



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN GESTION INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CARI YACU
EN EL PERIODO 2010 – 2019, PROVINCIA DE IMBABURA**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión
Integral de Cuencas Hidrográficas

AUTOR: Oswaldo Vinicio Narváez Gudiño

DIRECTOR: PhD. Jorge Luis Cue García

IBARRA – ECUADOR

Septiembre, 2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

C.6 Conformidad con el documento final

Ibarra, 14 de septiembre de 2020

Dra. Lucía Yépez M.Sc.
Directora
Instituto de Postgrado

ASUNTO: Conformidad con el documento final

Señora Directora:

Nos permitimos informar a usted que revisado el Trabajo final de Grado CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CARI YACU EN EL PERIODO 2010 – 2019, PROVINCIA DE IMBABURA del maestrante *Narváz Gudiño Oswaldo Vinicio*, de la Maestría de GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS III, certificamos que han sido acogidas y satisfechas todas las observaciones realizadas.

Atentamente,

	Apellidos y Nombres	Firma
Tutor/a	CUE GARCÍA JORGE LUIS	
Asesor/a	MONCADA RANGEL JOSE ALI	

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1002494209		
APELLIDOS Y NOMBRES:	NARVÁEZ GUDIÑO OSWALDO VINICIO		
DIRECCIÓN:	HERNÁN GONZÁLEZ DE SAA 8 32 Y QUIS QUIS		
EMAIL:	oswaldnarvaez@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062651019	TELÉFONO MÓVIL:	0992449424

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CARI YACU EN EL PERIODO 2010 – 2019, PROVINCIA DE IMBABURA
AUTOR (ES):	NARVÁEZ GUDIÑO OSWALDO VINICIO
FECHA: DD/MM/AAAA	14/09/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	MAGISTER
ASESOR /DIRECTOR:	PHD. JORGE LUIS CUE GARCÍA

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de febrero de 2021

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: NARVÁEZ GUDIÑO OSWALDO VINICIO

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo de este trabajo está dedicado a mi madre que con su ejemplo me ha dado las más grandes lecciones de vida, a mi hija que representa el norte de mi vida y me llena de motivos para seguir superándome.

Oswaldo Narvárez G.

RECONOCIMIENTO

A Dios por permitirme alcanzar una meta más en mi formación académica, a mi madre autora de mis días, a la Universidad Técnica del Norte por acogerme en sus aulas durante el tiempo que duró mis estudios, a todos mis docentes fuente inagotable de conocimientos, gracias a su entrega y dedicación han contribuido de manera decisiva a culminar esta etapa. A todos mis amigos y compañeros por sus consejos y guía.

De manera especial quiero agradecer al PhD Jorge Luis Cue, al PhD José Moncada, tutor y asesor de este trabajo de investigación respectivamente, al PhD Jesús Aranguren y al MSc José Guzmán docentes y amigos, ya que gracias a sus directrices fue posible plasmar el presente trabajo.

Oswaldo Narváez G.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
RECONOCIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ABREVIATURAS	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
1. EL PROBLEMA	16
1.1. Problema de investigación	16
1.2. Preguntas directrices de la investigación	18
1.3. Objetivos de la investigación	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Justificación	19
2. MARCO REFERENCIAL	21
2.1. Antecedentes	21
2.2. Referentes teóricos	23
2.2.1. Cuenca hidrográfica: su definición, función, estructura y elementos biofísicos que la conforman	23
2.2.2. Manejo de cuencas hidrográficas: sostenibilidad y sus dimensiones	24
2.2.3. Impactos ambientales en las cuencas hidrográficas	26
2.2.4. Microcuenca: su definición y manejo	27
2.2.5. El suelo: su definición y composición	28
2.2.6. Cambio de uso del suelo: impactos ambientales	30
2.2.7. Manejo del suelo en cuencas hidrográficas	32
2.2.8. Cobertura vegetal: su definición, importancia, impactos y manejo en cuencas hidrográficas	33
2.2.9. El agua como recurso hídrico y su manejo en cuencas hidrográficas	35
2.2.10. Imágenes satelitales: su definición y utilidad	36

2.2.11. Sistemas de Información Geográfica	37
2.2.13. Teledetección	38
2.2.14. Análisis multitemporal	38
2.2.15. Métodos de análisis multitemporal	38
2.2.16. Validación de la clasificación de imágenes satelitales	41
2.2.17. Matriz de confusión	41
2.2.18. Coeficiente de Kappa	42
2.3. Estrategias de conservación para el manejo del recurso suelo, con base a la cobertura vegetal actual.	42
2.4. Marco legal	43
3. MARCO METODOLÓGICO	48
3.1. Descripción del área de estudio	48
3.2. Enfoque y tipo de investigación	50
3.3. Procedimientos de la investigación	51
3.3.1. Etapa I: Cambios multitemporales de uso del suelo mediante imágenes satelitales para un periodo de 9 años (2010 al 2019)	51
3.3.1.1. Adquisición de las imágenes satelitales	52
3.3.1.2. Preprocesamiento	52
3.3.1.3. Procesamiento digital	52
3.3.2. Etapa II: Estrategias de conservación para el manejo del recurso suelo, con base a la cobertura vegetal actual	56
3.4. Consideraciones bioéticas	56
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. Etapa I: Cambios multitemporales de uso del suelo mediante imágenes satelitales para el periodo 2010-2019	57
4.1.2. Preprocesamiento	58
4.1.3. Procesamiento digital	59
4.1.3.1. Clasificación supervisada de las imágenes satelitales	59
4.1.3.2. Generación de muestras de entrenamiento	60
4.1.3.3. Clasificación por píxeles	60
4.1.3.4. Validación de la clasificación supervisada	63
4.2. Etapa II: Estrategias de conservación para el manejo del recurso suelo, con base a la cobertura vegetal actual	69
4.2.1. Proyecto 1. Educación ambiental	69
4.2.2. Proyecto 2. Buenas prácticas agrícolas	72
4.2.3. Proyecto 3. Ganadería climáticamente inteligente	74
5. CONCLUSIONES	76

6. RECOMENDACIONES	77
7. REFERENCIAS	78
8. ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del satélite Rapideye	37
Tabla 2. Ubicación geográfica de la microcuenca del río Cari Yacu	49
Tabla 3. Cobertura vegetal del suelo	53
Tabla 4. Rangos de valoración del coeficiente Kappa.....	55
Tabla 5. Imágenes Rapideye.....	57
Tabla 6. Análisis de cambios de cobertura	66
Tabla 7. Cambios de cobertura vegetal desde el año 2010 al 2019.....	67
Tabla 8. Desarrollo del proyecto: Educación Ambiental	71
Tabla 9. Desarrollo del proyecto: Buenas prácticas agrícolas.....	73
Tabla 10. Desarrollo del proyecto: Ganadería climáticamente inteligente	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río Cari Yacu.....	48
Figura 2. Extensión de la microcuenca del río Cari Yacu	50
Figura 3. Imágenes satelitales Rapideye año 2010 y 2019	58
Figura 4. Calibración radiométrica de la imagen satelital	58
Figura 5. Corrección atmosférica	59
Figura 6. Corrección atmosférica de la imagen satelital	59
Figura 7. Clasificación de coberturas del año 2010 y 2019.....	60
Figura 8. Cambios de coberturas del año 2010 al 2019.....	67

ABREVIATURAS

CEPEIGE	Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
GEO ECUADOR	Grupo Especial de Operaciones Ecuador
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
SIG	Sistemas de Información Geográfica
IGM	Instituto Geográfico Militar
FHJC	Fundación de Hogares Juveniles Campesinos
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
GPI	Gobierno Provincial de Imbabura
PDyOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
GADs	Gobiernos Autónomos Descentralizados
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
SMARN	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
ACP	Análisis de Componentes Principales
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
TULAS	Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
PNBV	Plan Nacional del Buen Vivir

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA**

**CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CARI YACU
EN EL PERIODO 2010 – 2019, PROVINCIA DE IMBABURA**

Autor: Oswaldo Vinicio Narváez Gudiño

Tutor: PhD. Jorge Luis Cue García

Año: 2020

RESUMEN

El cambio de uso del suelo puede provocar su degradación, por ello a medida que pasa el tiempo pocos países podrán alcanzar una agricultura sostenible con miras a un futuro seguro. En el Ecuador los problemas de degradación del suelo se observan en todo el país, siendo más notorio en la serranía a pesar de estar conformada por cuencas hidrográficas con páramos y bosque montano alto en las zonas altas. El propósito de la investigación fue analizar los cambios de uso de suelo de la microcuenca del río Cari Yacu en el periodo 2010 - 2019, en las parroquias San Blas e Imantag, de los cantones Urcuqui y Cotacachi, para proponer estrategias de conservación, debido a que no existen estudios de esta dinámica para la microcuenca, por tanto, es necesario conocer la magnitud y velocidad de los cambios de uso de suelo, que afectan la zona alta, media y baja de la misma. La investigación es de enfoque mixto y se estructura en dos etapas: 1) Determinar los cambios multitemporales de uso del suelo mediante imágenes satelitales para un periodo de 9 años, mediante la adquisición de las imágenes satelitales del sensor Rapideye de los años 2010 y 2019, con una resolución espacial de 5 metros, las cuales conllevaron un preprocesamiento y procesamiento digital a fin de realizar la clasificación supervisada para detectar cambios multitemporales de uso del suelo entre los dos años establecidos, y 2) Diseñar las estrategias de conservación para el manejo del recurso suelo, con base a la cobertura vegetal actual, a través del análisis e interpretación de resultados obtenidos. El cambio de uso de suelo que predominó es el de bosques a cultivos, donde se incrementó los cultivos en un 6.18% y pastos para la ganadería en un 1.29%, con un total de 7.47%. Los proyectos propuestos desde estrategias conservacionistas promueven el cambio de uso de suelo, a mediano y largo plazo.

Palabras clave: Suelo, cobertura vegetal, estrategias, conservación, microcuenca.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
INSTITUTO DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA**

**CHANGES IN LAND USE IN THE CARI YACU RIVER MICRO-BASIN IN THE
PERIOD 2010-2019, IMBABURA PROVINCE.**

Author: Oswaldo Vinicio Narváez Gudiño

Tutor: PhD. Jorge Luis Cue García

Year: 2020

ABSTRACT

Changes in land use can cause its degradation, therefore, as time goes by, few countries will be able to achieve sustainable agriculture for a secure future. In Ecuador the problems of soil degradation are observed throughout the country, being more notorious in the mountains despite being formed by watersheds with moors and high montane forest in the high areas. The aim of the research was to analyze the land use changes of the micro-basin of the Cari Yacu river in the period 2010 - 2019, in the parishes of San Blas and Imantag, in the cantons of Urcuqui and Cotacachi, to propose conservation strategies, because there are no studies of this dynamics for the micro-basin, it is hence necessary to know the magnitude and speed of the land use changes, which affect the upper, middle and lower zone of the basin. The research has a mixed approach and is structured in two stages: 1) To determine multi-temporal land use changes using satellite images for a period of 9 years, by acquiring the satellite images of the Rapid eye sensor from the years 2010 and 2019, with a spatial resolution of 5 meters, which involved pre-processing and digital processing to perform the supervised classification to detect multi-temporal land-use changes between the two years established, and 2) Design conservation strategies for the management of the soil resource, based on current plant cover, through the analysis and interpretation of results obtained. The predominant land use change is from forests to crops, where crops increased by 6.18% and pastures for livestock by 1.29%, with a total of 7.47%. The projects proposed from conservation strategies promote land use change, in the medium and long term.

Keywords: Soil, vegetation cover, strategies, conservation, micro-basin.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Problema de investigación

Los seres humanos han tenido un papel cada vez más predominante en el cambio del ambiente, por ello, la causa principal del deterioro de las cuencas hidrográficas a nivel mundial es la actividad antrópica (Cando, 2014), como resultado del crecimiento poblacional urbano, el cual según el Banco Mundial (2017) a nivel global “en el año 2016 fue de 2,03%”. Además, la expansión demográfica en el siglo pasado se quintuplicó y con esto las emisiones de dióxido de carbono aumentaron en un 25% (Ojima, Galvin y Turner, 1994). Este crecimiento requiere de producción de mayores cantidades de alimentos y otros recursos, generando la ampliación de la frontera agrícola con la consecuente pérdida de cobertura vegetal y capacidad de retención del agua, lo que afecta de manera directa a la escorrentía superficial.

La calidad del agua y la fertilidad del suelo en algunos lugares están severamente afectados. El sistema biótico ha sido explotado y su supervivencia puesta en peligro para suplir las demandas de la creciente población. Las actividades antrópicas como la agricultura y la silvicultura juegan un papel importante en estos cambios ambientales globales, incluso superan a los naturales provocados por el clima, modifican el paisaje, afectan a plantas y animales y al largo plazo la estabilidad del sistema terrestre (*op.cit.*). Dentro de los impactos ambientales negativos se encuentra el cambio de uso del suelo, cuyo estudio requiere evaluar su velocidad, su extensión y las causas sociales y económicas que lo provocan, a nivel global, regional y local, lo que ayuda a entender la evolución del medio natural y la afectación causada por la actividad humana (Ruíz, Savé y Herrera, 2013).

América Latina, en comparación con otras partes del mundo, hasta el año 2000 contaba con grandes áreas de suelos bien conservados, sin embargo, la apertura de tierras para los usos agrícola, pecuario y forestal se han incrementado, sustituyendo paisajes naturales relativamente bien conservados (Bautista, 2010). La degradación física, química y biológica del suelo se genera como proceso natural, pero mayormente es influida por las actividades antrópicas, tales como: deforestación y explotación de bosques, sobrepastoreo, manejo impropio de suelos agrícolas, sobreexplotación de la vegetación para usos domésticos y actividades industriales. La satisfacción de las necesidades humanas en cuanto al desarrollo

económico productivo, han provocado el cambio de uso del suelo siendo un problema que ha crecido con el paso del tiempo (Ruíz *et al.*, 2013).

En Ecuador, según el Banco Mundial (2017), la población urbana creció en 1,85% generando una mayor demanda de recursos. Los problemas biofísicos y socioeconómicos que se producen en el territorio ecuatoriano se encuentran estrechamente relacionados con el suelo y el agua, tomando en cuenta que la degradación acelerada de los suelos tiene tendencia similar con el calentamiento global y pérdida de biodiversidad, y; por tanto, con el ciclo hidrológico dentro de las cuencas hidrográficas (Sentís, 2011). El Grupo Especial de Operaciones GEO ECUADOR (2008) menciona que el Ecuador se caracteriza por poseer suelos diferenciados en sus características y vocación, lo que define el potencial de uso agrícola. Los suelos evolucionados cubren el 30% de la superficie del país y el área restante es menos apta para las actividades agrícolas o ganaderas. Esto constituye un límite natural para el ser humano, sin embargo, la creciente demanda de alimentos ha expuesto al suelo a procesos de degradación, que varían en intensidad e impacto dependiendo del tiempo y de la forma de cómo han sido usados.

En este contexto, los problemas de degradación del suelo se observan en todo el país, siendo más notorio en la serranía a pesar de estar conformada por cuencas hidrográficas con páramos y bosque montano alto en las zonas altas. Este tipo de cobertura vegetal son de vital importancia por su capacidad de almacenar agua, que será utilizada para consumo humano, riego, abrevadero de animales y actividades industriales (Hofstede, *et al.*, 2014). La actividad agropecuaria ha crecido en gran medida y junto con ello la erosión de los suelos es evidente, tomando en cuenta que se suman también las demás actividades desarrolladas por el ser humano. Todas las provincias del país han sido afectadas por problemas de presión y degradación potencial de los suelos de acuerdo con el grado o intensidad de intervención antrópica, tales como: confluencia de la expansión de la frontera agrícola, ganadería, deforestación, actividad petrolera y minera con sus efectos directos e indirectos sobre los recursos naturales, entre ellos, el suelo (GEO ECUADOR, 2008). Hay que recalcar que en el Ecuador existe el Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas CEPEIGE, como base de investigación edafológica que cuentan con mapas, información analítica, exposiciones de monolitos, videos, folletos, libros y artículos de investigación (Bautista, 2010).

La provincia de Imbabura fue declarada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO, como un geoparque mundial, lo cual potencia el turismo en el territorio desde un concepto de protección, educación y desarrollo sostenible, que involucra a las comunidades locales (Caiza, 2019). En este aspecto se encuentran inmersos los cantones de Urcuqui y Cotacachi, sin embargo, debido a las realidades locales de la población, dicho territorio enfrenta cambios de uso de suelo que afectan las zonas altas de las cuencas hidrográficas y consigo la zona media y baja de las mismas. La microcuenca del río Cari Yacu ocupa gran parte de los territorios de los dos cantones en la parroquia San Blas e Imantag respectivamente, cuya principal actividad económica es la agricultura, que en muchos casos se realiza en zonas no aptas con pendientes muy pronunciadas lo que ha ocasionado el deterioro de la microcuenca.

Se constata que el uso de la superficie de suelo en la microcuenca en estudio ha variado en los últimos 20 años, pues existe un incremento de las áreas de cultivo a la fecha, con aparición de espacios urbano. Sin embargo, no existen estudios de esta dinámica para la microcuenca, por tanto, es necesario conocer la magnitud y velocidad de los cambios de uso de suelo ocurrido, con el fin de proponer estrategias para su conservación.

1.2. Preguntas directrices de la investigación

¿Cuáles han sido los cambios multitemporales de uso del suelo, en la microcuenca del río Cari Yacu para un periodo de 9 años?

¿Cuáles serían las estrategias de conservación para el manejo del recurso suelo, en la microcuenca del río Cari Yacu con base al cambio de uso de suelo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Analizar los cambios de uso de suelo de la microcuenca del río Cari Yacu en el periodo 2010 - 2019, en las parroquias San Blas e Imantag, de los cantones Urcuqui y Cotacachi, para proponer estrategias de conservación.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los cambios multitemporales de uso del suelo mediante imágenes satelitales para un periodo de 9 años.
- Diseñar las estrategias de conservación para el manejo del recurso suelo, con base a la cobertura vegetal actual.

1.4. Justificación

El estudio es de carácter descriptivo a fin de lograr resultados en un futuro próximo y será un aporte a la investigación y conservación del recurso hídrico, siendo un recurso natural renovable vital para los seres vivos, del cual depende el ciclo hidrológico de la microcuenca del río Cari Yacu. Por tal razón, la investigación se enmarca en uno de los objetivos del Artículo 276 de la Constitución del Ecuador, Título VI sobre el Régimen de Desarrollo, Capítulo Primero de Principios generales, dentro del cual se establece:

“Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

La investigación contribuirá al Objetivo 6 del Desarrollo Sostenible propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, el cual hace referencia a “Garantizar la disponibilidad de agua, y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Además del Objetivo 15 el cual establece “Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad” (PNUD, 2019).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC (2010), señala que para los cantones Cotacachi y Urcuqui la agricultura, ganadería y silvicultura; son la base de la economía para sus habitantes, ya que la mayoría se dedica a estas actividades productivas. Es evidente entonces ante el gran dilema que se encuentra la sociedad entre conservar sus recursos naturales y/o producir alimentos y la relación entre el estado de la cobertura vegetal con la provisión del recurso agua, así nace la necesidad de identificar los cambios que ha tenido el uso del suelo y como ha impactado su deterioro en la provisión del recurso hídrico para generar una propuesta de estrategias de conservación para el manejo coherente de la microcuenca del río Cari Yacu de acuerdo a su realidad, teniendo presente que la principal actividad productiva de la zona es la agricultura, provocando su expansión a zonas de conservación.

La investigación será una contribución para el mejoramiento de la problemática actual, en cuanto a la adecuada planificación del uso y manejo del recurso suelo que contribuye a la conservación de la cobertura vegetal, en la microcuenca del río Cari Yacu como unidad de estudio (Gobiernos Autónomos Descentralizados GADs cantonales y parroquiales, productores y los habitantes de la microcuenca). Es imprescindible entonces conocer el cambio de uso del suelo siendo este la principal fuente de provisión de servicios ecosistémicos y de ingresos económicos para estos cantones.

También se apoyará al Objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 el cuál hace referencia a “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo SENPLADES, 2017). Por otra parte, el proyecto se encuentra en la línea de investigación biotecnología, energía y recursos naturales renovables establecida por la Universidad Técnica del Norte (2016).

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

En el mundo, los ecosistemas terrestres han sido fragmentados debido al constante cambio de uso del suelo generando la degradación de este importante recurso natural. Por tal razón, el ser humano enfrenta un gran problema ante la degradación de los recursos naturales, que ha ocasionado su acción, las cuencas hidrográficas no están exentas a esta realidad. La degeneración de estas unidades hidrográficas es a nivel mundial, nacional y regional, por lo que es considerada como una de las problemáticas ambientales más relevantes. En consecuencia, es importante el desarrollo de programas orientados al manejo y conservación de estas, a través del desarrollo de investigaciones sobre la gestión del recurso edáfico (Zavala, 2016). En México, se han llevado a cabo varias investigaciones sobre el cambio del uso del suelo debido al deterioro de este recurso natural. En el municipio de Valle de Santiago, Guanajuato (estado del centro de México), Pineda (2011) realizó un estudio sobre análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota con los Sistemas de Información Geográfica SIG para modelar y analizar los cambios del territorio

En Latinoamérica, referente a las cuencas hidrográficas como unidades de estudio, quienes toman decisiones en la administración de este espacio físico son los productores agrícolas, forestales y pecuarios que cuentan con costumbres ancestrales que son muy valiosas. Sin embargo, gran mayoría no siempre han contado con la suficiente información en cantidad y calidad, es decir, de una manera más técnica que les permita tener los elementos necesarios que requiere la ejecución racional de proyectos encaminados a la conservación de los recursos naturales, en los que se encuentran inmersos el suelo y el agua que son la base de la vida, a fin de asegurar que sus actividades sean sostenibles (Bautista, 2010). Por tal motivo es necesario que las investigaciones aborden programas o estrategias de conservación y protección de los recursos naturales que están siendo degradados en la actualidad, a fin de contrarrestar estos procesos.

Paula, Zambrano y Paula (2018) tomando como referencia la clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental, realizaron un estudio sobre el análisis multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del

cambio climático, con base a la problemática generada por las actividades antrópicas; donde se utilizó imágenes satelitales LANDSAT 5, LANDSAT 7, ortofotos y fotografías aéreas, a fin de realizar un análisis multitemporal a partir del año 1962 - 1966 hasta el año 2010. Para ello, se dividió en tres periodos: a) 1962-1966, b) 2000 y c) 2010-2011, a través del proceso de georreferenciación, corte, delimitación, clasificación supervisada y validación en campo de las imágenes, para categorizar la cobertura vegetal. Tomando en cuenta que existen imágenes que presentan menor o ninguna presencia de nubosidad y otras con alta nubosidad que tienen que ser complementadas con imágenes de otros años, además de datos climáticos (precipitación y temperatura) de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio.

En la provincia de Carchi e Imbabura, Alvear (2018) realizó un estudio multitemporal de cambio de uso del suelo, en la microcuenca del río Escudillas, mediante la generación de información en el área de estudio a través de un método cualitativo con entrevistas a los actores directos. Además, en el SIG se utilizó cartografía base del Instituto Geográfico Militar IGM del Ecuador a escala 1:250000 y 1:50000 para el levantamiento de la línea base procesados en el programa ArcMap 10.3. Las imágenes se evaluaron en una temporalidad de los últimos 20 años con diferentes niveles de cobertura espacial y grado de nubosidad, con el siguiente procedimiento: selección de la imagen satelital WSR2 – Path y Row, descarga de las imágenes, composición de las bandas, clasificación supervisada estableciendo las categorías de bosque, cuerpo de agua, páramo, agrosilvopastoril y sin cobertura vegetal.

También se realizó corrección geométrica, radiométrica y atmosférica para que las imágenes LANDSAT 7 y LANDSAT 8; fragmentación clip del área de estudio, análisis de cambios de uso del suelo desde el año 2001 hasta el 2017 a fin de conocer la tasa de transformación anual, para lo cual se validó los resultados con la utilización de una fotografía aérea (ortofoto) de alta resolución del año 2015 proporcionada por el Gobierno Provincial de Imbabura GPI, y; finalmente se determinó el coeficiente Kappa que permite medir la similitud entre dos clases, verificando la concordancia de esta con una clasificación visual en campo o con imágenes de alta resolución. Además de conocer el escurrimiento superficial mediante un análisis de datos de estaciones meteorológicas cercanas.

2.2. Referentes teóricos

2.2.1. Cuenca hidrográfica: su definición, función, estructura y elementos biofísicos que la conforman

El Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE y la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO por sus siglas en inglés, definen a la cuenca hidrográfica como "área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua". La considera como unidad fisiográfica donde los sistemas de los cursos de agua se encuentran definidos por el relieve. Los límites de la cuenca también son llamados parteaguas, divisoria de aguas, divisoria de drenaje o simplemente divisoria; formados de manera natural y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río, de este modo, existen hasta la actualidad algunas definiciones enmarcadas desde diferentes puntos de vista (MAE y FAO, 2014).

ABC Rural (2019) menciona que una cuenca hidrográfica es "un área de terreno que desagua en un arroyo, río, lago, pantano, bahía o en un acuífero subterráneo" Alimentada por las precipitaciones y escurrimientos, siendo afluentes de un río mayor o principal. Relacionándose directamente con las actividades del ser humano que generan efluentes de agua de escurrimiento proveniente de su hogar, jardín, vecindario y procesos industriales, entre otras. Por ello, los recursos naturales de la cuenca hidrográfica que este habitada debe llevar un manejo adecuado, a fin de mantener la salud y el bienestar de todos los seres vivos, logrando una sostenibilidad que asegure la calidad de vida de futuras generaciones. Mientras que para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT (2013) las cuencas hidrográficas desde un enfoque social "son territorios definidos naturalmente donde todos los procesos socio ecológicos están íntimamente ligados entre sí".

Para la investigación se adopta el concepto de las cuencas hidrográficas como unidades territoriales geográficas, delimitadas por divisorias de aguas. No son solo áreas de desagüe en la comunidad o los alrededores que se encuentran habitados; sino que también son de vital importancia para el equilibrio dinámico de ecosistemas tanto terrestres como acuáticos y son la base del desarrollo social. Se proporciona agua potable para la gente como recurso hídrico que es la base de la vida para la población, sin dejar de mencionar la belleza escénica que

generalmente poseen para el disfrute del ecoturismo que, a través de su potenciación, puede ser una fuente de ingresos a nivel local.

La SEMARNAT (2013) indica que la delimitación de las cuencas hidrográficas por la divisoria de aguas las define como, espacios territoriales donde se concentran todos los escurrimientos de agua que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, lo que establece si la cuenca es endorreica (forma un lago o laguna) o exorreica (aporta con sus aguas al mar). Su principal función es permitirnos entender espacialmente el ciclo hidrológico, así como la posibilidad de cuantificar e identificar los impactos producto de las actividades. Ahora no solo se generan flujos de agua superficial (alimentados directamente por precipitaciones y escurrimientos), sino también aguas subterráneas (recargados por las direcciones de flujos según su estrato geológico) que no siempre tienen los mismos límites. En función de esta dinámica se pueden reconocer tres zonas funcionales distintas al interior de una cuenca:

- a) Cuenca alta, zona de captación o cabecera ubicada cerca a la divisoria de aguas, donde se forman los primeros escurrimientos como nacimientos de aguas y arroyos, una vez que los suelos han absorbido y retenido toda el agua según su capacidad.
- b) Cuenca media, zona de almacenamiento o de transición, el nombre indica que se encuentra entre la cuenca alta y baja, donde los escurrimientos iniciales forman una red que confluye a diferentes caudales. Las actividades antrópicas ya se evidencian en esta zona por lo que es un área de erosión y transporte de concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica; los cuales diferirán en función de las actividades que se realizan en cada subcuenca.
- c) Cuenca baja, zona de descarga o emisión donde se ha formado el río principal por las aportaciones de los diferentes afluentes y desemboca en el mar o bien en un lago. Las actividades antrópicas se desarrollan netamente en esta área acumulándose los impactos de toda la cuenca, caracteriza por ser poseer buena productividad agrícola e importantes ecosistemas, como los humedales terrestres y costeros.

2.2.2. Manejo de cuencas hidrográficas: sostenibilidad y sus dimensiones

El manejo de cuencas hidrográficas tiene una estrecha relación con la gravedad, ¿Por qué la gravedad? Hay que tomar en cuenta que las cuencas escurren el agua mediante afluentes que

confluyen a un mismo punto común, y; todo esto se da en sentido de la gravedad, que hace correr el agua de la lluvia mediante un flujo continuo de velocidad y fuerza, directamente proporcional a la gradiente de las laderas. En este contexto, las rocas, el suelo, la cobertura vegetal y las obras construidas por el hombre también son factores que inciden en la corriente de agua que puede derivar una parte de esta hacia el subsuelo. Es así, que la fuerza gravitatoria permite que la precipitación de zonas altas se distribuya en las montañas hacia las zonas medias y bajas, donde se crean y renuevan los recursos de agua superficiales y subterráneos, favoreciendo la irrigación de las plantas, satisfaciendo de forma natural la sed de los animales, enriqueciendo los suelos de minerales y sedimentos orgánicos, junto con el transporte de materia biológica como las semillas. Este proceso se conoce como “la gravedad da un gran dinamismo y entropía a los ecosistemas de las cuencas hidrográficas” (FAO, 2007).

Hace tiempo se hablaba de las cuencas hidrográficas como un espacio de planificación, es hasta después de la segunda guerra mundial que se considera como un elemento de desarrollo a nivel local. En los años 70, debido a los problemas generados por las actividades antrópicas se generó un enfoque de desarrollo integrado lo que obligó a poner más atención a las consecuencias sociales y económicas del manejo de cuencas, que anteriormente eran desapercibidas denominándose una gestión integrada de cuencas hidrográficas. Para este efecto, no solo se incluye el manejo, sino que también los procesos y acciones necesarios para lograr los recursos humanos, económicos, logísticos y administrativos requeridos para que éste sea sostenible en el tiempo (MAE y FAO, 2014).

La sostenibilidad de las cuencas hidrográficas va de la mano con la tecnología adecuada que potencie la producción en estas unidades geográficas, considerando la energía, producción forestal, recursos genéticos, cantidad, calidad y control del agua, y; en el desarrollo de agroecosistemas. Lo que conlleva a bordar en todos sus ámbitos las cuatro dimensiones de la sostenibilidad como beneficios ambientales, económicos, políticos y sociales derivados del manejo y desarrollo de las cuencas (ABC Rural, 2019). Dichas dimensiones deben ir de la mano porque se fortalecen entre sí, logrando a largo plazo definir estrategias que conlleven un mundo socialmente justo, ambientalmente amigable, económicamente rentable y políticamente justo.

Así mismo, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SMARN de México (2018) menciona que, para lograr un desarrollo sostenible en cuencas hidrográficas es

necesario analizar los costos y beneficios generados en la toma de decisiones de planificación o manejo, donde los habitantes que se encuentren inmersos dentro del territorio y sean beneficiarios de los recursos naturales, deben hacerse corresponsables de preservar la sostenibilidad. Tomando en cuenta que la satisfacción de las necesidades humanas es una constante toma de decisiones debido a que históricamente el planeta dispone de recursos limitados. Al momento de resolver la problemática ambiental junto con la economía, es de vital importancia estar claros de cómo y para quién producir bienes, debido a que es aquí donde se genera un impacto directo e indirecto en la calidad y cantidad de recursos naturales, con relación a los servicios ecosistémicos que las cuencas proporcionan a la sociedad, a corto y largo plazo.

2.2.3. Impactos ambientales en las cuencas hidrográficas

Los impactos ambientales que se encuentran inmersos en las cuencas hidrográficas han ocasionado su degradación, donde el aumento de la población ha ejercido una gran presión sobre los recursos naturales del mundo; influyendo directamente en la reducción de la cobertura vegetal resultado de la deforestación y cambio de uso del suelo. Igualmente, la disminución de la cantidad y calidad del agua por el deterioro y contaminación de las fuentes hídricas, erosión y desertificación del suelo, pérdida de la biodiversidad por el avance de la frontera agrícola, todo esto generado por la aplicación de prácticas inadecuadas o insostenibles de producción que amenazan el equilibrio dinámico ecosistémico de los ecosistemas, considerados como estratégicos por su gran importancia, tales como: páramos y bosques nativos, que abastecen de agua para el consumo humano y riego que genera dinamismo socio territorial (MAE y FAO, 2014).

Según los autores anteriormente citados, se ha evidenciado mayor deterioro de los recursos naturales en los años 70 debido a los problemas generados por las actividades antrópicas resultado del aumento de la población humana. Los impactos que se pueden apreciar son la erosión de los suelos, desequilibrio en épocas estacionales por el cambio climático, saturación de los suelos y las inundaciones en las tierras bajas de las cuencas hidrográficas. Estas afectaciones alteran el ciclo del agua que de igual manera degrada al recurso hídrico que puede ser aprovechado por los habitantes a nivel territorial de una manera responsable.

En este contexto, la deforestación por el desarrollo de prácticas agrícolas inadecuadas en pendientes preponderadas o las laderas, junto con el exceso de pastoreo, han provocado el incremento de los escurrimientos debido a que el suelo producto de la erosión pierde sus propiedades físicas como permeabilidad y capacidad de retención de agua, entre otras. Así, es casi imposible la reposición de las fuentes hídricas provenientes de las montañas careciendo de la capacidad para soportar lluvias torrenciales. Estos aspectos han sido generados en mayor rango en cuencas hidrográficas mal administradas, debido a que las corrientes de agua también son muy buenos vectores para la contaminación biológica y química industrial (FAO, 2007).

2.2.4. Microcuenca: su definición y manejo

Las cuencas hidrográficas aparte de ser unidades geográficas funcionales, estar delimitadas por la divisoria de aguas y formar puntos de salida, se encuentran estructuradas jerárquicamente. Es así como pueden subdividirse en subcuencas con varios tributarios o afluentes de orden 3, microcuencas con tributarios de orden 1 y 2, y; nanocuencas con un solo tributario de orden 1. Dichos órdenes se encuentran establecidos para designar las corrientes de un río. Cada una de estas categorías cuenta con una estructura similar a las cuencas hidrográficas (zona alta, media y baja), encontrándose delimitadas también por parteaguas, donde se concentran los escurrimientos que desembocan en el curso principal del río. Sin embargo, es importante reconocer que su funcionamiento no es el mismo en toda su extensión (SEMARNAT, 2013).

En relación con esto, las categorías se pueden apreciar tomando en cuenta que al interior de cada subcuenca se ubican las microcuencas, y por consiguiente al interior de las microcuencas se encuentran las nanocuencas cuyos límites pueden incluir o no límites administrativos. También, la elección de los niveles jerárquicos se puede establecer de acuerdo con la planificación a nivel local dependiendo de los objetivos o problemas que se busquen resolver y de los alcances del manejo y gestión en áreas urbanas o rurales. A nivel de gestión se habla de microcuenca como la unidad básica de atención de proyectos económicos, de conservación de suelo y agua, además del desarrollo comunitario. A fin de atender y entender la problemática, junto con las demandas y objetivos comunitarios que conlleven a conciliar las decisiones de sus habitantes (Dourojeanni, 2005).

El Ecuador contempla la clasificación de cuencas hidrográficas de acuerdo con su superficie (Aguirre, 2007):

- Sistema hidrográfico (> 300 000 ha)
- Cuenca (100 000 - 300 000 ha)
- Subcuenca (15 000 - 100 000 ha)
- Microcuenca (4000 - 15 000 ha)
- Minicuenca o Quebrada (< 4000 ha)

2.2.5. El suelo: su definición y composición

El suelo es la capa superficial compuesta de material fértil que recubre la superficie de la Tierra, situada en el límite entre la atmósfera y la zona continental de la corteza terrestre formando un sistema abierto (Alvarez y Mora, 2017). Esta interacción permite proporcionar las condiciones básicas para que los seres vivos se desarrollen, constituyéndose, así como el soporte de la vida sobre los continentes del planeta. Dicho recurso natural, es la base del estudio de la Edafología, que define al suelo como "ente natural organizado e independiente, con unos constituyentes, propiedades y génesis que son el resultado de la actuación de una serie de factores activos (clima, organismos, relieve y tiempo) sobre un material pasivo (la roca madre)" (Jordán, 2005). Su definición con el pasar del tiempo conforme a los avances del conocimiento, ha ido modificándose y se han adoptado varios conceptos.

Es así, que para Pineda (2011) es el soporte de la vida en gran mayoría que constituye el medio natural e indispensable para que se desarrollan las raíces de las plantas. El Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA (2015) afirma que el suelo es la capa superficial de la tierra que constituye el medio en el cual crecen las plantas, a través del almacenamiento de agua, oxígeno y aporte de nutrientes necesarios para su crecimiento. De este modo, Jordán (2005) considera al suelo como un subsistema de ecosistemas terrestres, formado por la intersección de atmósfera, litosfera e hidrosfera dentro de la biosfera. Para esta investigación se adopta el concepto del suelo como un recurso natural renovable siempre y cuando el ser humano realice prácticas sostenibles a fin de mantener esta capa fértil superficial de la corteza

terrestre, que conforma un sistema abierto y una dinámica compleja como sustento de la vida del planeta tierra.

El suelo a simple vista se extiende en superficie, pero también en profundidad encontrándose compuesto por varias capas llamadas horizontes que en su conjunto se denomina perfil que puede ser apreciado en una barranca, derrumbes y cortes para carretas o caminos, entre otros. Cada horizonte se encuentra dispuesto en forma paralela a la superficie. Sin embargo, las propiedades físicas y químicas reflejan el aspecto de cada horizonte debido a que difieren de acuerdo con las condiciones biofísicas de donde se encuentren (*op.cit.*).

En este contexto la Fundación Hogares Juveniles Campesinos FHJC (2002) y Jordán (2005) menciona que la composición del suelo consta de:

- a) Mantillo o horizonte O es la capa arable de materia orgánica superficial más oscura y fértil con mayor número de raíces, donde los residuos vegetales, animales y minerales que se encuentran en descomposición contienen un alto grado de humedad que evita el riesgo de erosión.
- b) Horizonte A se encuentra debajo del mantillo y está definido como la capa más arcillosa y menos fértil que la materia orgánica, donde ocurre mayor actividad biológica para que siga el proceso de descomposición y el máximo lavado de nutrientes generalmente representada por colores oscuros que en ocasiones se tornan rojizos a grises u otros. Es muy importante debido a que aquí las plantas desarrollan la mayor parte de su sistema radicular y es el más fértil con relación a los demás horizontes inferiores, además los poros de aire y agua se encuentran bien formados para coadyuvar al crecimiento de los vegetales.
- c) Horizonte B donde ocurre la máxima acumulación de materiales lavados de la capa superior, la humedad y fertilidad es menor y el color tiende a ser menos oscuro representado por varios colores especialmente rojizo dependiendo de la composición del suelo. Aquí existe menor actividad biológica y no hay circulación de aire, por lo que solo algunas plantas logran penetrar sus raíces hasta este horizonte. Si un suelo esta erosionado, queda expuesto este horizonte con presencia de piedras de tamaño regular.
- d) Horizonte C establecido por el material meteorizado compuesto por piedras de diferente tamaño encontrándose debajo del horizonte B. Su fertilidad es muy baja debido a que en gran mayoría está compuesto por algunos minerales de explotación.

- e) Horizonte D o Roca madre compuesto meramente por roca, siendo el origen del suelo, de ahí su nombre.

El suelo según su composición se divide en suelos orgánicos o también llamados húmicos o mantillosos, caracterizados por una permanente descomposición de la materia orgánica compuestos por un 95% de esta y 5% entre agua y aire. Mientras que los suelos inorgánicos o minerales que cubren la mayor parte de los suelos del planeta; con base a la granulometría se destacan estas tres dimensiones de partículas agrupadas en tres fracciones: arena, limo y arcilla a través de las cuales se puede definir la textura del suelo. La constitución ideal, en proporciones, pueden estar constituidos por 45% de materia mineral, 5% de materia orgánica, 25% de agua y 25% de aire; estos porcentajes son variantes de acuerdo con el clima, presencia de cobertura vegetal, uso del suelo y el material parental (FHJC, 2002).

La materia orgánica se forma con la incorporación de restos animales y vegetales que a través de un proceso de descomposición por los micro y macroorganismos que viven en el suelo se liberan nutrientes asimilables para las plantas. También hay que recalcar que los poros formados en los sólidos del suelo (materia orgánica y minerales), contienen microporos que son ocupados de forma variable por agua que constituye iones disueltos que son nutrientes esenciales, otros iones no esenciales, moléculas y partículas en suspensión, todo ello entendido como la solución del suelo, necesaria para la nutrición de las plantas en los poros más pequeños, mientras que los poros más grandes se encuentran ocupados por aire vital para que respiren las raíces y microfauna que habitan en el suelo (INIA, 2015 y FHJC, 2002).

2.2.6. Cambio de uso del suelo: impactos ambientales

A nivel mundial, el cambio de uso del suelo se encuentra influido por varios factores, tales como: económicos, demográficos, ambientales y socioculturales; que al presentarse de manera conjunta pueden inducir un gran deterioro ambiental y pérdida de la diversidad biológica (López, Balderas, Chávez, Pérez y Gutiérrez, 2014). Desde tiempos remotos, el desarrollo socio económico de los seres humanos, han generado la expansión y extensión de actividades agropecuarias y expansión demográfica, que han provocado impactos negativos en el ambiente, afectando la biodiversidad y el provisionamiento de los servicios ecosistémicos; lo que contribuye al calentamiento global (Sahagún y Reyes, 2018).

Bautista, Etchevers, Castillo y Gutiérrez (2004) refieren que la búsqueda de satisfacer las necesidades humanas ha provocado que el suelo no haya recibido la atención que se merece, a pesar de ser la base para la vida. Por consiguiente, el cambio de uso de suelo que fomenta su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad. Según la FAO (2019), los suelos sufren una presión constante por la intensificación y cambio de su uso para actividades antrópicas, tales como: agricultura, silvicultura, pastoreo y urbanización. Por tal razón, el mal uso del suelo provoca que la soberanía alimentaria de los países se encuentre en riesgo, estimándose que no se alcanzará la meta de acabar con el hambre en 2030.

La FAO (2015) refiere que el cambio de cobertura vegetal donde se reemplaza bosques primarios y secundarios por agricultura o asentamientos humanos provocados por el acelerado crecimiento demográfico, torna a ser el principal impacto ambiental que conlleva a las ciudades a expandirse causando contaminación y generación de residuos provocando la aceleración del cambio climático, junto con las prácticas de manejo del suelo insostenibles que provocan la pérdida de carbono orgánico, erosión, acidificación, contaminación, compactación, desequilibrio de nutrientes, salinización y pérdida de biodiversidad en el suelo. Además de la reducción de servicios ecosistémicos e incrementando la migración, pobreza e inseguridad social, alimentaria y nutricional. Por otro lado, también se encuentra la escasez del agua, debido a que un suelo erosionado pierde la capacidad de retención de agua.

Desde la escala geológica, el suelo es un recurso natural renovable, mientras que en edafología se aborda más como no renovable, dada la relatividad del tiempo de vida del hombre y a los grandes impactos ambientales que se han generado en los últimos años. Pineda (2011) indica que todos los suelos sufren procesos de erosión hídrica provocada por la escorrentía superficial resultado de la precipitación en suelos desnudos o deforestados. A nivel mundial se pierden entre cinco y siete millones de hectáreas de tierras aptas para la agricultura, resultado de la erosión eólica producida por el viento que según la FAO (2007) es provocada por el laboreo excesivo e inadecuado del suelo.

Encina e Ibarra (2018) refieren que las modificaciones provocadas en el suelo por las actividades antrópicas afectan en gran medida la calidad de vida de los seres humanos a largo plazo; donde la agricultura es considerada como una de las principales causantes de este cambio. Galicia, García, Gómez y Ramírez (2007) señalan que los cambios de uso del suelo generalmente no son controlados, pero si se cuenta con las tasas de deforestación

transcendentales, lo que permite proponer y establecer estrategias para planificar acciones que conlleven a la conservación y restauración de los recursos naturales.

La biodiversidad se encuentra en constante amenaza, donde se han perdido bosques primarios y secundarios como consecuencia del cambio de uso del suelo a fin de llevar a cabo acciones que en la actualidad ocupan mayor satisfacción social (Trucíos, Rivera, Delgado, Estrada y Cerano, 2013). Esto ha provocado una afectación al equilibrio dinámico ecosistémico ambiental, exponiendo a los animales y plantas a perder su vida (Camacho, Pérez, Pineda, Cadena, Bravo y Sánchez, 2015).

2.2.7. Manejo del suelo en cuencas hidrográficas

Los seres humanos somos los principales actores en cuanto al desarrollo de actividades que degradan al suelo, por lo que la planificación de las cuencas hidrográficas para conservar o manejar a nivel general los recursos naturales es responsabilidad de todos, buscando un equilibrio entre la explotación y las estrategias de conservación tanto en el área rural como urbana. El adecuado manejo del recurso edáfico, a partir del desarrollo de la agricultura sostenible y en la toma de decisiones de políticas de uso del suelo; permiten generar indicadores de calidad basados en sus constantes cambios y funcionalidad, considerando las propiedades físicas y químicas que son variantes en un periodo de tiempo relativamente corto (Bautista *et al.*, 2004).

Es así como el suelo, dentro de una cuenca hidrográfica como unidad de estudio es más manejable, debido a que, en territorios definidos por las divisorias de agua, se puede realizar investigaciones a través de diversas técnicas con el fin de diseñar e implementar una mejora continua para contrarrestar los efectos negativos resultado de actividades antrópicas que provocan su degradación. La acción del ser humano combinada con los fenómenos climáticos extremos, causan su deterioro. Por lo tanto, la conservación y el manejo sostenible del suelo se han convertido en esenciales para revertir la tendencia de este impacto, garantizando la seguridad alimentaria y un futuro sostenible para el ser humano (FAO, 2019).

El manejo en cuanto al uso del suelo en las cuencas hidrográficas se encuentra establecido sobre la base de zonificaciones enmarcados en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDyOT, realizados por los GADs provinciales, municipales y parroquiales que, según el interés a nivel territorial, establecen zonas de planificación con base a las

características geográficas, funcionales y potenciales; junto con la interacción de las áreas ambientales con las agroproductivas, que conlleven prácticas de producción sustentable y sus sistemas de poblamiento e infraestructura. Es decir, definiendo el uso que tiene el suelo en la actualidad y para el que potencialmente es apto de acuerdo con las unidades ambientales definidas (GPI, 2013).

Las cuencas hidrográficas son reguladoras del ciclo hidrológico, debido al balance hidrológico y a la tasa de erosión que depende de la lluvia y la capacidad del suelo para almacenar agua (Guzmán, 2015). En este sentido, es importante manejar el suelo dentro de una cuenca hidrográfica como unidad de estudio, siendo la base para la vida, debido a que sostiene gran parte del proceso biológico que genera un ecosistema o biotopo, capaz de generar las condiciones necesarias para el desarrollo de los seres vivos.

2.2.8. Cobertura vegetal: su definición, importancia, impactos y manejo en cuencas hidrográficas

Para Martínez, Montoya, Calderón y Camacho (2019), la cobertura vegetal puede ser conceptualizada como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, constituyendo biomásas con características fisonómicas y ambientales diferentes, que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También existen las coberturas vegetales introducidas por el ser humano para satisfacer sus necesidades, tal es el caso del desarrollo de la agricultura con una gran dinamización de técnicas. En este contexto, su importancia radica en que las plantas absorben dióxido de carbono y devuelven oxígeno purificado que hace posible la vida para los seres aerobios, así como también de reciclar nutrientes, asimilar nitrógeno, azufres y fósforos que están presentes en la atmósfera. Otro aspecto relevante es que son la base de la vida formando parte de la cadena trófica como productores primarios, para transferencia de energía o sustancias nutritivas a otros seres vivos, además de proveer de materiales industriales, plantas medicinales, fibras y resinas al ser humano.

Si se habla netamente de bosques, desde un enfoque de funcionalidad e importancia se puede recalcar que juegan un papel relevante en: a) la conservación del ambiente, debido a que regulan las corrientes de agua contribuyendo en los procesos de regulación del ciclo hidrológico; b) modera el clima a nivel mundial, nacional y local; c) previenen la erosión de

los suelos beneficiando su conservación; y, d) albergan numerosas especies de flora y fauna. Para este estudio se define a la cobertura vegetal como la capa superficial que cubre el suelo, presentándose como formaciones vegetales de manera natural y cultivos introducidos por el ser humano, y; forma parte de la base de la vida al igual que el suelo, el agua y el aire; debido a las funciones que desempeña dentro de los biotopos del planeta tierra (*op.cit.*).

En el mundo, la presencia de las plantas es clave para el ciclo hidrológico debido a que forma parte de este proceso. A partir de la interacción de elementos que contribuyen al clima de las regiones, almacenamiento de agua constituyéndose como uno de los reservorios naturales, evapotranspiración y condensación del punto de rocío, balance de radiación y energético, junto con la dinámica de los vientos. La cobertura vegetal dentro de la naturaleza, forma ecosistemas complejos y frágiles, mismos que han sido afectados por la acción del ser humano al modificar el uso de suelo por el desarrollo de grandes ciudades, expansión de la frontera agrícola, la tala indiscriminada de árboles, lo que altera el ciclo hidrológico y las crecidas en épocas del fenómeno de El Niño (Jiménez, Mena y Won, 2011). Por lo que el estado de la vegetación y sus cambios dentro las cuencas pueden ser un indicativo palpable de la salud de sus ecosistemas.

Los avances tecnológicos han generado el desarrollo agroindustrial y las ciudades que han provocado la ruptura entre hombre y naturaleza, degradando a través del tiempo la cobertura vegetal debido al cambio de uso del suelo o remoción de la capa vegetal, por el aumento descontrolado de la población y de infraestructura sin considerar su gran importancia como el factor más necesario para evitar la erosión del suelo; eh ahí su papel dentro de las cuencas hidrográficas (Iñiguez y Ochoa, 2015). Es así, que para garantizar la disponibilidad de los bienes y servicios ambientales que proporcionan las formaciones vegetales naturales, es vital tomar conciencia sobre la necesidad de establecer estrategias o propuestas como instrumentos que permitan evaluar y vigilar la sostenibilidad de su conservación (Herrera, 2007). Para el manejo de la cobertura vegetal en la actualidad el ser humano realiza actividades de forestación (sembrar donde no hubo árboles) y reforestación (sembrar donde hubo árboles) y de manera natural se da la regeneración natural (Jiménez, Mena y Won, 2011).

2.2.9. El agua como recurso hídrico y su manejo en cuencas hidrográficas

En la naturaleza se puede encontrar elementos naturales que al ser aprovechados por el ser humano se convierten en recursos naturales. Es así, que al comienzo del desarrollo agrícola se han implementado varias maneras de manipular el agua, conforme al drenaje al que pertenece, utilizando las pendientes como beneficio (MAE y FAO, 2014). El agua que corre como afluentes dentro de las cuencas hidrográficas o sus niveles jerárquicos se ha convertido en un recurso hídrico debido a que se han realizado captaciones para suministrar agua potable a la población y riego con fines agrícolas; junto con la utilización del agua en las hidroeléctricas, abastecimientos de acueductos, y; cuidado de animales, entre otros (Guzmán, 2015).

Dourojeanni (2005) menciona que el recurso hídrico debe conllevar una gestión integral que garantice su conservación y sostenibilidad, a fin de que siga siendo considerado como un recurso natural renovable. Para ello, se debe tomar en cuenta el ordenamiento del uso de las cuencas hidrográficas como una planificación responsable, logrando equidad en la asignación del agua y disposición de un sistema coordinado que no necesariamente debe ser liderada por instituciones de reconocimiento, sino más bien la gente a nivel local con organización lo podría hacer; debido a que las personas que viven la realidad de sus necesidades valoran y trabajan para su satisfacción asegurando el bienestar para las nuevas generaciones.

En el mundo, el acceso al agua de calidad como recurso hídrico cada vez es más limitado, la FAO (2007) señala que, si no existe una administración sostenible de cuencas hidrográficas, el agua estará bajo una creciente amenaza. En efecto, se crea la necesidad de establecer lineamientos que conlleven el manejo de este líquido vital a fin de contrarrestar su deterioro, considerando que el suministro de agua dulce para la humanidad desde el funcionamiento de la ecología de las cuencas es de gran importancia, siendo imprescindible que la población asentada en las zonas medias y bajas tengan la capacidad de regular la conservación sostenible del agua proveniente desde las tierras o zonas altas (Dourojeanni, 2005).

2.2.10. Imágenes satelitales: su definición y utilidad

Las imágenes satelitales fueron creadas para usos militares durante la guerra fría entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, presentando volúmenes de información valiosos generalmente a bajo costo. En la actualidad, se puede disfrutar y aprovechar de este producto a través de los SIG para una gran variedad de aplicaciones, tales como: catastros de municipios, desarrollo y planificación a nivel territorial según el uso del suelo y servicios básicos, vías, disponibilidad de recursos naturales renovables y no renovables, geografía empresarial (negocios), junto con asuntos militares como planeación y monitoreo, entre otras; investigaciones ambientales y planos de inundación que podrían prevenir desastres naturales, es decir un sinnúmero de aplicaciones que en algunos casos aún están siendo definidas (LANDinfo, 2018).

Para Molas y Ghironi (2012) las imágenes satelitales empezaron a utilizarse en forma regular en la década de 1970 para usos civiles, con el programa Landsat gestionado por la NASA y el US Geological Survey, teniendo como misiones satelitales la observación de la tierra, de los cuáles existen dos en órbita y planes para otros a futuro; la adquisición de imágenes de todo el planeta en forma sistemática es gracias a este sistema, donde los recursos naturales pueden ser monitoreados con base a las actividades antrópicas que se desarrollan en territorio, especialmente la agricultura como una de las actividades que a nivel mundial genera una gran presión a los ecosistemas.

Basterra (2010) menciona que de forma específica existen satélites para el análisis de los recursos naturales, tales como los sensores: Landsat 5, Landsat 7, SAC-C, Spot, Rapideye y Quickbird. Los nuevos satélites comerciales ofrecen características mejoradas como resolución, precisión posicional y tiempo de entrega revolucionaria, lo que diversifica sus aplicaciones. La información que proveen estas imágenes es muy valiosa y generalmente se encuentran a bajo costo e incluso de forma gratuita con un tiempo de entrega corto, siendo complementos para la fotografía aérea convencional. Para el presente estudio se utilizó la información del satélite Rapideye, presentando sus principales características en la Tabla 1 (BlackBridge, 2013).

Tabla 1.
Características del satélite Rapideye

CARACTERÍSTICAS DE LA MISIÓN		INFORMACIÓN
Número de satélites		5
Vida estimada		más de 7 años
Altitud de órbita		630 km Heliosincrónica
Hora de cruce ecuatorial		11:00 am hora local aproximadamente
Tipo de sensor		Push broom multiespectral
Tamaño nominal del píxel (NADIR)		6.5 m
Tamaño de píxel (Ortorectificado)		5 m
Ancho de barrido		77 km
Período de revista		1 día (off-NADIR) / 5.5 días (en NADIR)
Capacidad de captura de imágenes		5 millones de Km ² por día
BANDAS ESPECTRALES	NOMBRE	RANGO ESPECTRAL (nm)
	AZUL	440-510
	VERDE	520-590
	ROJO	630-790
	RED-EDGE	690-790
	NIR	760-850

Nota: Tomado de BlackBridge (2013).

El sensor Rapideye entrega imágenes satelitales de alta resolución espacial y temporal, característica importante para el monitoreo de actividades agrícolas, forestales, ambientales, etc., a escalas locales, regionales y globales, proporcionando valiosa información para medir el impacto de las actividades humanas en el ambiente (*op.cit.*).

2.2.11. Sistemas de Información Geográfica

Los SIG, es la suma de componentes como: hardware, software, datos, talento humano y métodos, aplicados a la obtención, manipulación y análisis de información verídica de una situación en un contexto geográfico (Rosero, 2018). Los SIG interpretan información basadas en coordenadas geográficas que permiten ubicar los datos en el espacio, por ejemplo, el análisis de una imagen satelital para crear una capa temática de cobertura de suelo, delimitación de un bosque, etc., que pueden ser verificadas luego en campo (Bermúdez, 2015).

La aplicación de los SIG en sus diversos campos tiene un conjunto de productos de software con el nombre de ArcGis, es un programa computarizado que permite el uso de información geográfica para su visualización, manipulación y gestión, que cuenta con varias herramientas de geoprosesos, geoestadísticas, etc., de fácil manejo (Cure, 2012). Con su uso se pueden crear mapas de diferentes temáticas y en diferentes formatos (Puerta, Rengifo y Bravo, 2011).

2.2.13. Teledetección

Es la detección a distancia de información que se produce en la superficie de la tierra o un fenómeno específico, a través del uso de un sensor ubicados en satélites, drones o sondas artificiales, que capturan la energía electromagnética que emiten los objetos, los cuales tienen una firma espectral única que los diferencia unos de otros (Araya, 2009).

2.2.14. Análisis multitemporal

Es el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de los ecosistemas interpretados en dos o más imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas (Bermúdez, 2015).

2.2.15. Métodos de análisis multitemporal

a) Clasificación No Supervisada

Según Alonso (2006), la clasificación no supervisada carece de establecer alguna clase, aunque es necesario determinar el número de clases que se quiere definir, y se utilizan algoritmos matemáticos de clasificación automática, los más comunes son los algoritmos de clustering que divide el espacio de las variables en una serie de regiones de manera que se minimice la variabilidad interna de los píxeles incluidos en cada región. Cada región de este espacio de variables define de este modo una clase espectral. En la clasificación no supervisada obtenemos los datos más rápidamente que con la supervisada.

b) Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento. Se trata de áreas de las que se conoce a priori la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases. Se denominan clases informacionales. Estas deben ser áreas lo más homogéneas posibles y en las que sepamos lo que había el día que se tomó la imagen. Por ello esta operación se realiza el mismo día en el que el satélite toma la imagen y luego se compra esta. Otra posibilidad es utilizar fotografía aérea o información de otro tipo (Universidad de Murcia, 2015).

c) Análisis de Componentes Principales de Cobertura Vegetal

El Análisis de Componentes Principales ACP permite sintetizar un conjunto de bandas en otro más reducido, sin perder gran parte de la información original. En el caso de aplicaciones multitemporales, se utiliza esta técnica de un modo particular. Se genera, en primer lugar, un archivo multitemporal con las bandas correspondientes a las dos fechas, sobre el que se aplica el ACP. En este caso, los primeros componentes resultantes del análisis no son los más interesantes, ya que estos recogerán la información común a las dos fechas (estable). Por su parte, los componentes inferiores ofrecen la información no común (cambios), que es precisamente lo que más interesa en esta técnica (Riaño, 2002).

d) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) por sus siglas en inglés

Meneses (2011) señala que el NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres. Aplicando a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo. El NDVI es un índice no dimensional, sus valores van de -1 a +1. En la práctica, los valores que están por debajo de 0,1 corresponden a los cuerpos de agua y la tierra desnuda, mientras que los valores más altos son indicadores

de la actividad fotosintética de las zonas de matorral, el bosque templado, la selva y la actividad agrícola, para la obtención de este índice se utiliza la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \longrightarrow NDVI = \frac{(Banda\ 5-Banda\ 3)}{(Banda\ 5+Banda\ 3)}$$

e) Detección de Cambios

Una vez que la imagen ha sido geométrica y radiométricamente corregida se obtiene la imagen de cambios restando está a la de referencia, y tomando el valor absoluto de los valores restantes (Arévalo, 2001). Según Rosero (2016) la evaluación en la detección de cambios de uso del suelo se ha empleado las siguientes técnicas:

- Composición multitemporal

Esta técnica se basa en comparar visualmente los tonos de gris o de color que ofrecen las imágenes Landsat sean pancromáticas (blanco y negro) o multiespectrales (color) de diferente periodo, para diferenciarles es común de usar tonos rojos para la primera fecha y el color verde a la segunda.

- Diferencia entre Imágenes

Consiste en una simple resta entre las imágenes de dos fechas, permitiendo discriminar aquellas zonas que han experimentado cambios entre esas respectivas fechas. Las zonas estables (sin cambios) presentarán un valor cercano a cero, mientras que las que hayan sufrido cambios en su cobertura mostraran valores diferentes a cero, es decir, positivo si existe la ganancia de cobertura vegetal y negativo por la pérdida de cobertura vegetal. Los resultados serán guardados en la nueva imagen. El NDVI se obtendrá de la resta de las bandas con el objeto de discriminar las zonas estables de las zonas dinámicas.

- Estimaciones de los Cambios de Cobertura Vegetal (Regresión)

Las estimaciones se realizan a través de estimadores de regresión para estimar un parámetro de interés a partir de otro que este asociado a este. Esa asociación se mide a partir de observaciones comunes a ambas variables o parámetros, a partir de los cuales se ajusta una función que las relaciona numéricamente.

Existen técnicas conocidas como regresión para estimar en una segunda fecha los NDVI de la imagen, suponiendo de que no se evidenció cambios entre la primera y segunda fecha. Es importante considerar que la segunda fecha viene en función de la primera, y que la desviación en su totalidad con base a esta función podría estimar si se está representando algún cambio. Mientras que, si existió cambios entre las imágenes, los NDVI reales de la segunda fecha mostraran calores alejados de los estimadores por la técnica de regresión, es decir, presentarían residuales (Rosero, 2016).

2.2.16. Validación de la clasificación de imágenes satelitales

Realizar la validación de la clasificación es importante para comprobar que los resultados obtenidos estén apegados a la realidad del área en estudio. La misma puede realizarse a través de muestras de campo, georreferenciadas o mediante el uso de imágenes satelitales u ortofotos de alta resolución, que sirven para comparar y comprobar los resultados. El muestreo puede ser aleatorio o sistemático y su tamaño dependerá de la clase que se desea evaluar y el área de esta, que mientras más grande sea la muestra la validación será más precisa (Alzate y Sánchez, 2018).

2.2.17. Matriz de confusión

Es un método para evaluar la calidad de la predicción del modelo de clasificación mediante una comparación entre las clases creadas por el clasificador y las clases observadas en campo o en la imagen de alta resolución. Los datos que concuerdan entre las dos clases analizadas se colocan en una diagonal y los datos marginales son los que no concuerdan entre sí que se ubican fuera de la diagonal (Guzmán, 2014).

Las medidas de precisión de la matriz son:

- Exactitud del usuario: datos clasificados correctamente es igual al número de coincidencias sobre el total.
- Error de comisión: datos que muestran la probabilidad de que el usuario encuentre información errónea, es igual a uno menos la exactitud del usuario.
- Exactitud del productor: datos que indican el porcentaje de la clase correctamente clasificada, es igual al número de coincidencias sobre el total.
- Error de omisión: datos que indican el porcentaje de los atributos del terreno incorrectamente clasificados, es igual a uno menos la exactitud del productor.

2.2.18. Coeficiente de Kappa

Medida estadística que evalúa la similitud o concordancia entre dos clasificaciones de imágenes, una creada mediante un programa y la otra mediante la visualización o muestras de campo (Alzate y Sánchez, 2018).

2.3. Estrategias de conservación para el manejo del recurso suelo, con base a la cobertura vegetal actual.

A lo largo del sistema de drenaje o red hidrográfica de las cuencas hidrográficas, es de vital importancia que los seres humanos contrarrestemos los impactos ambientales negativos o externalidades generados a nivel local, a fin de mejorar la calidad y cantidad del agua, capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes. De acuerdo con la estructura de las cuencas, los habitantes de las zonas altas, medias y bajas se convierten en actores directos debido a la conexión física entre poblaciones distantes unas de otras; por consiguiente, lo que está cuenca arriba podrá ser arrastrado superficialmente cuenca abajo en algún momento (SEMARNAT, 2013).

El desarrollo de la agricultura, para lograr la soberanía alimentaria es uno de los impactos ambientales más grandes del mundo, por ello, es importante buscar alternativas viables que

generen beneficios mutuos entre la agricultura y los ecosistemas. La conservación de los recursos naturales es trabajo de todos, por lo que los organismos públicos, privados y la mancomunidad deberían también encargarse de manera directa. A través de charlas para capacitación de los agricultores a nivel local, donde el conocimiento sea visto e integrado desde una visión ambiental, económica, política y social para el desarrollo sostenible de los agroecosistemas. El ser humano debe estar consiente que las nuevas generaciones tienen derecho a tener una calidad de vida sana en un planeta conservado, asegurando su supervivencia (GPI, 2013). El conocimiento es clave para la humanidad y debe ser mantenido o transferido de padres a hijos, logrando el desarrollo de oportunidades de una agricultura familiar que potencie la seguridad alimentaria, con el empoderamiento de la gente para conseguir una calidad de vida desde todos sus ámbitos.

Con base en la necesidad de recuperar los suelos degradados, también se ha venido trabajando desde diferentes aspectos como: diagnóstico, ordenamiento del territorio, establecimiento de una línea base, elaboración e implementación de un plan de gestión o estrategias de conservación, mecanismos de gestión financiera y administrativa, sistema de monitoreo y evaluación, y la sistematización y comunicación de experiencias (FAO, 2014). Dichos aspectos forman parte de planes de mejora para la conservación de los recursos naturales de las cuencas hidrográficas, puesto que la participación de diferentes actores es importante en la toma de decisiones o en los derechos y deberes.

A consecuencia de la falta de planificación y manejo integrado de los recursos naturales, lo que afecta la sostenibilidad de los ecosistemas y ciclo hidrológico. Es imprescindible promover el manejo de las cuencas hidrográficas, desde varias perspectivas, se han establecido nuevos enfoques y metodologías para promover la participación e integración de la población. Los programas, estrategias y proyectos orientados a la coordinación del suelo-cuencas han generado nuevas expectativas a nivel local (ABC Rural, 2019). Asimismo, se pretende contribuir a la protección, conservación y recuperación de estas unidades hidrográficas, con el objetivo de garantizar el equilibrio socio ambiental (GPI, 2013).

2.4. Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador (2008), en su Título V referente a la Organización Territorial del Estado, Capítulo Cuarto sobre Régimen de Competencia, en el Art. 264 señala que “los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias

exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley”, en este contexto se anota los literales correspondientes a la investigación:

1. Planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural, y; 2. Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón.

En su Título VI con base al Régimen de Desarrollo, Capítulo Primero en cuanto a Principios Generales, en el Art. 276 se resalta el siguiente objetivo:

Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Por otra parte, en su Capítulo VII del Régimen del Buen Vivir Capítulo Primero a causa de Inclusión y Equidad, Sección Cuarta sobre Hábitat y Vivienda en el Art. 375 menciona que el Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual, como uno de los fines es “generar la información necesaria para el diseño de estrategias y programas que comprendan las relaciones entre vivienda, servicios, espacio y transporte públicos, equipamiento y gestión del suelo urbano”. Además del Art. 376:

Para hacer efectivo el derecho a la vivienda, al hábitat y a la conservación del ambiente, las municipalidades podrán expropiar, reservar y controlar áreas para el desarrollo futuro, de acuerdo con la ley. Se prohíbe la obtención de beneficios a partir de prácticas especulativas sobre el uso del suelo, en particular por el cambio de uso, de rústico a urbano o de público a privado.

Para el efecto, también en su Capítulo Segundo titulado como Biodiversidad y Recursos Naturales Sección Quinta sobre el Suelo, en el Art. 409 se menciona que:

Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

Es así como “en áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona”. También se establece el Art. 410 referente a que “el Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria”.

Por otro lado, el Honorable Congreso Nacional (2004) en la Codificación de la Ley de Gestión Ambiental establece en su Título III de los Instrumentos de Gestión Ambiental, Capítulo II de la Evaluación de Impacto Ambiental y del Control Ambiental en el Art. 23 refiere que la evaluación del impacto ambiental comprenderá “la estimación de los efectos causados a la población humana, la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada”.

Asimismo, el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente TULAS (2003), Parte I. Se enmarca el Título Preliminar de la Políticas Básicas Ambientales del Ecuador en el Art. 1 se establece políticas básicas ambientales del Ecuador, donde de entre algunos aspectos con base al estudio se menciona en su numeración número 15 “reconociendo que se han identificado los principales problemas ambientales, a, los cuales conviene dar una atención especial en la gestión ambiental, a través de soluciones oportunas y efectivas”. En este contexto parte de la priorización del país se encuentra la erosión y desordenado uso de los suelos, deforestación, pérdida de biodiversidad y recursos genéticos, desordenada e irracional explotación de recursos naturales en general, contaminación creciente de aire, agua y suelo, y; proceso de desertificación y agravamiento del fenómeno de sequías, entre otras.

Además, en el Libro I de la Autoridad Ambiental Título I de la Misión, Visión y Objetivos del MAE; se establece el Art. 2 sobre la visión del MAE se define como visión “Hacer del Ecuador un país que conserva y usa sustentablemente su biodiversidad, mantiene y mejora su calidad ambiental, promoviendo el desarrollo sustentable y la justicia social y reconociendo al agua, suelo y aire como recursos naturales estratégicos”. En su Libro VI COMO Anexo 2 se encuentra la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios

de Remediación para Suelos Contaminados, la cual constituye normas de aplicación general para suelos de distintos usos, criterios de calidad de un suelo, criterios de remediación para suelos contaminados, y; normas técnicas para evaluación de la capacidad agrológica del suelo. Así, se enmarca como objetivo general:

Preservar o conservar la calidad del recurso suelo para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Las acciones tendientes para preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso suelo deberán realizarse en los términos de la presente Norma Técnica Ambiental.

En este contexto, el Reglamento al Código del Orgánico del Ambiente en su Título II sobre Tipos, Formas y Control de Incentivos Ambientales, Capítulo I de la Regulación, Control y Seguimiento en el Art. 787 aborda sobre la Prohibición de Incentivos a Actividades no Sostenibles que:

La Autoridad Ambiental Nacional no podrá establecer ni otorgar incentivos para actividades que propicien la extracción no sostenible de productos forestales, maderables o no maderables, cambio de uso del suelo, degradación, deforestación y demás prácticas que atenten contra los derechos de la naturaleza o de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

Igualmente, el Reglamento Ley Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (2015), en el Título Primero sobre la Autoridad Única del Agua en el Art. 2 indica que:

La autoridad única del agua es la Secretaría del Agua, dirigida por el Sistema Nacional Estratégico del Agua y es persona jurídica de derecho público. Su gestión será desconcentrada en el territorio y se basará en el criterio de respeto a la cuenca hidrográfica.

En este sentido, en el capítulo primero referente a la Secretaría del Agua, se enmarca el Art. 5 recalcando que “la planificación hídrica y la gestión del agua serán llevadas a cabo por la Secretaría del Agua tomando como base territorial la Demarcación Hidrográfica que se constituirá por la agrupación de cuencas hidrográficas vecinas”.

En conclusión, el marco legal está enfocado en la visión provincial del GPI (2013) donde se establece a “Imbabura como el nuevo polo de desarrollo del territorio nacional; una provincia comprometida con el cuidado del ambiente que preserva sus riquezas paisajísticas, multiétnicas y multiculturales.” Además, la investigación se enmarca en dos sus cuatro objetivos:

Promover la protección, conservación y recuperación de unidades hidrográficas, cuencas de recepción, vertientes y principales cursos de agua de Imbabura; b) Fomentar el desarrollo de los sectores primario secundario y terciario promoviendo la asociatividad de los actores para la generación de valor agregado a la producción agropecuaria y artesanal, y; c) Fomentar la producción sustentable, que garantice la alimentación de la población a través del autoabastecimiento y diversificación de alimentos culturalmente apropiados y saludables.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

La microcuenca del río Cari Yacu está ubicada en las parroquias San Blas del cantón Urcuquí e Imantag del cantón Cotacachi, por lo que territorialmente abarca parte de dos cantones de la provincia de Imbabura, Zona 1 del Ecuador (Figura 1) (Anexo 1). El levantamiento de esta información básica se realizó a partir del procesamiento de puntos de control del Sistema de Posicionamiento Global GPS, marca Garmin a través de georreferenciación de los límites del área de estudio. Una vez obtenida esta información fue procesada en el software ArcGis 10.5, para generar el polígono de la microcuenca que sirvió para analizar la posterior información necesaria.

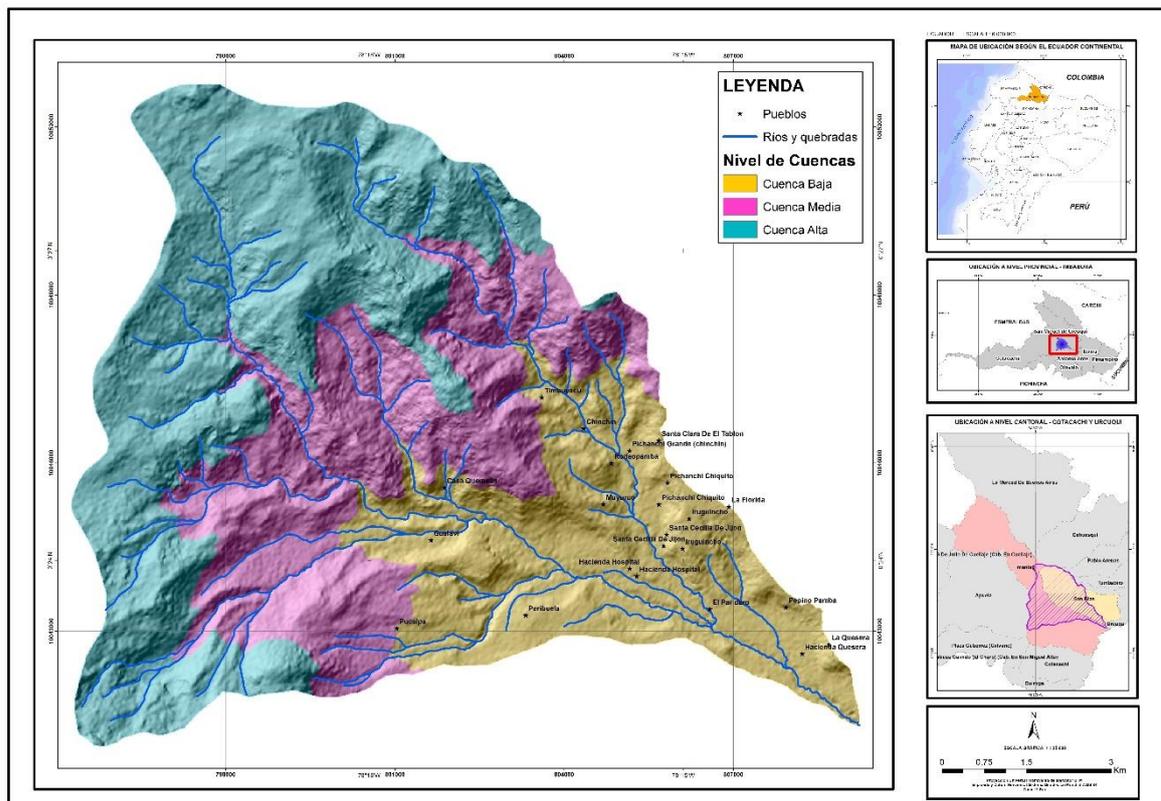


Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río Cari Yacu

En la Tabla 2, se detallan las coordenadas geográficas obtenidas en campo sobre los límites del área de estudio.

Tabla 2.*Ubicación geográfica de la microcuenca del río Cari Yacu*

Límite	Proyección UTM Datum WGS84 ZONA 17 S	
	X	Y
Norte	797926	10052785
Sur	795802	10040849
Este	809269	10041449
Oeste	795233	10045338

La extensión de la microcuenca del río Cari Yacu abarca 9913,77 has, generada en el software ArcGis 10.5, como áreas planears. Consta de una altitud máxima de 4200 m.s.n.m., una altitud media de 3160 m.s.n.m. y una altitud mínima de 2120 m.s.n.m. en la desembocadura que confluye al río Alambi (Figura 2) (Anexo 2).

profundidad y complejidad con que se aborde el objeto de indagación, siendo el mayor alcance explicativo. Por ello, el nivel es descriptivo debido a que permitirá caracterizar el cambio de uso del suelo según su comportamiento; además de explicativo, mediante el cual se va a buscar el porqué de los hechos a través de relaciones causales que hayan intervenido en dichos cambios (Guffante, Guffante y Chávez, 2016).

El tipo de investigación se encuentra enmarcada en documental con un diseño no experimental (*op.cit.*). La primera se genera a través de la obtención de datos ya establecidos como es el caso del uso de imágenes satelitales, mientras que el segundo consiste en la obtención y análisis de datos preexistentes, en el periodo de estudio. En este contexto, según la naturaleza de los datos, el enfoque de investigación es mixta, porque se basa en el análisis de datos de cobertura de suelo como datos cuantitativos e información cualitativa desde una perspectiva interpretativa, así como también la temporización basada en el método longitudinal que recoge información en periodos de tiempo separados, que para este caso se realizó de manera anual desde 2010 hasta 2019.

3.3. Procedimientos de la investigación

El término diseño indica la proyección con la que se va a llevar a cabo la investigación, una vez que se haya establecido el problema de estudio a nivel local; para así plantear la posible solución de forma sostenible (Guffante *et al.*, 2016). La integración de los recursos teóricos, metodológicos, técnicos e instrumentos permitirán incrementar el entendimiento a nivel local sobre los fenómenos bajo estudio (Ruíz, Borboa y Rodríguez, 2013). Por ello, a partir de aquí, se enmarcan dos etapas que se describen a continuación:

3.3.1. Etapa I: Cambios multitemporales de uso del suelo mediante imágenes satelitales para un periodo de 9 años (2010 al 2019)

Ruiz, Savé y Herrera (2013) refieren que la identificación del cambio del uso del suelo tiene como función principal la gestión y promoción del manejo y desarrollo sostenible de la microcuenca del río Cari Yacu, a través del control y monitoreo como principales directrices,

toda vez que se permita y respete el uso del suelo, como actividades económicas. Para el efecto se realizó el siguiente proceso:

3.3.1.1. Adquisición de las imágenes satelitales

Para la estimación, análisis y cuantificación de los cambios de uso del suelo en la microcuenca del río Cari Yacu para una temporalidad de 9 años, se adquirió las imágenes satelitales del sensor Rapideye de los años 2010 y 2019, con una resolución espacial de 5 metros, tomando en cuenta el menor porcentaje de nubosidad dentro del área de estudio (20%).

3.3.1.2. Preprocesamiento

El nivel que conlleva el proceso de pretratamiento y tratamiento digital de las imágenes utilizadas incluyó correcciones topográficas, radiométricas y atmosféricas que tiene que ver con la interferencia atmosférica, polvo y humedad, proceso que se llevó a cabo en el software ENVI 5.3 (Ruiz *et al.*, 2011).

3.3.1.3. Procesamiento digital

El procesamiento digital de imágenes consistió en realizar la clasificación supervisada para detectar cambios multitemporales de uso del suelo entre dos fechas establecidas (Alvarado, 2012).

a) Clasificación supervisada de las imágenes satelitales

Las imágenes satelitales fueron procesadas en el software ENVI 5.3, que permitió trabajar con datos de tipo Raster y Vector, seguido del recorte de las imágenes satelitales del límite del área de estudio (Alvarez y Mora, 2017). Se realizó la combinación de bandas 3-2-1 conocida como color verdadero, el cual está representado por tres componentes, tales como: Rojo R, Verde G y Azul B; creando un espacio de color RGB por sus siglas en inglés (Alvarado, 2012). Todo esto es de gran utilidad para fotointerpretar con facilidad las imágenes utilizadas.

De igual forma, se editaron los polígonos con agrupaciones que presentaron similitudes en el uso del suelo, que pudieron apreciarse en las imágenes satelitales y la utilización de ortofotos del área de estudio del programa SIGTierras para el año 2010 y de Google Earth para el año 2018 como referente al año 2019, por tener resoluciones de hasta 50 cm. de píxel (Alvarez y Mora, 2017). Así, se seleccionaron las áreas representativas de cada cobertura de suelo para tener su valor o asignación de firma espectral; asegurando su viabilidad. Posteriormente, para la clasificación de las imágenes satelitales a través de píxeles, se determinó prioridades como clases temáticas, conocida como supervisada de tipo paramétrico, donde se calculó su estadístico con el 95% de confiabilidad de la imagen correspondiente al año de análisis, con un error de $\pm 5 \%$ (Ruiz *et al.*, 2013).

b) Obtención de índices de vegetación

Se empleó la ecuación para calcular el NDVI que permitió medir la reflectancia que tiene la vegetación, la cual indicó la biomasa de la vegetación (Alvarado, 2012).

$$NDVI = ((IR - R) / (IR + R))$$

Donde:

IR = valores de píxel de la banda infrarroja

R = valores de píxel de la banda roja

c) Cobertura del suelo

Para la determinación del tipo de cobertura vegetal del área de estudio, se basó en la clasificación de uso de suelo del Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG. Ruiz *et al.* (2013) refieren que, para ello se debe tomar en cuenta la vegetación, estratos y el porcentaje que indica la cobertura de copas (Tabla 3).

Tabla 3.
Cobertura vegetal del suelo

Vegetación	Estratos	Cobertura de copas en (%)
Bosque latifoliado cerrado	altos o bajos	> 70%
Bosque latifoliado mixto: pino y eucalipto	mezcla de especies de diferentes gradientes altitudinales	50 % roble, y en algunos casos
Bosque latifoliado abierto	altos o bajos	

Tacotal (vegetación leñosa derivada de la tala del bosque)	Presenta un mosaico de varias fases de sucesión.	50 % pino entre 30 – 70 %
Pastos con árboles dispersos (sistemas agroforestales, naturales o sembrados)	Presenta un mosaico de varias fases de sucesión, frutales con árboles.	
Pastizales (pastos mejorados, pastos con malezas y/o árboles esparcidos)	Presenta un mosaico de varias fases de sucesión.	
Agrícolas (áreas que están dedicadas a todo tipo cultivos anuales tecnificados o no)	Presenta un mosaico de varias fases de sucesión.	
Infraestructura (áreas construidas por el hombre como zonas urbanas, invernaderos, reservorios)	Presenta un mosaico de varias fases de sucesión, frutales y árboles ornamentales.	Menor al 20 %
Páramo (áreas con especies herbáceas y matorrales, paja)	Poca presencia de árboles y matorrales	Menor al 20 %
Erial (espacios sin cobertura vegetal, minas de material pétreo, roca, etc.)	Sin presencia de vegetación	0 %

Nota: Modificado de Ruiz *et al.* (2013).

d) Análisis y cuantificación de los cambios del uso del suelo

Para cuantificar y analizar el cambio de uso de suelo, como tasa de cambio anual, se siguió el método propuesto por la FAO en el año 1996, como lo indican en su estudio Ruiz *et al.* (2013), mediante la siguiente ecuación, que fue aplicada en la herramienta Map calculator del software ArcGis 10.5:

$$Tasa = \left\{ \frac{S2}{S1} \right\}^{1/n} - 1$$

Dónde:

TDA = Tasa de Cambio Anual

S2 = Superficie en la fecha 2

S1= Superficie en la fecha 1

n = es el número de años entre las dos fechas

e) Validación de la clasificación supervisada

Alvear (2018) menciona que, para verificar los resultados obtenidos en el cambio multitemporal del uso del suelo, es necesario utilizar para validación una fotografía aérea (ortofoto) de alta resolución del área de estudio para cada año de análisis (2010 y 2019). Para ello, se procedió con un diseño de muestreo geoestadístico, a través del cálculo de las muestras con el valor de superficie en km² y un valor de confianza; aplicando la distribución t-student, con una confianza del 95%.

En el software ArcGis 10.5 se realizó un buffer de 5 metros por cada punto a muestrear, a fin de relacionar el tamaño del píxel, con las imágenes satelitales, todo para lograr o no una concordancia con la fotografía aérea u ortofoto.

La confiabilidad del mapa se determinó a través de una matriz de confusión, la cual permitió realizar una comparación de las diferentes clases creadas y de las existentes. En el cual se empleó la siguiente fórmula para el cálculo del coeficiente Kappa (Cohen, 1968).

$$K = \frac{N \sum n_{ii} - \sum n_{i+} n_{+i}}{N^2 - \sum n_{i+} n_{+i}}$$

Donde:

K = Coeficiente Kappa.

N = Tamaño de la muestra.

n_{ii} = Valores de los pixeles que concuerdan en la matriz.

n_{i+} = Totales marginales de una fila i.

n_{+i} = Totales marginales de una columna i.

Este coeficiente se interpreta de acuerdo con la Tabla 4 propuesta por (Cerde y Villarroel, 2008).

Tabla 4.

Rangos de valoración del coeficiente Kappa

RANGO	Concordancia
0,00	Pobre
0,01 - 0,02	Leve
0,21 - 0,40	Aceptable
0,41 - 0,60	Moderada

0,61 - 0,80	Considerable
0,81 - 1,00	Casi perfecta

Nota: Modificado de Cerda y Villarroel (2008).

3.3.2. Etapa II: Estrategias de conservación para el manejo del recurso suelo, con base a la cobertura vegetal actual

Una vez obtenido el análisis e interpretación de resultados, se diseñaron las estrategias de conservación para el manejo del suelo, donde los habitantes o posibles beneficiarios podrán tener la facilidad de gestionar e implementar las actividades propuestas. Esto se hizo, en relación con las necesidades que presenta la microcuenca del río Cari Yacu para regular las actividades económicas productivas que, con base legal, se realizan en la zona.

3.4. Consideraciones bioéticas

Esta investigación conllevó dos perspectivas, encontrándose enmarcadas en procedimientos que permitan obtener los permisos necesarios por parte de los organismos competentes para el beneficio de los habitantes a nivel local, mediante la generación de la propuesta de programa de conservación del suelo; que contribuya al manejo de microcuenca del río Cari Yacu ambientalmente sostenible.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos con la metodología propuesta y revisión bibliográfica para el análisis y discusión.

4.1. Etapa I: Cambios multitemporales de uso del suelo mediante imágenes satelitales para el periodo 2010-2019

El proceso para llevar a cabo la etapa I de la investigación, conllevó la adquisición de imágenes satelitales y procesamiento digital que permitieron analizar los cambios multitemporales de uso del suelo de la microcuenca hidrográfica del río Cari Yacu.

4.1.1. Adquisición de imágenes satelitales

El presente estudio hizo uso de información del portal web espacial Planet.com, donde se realizó la compra de 2 imágenes satelitales: una del año 2010 y del año 2019, que cuentan con la siguiente información (Tabla 5) (Figura 3):

Tabla 5.
Imágenes Rapideye

SENSOR	FECHA	% NUBES	ID
Rapideye-1	01/02/2010	0 %	20100102_163535_1739327_RapidEye-1
Rapideye-3	05/27/2019	20 %	20190527_150805_1739327_RapidEye-3

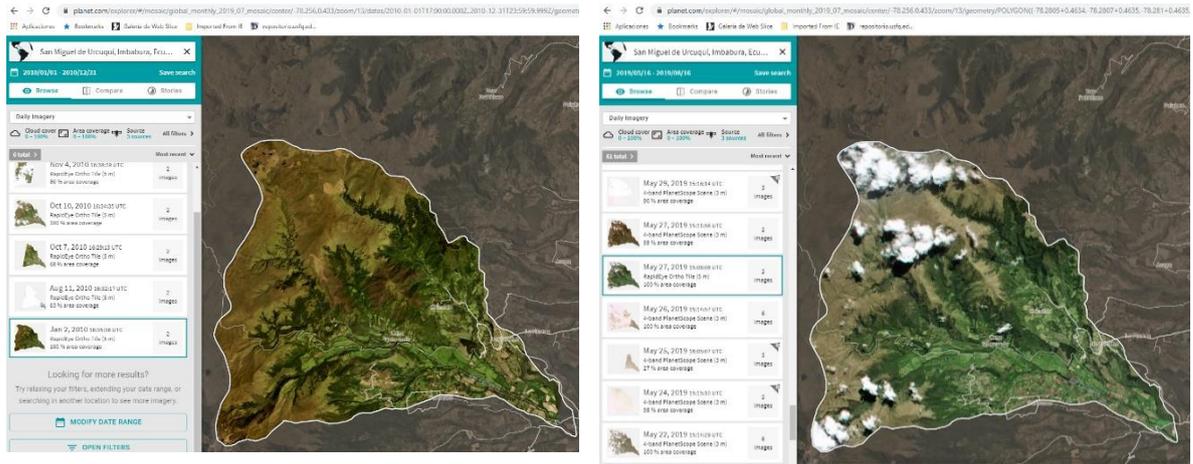


Figura 3. Imágenes satelitales Rapideye año 2010 y 2019

Fuente: <http://www.planet.com/>

4.1.2. Preprocesamiento

El primer paso fue la realización de la corrección radiométrica a cada imagen, utilizando el software ENVI 5.3, la herramienta Radimotric Calibration, la cual calcula los datos de radiancia de la imagen (Figura 4).

Imagen Cruda

Imagen calibrada radiométricamente



Figura 4. Calibración radiométrica de la imagen satelital

El siguiente proceso fue la corrección atmosférica, para lo cual se utiliza la herramienta FLAASH del software ENVI 5.3, la cual elimina todo tipo de interferencia atmosférica hacia la imagen como bruma y polvo, entre otros (Figura 5 y 6).

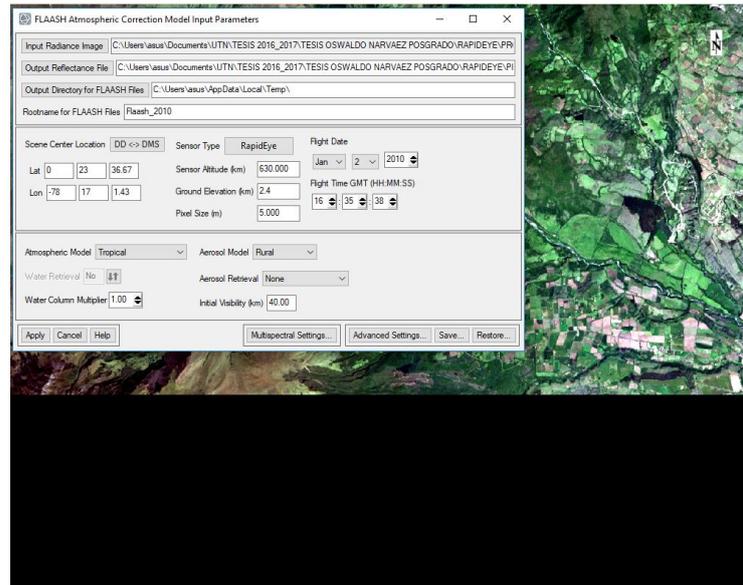


Figura 5. Corrección atmosférica

Imagen calibrada radiométricamente

Imagen corregida atmosféricamente



Figura 6. Corrección atmosférica de la imagen satelital

4.1.3. Procesamiento digital

4.1.3.1. Clasificación supervisada de las imágenes satelitales

Se desarrolló un enfoque de dos pasos para la identificación de áreas homogéneas que incluyó la generación de muestras de entrenamiento y una clasificación en cuanto a píxeles.

4.1.3.2. Generación de muestras de entrenamiento

Para generar las muestras de entrenamiento, se desarrolló una cadena de procesamiento para separar las diferentes coberturas en el área de estudio. Primero, se ajusta un número de muestra a la serie temporal de datos obtenidos en campo, para luego obtener las firmas espectrales de cada una de las coberturas, que para este estudio se las clasificó en: agua, bosque, cultivos, erial, infraestructura, páramos, pastos y reserva ecológica.

4.1.3.3 Clasificación por píxeles

En segundo lugar, se usó el método de clasificación supervisada llamado máxima similitud del programa ENVI 5.3. Como datos de entrada para la clasificación, se utilizaron la muestra de puntos obtenidos en campo, para cada cobertura, así como otros puntos obtenidos por visualización de la imagen satelital Rapideye para cada año en estudio, corroborándolas con las ortofotos de Sigtieras para el año 2010 y de la plataforma Google Earth para el año 2019, obteniendo así los mapas temáticos de cobertura como lo demuestra la Figura 7.

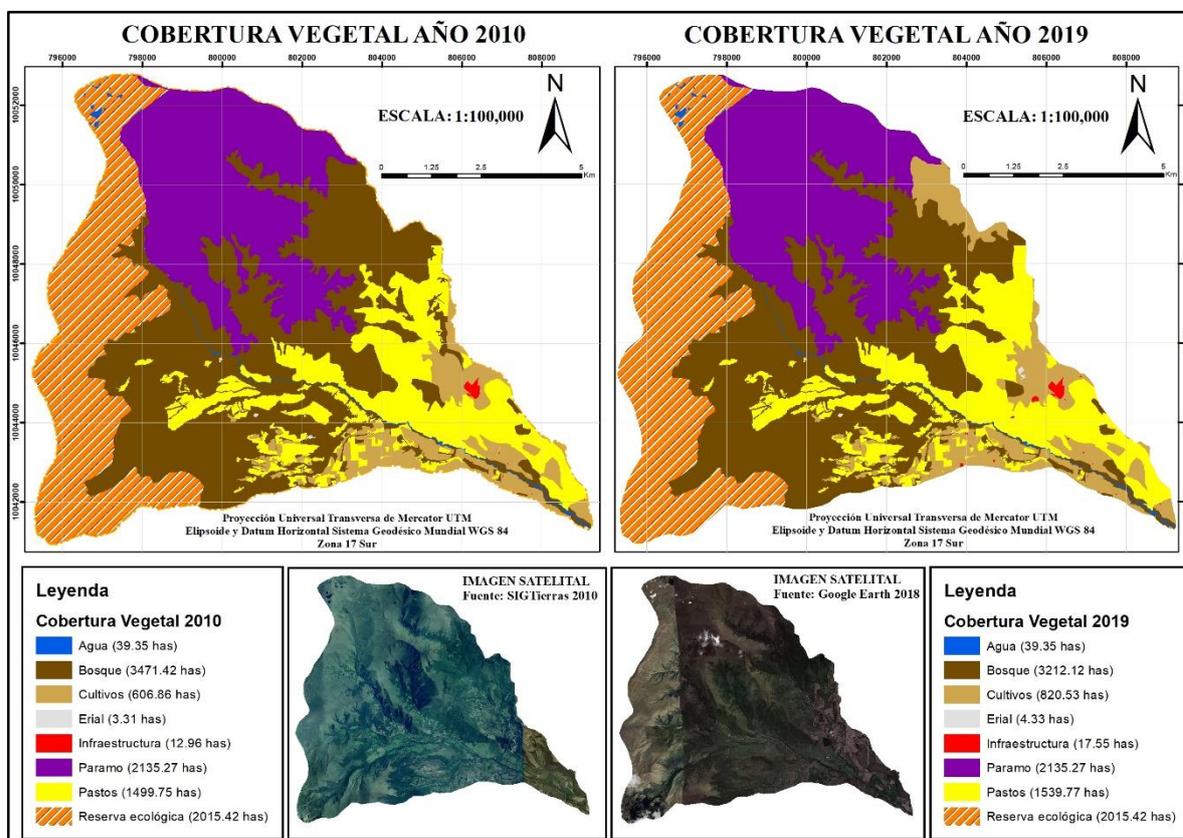


Figura 7. Clasificación de coberturas del año 2010 y 2019

Tanto para el año 2010 como para el año 2019 se encontraron los siguientes tipos de cobertura vegetal y uso actual del suelo: Agua, bosque, cultivos, erial, infraestructura, páramo, pastos y reserva ecológica.

El agua de la microcuenca del río Cari Yacu, en el año 2010 cubría una superficie de 39.24 has, mientras que para el año 2019 no se observó ningún cambio, debido a que cubre la misma extensión. Según Auge (2007) este recurso natural puede mantenerse durante un largo periodo de tiempo, siempre y cuando se conserve su calidad, sin ser afectada por contaminación, proveniente de las actividades antrópicas dedicadas al desarrollo social y económico de los seres humanos. En México, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012) refiere que la humanidad depende principalmente de disponibilidad del agua como recurso hídrico, no sólo para el consumo doméstico, sino que también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales; que pueden ser llevadas a cabo, sin agotar este recurso, bajo una responsabilidad socio ambiental sostenible.

El bosque de la microcuenca del río Cari Yacu para el año 2010 cubría una superficie de 3471.55 has, mientras que para el año 2019 disminuyó a 3212.24 has, reduciéndose un total de 259.31 has de bosque debido al cambio de uso de suelo por actividades agrícolas y pecuarias. Para lo cual, Franquis e Infante (2003) recomiendan conservar los bosques para disminuir la pérdida de servicios ambientales que estos suministran. Este trabajo no se ha evidenciado en la microcuenca del río Cari Yacu en el periodo de estudio. Por otro lado, Alvis (2009) indica que conocer las características en cuanto a la estructura, composición y dinámica que poseen los bosques naturales, es de vital importancia para diseñar un plan de manejo o estrategias que conlleven su preservación o conservación.

Los cultivos cubrían una superficie de 606.93 has en el año 2010, mientras que para el año 2019 aumentó a 820.63 has, incrementándose un total de 213.70 has de áreas dedicadas a la agricultura. Goites (2008) indica que se entiende el incremento de áreas agrícolas por la necesidad de cubrir la demanda de alimentos a nivel mundial, pero es compromiso de los productores asegurar una calidad alimentaria, favoreciendo a la salud humana y la conservación de suelos, con prácticas como sistemas agroforestales y uso de abonos orgánicos. Esto explicaría que este tipo de cobertura es la que más se ha expandido en los últimos 9 años. Asimismo, Basantes (2015) refiere que es importante tener en cuenta que la agricultura específicamente en el Ecuador, a pesar de ser una de las principales razones para

cambiar el uso del suelo, es una actividad dinámica y de vital significancia en el desarrollo de la economía ecuatoriana, debido a que genera una gran cantidad de empleos o trabajos en la población, y de producir divisas en un porcentaje considerable, después del petróleo.

El erial que constituye la microcuenca del río Cari Yacu para el año 2010 cubría una superficie de 3.31 has, mientras que para el año 2019 aumentó a 4.32 has. Según Echeverría y Peña (2000), el suelo desnudo donde no se cultiva ni se labra la tierra, también conocido como erial, es una variable considerada como un indicador del estado de conservación de una determinada área. Para el presente estudio se ha evaluado que el cambio de uso de suelo con medidas extremas (retiro total de cobertura vegetal) han aumentado en un total de 1.01 has. Mancilla (2008) refiere que los suelos sin algún tipo de cobertura vegetal, es una fragilidad que tiende a potenciar su erosión, tales como eólica e hídrica que generalmente disminuyen la fertilidad del suelo, dificultando el desarrollo de la vegetación espontánea.

El área de estudio cuenta con infraestructura que en el año 2010 cubría una superficie de 12.96 has, mientras que para el año 2019 aumentó a 17.55 has. El PNUD (2019) señala que la infraestructura son sistemas de importancia para la sociedad y su economía, que pueden ser categorizadas en físicas (instalaciones públicas) o sociales y económicas (edificios educativos, hospitales, centros comunitarios y de entretenimiento). Por tal razón, el desarrollo económico y social en la microcuenca de río Cari Yacu, ha potenciado la ampliación de un total de 4.59 has de infraestructura privada en el periodo de 9 años. Rozas y Sánchez (2004) indican que, por razones como la provisión ineficiente de servicios de infraestructura a nivel local, se requiere ampliar y satisfacer las necesidades básicas; lo que ha conllevado el cambio de uso de suelo por el mejoramiento y expansión de infraestructura que también conllevan el desarrollo económico.

En el año 2010, el páramo de la microcuenca del río Cari Yacu cubría una superficie de 2135.24 has, mientras que para el año 2019 se conservó la misma área; demostrando que se ha respetado las superficies, ya sea por conciencia o por acatar las disposiciones legales. Hofstede *et al.* (2014) refieren que los páramos son de gran importancia para la población humana por los servicios ambientales, en especial sus recursos hídricos; sin embargo las actividades antrópicas han provocado impactos negativos en cuanto a la funcionalidad y estructura de este tipo de ecosistemas, afectando directamente la vida y el sustento de los pueblos cercanos e incluso a las grandes ciudades que geográficamente se encuentran fuera de estos espacios, pero se benefician de sus funciones ecosistémicas, como el abastecimiento

de agua dulce. Camacho (2013) menciona que es imprescindible que las organizaciones tanto gubernamentales como no gubernamentales, promuevan iniciativas de manejo y conservación de los páramos para asegurar su preservación.

En relación con los pastos de la microcuenca del río Cari Yacu, en el año 2010 cubría una superficie de 1499.69 has, mientras que para el año 2019 aumentó a 1539.70 has, ampliándose un total de 40.01 has de áreas dedicadas a la ganadería. La FAO (2011) menciona que la producción ganadera demanda de alimentación, lo que obliga a los ganaderos cambiar el uso del suelo por pastos; por ello, los pastos es el segundo tipo de cobertura vegetal con mayor aumento en la microcuenca del Río Cari Yacu. Coincidiendo con León, Bonifaz y Gutiérrez (2018) la ganadería en el Ecuador depende en gran medida de las pasturas, debido a que constituyen el alimento más barato y de mayor aporte nutritivo para el desarrollo de los animales, el ganado que crece con esta alimentación tiende a ser más saludables para el consumo humano, precio que tiene que pagar el ambiente por la deforestación que conlleva esta actividad.

En la microcuenca del río Cari Yacu la reserva ecológica en el año 2010 cubría una superficie de 2015.35 has, mientras que para el año 2019 no se observó ninguna disminución o aumento de esta área. Zhigüe, San Martín y Zhigüe (2016) indican que las reservas ecológicas establecidas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas SNAP y las determinadas por las poblaciones a nivel local, por los servicios ambientales que reciben de estas, son muy valiosas para la conservación y preservación de la diversidad biológica y la provisión de beneficios para los seres humanos. Trabajo que se ve plasmado en el área de estudio, debido a que no se ha observado algún cambio desde el año 2010 hasta el 2019. Peralta (2014) refiere que es indispensable concienciar a la población sobre la importancia que tiene el cuidado de la naturaleza, con el objetivo de evitar los cambios de uso del suelo innecesarios, garantizando un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, donde no solo se benefician las poblaciones aledañas; sino que también las personas fuereñas y los recursos naturales animales o vegetales.

4.1.3.4. Validación de la clasificación supervisada

La similitud entre estas coberturas de la clasificación supervisada y de las imágenes satelitales se muestran en el siguiente resumen.

```

> # Aplicando el algoritmo Likelihood classification
> model<-rpart(uso~.,data=training)
> prediccion<- predict(model, testing[,-7],type="class")
> MC<-table(testing[,6],predicción_year_2010)
> MC

```

Predicción

	Cultivos	Bosque	Paramo	Pasto	Infrae	Agua	Reserva	Erial
Cultivos	31	0	0	0	0	0	0	0
Bosque	1	23	0	0	0	0	0	0
Paramo	1	0	8	0	0	0	0	0
Pasto	8	0	0	9	0	0	0	0
Infrae	0	0	0	1	5	0	0	0
Agua	0	0	0	0	0	6	0	0
Reserva	0	0	0	0	0	0	9	0
Erial	0	0	0	0	0	0	0	3

```

> kappa<-sum(diag(MC))/sum(MC)
> kappa
[1] 0.9243137

```

El algoritmo demuestra su eficiencia para la imagen del año 2010 con un coeficiente Kappa de 92 %, demostrando una eficiencia casi perfecta o muy buena.

```

# Aplicando el algoritmo Likelihood classification
> model<-nnet(uso~.,data=training,size=50,rang=0.1,decay=5e-,maxit=200,trace=FALSE)
> prediccion<- predict(model, testing[,-6],type="class")
> # Matriz de confusion
> MC<-table(testing[,6],predicción_year_2019)
> MC

```

Predicción

	Cultivos	Bosque	Paramo	Pasto	Infrae	Agua	Reserva	Erial
Cultivos	27	0	0	0	0	0	0	0
Bosque	2	13	0	0	0	0	0	0
Paramo	1	0	8	0	0	0	1	0
Pasto	6	0	0	12	0	0	0	0
Infrae	0	0	0	1	5	0	0	0
Agua	0	0	0	0	0	6	0	0
Reserva	0	0	0	0	0	0	9	0
Erial	0	0	0	0	1	0	0	6

```
> kappa<-sum(diag(MC))/sum(MC)
```

```
> kappa
```

```
[1] 0.9035102
```

El algoritmo demuestra su eficiencia para la imagen del año 2019 con un coeficiente Kappa de 90 %, señalando una validez muy buena.

Los resultados de la matriz de confusión para los años 2010 y 2019 indican una muy buena precisión entre las coberturas clasificadas y las reales. El coeficiente Kappa indica que la concordancia entre coberturas es muy buena en relación con los rangos que demuestra la Tabla 4, así la clasificación supervisada tiene datos aceptables pudiendo realizar un análisis de las diferentes coberturas y sus cambios en el período de tiempo establecido, presentados en la Tabla 6 y Figura 8, la cual presenta un análisis con tres unidades diferentes: pixeles, porcentaje y área en metros cuadrados.

Tabla 6.
Análisis de cambios de cobertura

CONTEO DE PIXEL											
		AÑO 2010								Row Total	Class Total
		Agua	Bosque	Cultivos	Erial	Infraestructura	Paramo	Pastos	Reserva ecologica		
AÑO 2019	Agua	15694	0	0	0	0	0	0	0	15694	15694
	Bosque	0	1284897	0	0	0	0	0	0	1284897	1284897
	Cultivos	0	85823	240471	688	15	0	1255	0	328252	328252
	Erial	0	0	1093	634	0	0	0	0	1727	1727
	Infraestructura	0	0	1208	0	5169	0	643	0	7020	7020
	Paramo	0	0	0	0	0	854098	0	0	854098	854098
	Pastos	0	17901	0	0	0	0	597979	0	615880	615880
	Reserva ecologica	0	0	0	0	0	0	0	806143	806143	806143
	Class Total	15694	1388621	242772	1322	5184	854098	599877	806143	0	0
	Class Changes	0	103724	2301	688	15	0	1898	0	0	0
Image Difference	0	-103724	85480	405	1836	0	16003	0	0	0	

PORCENTAJES											
		AÑO 2010								Row Total	Class Total
		Agua	Bosque	Cultivos	Erial	Infraestructura	Paramo	Pastos	Reserva ecologica		
AÑO 2019	Agua	100	0	0	0	0	0	0	0	100	100
	Bosque	0	92.53	0	0	0	0	0	0	100	100
	Cultivos	0	6.18	99.052	52.042	0.289	0	0.209	0	100	100
	Erial	0	0	0.45	47.958	0	0	0	0	100	100
	Infraestructura	0	0	0.498	0	99.711	0	0.107	0	100	100
	Paramo	0	0	0	0	0	100	0	0	100	100
	Pastos	0	1.289	0	0	0	0	99.684	0	100	100
	Reserva ecologica	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100
	Class Total	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0
	Class Changes	0	7.47	0.948	52.042	0.289	0	0.316	0	0	0
Image Difference	0	-7.47	35.21	30.635	35.417	0	2.668	0	0	0	

ÁREA (METROS CUADRADOS)											
		AÑO 2010								Row Total	Class Total
		Agua	Bosque	Cultivos	Erial	Infraestructura	Paramo	Pastos	Reserva ecologica		
AÑO 2019	Agua	392350	0	0	0	0	0	0	0	392350	392350
	Bosque	0	32122425	0	0	0	0	0	0	32122425	32122425
	Cultivos	0	2145575	6011775	17200	375	0	31375	0	8206300	8206300
	Erial	0	0	27325	15850	0	0	0	0	43175	43175
	Infraestructura	0	0	30200	0	129225	0	16075	0	175500	175500
	Paramo	0	0	0	0	0	21352450	0	0	21352450	21352450
	Pastos	0	447525	0	0	0	0	14949475	0	15397000	15397000
	Reserva ecologica	0	0	0	0	0	0	0	20153575	20153575	20153575
	Class Total	392350	34715525	6069300	33050	129600	21352450	14996925	20153575	0	0
	Class Changes	0	2593100	57525	17200	375	0	47450	0	0	0
Image Difference	0	-2593100	2137000	10125	45900	0	400075	0	0	0	

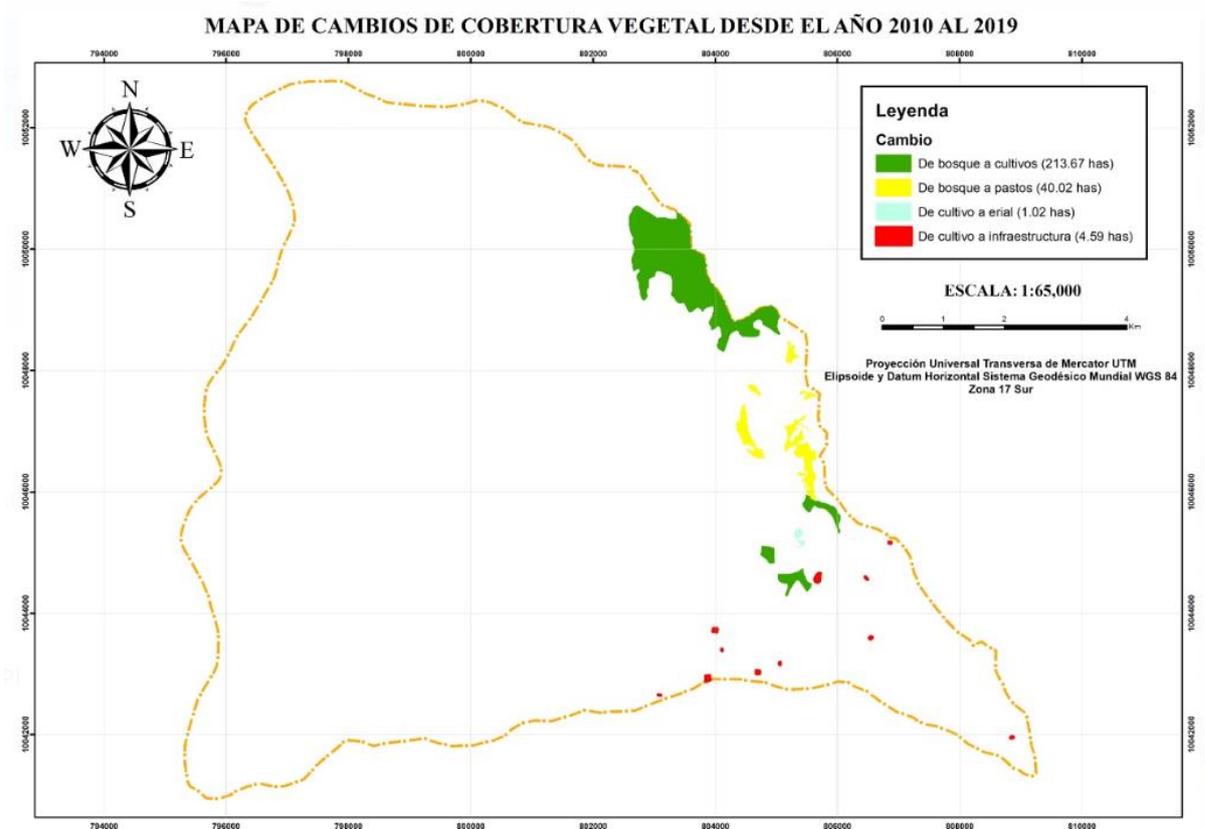


Figura 8. Cambios de coberturas del año 2010 al 2019

Finalmente, los cambios de cobertura vegetal desde el año 2010 al 2019 de manera más específica se detallan en la Tabla 7:

Tabla 7.
Cambios de cobertura vegetal desde el año 2010 al 2019

Cobertura vegetal en el año 2010		Cobertura vegetal en el año 2019		Cambio de la cobertura vegetal por las actividades antrópicas		
Tipo de cobertura	Extensión (ha)	Tipo de cobertura	Extensión (ha)	Tipo de cobertura	Extensión (ha)	Extensión (%)
Bosque	3471.55	Cultivos	214.55	Bosque	3257.70	6.18
	3212.24	Pastos	44.00		3172.24	1.29
Cultivo	606.93	Erial	2.73	Cultivo	604.20	0.45
	601.17	Infraestructura	3.02		598.15	0.50
					Total	8.42

El bosque tuvo una reducción del 6.18% por cambio de uso del suelo debido a actividades agrícolas para el desarrollo de cultivos y del 1.29% por pastos para la producción ganadera; provocando un cambio de cobertura de 214.55 has de bosque a cultivos y de 44.00 has de bosque a pastos. Por otro lado, los cultivos fueron reemplazados por erial en un 0.45% y por infraestructura en 0.50%, lo que equivale a un cambio de 2.73 has de cultivos a erial y de 3.02 has de cultivos a infraestructura.

Existen diversos estudios que corroboran el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal en diferentes periodos. El estudio realizado en México, municipio de Valle de Santiago, Guanajuato, Pineda (2011) analizó el cambio de uso de suelo mediante percepción remota y determino los siguientes resultados: a) el agua que para 1979 abarcaba una extensión de 492.55 ha y para el 2006 solo se cuantificaron 92.52 ha; b) la vegetación sufrió procesos de deforestación y reforestación debido que para 1999 se presentó un decremento de la superficie estimando una superficie de 8915.58 ha, para 1979 se estimó una superficie de 10001.0 ha, sin embargo la cobertura vegetal para el 2006 incremento a 11150.28ha por el programa pro-árbol que inició en el municipio en el año 2005; c) En cuanto a la agricultura y la zona de asentamientos humanos, hubo un incremento de la superficie urbana sobre los terrenos agrícolas con un 4.36 % es decir que pasó de agrícola a urbano. Lo cual es mucho mayor a la observada en el presente estudio.

Otro estudio realizado en el 2018, en el Ecuador específicamente en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo se estableció que para el período 1962-1966 existió actividad antrópica de 0.26% y disminución de nieve con un 10.30%; mientras que para el período 2010-2011, se incrementa la intervención humana a un 9.54% y la nieve decrece a un 4.46% por influencia de la radiación solar resultado del calentamiento global (Paula *et al.*, 2018). Lo cual indica que para el caso de las actividades antrópicas por formar parte del “SNAP” tiene porcentaje menor a la observada en el presente estudio, donde en el año 2019, se tiene en total de 8.59% de actividad antrópica, por el hecho mismo de no pertenecer a un área protegida donde los cambios implementados por el ser humano son más restringidos.

En Ecuador, provincia del Carchi, el estudio de Alvear (2018) presentó como resultado más relevante que el cambio de uso de suelo tiene una estrecha relación con el porcentaje de escorrentía para los años 1996 – 2017, concluyendo que este proceso de transformación incide en la escorrentía, donde la precipitación tiende a ser una de las variables más importantes para el aporte del caudal, y; por tanto, es necesario que el suelo no pierda su

capacidad de retención de agua. Resultado que se encuentra en correspondencia con la obtenida en el presente estudio, donde los cultivos fueron reemplazados por erial en un 0.17% debido a que posiblemente los suelos sufrieron erosión hídrica por escorrentía superficial, perdiendo su capacidad de fertilidad.

En este contexto, el cambio de uso del suelo conlleva su degradación, por ello a medida que pasa el tiempo pocos países podrán alcanzar una agricultura sostenible con miras a un futuro seguro (Bautista, 2010).

4.2. Etapa II: Estrategias de conservación para el manejo del recurso suelo, con base a la cobertura vegetal actual

Para esto se definieron lineamientos estratégicos de conservación a través de 3 proyectos para el manejo del recurso, focalizados en la cobertura vegetal actual, lo que permitirá una mejora en la sostenibilidad de la microcuenca del río Cari Yacu; a través de un trabajo en conjunto con las comunidades Iruguincho, Santa Cecilia, Pitzansa y Timbuyacu de la parroquia San Blas del cantón Urcuqui y las comunidades Gualaví, San Miguel, Pucalpa y Cuatro esquinas de la parroquia Imantag del cantón Cotacachi, que se encuentran inmersas en el área de estudio, mediante la planificación y manejo de los recursos naturales, como lo recomienda Alvear (2018). A continuación, se presentan los proyectos que permitirán el manejo del suelo con base a la cobertura vegetal:

4.2.1. Proyecto 1. Educación ambiental

El proyecto Educación ambiental está enfocado en la capacitación para el desarrollo sustentable de las comunidades inmersas en la microcuenca del río Cari Yacu, las cuales son: Iruguincho, Santa Cecilia, Pitzansa y Timbuyacu de la parroquia San Blas del cantón Urcuqui y Gualaví, San Miguel, Pucalpa y Cuatro esquinas de la parroquia Imantag del cantón Cotacachi (Tabla 8).

Objetivos del proyecto

Objetivo general

- Implementar un programa de Educación Ambiental en las comunidades asentadas en la microcuenca del río Cari Yacu, que permita la concienciación en los pobladores de los recursos naturales de los páramos.

Objetivos específicos

- Socializar los resultados de la investigación en las 8 comunidades asentadas en la microcuenca del río Cari Yacu.
- Analizar con los actores sociales de la comunidad el impacto a los recursos naturales por el cambio de uso del suelo.
- Promover la conservación de los recursos naturales de los páramos.

Meta

Las comunidades Irugincho, Santa Cecilia, Pitzansa y Timbuyacu de la parroquia San Blas del cantón Urcuqui y las comunidades Gualaví, San Miguel, Pucalpa y Cuatro esquinas de la parroquia Imantag del cantón Cotacachi, estarán capacitadas a corto plazo en temas puntuales como: cambio de uso del suelo y los impactos negativos que implica a los recursos naturales, cuidado y protección de los páramos y conservación de su entorno, con el fin de que las comunidades mantengan una conciencia ambiental sobre el uso de los recursos naturales, con miras a un desarrollo sustentable a nivel local.

Tabla 8.*Desarrollo del proyecto: Educación Ambiental*

Objetivos Específicos	Actividades	Alcance	Presupuesto	Responsables
Socializar los resultados de la investigación en las 8 comunidades asentadas en la microcuenca del río Cari Yacu.	- Talleres de difusión de la investigación en la microcuenca del río Cari Yacu, en coordinación con los líderes comunitarios. - Diseño de un material instruccional sobre los resultados de la investigación, para lo cual se gestionará recursos económicos de los GADs parroquiales.	Promover que las comunidades Iruguincho, Santa Cecilia, Pitzansa y Timbuyacu de la parroquia San Blas del cantón Urcuqui y las comunidades Gualaví, San Miguel, Pucalpa y Cuatro esquinas de la parroquia Imantag del cantón Cotacachi, adquieran conocimientos de cambio de uso del suelo y los impactos negativos que implica a los recursos naturales, cuidado y protección de los páramos y conservación de su entorno.	\$ 500 dólares americanos	- GPI - GADs parroquiales - Líderes comunitarios - Comunidad
Analizar con los actores sociales de la comunidad el impacto a los recursos naturales por el cambio de uso del suelo.	- Realización de 2 conversatorios por 3 meses en cada comunidad, en coordinación con la academia, sobre el impacto del cambio de uso del suelo en los recursos naturales con el apoyo de los técnicos del MAE.		\$ 500 dólares americanos	- Líderes comunitarios - Comunidad - MAE
Promover la conservación de los recursos naturales de los páramos.	- Campañas de sensibilización en las unidades Educativas sobre la conservación de los recursos naturales, en coordinación técnicos del GPI, lo cual promoverá la protección de los páramos a largo plazo, con apoyo el de ONGs y mediante la conformación de grupos ecológicos que se conformen durante la capacitación.		\$ 500 dólares americanos	- Unidades Educativas - GPI - Comunidad - Fundaciones

4.2.2. Proyecto 2. Buenas prácticas agrícolas

El proyecto de buenas prácticas agrícolas está direccionado en la capacitación para la gestión responsable de la producción agrícola, a fin de contribuir con el cuidado responsable del ambiente y la salud humana. El proyecto promoverá la disminución del cambio de uso del suelo, identificados en el estudio: de bosque a cultivos como el cambio más predominante y de cultivos a erial considerada como la tercera variación encontrada. El desarrollo de una agricultura sostenible beneficiará a los pobladores a nivel local (Tabla 9).

Objetivos del proyecto

Objetivo general

- Promover la gestión responsable de la producción agrícola que permita mitigar los cambios de uso de suelo y así contribuir al cuidado responsable del ambiente y salud humana, dando respuesta al PNBV y la soberanía alimentaria.

Objetivos específicos

- Apoyar la gestión responsable de la producción agrícola para mitigar los cambios de uso de suelo y disminuir el efecto del cambio climático.
- Capacitar en el desarrollo de sistemas agroforestales para mitigar los cambios de uso de suelo y disminuir el efecto del cambio climático.
- Difundir las prácticas de conservación de suelos para prevenir la generación de erial.

Meta

Los productores agrícolas tendrán la capacidad de desarrollar actividades sostenibles que aseguren la calidad del producto y potencien el cuidado de los recursos naturales en especial el suelo y el agua.

Tabla 9.*Desarrollo del proyecto: Buenas prácticas agrícolas*

Objetivos Específicos	Actividades	Alcance	Presupuesto	Responsables
Apoyar la gestión responsable de la producción agrícola para mitigar los cambios de uso de suelo y disminuir el efecto del cambio climático.	<ul style="list-style-type: none"> - Socialización mediante charlas en cada comunidad, sobre el impacto negativo que genera la agricultura convencional al suelo y al agua; 2 veces al mes por 3 meses; con apoyo del MAE y coordinación con los líderes comunitarios. - Capacitaciones sobre el uso adecuado de agroquímicos e indicaciones de los beneficios que conlleva una agricultura orgánica, dirigido a los agricultores de cada comunidad; con el apoyo de técnicos del GPI. 	Capacidad de los productores agrícolas en actividades sostenibles que aseguren el desarrollo equitativo entre: economía, conservación de recursos naturales y salud humana.	\$ 1000 dólares americanos	<ul style="list-style-type: none"> - MAE - GPI - Líderes comunitarios - Comunidad
Capacitar en el desarrollo de sistemas agroforestales para mitigar los cambios de uso de suelo y disminuir el efecto del cambio climático.	<ul style="list-style-type: none"> - Gestionar presupuestos del Estado en especial con el GPI para la tecnificación de riego que ayude a no desperdiciar el recurso hídrico, en coordinación con los líderes comunitarios convenios con los GADs parroquiales. - Capacitar a los actores sociales de las comunidades en el desarrollo de sistemas agroforestales, para evitar el cambio de uso de suelo de bosques a cultivos con el apoyo del MAE. 		\$ 1500 dólares americanos	<ul style="list-style-type: none"> - MAE - GPI - GADs parroquiales - Líderes comunitarios - Comunidad
Difundir las prácticas de conservación de suelos para prevenir la generación de erial.	<ul style="list-style-type: none"> - Talleres sobre el uso inadecuado del recurso suelo, 1 vez por mes cada 6 meses en cada comunidad con el apoyo y seguimiento de técnicos del MAG. - Capacitaciones para potenciar el desarrollo de prácticas de conservación de suelos que coadyuvan en su recuperación y mantenimiento con la entidad mencionada en coordinación con los líderes comunitarios. 		\$ 2000 dólares americanos	<ul style="list-style-type: none"> - MAG - Líderes comunitarios - Comunidad

4.2.3. Proyecto 3. Ganadería climáticamente inteligente

El proyecto de ganadería climáticamente inteligente está focalizado en la actividad pecuaria de pequeños y medianos productores por el cambio de uso de suelo de bosque a pastos, considerada como la segunda variación de cobertura vegetal más importante en el presente estudio. En este sentido, el conocimiento de los pobladores es imprescindible al momento de tomar decisiones que impliquen impactos ambientales negativos a los recursos naturales. Este proyecto está destinado a los ganaderos que utilizan prácticas ineficientes con el uso inadecuado del recurso hídrico y deforestar bosques para cumplir con sus necesidades económicas productivas (Tabla 10).

Objetivos

Objetivo general

- Promover la producción y comercialización responsable con el ambiente de las fincas de los productos y subproductos pecuarios.

Objetivos específicos

- Desarrollar modelos de producción pecuaria en especial ganadera, amigables con el ambiente.
- Incentivar el desarrollo participativo de los ganaderos para alcanzar los objetivos del “PNBV” y la soberanía alimentaria.

Meta

Integrar nuevos modelos de producción pecuaria en especial ganadera que promueva actividades conservacionistas, además de potenciar el desarrollo participativos de los ganaderos para generar estrategias que permitan dar cumplimiento al “PNBV” y soberanía alimentaria.

Tabla 10.*Desarrollo del proyecto: Ganadería climáticamente inteligente*

Objetivos Específicos	Actividades	Alcance	Presupuesto	Responsables
Desarrollar modelos de producción pecuaria en especial ganadera, amigables con el ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> - Realización de talleres de diagnóstico rural participativo con apoyo del MAG, para conocer cuál es el manejo que actualmente se desarrolla en las comunidades. - Diseñar con las comunidades y técnicos del MAG nuevos modelos de producción pecuaria en especial ganadera, a fin de potenciar una ganadería climáticamente inteligente, en coordinación con los líderes comunitarios y técnicos del MAG. 	Dar cumplimiento al “PNBV” y soberanía alimentaria.	\$ 1500 dólares americanos	<ul style="list-style-type: none"> - MAG - Líderes comunitarios - Comunidad
Incentivar el desarrollo participativo de los ganaderos para alcanzar los objetivos del “PNBV” y la soberanía alimentaria.	<ul style="list-style-type: none"> - Gestionar presupuestos del Estado para la implementación de nuevos modelos de producción ganadera que aseguren un alcance a los objetivos del “PNBV” y la soberanía alimentaria, donde los líderes comunitarios se hagan cargo de los trámites y los comuneros sean un apoyo crucial en su ejecución. - Capacitar con apoyo del MAG a los actores sociales de las comunidades a través de talleres y visitas a las fincas, que permita incentivar a la participación continua de los ganaderos como los principales actores directos para el desarrollo y sostenibilidad del proyecto. 		\$ 2000 dólares americanos	<ul style="list-style-type: none"> - MAG - Líderes comunitarios - Comunidad

5. CONCLUSIONES

- Con base al uso de las imágenes satelitales Rapideye, el algoritmo demuestra su eficiencia para la imagen del año 2010 con un coeficiente Kappa de 92 %, demostrando una eficiencia casi perfecta, mientras que para la imagen del año 2019 presenta un coeficiente Kappa de 90 %, señalando una validez muy buena parecida a la obtenido hace 9 años atrás.
- El páramo y la reserva ecológica no presentó algún cambio en el periodo de estudio, demostrando que la población ha respetado las superficies, ya sea por conciencia o por acatar las disposiciones legales. Caso similar se encontró en el agua, debido a que la cobertura vegetal tanto del páramo como de la reserva ecológica se ha mantenido durante el periodo de estudio, desarrollo que se aprecia en la disminución de bosque como unos de los principales cambios de uso del suelo a fin de potenciar los cultivos en un 6.18% y pastos para la ganadería en un 1.29%, dando un total de 7.47%.
- Erial e infraestructura fue el cambio que se generó en los cultivos desde el año 2010 hasta el 2019, en un 0.45% y 0.50% respectivamente. El cambio de uso de suelo que predominó en el estudio es de bosques a cultivos, considerando que la agricultura es una de las principales actividades económicas productivas de la población, a fin de satisfacer la demanda de alimentos que existe por la sobrepoblación.
- Los proyectos propuestos pueden mitigar el cambio de uso de suelo, en especial de bosques a cultivos que en la investigación fue el más representativo.

6. RECOMENDACIONES

- Los estudios de cambio de uso de suelo pueden verse beneficiados con el uso de imágenes satelitales Rapideye, considerando que al aplicar el algoritmo presentan coeficientes Kappa casi perfectos, lo que confirma su validez para el análisis de diferentes coberturas y sus cambios en un periodo de tiempo definido lo que supone una ventaja respecto a otras opciones de acceso libre.
- Es imprescindible que las organizaciones, tanto gubernamentales como no gubernamentales, promuevan iniciativas de manejo y conservación de los páramos para asegurar su preservación. Todo esto a través de uno de los pilares fundamentales que es la educación ambiental de los pobladores, a nivel local, tomando en cuenta que son los que darán sostenibilidad a los mismos con el empoderamiento que se requiere.

7. REFERENCIAS

- ABC Rural (2019). *Desarrollo sostenible en cuencas hidrográficas*. Recuperado de <http://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/abc-rural/desarrollo-sostenible-en-cuencas-hidrograficas-704199.html>
- Aguirre, N. (2007). *Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. Recuperado de https://www.academia.edu/31926541/Universidad_Nacional_de_Loja
- Alonso, P. (2006). *Clasificación de imágenes*. Obtenido de <https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node74.html>
- Alvarado, J. (2012). *Procesamiento y análisis de imágenes digitales*. Obtenido de <http://www.ie.tec.ac.cr/palvarado/PAID/paid.pdf>
- Alvarez, D., y Mora, V. (2017). *Análisis del uso actual y potencial del suelo de la Reserva Hídrica Comunitaria Nangulví Bajo, zona de Intag: Propuesta de programas de conservación y protección*. (Trabajo de grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7139>
- Alvear, J. (2018). *Estudio multitemporal de cambio de uso del suelo, en la microcuenca del río Escudillas*. (Tesis de maestría). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7879/1/PG%20602%20TESIS.pdf>
- Alvis, J. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(1), 115-122. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a13.pdf>
- Alzate, G., y Sánchez, D. (2018). *Análisis multitemporal por teledetección del cambio de coberturas en las veredas Pantanillo y Las Palmas del municipio de Envigado en el periodo comprendido entre los años 1997 y 2016*. (Tesis de maestría). Universidad Católica de Manizales, Manizales, Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10839/2134>
- Araya, E. (2009). *Manual de procesos en fotografías aéreas e Imágenes de satélite*. San José, Costa Rica: Proyecto Microcuenca Plantón-Pacayas. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0985.pdf>
- Arévalo, V. (2001). *Detección automática de cambios urbanos a partir de imágenes de satélites*. (Trabajo de grado). Universidad de Málaga, Málaga, España. Recuperado de http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/arevalo2001MTh_Malaga.pdf

- Auge, M. (2007). *Agua fuente de vida*. Recuperado de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/AguaFuenteVida.pdf>
- Banco Mundial. (2017). *Banco Mundial BIRF AIF*. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/who-we-are/ibrd>
- Basantes, E. (2015). *Manejo de cultivos andinos del Ecuador*. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>
- Basterra, I. (2010). *Teledetección, imágenes satelitales y procesamiento digital de imágenes*. Recuperado de <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte02/tdi.pdf>
- Bautista, C., Etchevers, J., Castillo, R., Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 1-11. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/540/54013210.pdf>
- Bautista, F. (2010). *Los suelos de Latinoamérica: retos y oportunidades de uso y estudio*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237102069_Los_suelos_de_Latinoamerica_retos_y_oportunidades_de_uso_y_estudio
- Bermúdez, E. (2015). *Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte del departamento del Chocó 1990-2014*. (Trabajo de grado). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. Recuperado de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/2459>
- BlackBridge (2013). *Imágenes Satelitales Especificaciones técnicas*. Recuperado de http://www.blackbridge.com/rapideye/upload/REProduct_Specifications_SPA.pdf
- Caiza, E. (17 de abril de 2019). Imbabura fue declarada oficialmente el primer Geoparque Mundial del Ecuador. *El Comercio*. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/tendencias/imbabura-declaracion-oficial-geoparque-mundial.html>
- Camacho, J., Pérez, J., Pineda, N., Cadena, E., Bravo, L., y Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la zona de transición mexicana de montaña. *Madera y Bosques*, 21(1), 93-112. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n1/v21n1a8.pdf>

- Camacho, M. (2013). *Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible*. Recuperado de <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/anales/article/view/1241>
- Cando, M. (2014). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Multipropósito Piñan Tumbabiro*. Recuperado de <https://maeimbabura.files.wordpress.com/2014/11/esia-multiproposito-tumbabiro.pdf>
- Cerda, J., y Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Rev Chil Pediatr*, 79(1), 54-58. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcp/v79n1/art08.pdf>
- Cohen, J. (1968). Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological bulletin*, 70(4), 213-220. doi: 10.1037/h0026256
- Constitución de la República del Ecuador, (20 de octubre de 2008). *Registro oficial*, 449. Recuperado de https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf
- Cure, L. (2012). *Determinación de la influencia del cambio de uso de suelo en la calidad ambiental de la cuenca de río Déleg*. (Trabajo de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2003/11/UPS-CT002364.pdf>
- Dourojeanni, A. (2005). *Gestión de cuencas hidrográficas y aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos*. Recuperado de https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Axel_Dourojeanni_GESTION_CUENCAS_Y_GIRH.pdf
- Echeverría, J., y Peña, C. (2000). *Modelo para la evaluación de pastizales en San Luis: Suelo desnudo*. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20naturales/100-evaluacion_suelo_desnudo.pdf
- Encina, A., e Ibarra, J. (2018). *La degradación del suelo y sus efectos sobre la población*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5654360.pdf>
- FAO (2007). *La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas*. Roma, Italia: División de comunicación. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a0644s/a0644s00.htm>

- FAO (2011). *Establecimiento y manejo de pasturas para ganado tipo lechero*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-bc982s.pdf>
- FAO (2014). *Ordenamiento Territorial en el Municipio: una guía metodológica*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3755s.pdf>
- FAO (2015). *Las amenazas a nuestros suelos*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-mn997s.pdf>
- FAO (2019). *La seguridad alimentaria futura del mundo peligra debido a múltiples desafíos*. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/471772/icode/>
- FHJC (2002). *Manual agropecuario. Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente*. Bogotá, Colombia: Quebecor World. Recuperado de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DO2003101076>
- Franquis, F., e Infante, A. (2003). Los bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales. *Red de Estudios Visuales Latinoamericanos*, 34(1), 17-30. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24124/articulo2.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Galicia, L., García, A., Gómez, L., y Ramírez, M. (2007). Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Revista Ciencia*, 58(4), 143-150. Recuperado de <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones-anteriores/82-vol-58-num-4-octubre-diciembre-2007/comunicaciones-libres/135-cambio-de-uso-del-suelo-y-degradacion-ambiental>
- GEO ECUADOR (2008). *Estado del suelo*. Recuperado de <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador%20pdf/06.%20Capitulo%204.%20Estado%20del%20suelo.pdf>
- Goites, E. (2008). *Manual de cultivos para la Huerta Orgánica Familiar*. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_de_cultivos_para_la_huerta_organica_familiar_-.pdf
- GPI (2013). *Plan estratégico institucional 2014-2019*. Recuperado de <http://www.imbabura.gob.ec/transparenciagpi/K/Plan-Estrategico-Institucional-2014-2019.pdf>
- Guffante, T., Guffante, F., y Chávez, P. (2016). *Investigación científica. El proyecto de investigación*. Recuperado de

http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/342/3/Investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica_el%20proyecto%20de%20investigaci%C3%B3n.pdf

Guzmán, C. (2015). *Investigación en manejo de suelos en cuencas hidrográficas*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/CIAT/ciat-seminar-march-31-2015-guzman>

Guzmán, J. (2014). *Análisis multitemporal de las zonas forestales en la zona de Intag–Ecuador, Período 2010 al 2013*. (Tesis de maestría). Universidad Salzburgo, Quito, Ecuador. Recuperado de https://issuu.com/joseguzmanpaz/docs/tesis_de_maestr_a_ok

Herrera, B. (2007). *Caracterización de las formaciones vegetales naturales en la subcuenca del río Naranjo, Municipio Majibacoa, Las Tunas*. (Trabajo de grado). Centro Universitario Vladimir Ilich Lenin Las Tunas, Las Tunas, Cuba. Recuperado de <http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/819/1/Belkis%20de%20la%20Caridad%20Herrera.pdf>

Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A., y Cerra, M. (2014). *Los páramos andinos. ¿Que sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. Quito, Ecuador: UICN. Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>

Honorable Congreso Nacional, (2004). Ley de gestión ambiental, codificación. *Registro oficial*, 418. Recuperado de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/369324/LEY+DE+GESTION+AMBIENTAL.pdf/be20e96d-f07b-4d31-b8d7-9df8291f5115>

INEC (2010). *Censo de Población y Vivienda del Ecuador*. Recuperado de www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/.../documentofinal1.pdf

INIA (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas*. Recuperado de <http://inia.uy/Documentos/P%C3%ABlicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/E1%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>

Iñiguez, C., y Ochoa, P. (2015). *El papel de la cobertura vegetal en la generación de sedimentos y calidad de agua de los Andes Ecuatorianos*. Recuperado de <http://www.uco.es/jia2015/ponencias/b/b031.pdf>

- Jiménez, E., Mena, M., y Won, P. (2011). *Diagnóstico de la cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del río California-Valdivia*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/277731485_Diagnostico_de_la_cobertura_vegetal_de_la_cuenca_hidrografica_del_rio_california_valdivia
- Jordán, A. (2005). *Manual de edafología*. Recuperado de <http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf>
- LANDinfo (2018). *Imágenes satelitales y sus aplicaciones*. Recuperado de http://www.landinfo.com/espanol/productos_satellite.htm
- León, R., Bonifaz, N., y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador: Siembra y producción de pasturas*. Quito, Ecuador: Editorial Universitaria Abya-Yala. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17928/1/PASTOS%20Y%20FORRAJES%20DEL%20ECUADOR.pdf>
- López, V., Balderas, M., Chávez, M., Pérez, J., y Gutiérrez, J. (2014). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA ergo-sum*, 22(2), 136-144. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5116566.pdf>
- MAE y FAO (2014). *Experiencias de manejo y gestión de cuencas en el Ecuador: Indicadores para una evaluación rápida*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4408s.pdf>
- Mancilla, G. (2008). *Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal*. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes_docentes_USLE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martínez, R., Montoya, A., Calderón, M., y Camacho, N. (2019). *La cobertura vegetal en la cuenca del canal de Panamá*. Recuperado de http://www.geoinstitutos.com/art_03.asp
- Meneses, C. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasylva* 238, 62(2), 39-46. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i2560s/i2560s07.pdf>
- Molas, A. y Ghironi, E. (2012). *Imágenes satelitales y aéreas en aplicaciones sitio específicas*. Pampa, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

- Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/318710942_Imagenes_satelitales_y_aereas_en_aplicaciones_sitio_especificas
- Ojima, D., Galvin, K., Turner, B. (1994). The Global Impact of Land-use Change. *BioScience*, 44(5), 300-304. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/247843817_The_Global_Impact_of_Land-Use_Change_BioScience_445300-304
- Paula, P., Zambrano, L. y Paula, P. (2018). Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático. *Enfoque UTE*, 9(2), 1-10. doi: <http://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.252>
- Peralta, V. (2014). *Propuesta de elaboración de la normativa legal de las zonas de amortiguamiento como elemento básico en el cuidado de las áreas naturales protegidas, Parroquia Malchingui, Cantón Pedro Moncayo, Provincia de Pichincha*. (Trabajo de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3115/1/T-UCE-0013-Ab-42.pdf>
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de valle de Santiago*. (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Geografía y Geomática, Guanajuato, México. Recuperado de <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda%20Pastrana%2C%20Oliva-Maestra%20en%20Geom%C3%A1tica.pdf>
- PNUD (2019). *Documento de apoyo infraestructura*. Recuperado de <https://eird.org/pr14/cd/documentos/espanol/Publicacionesrelevantes/Recuperacion/6-Infraestructura.pdf>
- PNUD (2019). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Ecuador*. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Puerta, R., Rengifo, J., y Bravo, N. (2011). *ArcGIS básico 10*. Recuperado de <https://actswithscience.com/Descargas/ManualArcGis.pdf>
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (Decreto No. 752). (2019). *Registro oficial*, 507. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ah>

UKEwicztvXn9XrAhVBj1kKHxmwDVoQFjABegQIAxAB&url=http%3A%2F%2Fbch.cbd.int%2Fdatabase%2Fattachment%2F%3Fid%3D19823&usg=AOvVaw1EMUPbKn7bKZdgBuI8AFiG

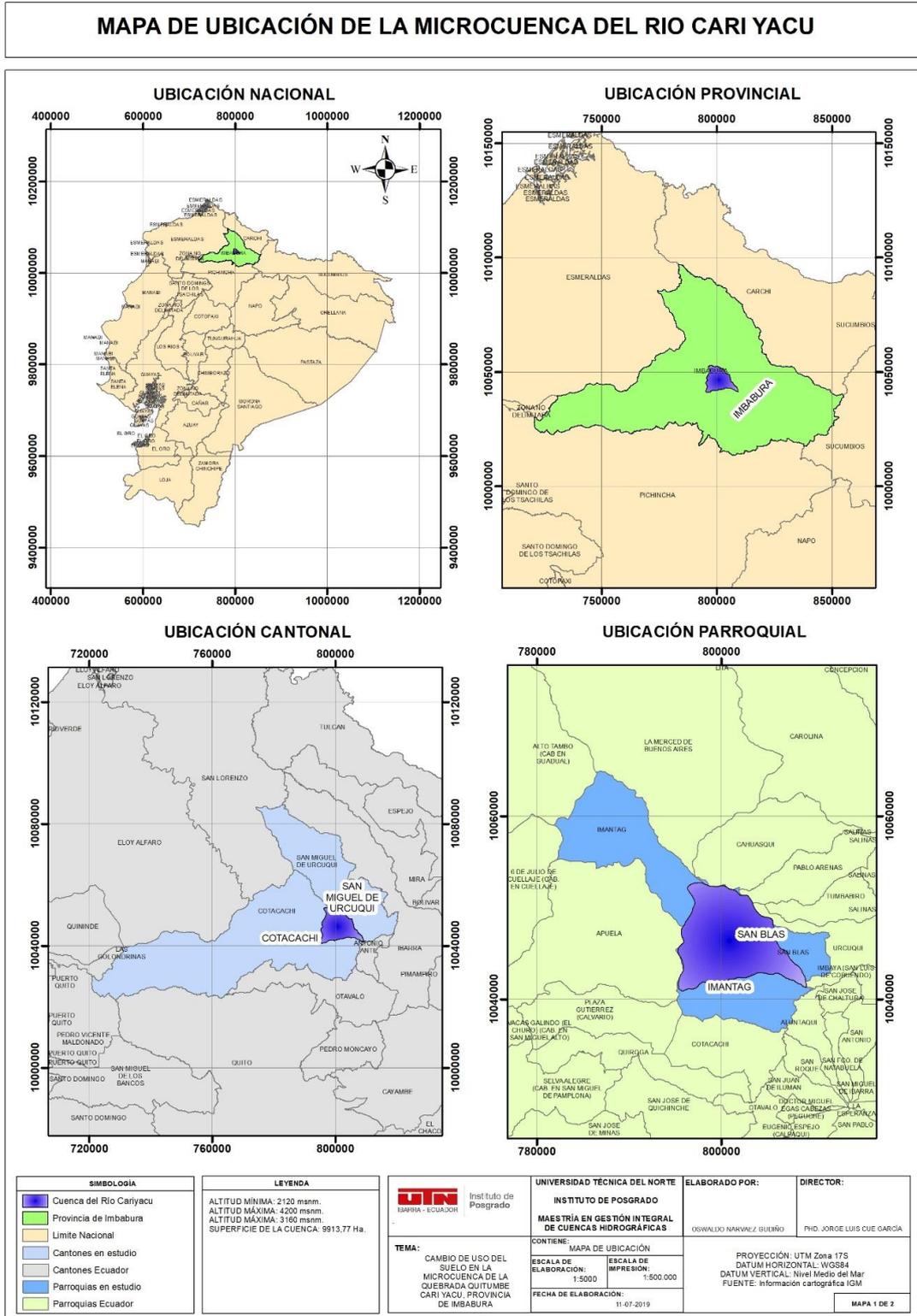
- Reglamento Ley Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (Decreto No. 650). (2015). *Registro oficial*, 483. Obtenido de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/REGLAMENTO-LEY-RECURSOS-HIDRICOS-USOS-Y-APROVECHAMIENTO-DEL-AGUA.pdf>
- Riaño, O. (2002). Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa. *Colombia Forestal*, 7(15), 41-62. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3306/4808>
- Rosero, E. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del Bosque Protector Andino Zuleta, en la sierra norte del Ecuador*. (Trabajo de grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5817/1/03%20FOR%20238%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Rosero, M. (2018). *Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del Río Tahuando y proyección de cambios al año 2031, en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. (Trabajo de grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>
- Rozas, P., y Sánchez, R. (2004). *Recursos naturales e infraestructura*. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6441/1/S048642_es.pdf
- Ruíz, M., Borboa, M., y Rodríguez, J. (2013). El enfoque mixto de investigación en los estudios fiscales. *TLATEMOANI*, 13. Recuperado de <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/13/estudios-fiscales.pdf>
- Ruiz, V., Savé, R., y Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117-123. doi: 10.7818/ECOS.2013.22-3.16.
- Sahagún, F., y Reyes, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*, 12 (2), 6-21. Recuperado de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100006&lng=es&nrm=iso

- SEMARNAT (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/280938710_Cuencas_hidrograficas_Fundamentos_y_perspectivas_para_su_manejo_y_gestion
- SENPLADES (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida. Ecuador*. Recuperado de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Sentís, I. (2011). *Problemas de degradación de suelos en América Latina: Evaluación de causas y efectos*. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Problemas-de-Degradacion1.pdf>
- SMARN (2012). *Agua*. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap6_agua.pdf
- Trucíos, R., Rivera, M., Delgado, G., Estrada, J., y Cerano, J. (2013). Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. *Terra Latinoamericana*, 31 (4), 339-346. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v31n4/2395-8030-tl-31-04-00339.pdf>
- TULAS (2003). *Registro oficial, 2*. Recuperado de https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/TEXTO_UNIFICADO_LEGISLACION_SECUNDARIA_i.pdf
- Universidad de Murcia (2015). *Introducción a las técnicas de clasificación. Generación de clases*. Recuperado de <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema09.pdf>
- Universidad Técnica del Norte, (2016). *Líneas de investigación*. Recuperado de https://www.utn.edu.ec/web/uniportal/?page_id=2667
- Zavala, M. (2016). *Estudio multitemporal del cambio de uso del suelo para establecer mecanismos de defensa y conservación en la microcuenca del río Jubal en los años 1991 al 2011*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/2975>
- Zhigüe, L., San Martín, R., y Zhigüe, L. (2016). Reserva ecológica Arenilla: un potencial turístico en la provincia El Oro. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(3), 135 -140. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v8n3/rus18316.pdf>

8. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de la microcuenca del río Cari Yacu



Anexo 2. Extensión de la microcuenca del río Cari Yacu

