades descritas se procesaron respectivamente 20, 16 y 29 imágenes satelitales. Las tablas 9, 10 y 11 muestran las escenas empleadas por cada respectivo año de estudio.

Tabla 8: Productos utilizados para cálculo de NDVI período 1986-1987

Cant.	PRODUCTO	FECHA
1	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	03-feb-86
2	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	19-feb-86
3	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	23-mar-86
4	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	04-abr-86
5	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	24-abr-86
6	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	10-may-86
7	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	13-jul-86
8	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	29-jul-86
9	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	14-ago-86
10	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	30-ago-86
11	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	15-sep-86
12	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	02-nov-86
13	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	18-nov-86
14	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	04-dic-86
15	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	21-ene-87
16	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	06-feb-87
17	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	26-mar-87
18	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	16-jul-87
19	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	02-sep-87
20	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	18-sep-87

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Productos utilizados para cálculo de NDVI período 2000-2001

1	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	05-abr-00
2	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	29-abr-00
3	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	16-may-00
4	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	19-jul-00

5	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	20-ago-00
6	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	05-sep-00
7	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	21-sep-00
8	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	07-oct-00
9	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	23-oct-00
10	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	03-nov-00
11	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	19-nov-00
12	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	04-dic-00
13	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	03-ene-01
14	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	27-ene-01
15	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	12-feb-01
16	LANDSAT 5, LT05/C01/T1_TOA	15-mar-01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Productos utilizados para cálculo de NDVI período 2017

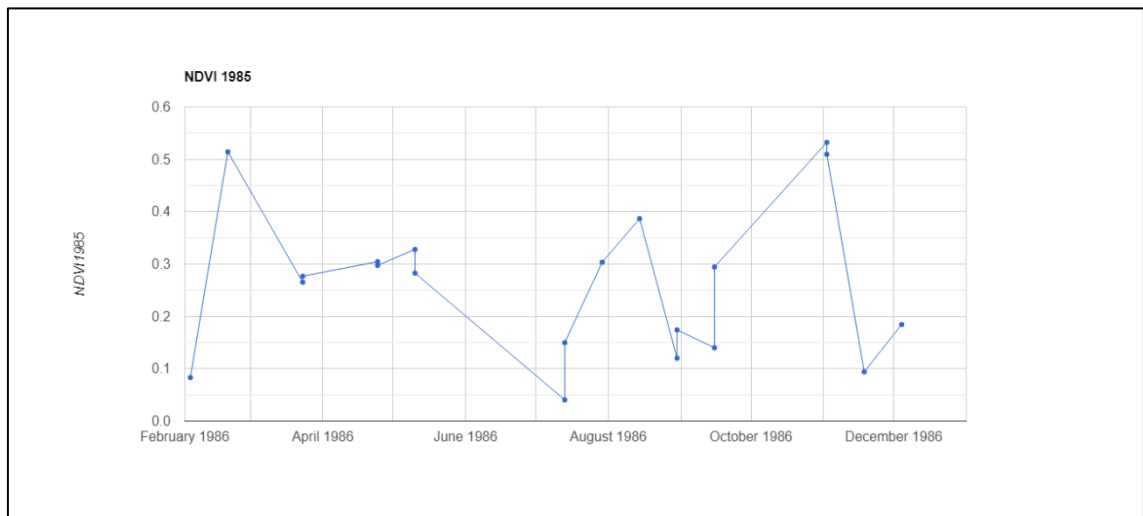
1	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	07-ene-17
2	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	23-ene-17
3	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	08-feb-17
4	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	24-feb-17
5	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	12-mar-17
6	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	28-mar-17
7	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	13-abr-17
8	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	29-abr-17
9	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	06-may-17
10	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	31-may-17
11	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	07-jun-17
12	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	16-jun-17
13	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	02-jul-17
14	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	15-jul-17
15	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	29-jul-17
16	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	03-ago-17
17	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	04-sep-17
18	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	20-sep-17
19	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	06-oct-17
20	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	07-nov-17
21	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	09-dic-17
22	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	12-dic-17
23	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	25-dic-17
24	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	10-ene-18
25	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	26-ene-18
26	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	11-feb-18
27	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	27-feb-18
28	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	15-mar-18
29	LANDSAT 8, LC08/C01/T1_TOA	31-mar-18

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se procedió a descargar los datos base estadísticos del NDVI en formato CSV para cada serie temporal; dado que GEE emite las fechas de las imágenes en la forma “Jul 2, 1986”, los datasets importados tuvieron que ser editados para que la fecha respectiva corresponda al formato internacional DIA-MES-AÑO.

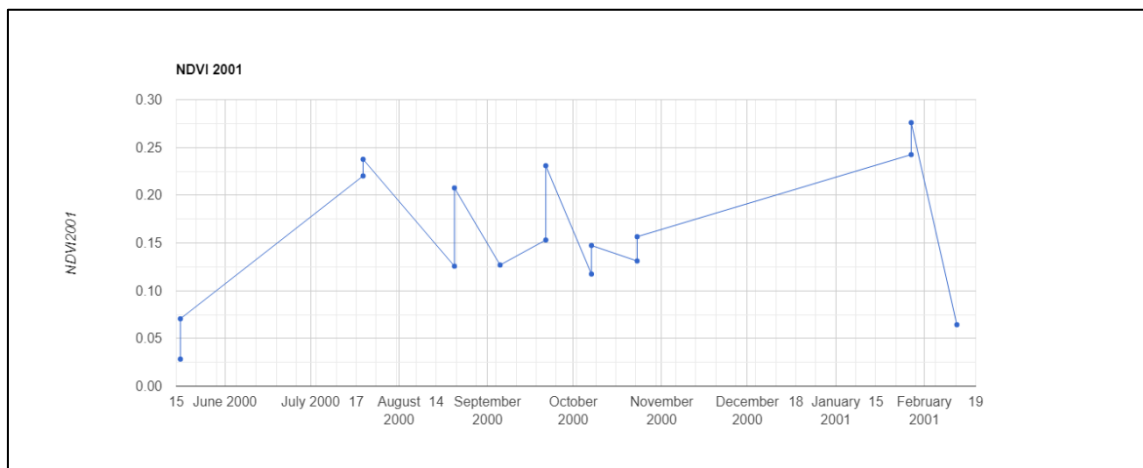
A continuación, los gráficos N° 1, 2 y 3 muestran los datos del NDVI obtenidos mediante GEE por cada año de estudio:

Gráfico N° 1: NDVI año 1986



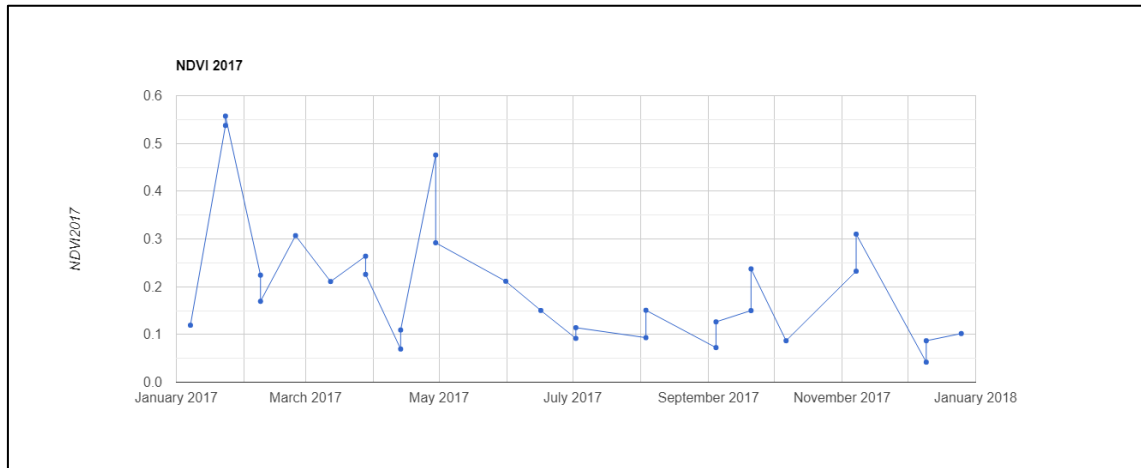
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2: NDVI año 2001



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3: NDVI año 2017



Fuente: Elaboración propia

Para la interpretación de los valores del NDVI de cada período se ha utilizado la tabla 12, basada en la Tabla de Índices de Vegetación de Merg, C. et al (2011) (Zambrano, Paula, & Paula, 2018).

Tabla 11: Rangos establecidos para la interpretación del NDVI

N°	Rango	Interpretación
1	-0,3 a 0	Suelo desnudo, agua, construcciones, roca o nieve
2	0,01 - 0,1	Vegetación Dispersa (Poca Vegetación)
3	0,11 - 0,2	Vegetación moderada (Arbustos, Prados)
4	0,21 - 0,4	Páramo (Húmedo)
5	0,41- 1	Vegetación densa o vigorosa (Alta Humedad)

Fuente: Merg, C. et al (2011)

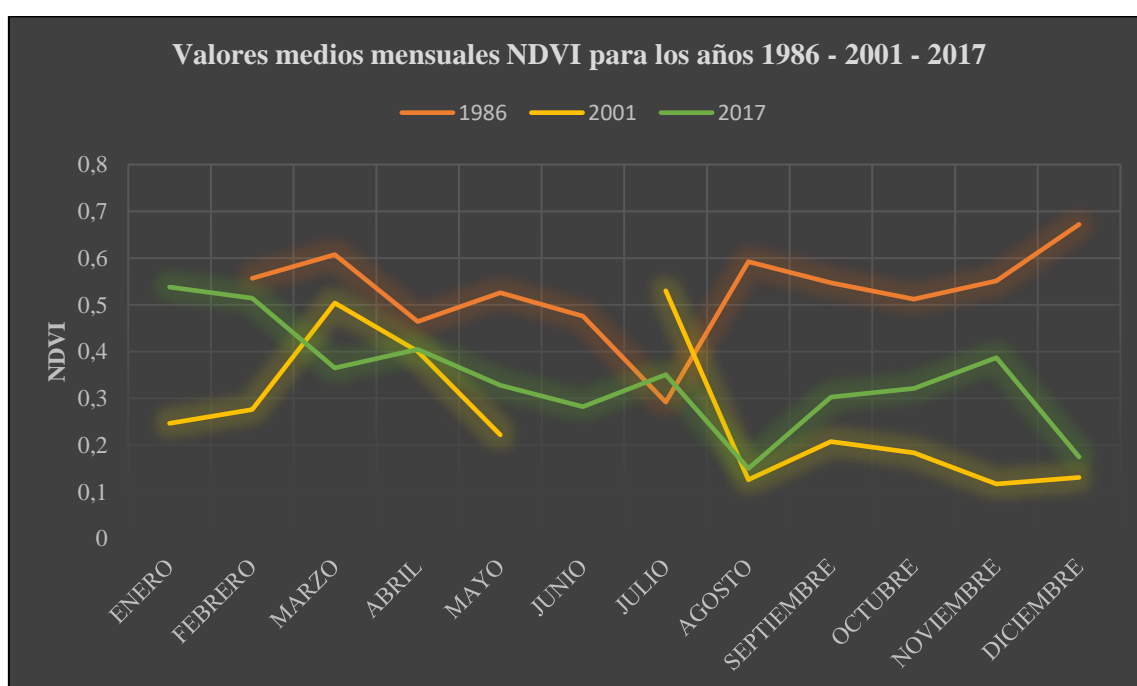
Al realizar una comparación de los valores medios mensuales del NDVI por cada año de estudio (Gráfico 4), se puede observar que los valores más altos corresponden a las escenas más antiguas, es decir del año 1986. Por lo tanto, se deduce que la superficie de la Reserva se encontraba mayormente cubierta por vegetación natural y a la vez saludable de modo que las diferentes actividades antrópicas como la colonización, la deforestación, y la minería no se desarrollaban en gran magnitud.

Por otra parte, se puede observar una disminución de los valores medios del NDVI en el año 2001 lo cual denota una vegetación más estresada y el aumento de zonas degradadas y con escasa cobertura vegetal, cuyos valores de NDVI son realmente bajos (aunque ninguno menor a cero) lo que sugiere la existencia de deforestación acelerada en estas áreas.

Para el año 2017 se observa que la cobertura vegetal es menos vigorosa, aunque sus valores medios del NDVI poseen una tendencia estable, pudiendo deducirse que la cobertura vegetal actual es saludable en las zonas más internas de la Reserva.

Consecuentemente se pudo observar el incremento de valores positivos cercanos a cero que indican la existencia de áreas desprovistas de vegetación, suelo descubierto y construcciones sugiriendo que actividades como la deforestación, la minería y procesos de colonización se encuentran bastante avanzados, por lo tanto, denota que la reserva ha sido afectada por actividades que no están permitidas según sus normas de funcionamiento, aunque no son muy significativas espacialmente.

Gráfico N° 4: Valores medios por mes del NDVI para los años 1986-2001 y 2017



Fuente: Elaboración propia

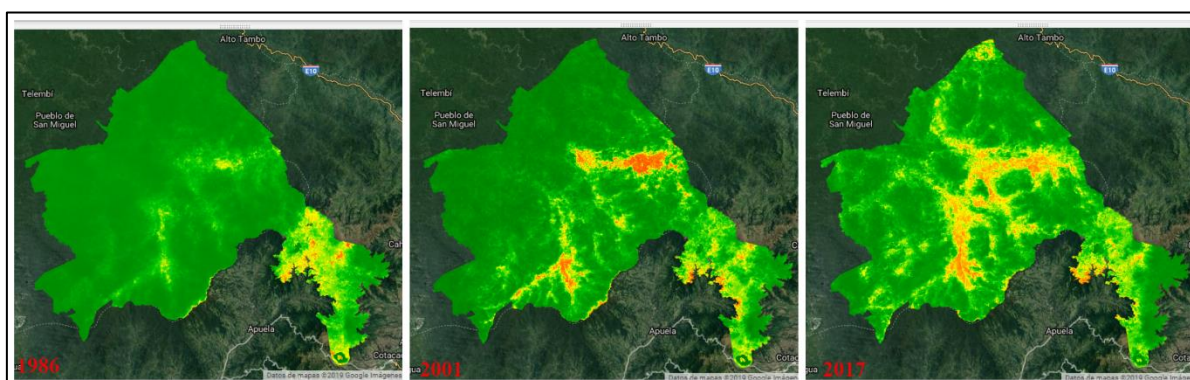
Por otra parte, en las tres series temporales se observó una evolución de los valores de NDVI en el mes de septiembre. Esto se debió principalmente a su correspondencia con la época del año con los niveles más bajos de nubosidad en la zona; por ende, los valores de reflectancia obtenidos en las distintas coberturas se incrementaron.

En los tres períodos de estudio se pudo observar que los valores medios de NDVI mensuales se mantienen relativamente estables, debido a factores como el clima y la topografía, aunque la rápida expansión de actividades antrópicas ejerce presión sobre la vegetación natural por lo tanto en ciertas zonas los valores del NDVI se alteran.

Se comprobó el estado actual de la vegetación según lo propuesto por Gilabert et al (1997), determinando así también la evolución de la vegetación en la Reserva desde sus primeros años de funcionamiento hasta la actualidad; estos resultados fueron respaldados a través de análisis del cambio de uso del suelo.

Finalmente, dado que los índices de vegetación se obtuvieron a partir de imágenes satelitales Landsat tienen una resolución espacial de 30 metros. En la figura 39 se muestran los productos correspondientes a los 1986, 2001 y 2017 donde puede observarse la evolución del área de estudio a través del tiempo.

Figura 39: Productos NDVI para los años 1986-2001 y 2017



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se observó una clara diferencia entre las áreas vegetadas (vegetación natural y herbazales) y las áreas con procesos antrópicos (áreas deforestadas, tierras agrícolas y erosionadas). Las áreas vegetadas presentaron los valores de NDVI más altos, siendo los más elevados en marzo en cada año de estudio.

6.2 Determinación de la transformación del suelo en la RECC para los años 1986, 2001 y 2017

Para este punto de la investigación fue necesaria la generación de escenarios de cambios de los diferentes años de estudio, cuantificando la superficie por cada categoría de uso descrita por el “Mapa de Cobertura y Usos de la Tierra” publicado en el Mapa Interactivo Ambiental del MAE, 2018.

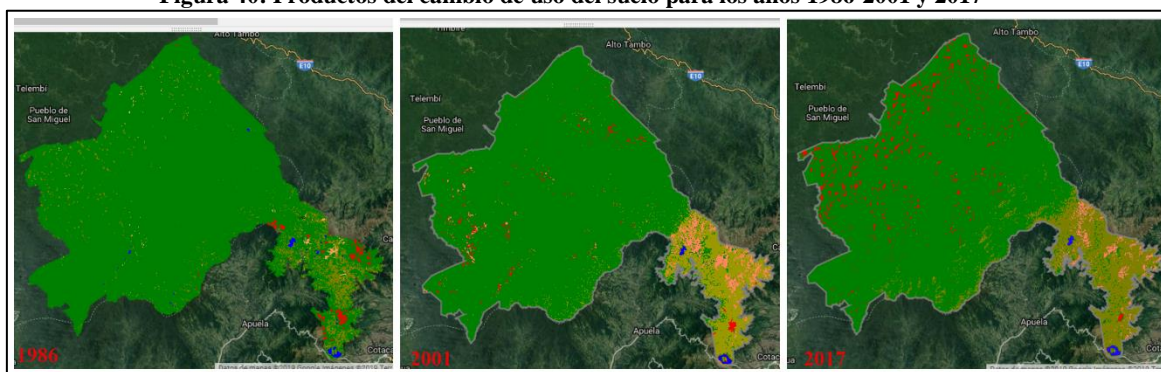
Los diferentes usos fueron ordenados cronológicamente en función de los años 1986-2001 y 2017 los mismos que a su vez fueron comparados con los mapas de Cobertura y Uso de la Tierra de los años 2000 y 2016 para su respectiva constatación y verificación

con las categorías de uso encontradas en la Reserva determinadas a través de la clasificación no supervisada.

Para los tres períodos estudiados, se basó en la clasificación de Uso y Cobertura de la Tierra cuyas categorías son: Bosque, Vegetación Arbustiva y Herbácea, Tierra Agropecuaria, Cuerpo de Agua y Otros. De las imágenes satelitales se determinaron las firmas espectrales en los tres años de estudio para cada categoría de uso, de tal forma que se identificó la similitud y su variación de extensión a lo largo del tiempo.

Como se puede observar en las Figura 40, los diferentes usos y coberturas de la Reserva se han mantenido, difiriendo únicamente en su extensión territorial.

Figura 40: Productos del cambio de uso del suelo para los años 1986-2001 y 2017



Fuente: Elaboración propia

Al comparar las imágenes de la figura 40 se observa que la categoría Bosque disminuye en esta transición de tiempo, es decir que en 32 años se ha reducido un 13,16% de la superficie ocupada, y se incrementa notablemente la categoría de Tierras Agropecuarias (sobre todo en la parte este de la Reserva ocupada por Imbabura) llegando a ocupar un 13,76% del área de la RECC, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 12: Construcción y clasificación no supervisada para los años 1986-2001 y 2017

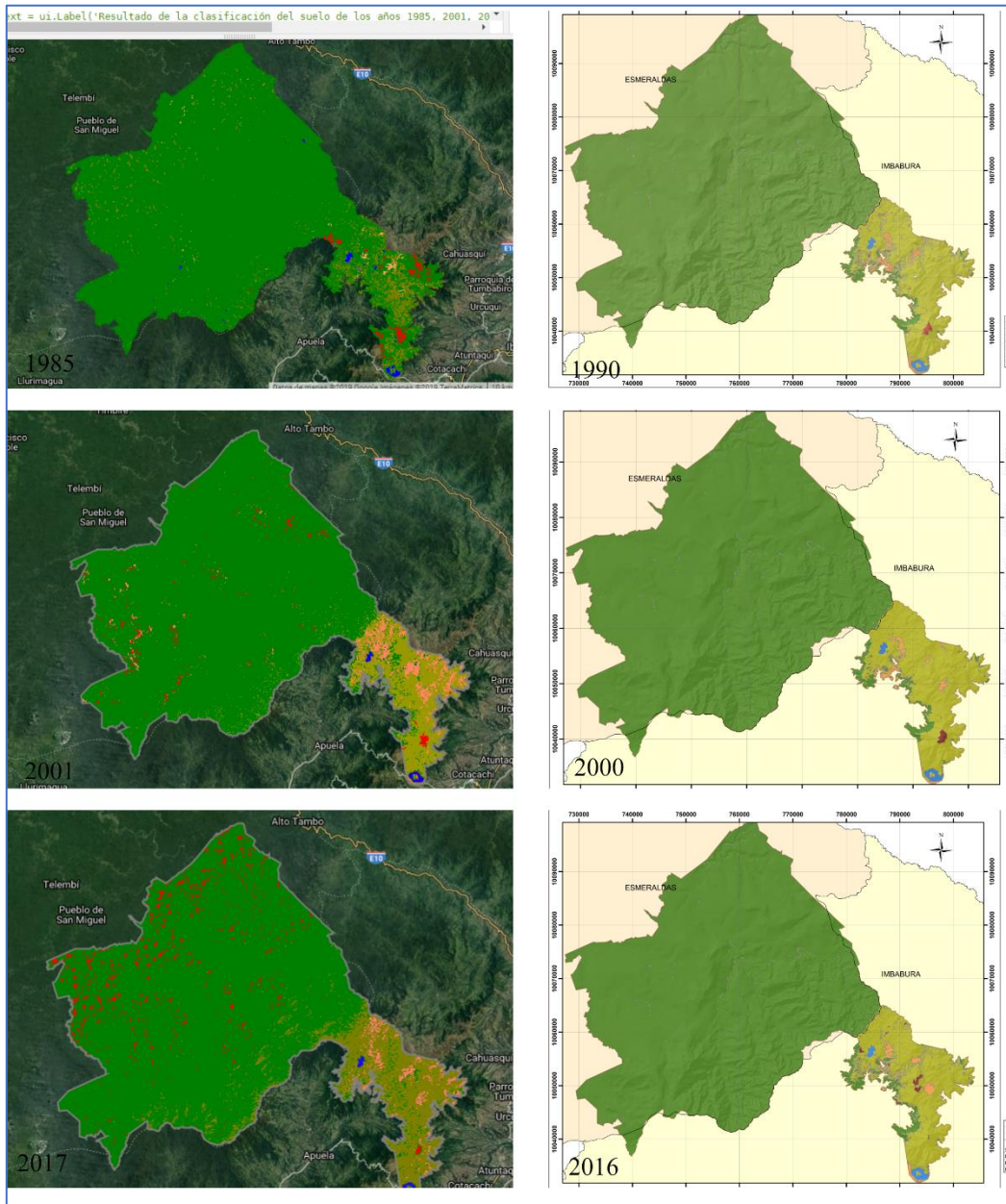
CATEGORIA	1986		2001		2017	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Bosque	216277,47	93,41	194672,47	83,71	187342,44	80,55
Cuerpo de Agua	791,98	0,34	547,02	0,25	578,87	0,24
Otros	1619,99	0,70	2900,31	1,25	9198,46	3,96
Tierra Agropecuaria	1385,85	0,60	7163,09	3,08	3440,22	1,48
Vegetación Arbustiva y Herbácea	11457,58	4,95	27285,74	11,73	32009,36	13,76
TOTAL	231532,87	100	232568,63	100,00	232569,35	100

Fuente: Elaboración propia

La categoría Tierra Agropecuaria presenta el mayor incremento con un 9,28%, equivalente a 4 924,6 hectáreas; pues en el primer año de estudio(1986), se cuantificó apenas un 0,26%; para el segundo período (año 2001) aumentó a 4,67%; sin embargo, para el tercer año evaluado el porcentaje crece a 9,54%; hay que aclarar que esta categoría es una de las más importantes en cuestión de superficie ocupada, la misma que posiblemente fue generada por el cambio de uso del suelo, producto de actividades antrópicas. Le sigue la categoría Herbazal, que para el año 1986 presenta un 8,81%, subiendo un 6,78% para el período 2001 y con 2,03% para el año 2017, registra un incremento equivalente a 20 552 hectáreas aproximadamente. La categoría “Bosque” presenta un decrecimiento de superficie debido a que en el primer período se cuantificó su superficie en 93,41%, es decir la mayor parte de la Reserva en sus primeros años de creación poseía una cobertura vegetal mayormente compuesta por bosques mientras que en el tercer periodo este porcentaje se redujo a solo el 80,55% evidenciando la pérdida de los bosques y vegetación natural. Claramente la categoría Cuerpo de Agua presenta la mayor disminución de superficie, debido a que en el primer período se cuantificó un 0,34%, en el segundo período baja a 0,25%, y en el tercer año de estudio llega a 0,24%, indicando una reducción equivalente a 244,96 ha, evidenciando la variabilidad que ha experimentado ésta Área Protegida y a su vez una tendencia de reducción superficial. La categoría En la categoría Otros se puede observar un polígono presente en los tres períodos de estudio, dicho polígono corresponde a la superficie cubierta ocasionalmente por nieve del Volcán Cotacachi, por lo tanto, los clasificadores ajustaron sus valores acordes este fenómeno y resultado de ello encontramos en los productos obtenidos varios píxeles de nubes son atribuidos a dicha categoría. Para reducir este porcentaje de error se utilizó la función Fmask, sin embargo, debido a las condiciones climáticas propias de la zona es casi imposible obtener una imagen 100% limpia y libre de nubes

Los cambios analizados en las categorías de uso descritas anteriormente en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas se deben a la influencia de las crecientes actividades de origen antrópico dentro de la Reserva y sus alrededores. Adicionalmente, la región interandina posee tendencia a la desertificación y cambios ecosistémicos, debido a los cambios de temperatura cada vez más extremos que inciden también notablemente en la frágil estabilidad de las formaciones vegetales andinas.

Figura 41: Comparación de productos obtenidos mediante GEE con coberturas oficiales



Fuente: MAE, 2016 Elaboración Propia

En la figura 41 se puede observar una comparación entre los productos obtenidos de la clasificación no supervisada realizada en GEE con las coberturas oficiales publicadas en el Mapa Interactivo Ambiental del MAE correspondientes a las fechas más cercanas a los años de estudio; es decir, el producto del año 1986 fue comparado con el Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra del año 1990; el producto del año 2001 se comparó con el Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra del año 2000 y finalmente el producto del año 2017 se comparó con el Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra del año 2016.

Se puede observar una clara relación entre los productos resultantes, para así constatar la precisión de la herramienta en la realización de clasificaciones sobre la cobertura de la Tierra.

CONCLUSIONES

En esta investigación se abordó la dinámica del cambio en la cobertura del suelo en el contexto de evaluar las presiones antrópicas sobre un área protegida a partir de datos temporales de percepción remota. La información utilizada en este trabajo exploratorio es de origen espectral, por lo tanto, no se incluyen datos obtenidos directamente en campo (in situ).

En primer lugar se pudo concluir la importancia que presenta dar seguimiento a fenómenos ambientales y la capacidad de la teledetección a través de imágenes satelitales en cuantificar los cambios que se producen sobre la superficie terrestre, para este caso en particular, un área protegida. En este sentido, se avanzó en una metodología que permitió establecer y clasificar la cobertura de suelo en función del entrenamiento de clasificadores acorde a las distintas firmas espectrales definiendo así categorías descriptivas de la superficie.

Consecuentemente, es importante destacar que el análisis multitemporal basado en la respuesta espectral, puede sufrir varias distorsiones asociadas a las sombras de nubes, condiciones atmosféricas en la calibración del sensor y humedad del suelo. Por dichos motivos se debe destacar los beneficios de trabajar con una base de datos robusta y preferentemente proveniente del mismo sensor y programa satelital, en este caso las misiones Landsat 5 y 8 produciendo series de imágenes con un alto grado de compatibilidad.

Con respecto a la metodología de selección de categorías y entrenamiento de clasificadores se pudo concluir que la mayoría de los algoritmos necesarios requieren valores límite para determinar si un píxel ha cambiado, lo que significa que las clases o categorías seleccionadas para realizar los respectivos entrenamientos deben ser muestras con valores o firmas espectrales bien diferenciadas unas de otras. Por ende, esto incide directamente en la calidad de la selección de píxeles para ubicarlos dentro de una categoría y en una elevada sensibilidad a los datos de entrada.

La metodología propuesta mostró especial capacidad en distinguir la cubierta vegetal densa de las demás clases. Esta conclusión sustenta el aumento observado de la vegetación durante el segundo período de estudio correspondiente al año 2001.

En cuanto a la efectividad de la Reserva en mantener a salvo sus ecosistemas de las diferentes presiones antrópicas se pudo concluir que los cambios en la cobertura vegetal y demás usos del suelo dentro de la misma están relacionados con los medios de vida propios de la población circundante a la Reserva; dichos hábitos que incluyen actividades como la ganadería y la agricultura se extienden en cuanto a la demanda de una creciente población rural acentada en dispersos puntos incidentes en la Reserva. Mientras que actividades más invasivas como la deforestación y la minería están directamente relacionadas con la abundancia del recurso y su explotación desmedida y descontrolada.

Finalmente se pudo concluir que la Reserva pese a estar sometida a diversas presiones antrópicas ha actuado efectivamente como escudo ante la deforestación desde su creación hasta la actualidad, esto se evidencia principalmente al observar que los usos y coberturas presentes en la Reserva no han desaparecido sino únicamente han cambiado su extensión.

RECOMENDACIONES

En cuanto a aspectos metodológicos, se recomienda en primer lugar tener un acercamiento previo con el lenguaje de programación JavaScript para de ese modo agilizar la generación y procesamiento de algoritmos necesarios tanto para la obtención de los productos NDVI y del cambio de uso del suelo. Con el mismo fin, se sugiere emplear Code Editor en lugar de WorkSpace ya que el segundo tiene funciones limitadas y funciona mejor como plataforma de visualización dentro de GEE.

En la determinación del cambio de uso de suelo se entrenó clasificadores con puntos conocidos como por ejemplo la laguna de Yahuarcocha para discriminar los píxeles que se categorizaron como agua, sin embargo se recomienda hacer una inspección de campo para tomar muestras de puntos validados y permitir el entrenamiento de los clasificadores en base a muestras previamente concidas, por lo tanto mejorar la confiabilidad de los datos en base a una clasificación supervisada.

Para complementar este estudio se sugiere hacer uso de entrevistas y encuestas a los actores locales de la Reserva con la finalidad de conocer su percepción respecto a la

influencia y el carácter que tiene la Reserva en cuanto sus funciones como mantener a salvo sus ecosistemas, restricciones de uso, evitar la deforestación, entre otros.

Finalmente, debido a la alta presencia de nubes en la zona se recomienda procesar imágenes de periodos de tiempo donde la nubosidad sea la minima posible así como utilizar datos provenientes del mismo sensor para maximizar la confiabilidad de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alatorre, L. C., Bbeguería, S., & Vicente Serrano, S. M. (2010). Análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central. *Revista de Ecología de Montaña*, 2-22.
- Albán, M. A. (2010). *Áreas protegidas y deforestación. Una realidad ante el cambio climático*. Quito: Centro de Derecho Ambiental. CEDA.
- Albuja Baquero, R. X. (2011). *Paradigmas Ambientales en el nuevo Marco Constitucional*. Quito: Tesis de pregrado por el título de Abogado .
- Albuja, L. (1988). La fauna en Cotacachi Cayapas. *Colibrí*, 58-63.
- Alcaraz Segura, D., Baldi, G., Durante, P., & Garbulsky, M. F. (2009). Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas*, 108-117.
- Almeida, A. F. (2015). *Procesamiento digital de imágenes multiespectrales Landsat 8, para aplicaciones agronómicas en la subcuenca del río Guayllabamba*. Quito: Tesis de pregrado Ingeniera Agrónoma.
- Anaya, J. A., Sione, W., & Rodríguez Montellano, A. M. (2018). Identificación de áreas quemadas mediante el análisis de series de tiempo en el ámbito de computación en la nube. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, 61-73.
- Andrade, G. S., & Rhodes, J. R. (2012). Protected Areas and Local Communities an Inevitable Partnership toward Successful Conservation Strategies? *Ecology and Society*, 14.
- Ariza, A. (2013). *Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Asociación Geoinnova. (18 de Diciembre de 2018). *GeoInnova*. Obtenido de La tecnología “democratizadora” para el análisis de los bosques: Google Earth Engine: <https://geoinnova.org/blog-territorio/google-earth-engine/>
- Báez, S., García, M., Guerrero, F., & Larrea, A. M. (1999). *Cotacachi Capitales comunitarios y propuestas de desarrollo local*. Quito: Abya-Yala.
- Banco Mundial. (27 de Marzo de 2018). *Banco Mundial*. Obtenido de <http://www.bancomundial.org/es/topic/forests/overview#1>
- Basantes Flores, A. D. (2015). *Análisis de las potencialidades turísticas de la comunidad Awá de la parroquia Lita, cantón Ibarra, provincia de Imbabura para la creación de un programa de turismo comunitario*. Quito: Tesis de Pregrado Licenciatura.
- Becker, C. D., & Ghimire, K. (2003). *Synergy Between Traditional Ecological Knowledge and Conservation Science Supports Forest Preservation in Ecuador*. 8 n°1: Conservation Ecology.
- Botsch, J. C., Walter, S. T., Karubian, J., González, N., Dobbs, E. K., & Brossi, B. J. (2017). Impacts of the forest fragmentation on orchid bee (Hymenoptera Apidae:

- Euglossini) communities in the Choc biodiversity hotspot of northwest Ecuador. *JOURNAL OF INSECT CONSERVATION*, 633-643.
- Brassel, F., Herrera, S., & Laforge, M. (2008). *¿Reforma Agraria en el Ecuador?: viejos temas, nuevos argumentos*. Quito: SIPAE.
- Bustamante Ponce, A. (2016). *Etno-historia de los Awá Kwaiker entre el siglo XVII y mediados del XX*. Quito: Tesis de Pregrado en Antropología.
- Butler, R. A. (2014). Un mapa forestal de alta resolución, que funciona gracias a Google, revela la deforestación masiva en todo el mundo. *SCIENCE*, 15-28.
- Cabrera, C. H. (2014). *Google Earth Engine an analysis and control tool*. Madrid: Maestría en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias.
- Cabrera, C. H. (2014). Google Earth Engine an analysis and control tool tutorial. *Comisión Nacional de Asuntos Espaciales* (págs. 2-26). Buenos Aires: Instituto de Altos Estudios Espaciales "Mario Gulich" . Obtenido de Instituto Espacial de Altos Estudios Espaciales "Mario Gulich".
- Camacho Valdez, V., & Ruiz Luna, A. (2011). CONCEPTUAL FRAMEWORK AND CLASSIFICATION OF ECOSYSTEM SERVICES. *BIOCIENCIAS*, 3-15.
- Cantú Salazar, L., & Gaston, K. J. (2010). Very large protected areas and their contribution to terrestrial biological conservation. *BioScience*, 808.
- Cavalcanti Schiel, R. (2007). Las muchas naturalezas en los Andes. *perifèria*, 1-11.
- Cedeño Canga, J. J. (2015). *Entre las quimbambas del Chocó Biogeográfico: Ruralidad, Identidad y Medios de vida de las comunidades negras de los ríos Santiago y Cayapas*. Quito: Tesis de Maestría.
- Cevallos Salgado, D. S. (2011). *Protección jurídica de las insignias, símbolos y expresiones culturales de los pueblos y nacionalidades indígenas del Ecuador*. Quito: Tesis de Pregrado.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Ediciones Rialp S.A.
- Cifuentes A, M., Izurieta V, A., & Henrique De Faria, H. (2000). *Medición de la Efectividad del Manejo de Áreas Protegidas*. Turrialba, Costa Rica: WWF. UICN. GTZ.
- Cisneros Castro, M. (2010). *Análisis de la relación Fondo Ambiental Nacional, FAN- Ministerio del Ambiente, MAE Caso: Alianza estratégica para apoyar el fortalecimiento del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP)*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar - Maestría en Administración para el Desarrollo.
- Claire Terán, R. (2001). *La Descentralización y sus implicaciones en el manejo de las Áreas Protegidas. El caso de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas*. Quito:

Tesis de maestría en Ciencias Sociales con especialidad en Estudios Ambientales.

- Cloud. (11 de Diciembre de 2018). *Kyocera*. Obtenido de ¿Qué es la nube informática?: <https://smarterworkspaces.kyocera.es/blog/la-nube-informatica/>
- Collet, S. (2015). WORLD RESOURCES INSTITUTE (Cover Story). *Computerworld Digital Magazine*, 23-24.
- Columbia Zárate, K. (2013). *Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador*. Quito: Ministerio del Ambiente, MAEQ.
- CONAIE. (19 de Junio de 2018). *Confederación de Nacionalidades Indígenas del Ecuador*. Obtenido de CONAIE: <https://conaie.org/2014/07/19/awa/>
- Crespo Enríquez, M. L. (2014). *Extranjerización de la tierra agrícola en el cantón Cotacachi. Estudio de caso: Comunidad El Batán*. Quito: Tesis de Maestría.
- Criollo Rosero, D. A., & Fichamba Lema, C. G. (2011). *Estudio Del Valor Cultural Del Pueblo Kichwa Otavalo Perteneciente A La Comunidad La Companía, Parroquia El Jordan, Del Canton Otavalo, Provincia De Imbabura*. Ibarra: Tesis de Licenciatura.
- Cruz, F. (2016). *Turismo Sustentable como herramienta para adquirir competencias de percepción abierta, para comunicación y cooperación intercultural en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas (Tesis de maestría)*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Cuenca , P., Echeverría, C., & Arriagada, R. (2016). How much deforestation do protected areas avoid in tropical Andean landscapes? *Enviromental Science y Policy*, 56-66.
- Cuenca, P., & Echeverría, C. (2017). How do protected landscapes associated with high biodiversity and population levels change? *PLOS ONE*, 1-17.
- De Souza Jr, C., Hayashi, S., & Verissimo, A. (2009). Web-oriented GIS system for monitoring, conservation and law enforcement of the Brazilian Amazon. *Earth science informatics*, 205.
- Di Gregorio, A., & Jansen, L. (2010). *Land Cover Classification System (LCCS) Classification concepts and user manual* . Roma: FAO.
- Díaz Hormazábal, I., & Valencia Diego. (2018). Geomática en la nube, oportunidades y desafíos para el monitoreo de ecosistemas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE). *Conservación, gestión y manejo de áreas silvestres protegidas*, 2-10.
- Díaz Pineda, F., & Schmitz, M. F. (2003). Conectividad y Áreas Protegidas. En F. Diaz Pineda, & M. F. Schmitz, *Conectividad Ambiental: Las Áreas Protegidas en la Cuenca Mediterránea* (págs. 9-25). Andalucía.

- Díaz Pineda, F., Schmitz, M. F., & Hernández, S. (2002). *Interacciones entre infraestructuras y conectividad natural del paisaje*. Madrid: Congreso Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente.
- Diegues, A. C. (2000). *El mito moderno de la naturaleza intocada*. Hombre y Ambiente. Quito: Abya-Yala.
- DPNG, D. (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir*. Puerto Ayora - Ecuador.
- Dudley, Nigel;. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Gland-Suiza: UICN.
- ECOLAP, & MAE. (2007). *Guía del patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador*. Quito: ECOFOUND, FAN, DarwinNet, IGM.
- Elbers, J. (2011). *Las áreas protegidas de América Latina- Situación actual y perspectivas para el futuro*. Quito- Ecuador: UICN.
- Espinoza Paredes, S. R. (2015). *Generar un marco de referencia para implementaciones BIG DATA en empresas de telecomunicaciones, caso de estudio CNT E.P.* Quito: Tesis previa a la obtención del título de Magister en Gerencia de Sistemas y Tecnologías de Información.
- Etter, A. (1991). *Introducción a la Ecología del Paisaje- Un marco de integración para los Levantamientos Ecológicos*. Bogotá: Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF)- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- FAO. (2015). Restauración de bosques y paisajes. *UNASYLVA: Revista Internacional sobre bosques y actividades e indrustrias forestales*, 66, 19-29. Recuperado el 6 de Septiembre de 2017, de www.fao.org/forestry/unasylnva
- FAO, O. p. (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo- Resumen Técnico*. Roma.
- Figueroa, F., & Sánchez Cordero, V. (2008). Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodivers Conserv*, 3223-3240.
- Flores Endara, A. (2017). Determinación del potencial turístico de las comunidades kichwas ubicadas en Zona de Amortiguamiento de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas- Ecuador. *Revsita de Investigación Científica de la Ciencia Turística- RICIT*, 1-24.
- Foga, S. S. (2017). Comparación y validación de algoritmos de detección de nube para productos Landsat operativos. *Teledetección y Medio Ambiente*, 379-390.
- Franco Corzo, J. (29 de Abril de 2018). *IEXE Escuela de Políticas Públicas*. Obtenido de <https://www.iexe.edu.mx/blog/que-son-las-politicas-publicas.html>
- Gabaldón, A. J., & Becerra Rodríguez, M. (2002). Evolución de las políticas e instituciones ambientales: ¿Hay motivos para estar satisfechos? En E. Leff, E. Ezcurra, I. Pisanty, & P. Romero, *La transición hacia el desarrollo sustentable*:

perspectivas de América Latina y el Caribe (págs. 81-103). Mexico: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

- GAD Cantón Santa Ana de Cotacachi, G. A. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantón Santa Ana de Cotacachi 2015 - 2035*. Cotacachi.
- Gaute, M., De Abelleira, D., Benítez, R., Flores, M., Pietrantuono, F., Barros, A., & Amena, E. (2017). Sistema automático de detección de cambios aplicados al monitoreo de plantaciones forestales en el marco de la Ley 25.080 de inversiones para bosques cultivados. *XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos*.
- Gondard, P., & Mazurek, H. (2001). *30 años de Reforma Agraria y Colonización (1964-1994): dinámicas espaciales*. Quito: Colegio de Geógrafos del Ecuador, CGE.
- Google. (20 de Marzo de 2018). *Google Earth Engine*. Obtenido de https://earthengine.google.com/case_studies/
- Guambuquete, J. G. (2016). *Análisis del Art. 407 de la Constitución de la República del Ecuador sobre el Principio de Intangibilidad de las Áreas Protegidas*. Quito: Tesis previa a la obtención del título de abogado.
- Gurrutxaga San Vicente, M., & Lozano Valencia, P. (2009). La Integración de la Conectividad Ecológica en los Instrumentos de Ordenación y Planificación Territorial: Una revisión. *Boletín de la A.G.E.*, 45-65.
- Gurrutxaga San Vicente, Mikel; Lozano Valencia, Pedro J. (2008). Landscape Ecology. A framework for the integrated study of landscapes dynamics and its incidence in wildlife. *Estudios Geográficos*, 519-543.
- Haro V, E. (2016). *Conflictos ambientales en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas caso: La comuna de Piñán*. Ibarra: Tesis de Maestría.
- Haro, E. V. (2016). *Conflictos ambientales en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas- Caso: La Comuna de Piñán (Tesis de maestría)*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Herrera Calvo, P. M., & Díaz Varela, E. (2013). Ecología del Paisaje, Conectividad Ecológica y Territorio. Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. *CIUDADES*, 43-70.
- Hockings, M., Stolton, S., Leverington, F., Dudley, N., & Courrau, J. (2006). *Evaluating Effectiveness: a framework for assessing management effectiveness of protected areas*. Gland & Cambridge: UICN.
- Hofstede, R., Coppus, R., Mena Vásquez, P., Sagarra, P., Wolf, J., & Sevink, J. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Sociedad Venezolana de Ecología*, 3-18.
- Holland, M. B., Morales, M., Naughton-Treves, L., Robinson, B. E., & Suárez, L. (2014). Complex Tenure and Deforestation: Implications for Conservation Incentives in the Ecuadorian Amazon. *World Development*, 21-36.

- I Subirós, J. V., Varga Linde, D., I Pascual, A. L., & Ribas Palom, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'anàlisi geogràfica*, 151-166.
- IPBES, I.-P. B. (26 de Marzo de 2018). *Worsening Worldwide Land Degradation Now "Critical" Undermining Well-Being of 3.2 Million People*. Obtenido de IPBES-Science and Policy for People and Nature: <https://www.ipbes.net/news/comunicado-de-prensa-la-degradaci%C3%B3n-del-suelo-nivel-mundial-empeora-y-ahora-es-cr%C3%ADtica-poniendo>
- Johnson, A. (2014). Ecuador's National Interpretation of the Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO): GreenGrabbing through Green Certification? *Journal of Latin American Geography*, 183-204.
- Jordan, F. (2003). *Reforma Agraria en el Ecuador*. La Paz: CIDES- UMSA.
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sensing*, 1509.
- Ladle, R. J., & Whittaker, R. J. (2011). *Conservation Biogeography*. HAOBOKEN: Blackwell Publishing Ltd.
- Lambin, E., Turner, B. L., Geist, H., Abgola, S., Angelsen, A., Bruce, J., & Coomes, O. (2001). Las causas del uso de la tierra y el cambio de la cobertura terrestre: ir más allá de los mitos. *Cambio Ambiental Global*, 261-269.
- Lara Novillo, D. A. (2016). *Análisis de la dinámica territorial del Cerro Ilaló que justifica su declaración como área natural protegida del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Tesis de pregrado en Ingeniería Geográfica y Gestión Ambiental.
- Lawrence, D., & Vandecar, K. (2015). Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature Climate Change* 5, 27-36.
- Lee, J., Cardille, J. A., & Coe, M. T. (2018). BULC-U: Shapening Resolution and Improving Accuracy of Land -Use/ Land Cover Classifications in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 10-21.
- León, Y. (2002). *Introducción a las Imágenes Satelitales*. Santo Domingo, República Dominicana: Centro de Investigaciones Geoespaciales (CIG): Programa de modernización de la jurisdicción de tierras.
- Lepers, E., Geist, H., & Lambin, E. (2003). Dinámica del uso de la tierra y el cambio de la cobertura terrestre en regiones tropicales. *Revisión anual de medio ambiente y recursos*, 205-241.
- López Bermúdez, F. (2002). Geografía Física y Conservación de la Naturaleza. *Papeles de Geografía*, 133-146.
- López Rodríguez, F., & Rosado, D. (2017). Management effectiveness evaluation in protected areas of southern Ecuador. *Journal of Environmental Management*, 45-52.

- Lopresti, R. (2007). *Recursos Nnaturales y el patrimonio ambiental: Conceptos, clasificaciones y tipologías*. Sevilla: Universidad de Sevilla- Facultad de Geografía e Historia.
- MAE. (2007). *Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas*. Quito: Proyecto GEF Ecuador: Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP-GEF).
- MAE. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador: ENCC 2012-2015*. Quito.
- MAE. (2012). Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas. *Folleto Informativo de Turismo Sostenible*, 1-19.
- MAE. (2013). *Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador*. Quito: USAID.
- MAE. (2014). *Evaluación de Efectividad de Manejo del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado- Guía Metodológica*. Quito.
- MAE. (2014). *Plan Nacional de Restauración Forestal 2014-2017*. Quito: Ministerio del Ambiente Ecuador.
- Malathi, M. (2011). Cloud computing in Electronics Computer Technology (ICECT). *3erd Internacional Conference on IEEE*, 236-239.
- MappingGis. (29 de Diciembre de 2018). *NDVI: Qué es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS*. Obtenido de <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>
- Martínez, R. E., Montoya, A., Calderón, M., & Camacho, N. (22 de Abril de 2018). *GEOINSTITUTOS*. Obtenido de La Cobertura Vegetal en la cuenca de Panamá: http://www.geoinstitutos.com/art_03_cober2.asp
- Massey, R., Sankey, T. T., Yadav, K., Congalton, R. G., & Tilton, J. C. (2018). Integrating cloud-based workflows in continental-scale cropland extent classification. *Remote Sensing of Environment*, 162-179.
- Matellanes, R. (14 de Diciembre de 2018). *GIS adn Berrs*. Obtenido de Google Earth Engine: <http://www.gisandbeers.com/google-earth-engine-script-teledeteccion/>
- Mena, P. A., & Suárez, L. (1993). *La investigación para la Conservación de la Diversidad Biológica en el Ecuador*. Quito: EcoCiencia.
- Minale, A. S., & Alemu, K. (2018). *Mapping malaria risk using geographic information systems and remote sensing: The case of Bahir dar city, Ethiopia*. Ethiopia: Geospatial Health.
- Minda Batallas, P. A. (2004). *La deforestación en el norte de Esmeraldas (Eloy Alfaro y San Lorenzo)*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Morales Hernández, J. C., & Carrillo González, F. M. (2016). Cambio de la cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Caldasia*, 17-29.

- Morera Beita, C., Romero Vargas, M., & Sandoval Murillo, L. F. (2013). Aporte de la Geografía a la conservación ecológica: trazos de una vieja sinergia. En *Geografía, Paisaje y Conservación* (pág. 24). Costa Rica: Escuela de Ciencias Geográficas- Universidad Nacional Heredia.
- Morlans, M. C. (2005). *Introducción a la Ecología del Paisaje*. Catamarca: Editorial Científica Universitaria.
- Muñoz Aguayo, P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de Vegetación*. Santiago de Chile: Centro de Información de Recursos Naturales.
- Murilo Martín, D. C., & Sacher, W. (2017). Nuevas territorialidades frente a la megaminería: el caso de la Reserva Comunitaria de Junín. *Letras Verdes*, 46-70.
- Niklas Schmid, J. (2018). *Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands*. Basel, Switzerland: Institute of Geography at the Faculty of Geoscience and Geography of the Georg-August-Universität in Göttingen.
- NIST, N. (10 de Diciembre de 2018). *The NIST Definition of Cloud Computing*. Obtenido de <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-145/final>
- Ortiz Crespo, S. (2004). *Cotacachi: una apuesta por la democracia participativa*. Quito: FLACSO, Sede Ecuador.
- Ortiz Crespo, S. (2012). *¿Comuneros Kichwas o ciudadanos ecuatorianos? La ciudadanía étnica y los derechos políticos de los indígenas de Otavalo y Cotacachi (1990-2009)*. Quito: FLACSO, Sede Ecuador.
- Pabón Garcés, G. J. (2017). *ESTRATEGIAS DE SUSTENTABILIDAD DE SERVICIOS TURÍSTICOS LA RESERVA ECOLÓGICA COTACACHI CAYAPAS;GOBERNANZA DE LA RUTA SAGRADA*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte- UTN.
- Paredes Martínez, T. E. (2016). *Análisis de la gobernanza del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE) del Ecuador continental*. Quito: Tesis de Maestría.
- Pedersen, H. B., & Skov, F. (2001). Mapping Palm Extractivism in Ecuador Using Pair-Wise Comparisons and Bioclimatic Modeling. *Economic Botany*, 63-71.
- Peguero Orta, C. (2016). *Geodesia y Gestión de Recursos Naturales y Patrimonio Natural*. Barcelona: Sensores remotos y aplicaciones en teledetección.
- Pozo A, V. (2017). *Estrategias de sustentabilidad de servicios turísticos en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas. Caso: Gobernanza de la Ruta Sagrada*. Ibarra: Tesis de maestría en Ecoturismo y Áreas Protegidas.
- RAISG, R. G. (2012). *Amazonía Bajo Presión*. Obtenido de www.raisg.socioambiental.org
- Ramírez Navia, F. (11 de Diciembre de 2018). *FireOS*. Obtenido de Big Data: ¿Qué es, en qué consiste y dónde se aplica?: <https://fireosoft.com.co/blogs/que-es-big-data/>

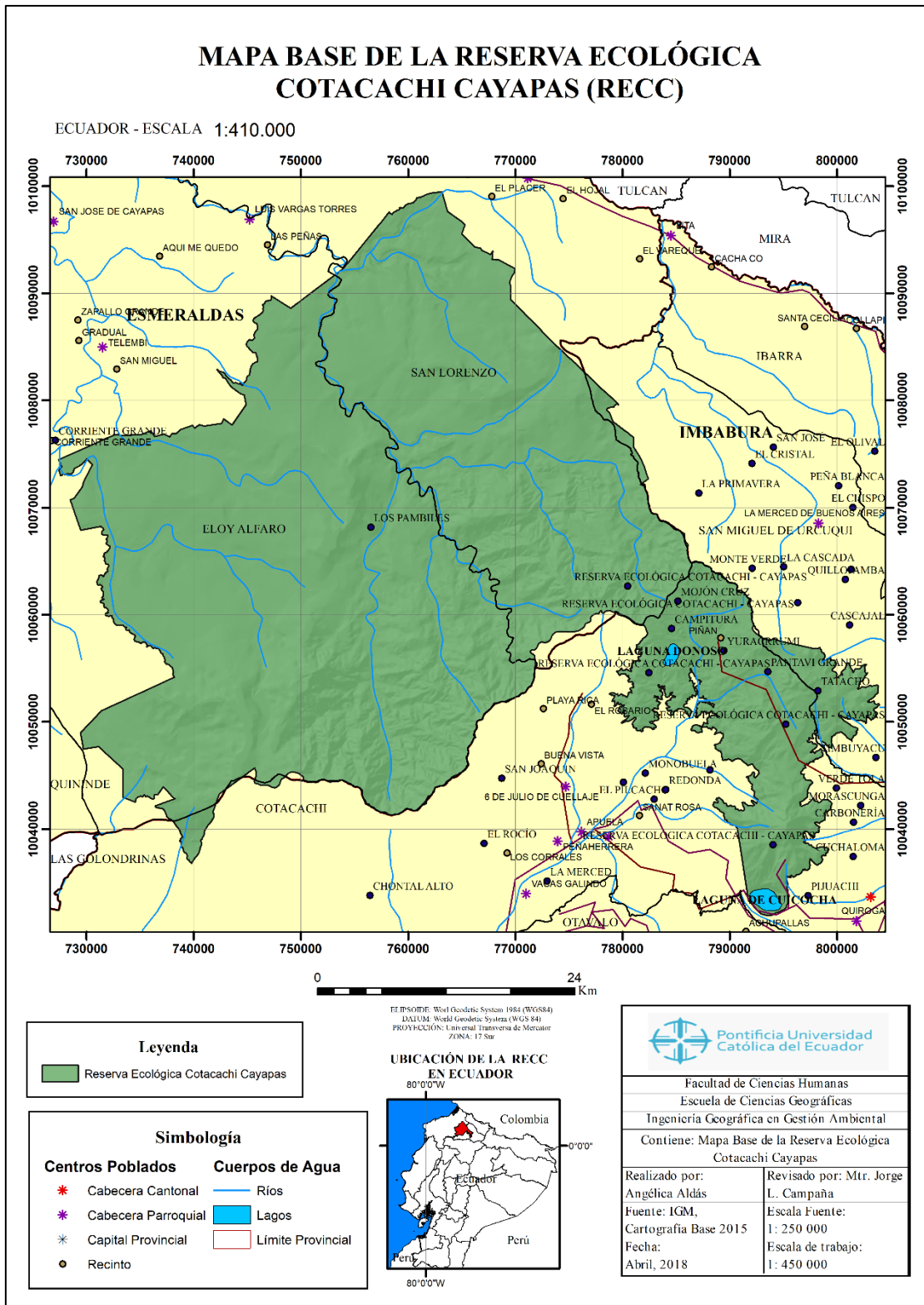
- Ramirez Zapata, A. (2015). *Análisis Multitemporal mediante sensores remotos de cobertura de la tierra para el período de tiempo 1999-2011 en el municipio de San Jacinto, Bolívar*. Bogotá: Tesis en Geomática - Universidad Militar Nueva Granada.
- Ramos López , B. (16 de Diciembre de 2018). *TycGis Información*. Obtenido de ¿Qué es Google Earth Engine?: <https://www.cursosgis.com/que-es-google-earth-engine/>
- Ramsar. Org. (14 de Junio de 2018). *RAMSAR*. Obtenido de Ecuador designa el Complejo de Humedales Cuaybeno Lagartococha Yasuní como el sitio Ramsar más grande del país: <https://www.ramsar.org/es/nuevas/ecuador-designa-el-complejo-de-humedales-cuyabeno-lagartococha-yasuni-como-el-sitio-ramsar>
- Remache Sagva, A. M. (2016). *Instrumentos Jurídicos y Fiscalidad ambiental como mecanismos de protección del medio ambiente en el Ecuador y en perspectiva comparada*. Quito: Maestría en Derecho Tributario-Universidad Andina Simón Bolívar.
- Rodriguez, T. (2009). *Convenios Internacionales y Ambiente: Recomendaciones para una mejor aplicación de los convenios seleccionados en los países de la iniciativa del Corredor del Pacífico Este Tropical. Estudio de implementación de 5 convenios ambientales en Ecuador*. Colombia: Fundación Marviva.
- Ruiz de Eguino, I. A. (2018). *Hacia una monitorización en continua basada en teledetección multitemporal de infraestructuras para el transporte de energía*. Masterra: Universidad del País Vasco.
- Ruiz López, D., & Cadenas Ayala, C. (29 de Abril de 2018). *Universidad Latina de América*. Obtenido de ¿Qué es una política pública?: <http://www.unla.mx/iusunla18/reflexion/QUE%20ES%20UNA%20POLITICA%20PUBLICA%20web.htm>
- Sahagún Sánchez, F. J., & Reyes Hernández, H. (2018). Impact of land use cover change on protected natural areas in central region of Sierra Madre Oriental, Mexico. *CIENCIAUAT*, 6-21.
- Salazar Álvarez, J. D. (2015). *Factores de cambio de uso del suelo (1986-2010) en la Cooperativa Pío Jaramillo Alvarado, cabtón Nangaritzá, provincia de Zamora Chinchipe: Aportes para la gestión ambiental en regiones de alta biodiversidad*. Quito: Tesis previa a la obtención del título Ingeniero Geógrafo.
- San Vicente, M. G., & Lozano Valencia, P. J. (2008). Landscape Ecology. A framework for the integrated study of landscape dynamics and its incident in wildlife. *Estudios Geográficos*, 519-543.
- Sánchez Echeverría, S. (2014). *Cotacachi "Cantón Ecológico". Una aproximación urbana a la problemática socio ambiental: Discursos y prácticas de política pública en la relación global-local*. Quito: Tesis de Pregrado.
- Sánchez García, A., & Toral Ruiz, N. (2016). *Análisis de las capacidades de los sistemas Landsat para la actualización cartográfica. Estudios de caso práctico*.

- Madrid: Titulación de ingeniería técnica en topografía- Escuela de Geodesia y Cartografía.
- Sánchez Torres, O. I. (2015). *Estudio semiótico-etnográfico de la nacionalidad Chachi del norte de la provincia de Esmeraldas*. Esmeraldas: Tesis de Pregrado.
- Sarmiento, F. O. (2002). *Diccionario de Ecología: Paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. Quito: Abya-Yala.
- SENPLADES, S., & MAE, M. (2013). *SISTEMA NACIONAL DE CONTROL FORESTAL*. Quito.
- Solarte Fajardo, H. J. (2018). *Análisis de datos aplicado a imágenes satelitales para calcular la deforestación*. Bogotá: Maestría en Ingeniería de Sistemas.
- Solutions, M. (11 de Diciembre de 2018). *La nube: oportunidades y retos para los integrantes de la cadena de valor*. Obtenido de <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/La-nube.pdf>
- Soria, C. (2002). Lecciones de Política Ambiental en Ecuador y Perú el los 1990s. Petroleras, áreas naturales protegidas y pueblos indígenas. *Revista del Taller de Derecho*, 3-39.
- Southgate, D., & Whitaker, M. (1992). Promoting Resource Degradation in Latin America: Tropical Deforestation, Soil Erosion, and Coastal Ecosystem Disturbance in Ecuador. *Economic Development and Cultural Change*, 787-807.
- Tapia Armijos, M. F., Homeier, J., Espinoza, C. I., Leuschner, C., & De la Cruz, M. (2015). Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since 1970s- Losing a Hotspot of Biodiversity. *Plos One*, 10(11).
- Terán Rosero, G. J. (2014). Caracterización poblacional de la cuenca hidrográfica Mira-Mataje. *SATHIRI: Sembrador*, 9-21.
- Tituaña Jami, J. C. (2018). *Desarrollo de un método para la clasificación automatizada de imágenes Landsat 8 mediante redes neuronales artificiales*. Quito: Trabajo de titulación de Ingeniería en Sistemas Informáticos-EPN.
- Toledo, V. M. (2005). Repensar la conservación: ¿ Áreas naturales protegidas o estrategia bioregional? *Gaceta Ecológica*, 67-83.
- Toledo, V. M., & Moguel, P. (1992). Ecología, geografía y producción rural: El problema de la conceptualización de la naturaleza. *Relaciones*, 7-22.
- Tolón Becerra, A., & Lastra Bravo, X. (2008). Los Espacios Naturales Protegidos. Concepto, evolución y situación actual en España. *Revista Electrónica de Medio Ambiente*, 1-25.
- UICN, U. I., & UNEP-WCMC, T. (2015). *The World Database on Protected Areas (WDPA)*. UK: UNEP-WCMC: Cambridge. Obtenido de www.protectedplanet.net.

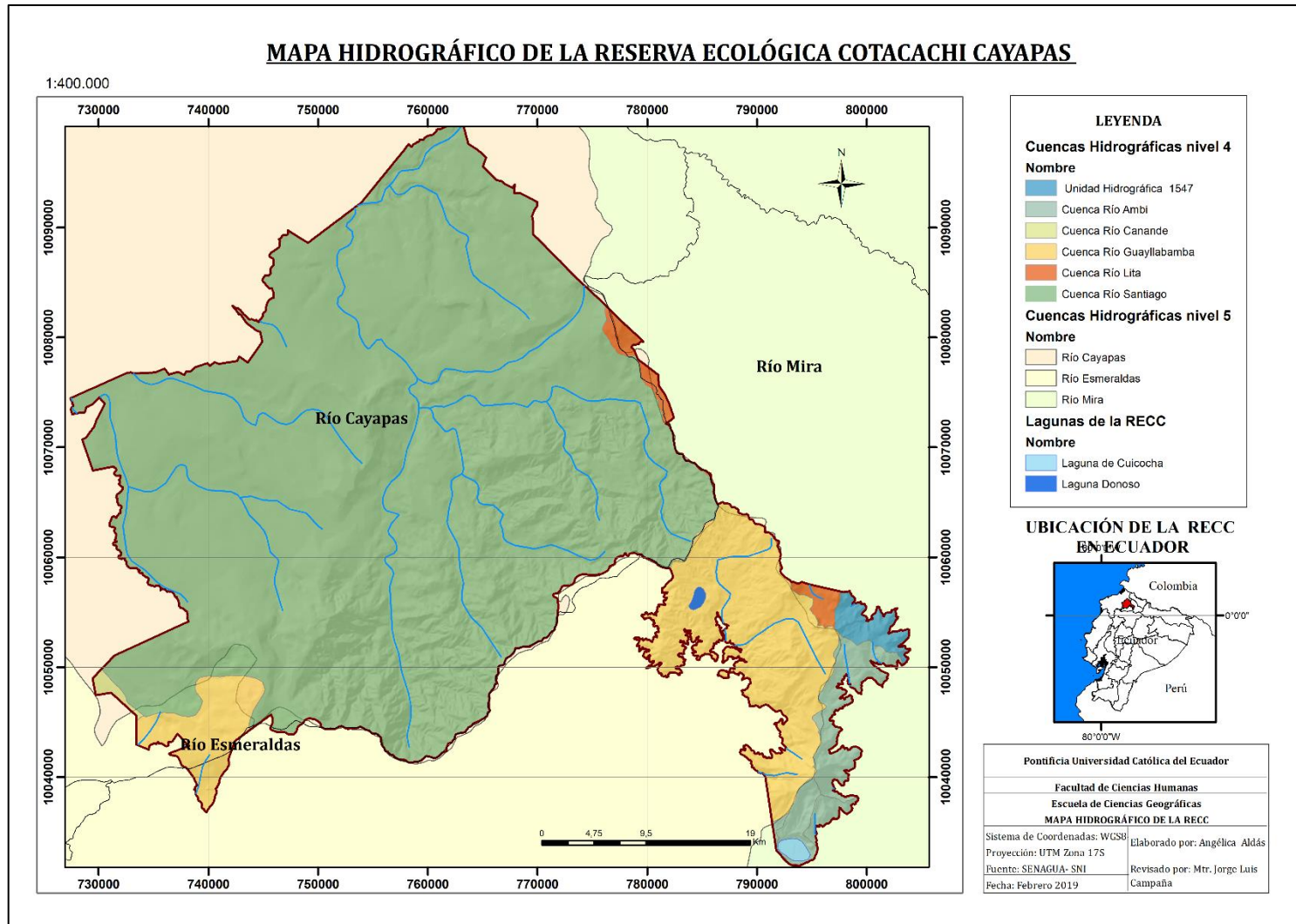
- UNEP-WCMC, & UICN. (2016). *Protected Planet Report 2016*. Cambridge, Reino Unido y Gland, Suiza: UNEP-WCMC y UICN.
- USGS. (28 de Diciembre de 2018). *USGS science for a changing world*. Obtenido de <https://landsat.usgs.gov/landsat-collections>
- Van Der Hoek, Y. (2017). The potential of protected areas to halt deforestation in Ecuador. *Environmental Conservation*, 124-130.
- Vasconcelos, Y. (2015). La plataforma Google Earth Engine –nacida en Brasil se utiliza en la elaboración de mapas temáticos a partir de imágenes satelitales. *FAPESP*, 230. Recuperado el Marzo de 2018, de <http://revistapesquisa.fapesp.br/es/2015/04/10/con-la-colaboracion-del-cielo/>
- Vásquez, V. L., & Tisalema Espinoza, Y. Y. (2017). *Elaboración del expediente técnico y plan de manejo del área de conservación y uso sustentable municipal Intag-Toisán, cantón Santa Ana de Cotacachi - provincia de Imbabura*. Quito: Tesis de Pregrado.
- Vázquez P, M. Á., & Ulloa V, R. (1997). *Estrategia para la Conservación de la Diversidad Biológica en el Sector Forestal del Ecuador*. Quito: Proyecto FAO - Holanda "Apoyo a la Ejecución del Plan de Acción Forestal del Ecuador (PAFE)" EcoCiencia.
- Vázquez, M., Freire, J., & Suárez, L. (2005). *Biodiversidad en el suroccidente de la provincia de Esmeraldas: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas*. Quito: EcoCiencia y MAE Seco.
- Vélez Proaño, C. X. (2010). *Aproximación a la dinámica espacial de la frontera agrícola en el Ecuador*. Quito: Tesis de Pregrado.
- Yáñez M, P. (2016). Las áreas naturales protegidas del Ecuador: Características y Problemática General. *Qualitas*, 41-55.
- Yáñez, N., & Yáñez, M. (1999). *Identificación de nidos, dormitorios y preferencia de sitios de alimentación de Vultur gryphus Cóndor Andino, en las Reservas ecológicas Cayambe-Coca y Cotacachi-Cayapas*. Quito: Tesis de Doctorado.
- Young, K. R., & Keating, P. L. (2001). *Remnant Forests of Volcan Cotacachi Northern Ecuador*. Colorado: Arctic, Antarctic, and Alpine Research.
- Zambrano, L., Paula, P., & Paula, P. A. (2018). Análisis multitemporal de los cambio de a vegetación, en la Reserva de Pproducción Faunística Chimborazo como consecuencia del cambio climático. *Enfoque UTE*, 1-12.
- Zubelzu Mínguez, S., & Allende Álvarez, F. (2015). El concepto de paisaje y sus elementos constituyentes: requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29-42.

ANEXOS

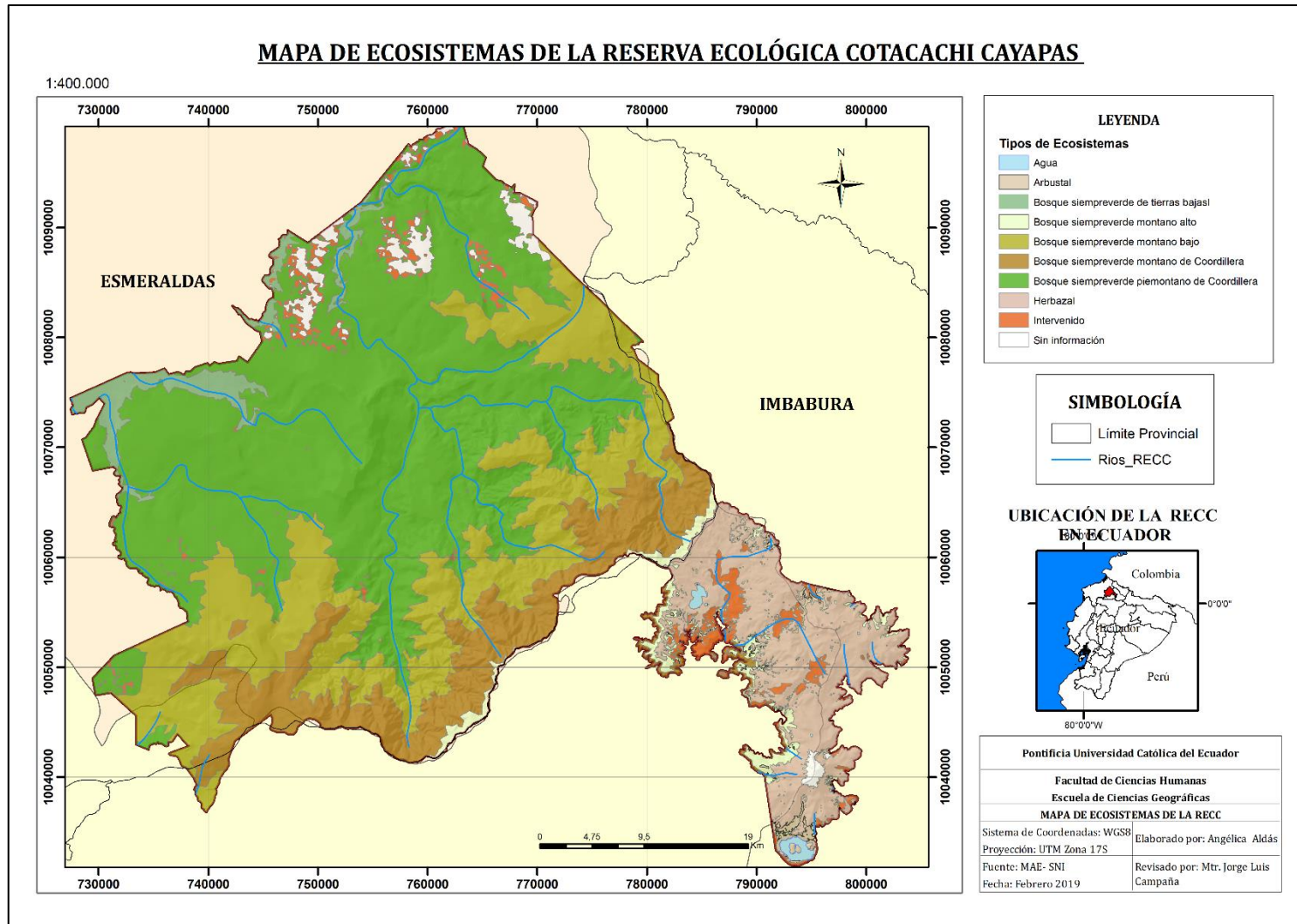
1. Mapa Base de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas



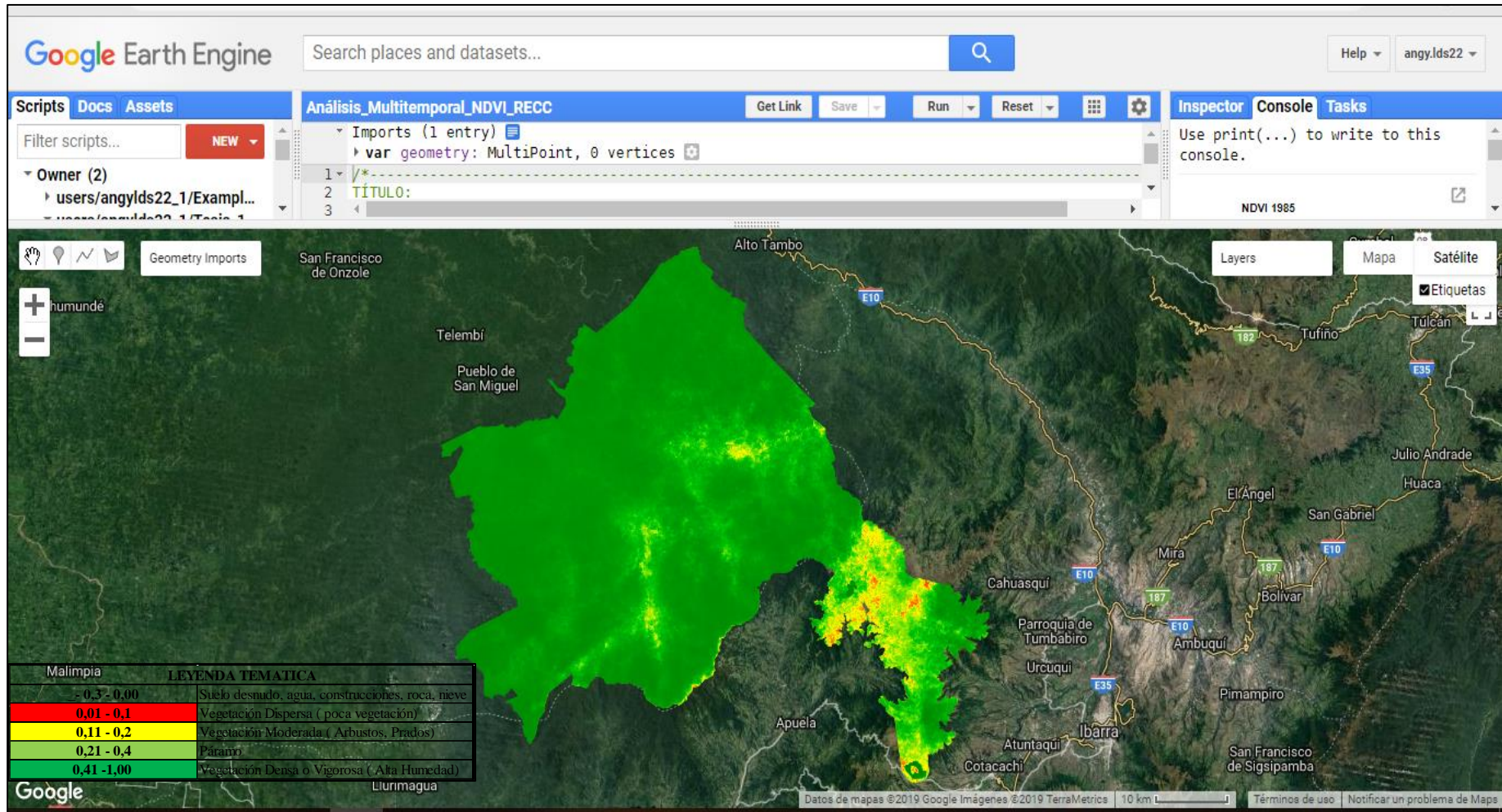
2. Mapa Hidrográfico de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas



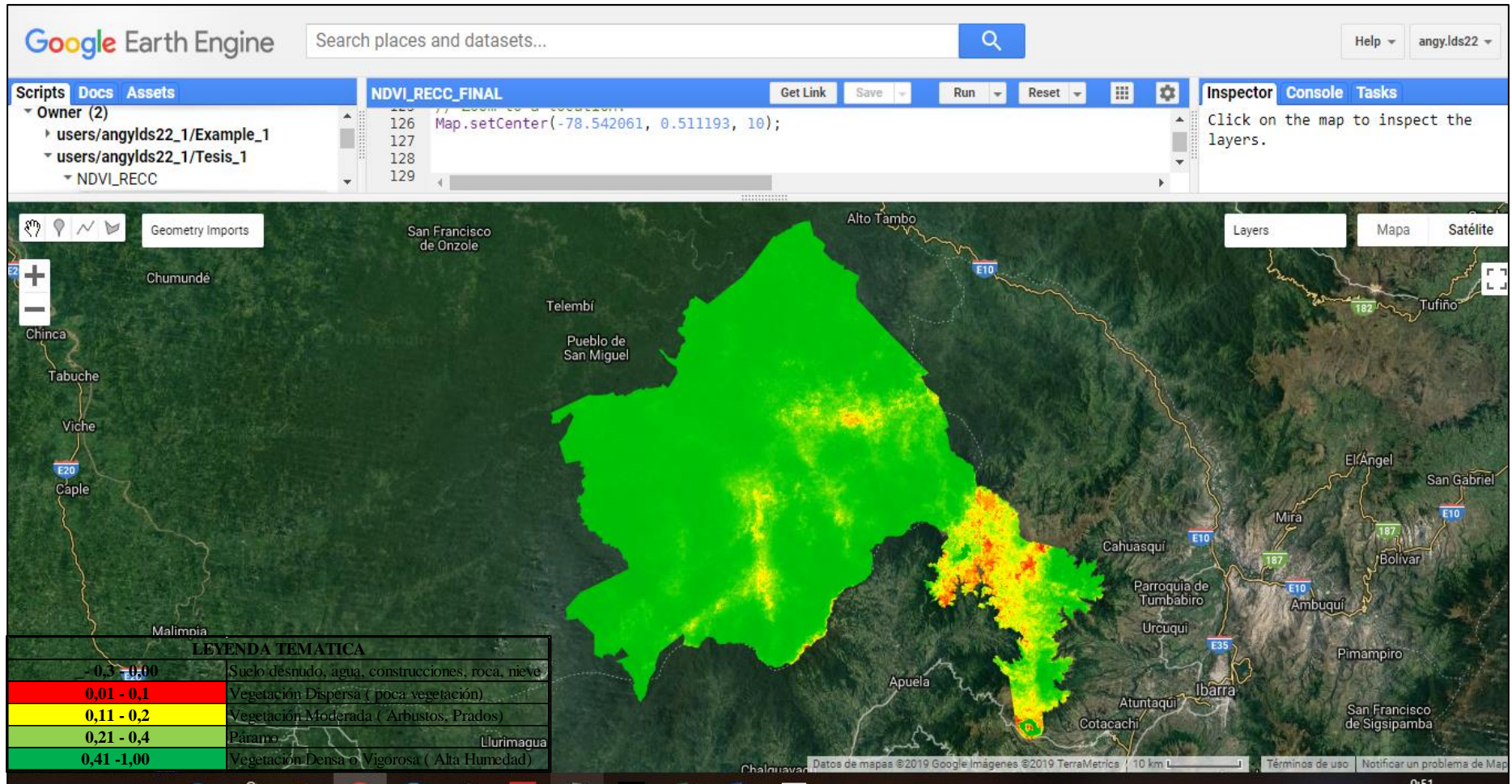
3. Mapa de Ecosistemas de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas



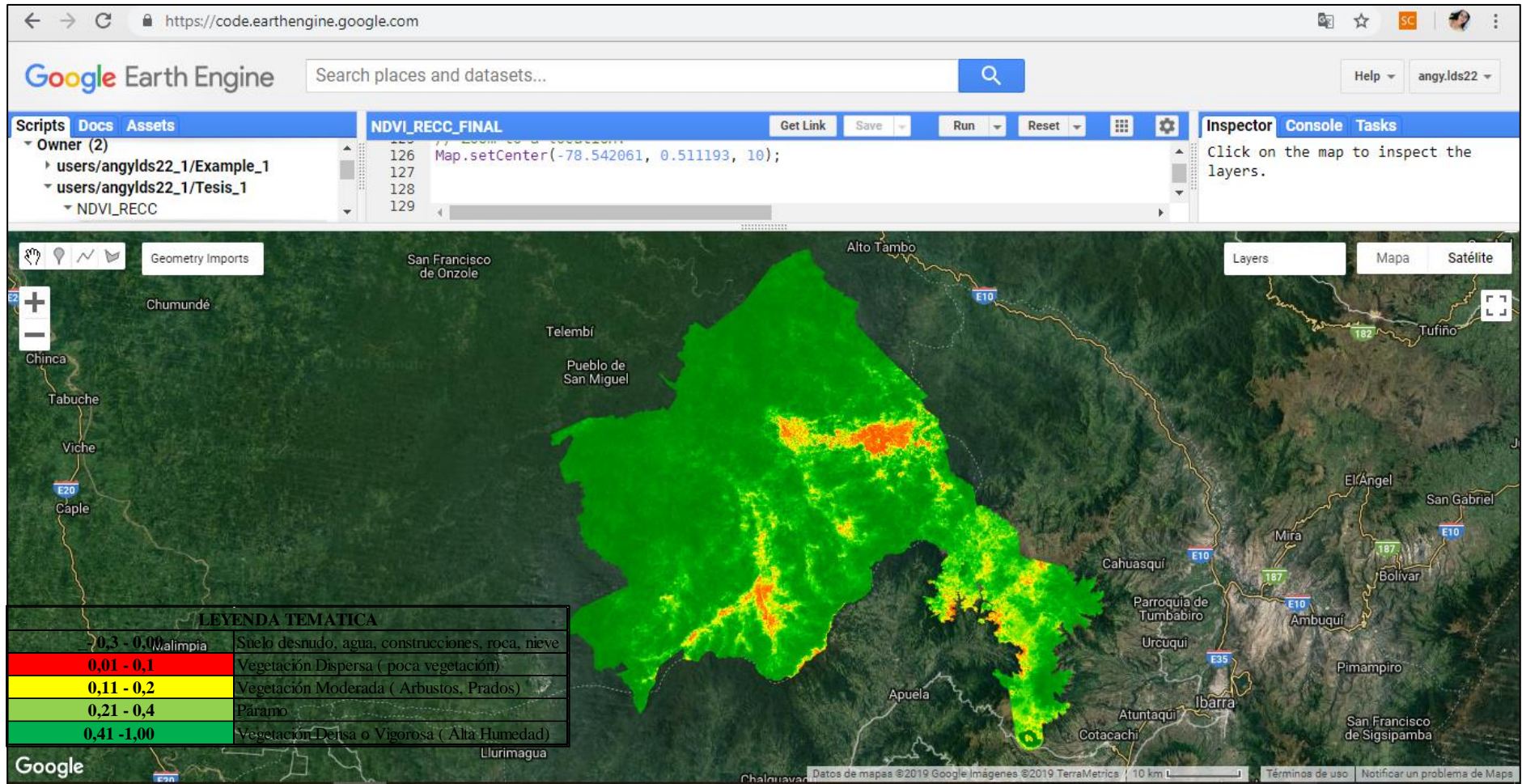
4. Mapa NDVI para la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas año 1986 obtenido mediante GEE



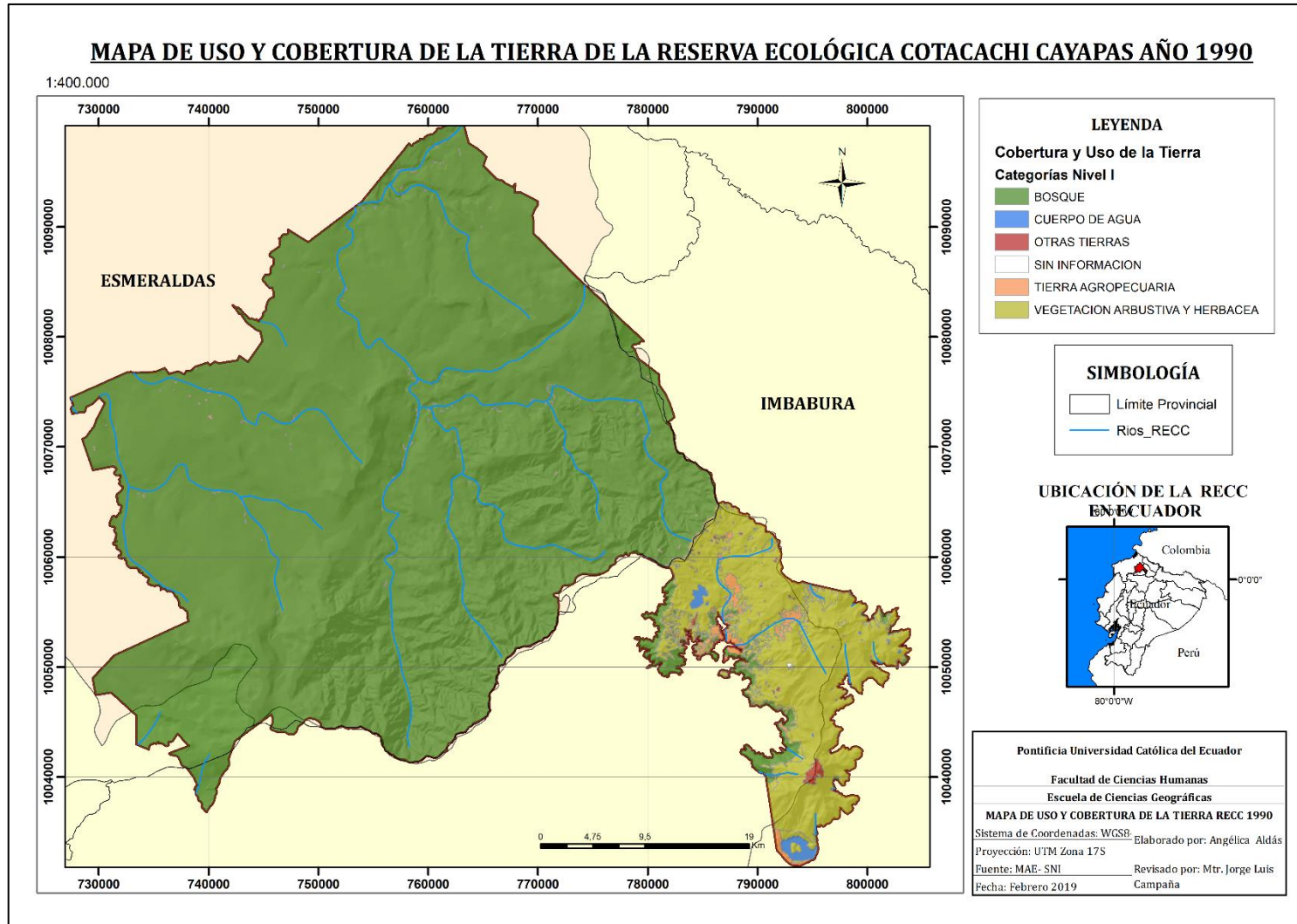
5. Mapa NDVI para la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas año 2001 obtenido mediante GEE



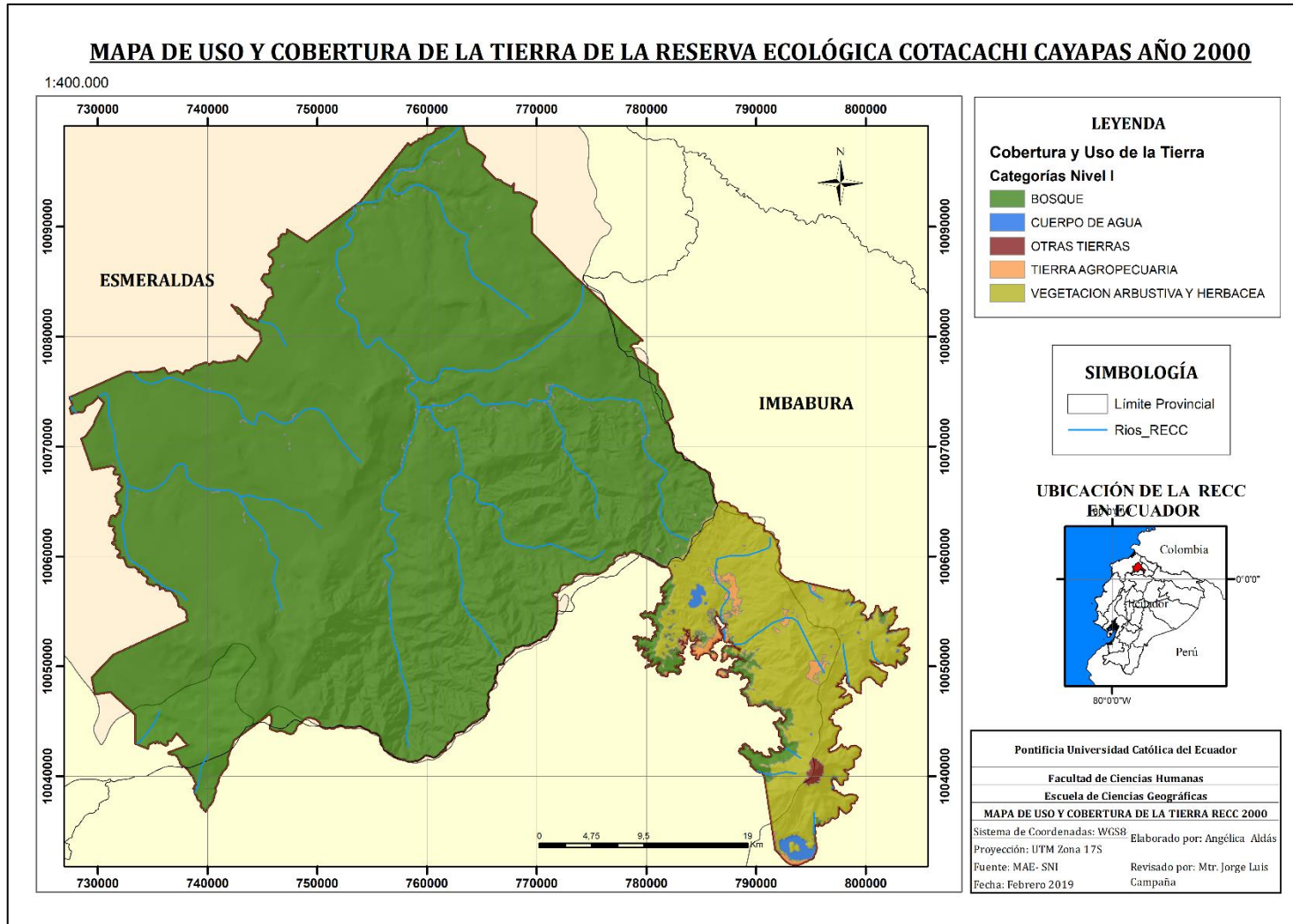
6. Mapa NDVI para la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas año 2017 obtenido mediante GEE



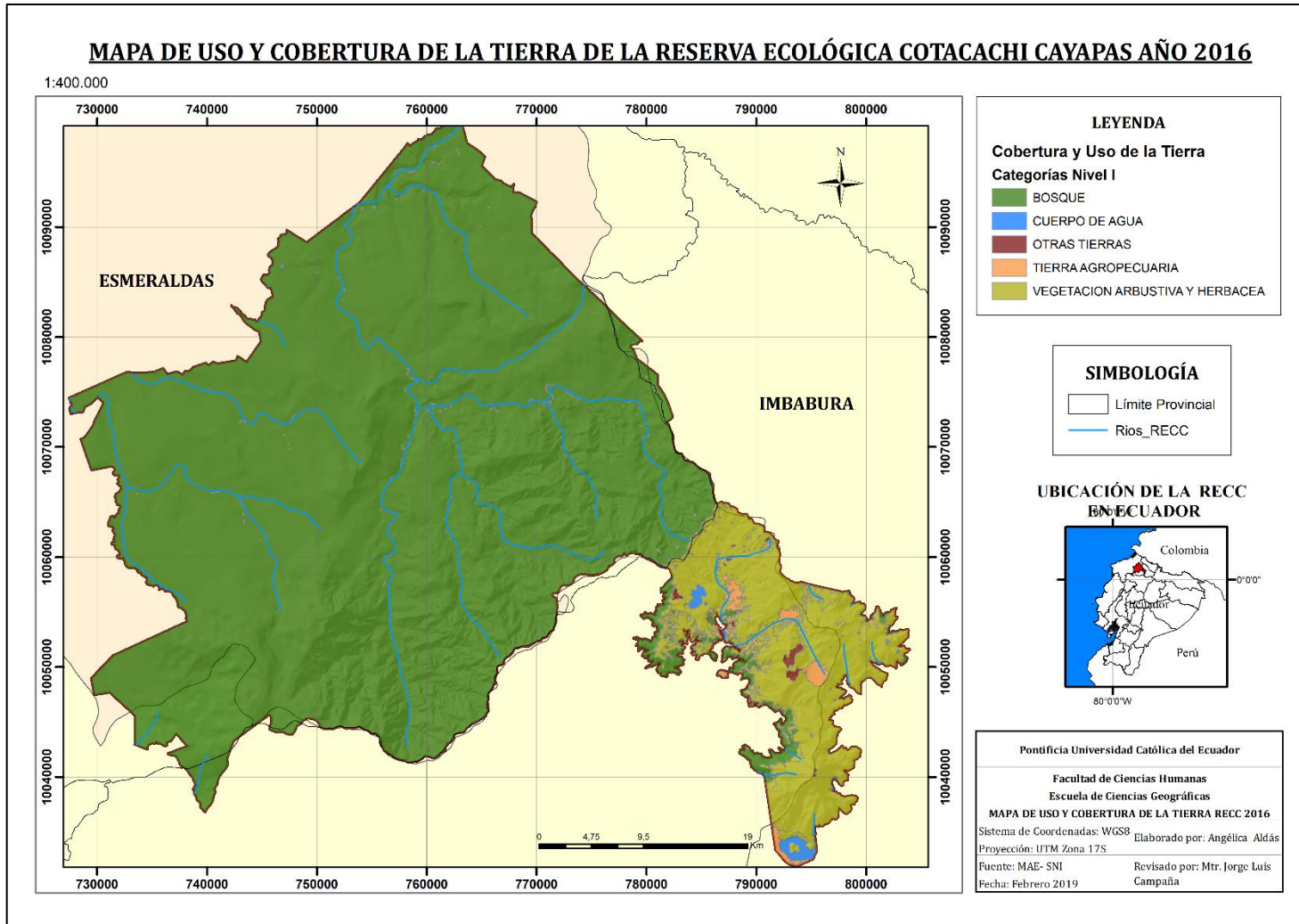
7. Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas año 1990 fuente oficial



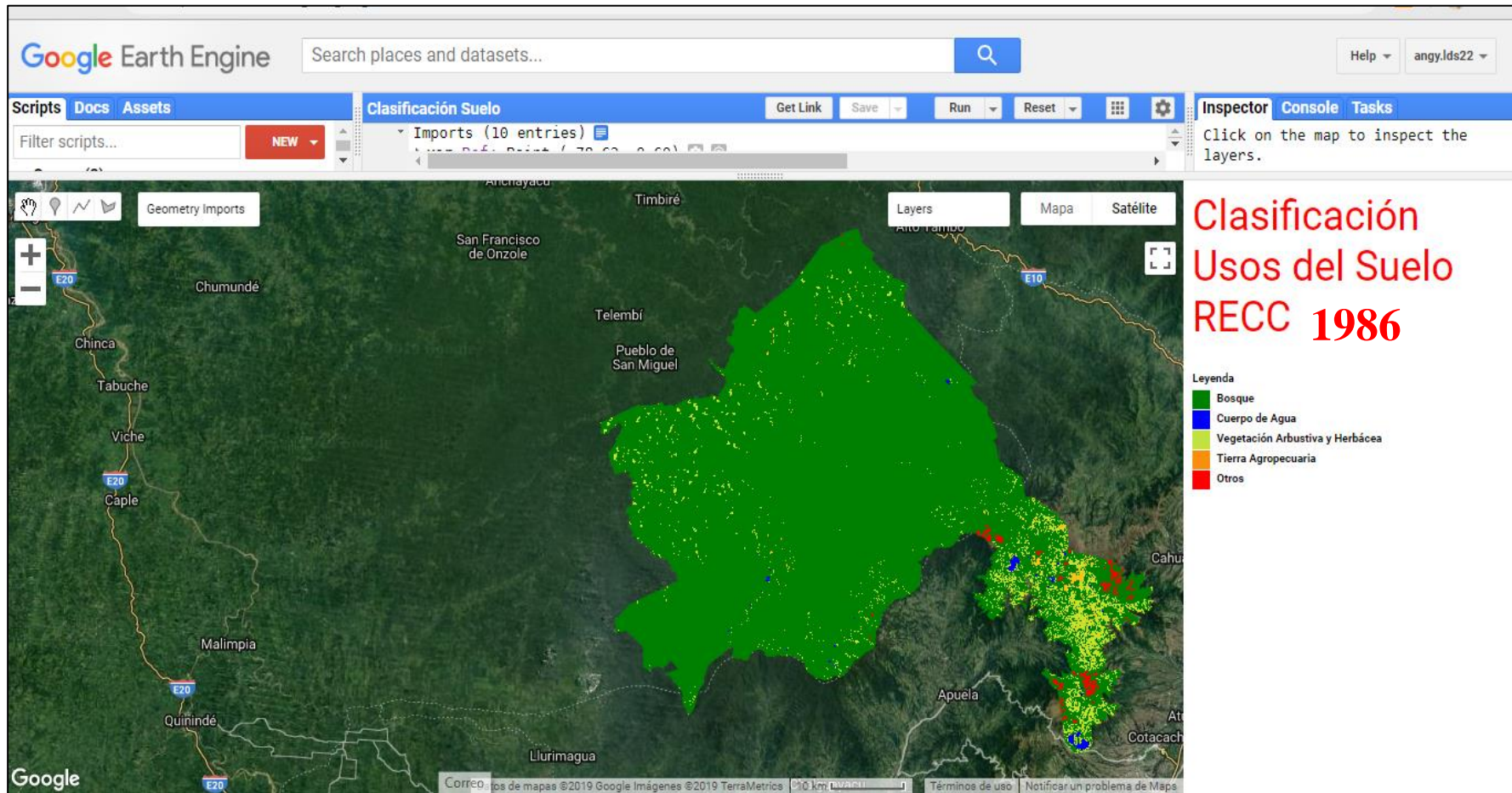
8. Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas año 2000 fuente oficial



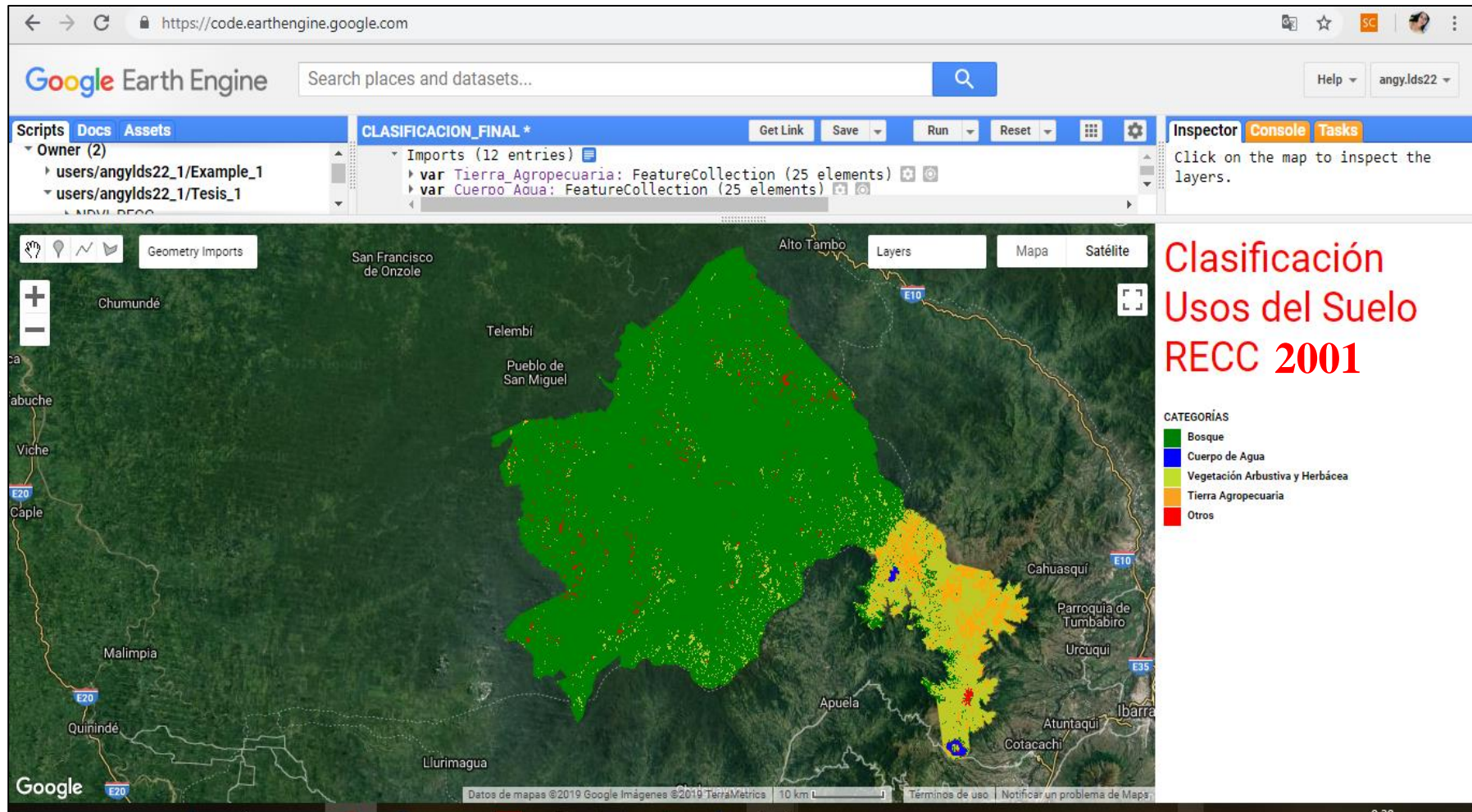
9. Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas año 2016 fuente oficial



10. Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas año 1986 obtenido mediante GEE



11. Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas año 2001 obtenido mediante GEE



12. Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas año 2017 obtenido mediante GEE

