



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“DINÁMICA ESPACIAL DE LA COBERTURA DE RIBERA DE LA
ZONA DE INFLUENCIA DEL RÍO CHAMBO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: JULIE ALEJANDRA ECHEVERRÍA PUERTAS

DIRECTORA: Dra. MAGDY MILENI ECHEVERRÍA GUADALUPE PhD.

Riobamba - Ecuador

2021

© 2021, Julie Alejandra Echeverría Puertas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Julie Alejandra Echeverría Puertas, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de septiembre de 2021



Julie Alejandra Echeverría Puertas

0604185025

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, “**DINÁMICA ESPACIAL DE LA COBERTURA DE RIBERA DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL RÍO CHAMBO**”, realizado por la señorita: **JULIE ALEJANDRA ECHEVERRÍA PUERTAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-11-24
Dra. Magdy Guadalupe Echeverría Mileni PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	_____	2021-11-24
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-11-24

DEDICATORIA

A mis padres, Jorge y Julia; y a mis hermanos, Cristian y Jorge. Su respaldo y amor incondicional durante estos años, han sido el motor principal para cumplir mis objetivos.

Julie

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, mi profundo agradecimiento a Dios, por ser mi inspiración, guía y fortaleza en todo momento.

De igual manera a mis padres por ser mi soporte absoluto en esta y todas las etapas de mi vida.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, especialmente a los docentes de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, por haber aportado fructuosamente con mi formación profesional; de igual manera a mis amigos, quienes han sido un gran apoyo a lo largo de estos años de estudio.

También mi entero agradecimiento al Grupo de Investigación, Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático, especialmente a la Dra. Magdy Echeverría, al Ing. Franklin Cargua, y al Ing. Carlos Rosero por su importante orientación y acompañamiento para la ejecución de este trabajo.

Julie

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1.	Antecedentes de la Investigación.....	4
1.2.	Bases Teóricas.....	5
1.2.1.	<i>Cobertura y usos de suelo.....</i>	5
1.2.2.	<i>Sistemas ribereños.....</i>	5
1.2.2.1.	<i>Clasificación de coberturas de sistemas ribereños.....</i>	5
1.2.3.	<i>Sistemas de ríos altoandinos.....</i>	6
1.2.3.1.	<i>Cobertura vegetal en ríos altoandinos.....</i>	6
1.2.3.2.	<i>Subcuenca del río Chambo.....</i>	7
1.2.4.	<i>Teledetección.....</i>	8
1.2.4.1.	<i>Imágenes satelitales.....</i>	8
1.2.4.2.	<i>Pre-procesamiento de imágenes satelitales.....</i>	8
1.2.5.	<i>Clasificación de coberturas por imágenes satelitales.....</i>	9
1.2.5.1.	<i>Fase de Entrenamiento.....</i>	9
1.2.5.2.	<i>Fase de Asignación.....</i>	10
1.2.6.	<i>Modelado de cambios de terreno.....</i>	11
1.2.6.1.	<i>Redes Neuronales Artificiales (AN).....</i>	11
1.2.6.2.	<i>Autómatas Celulares.....</i>	11

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	12
----	--------------------------------	----

2.1.	Unidad de análisis	12
2.2.	Estratificación de la cobertura de ribera en la zona de influencia del nacimiento del río Chambo	14
2.2.1.	<i>Delimitación de la zona de estudio</i>	14
2.2.2.	<i>Morfometría de la zona de estudio</i>	15
2.2.3.	<i>Insumos</i>	17
2.2.4.	<i>Pre-procesamiento de imágenes satelitales</i>	19
2.2.5.	<i>Identificación de estratos de la zona de estudio</i>	20
2.2.5.1.	<i>Fase de Entrenamiento</i>	20
2.2.5.2.	<i>Fase de Asignación</i>	20
2.2.5.3.	<i>Estratos en la zona de estudio</i>	20
2.3.	Análisis de las coberturas presentes en la zona de ribera del nacimiento del río Chambo en los años 2000, 2009 y 2019	21
2.4.	Proyección cartográfica de las coberturas presentes en el ecosistema de ribera para el año 2030	24

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	26
3.1.	Estratificación de la cobertura de ribera en la zona de influencia del nacimiento del río Chambo	26
3.1.1.	<i>Delimitación de la zona de estudio</i>	26
3.1.2.	<i>Morfometría de la zona de estudio</i>	26
3.1.3.	<i>Identificación de estratos de la zona de estudio</i>	29
3.1.3.1.	<i>Clasificación Supervisada</i>	29
3.2.	Análisis de las coberturas presentes en la zona de ribera del nacimiento del río Chambo en los años 2000, 2009 y 2019	35
3.2.1.	<i>Análisis de la Clasificación Supervisada</i>	35
3.2.2.	<i>Evaluación multitemporal de las transiciones de cobertura</i>	37
3.2.2.1.	<i>Matriz de tabulación cruzada</i>	37
3.2.2.2.	<i>Índice de cambio</i>	38
3.2.2.3.	<i>Índices de persistencias</i>	47
3.3.	Proyección cartográfica de las coberturas presentes en el ecosistema de ribera para el año 2030	48

CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Procedimiento para la identificación de una red hídrica.....	14
Tabla 2-2:	Metadatos de las imágenes satelitales	18
Tabla 3-2:	Medidas de precisión e índice kappa.....	22
Tabla 4-2:	Medidas de cambios y vulnerabilidad del área de estudio.....	23
Tabla 5-2:	Submódulos de la Metodología MOLUSCE.....	25
Tabla 1-3:	Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chambo	27
Tabla 2-3:	Descripción de los tramos de los ríos ubicados en la zona de estudio	28
Tabla 3-3:	Evaluación de precisión de la clasificación supervisada e índice kappa de los años de estudio	36
Tabla 4-3:	Valoración del índice kappa.....	36
Tabla 5-3:	Matriz de tabulación cruzada con valores expresados en porcentajes (2000 - 2009)..	37
Tabla 6-3:	Matriz de tabulación cruzada con valores expresados en porcentajes (2009 - 2019)..	38
Tabla 7-3:	Índice de cambio del intervalo de tiempo 2000 - 2009 expresado en términos porcentuales	38
Tabla 8-3:	Índice de cambio del intervalo de tiempo 2009 - 2019 expresado en términos porcentuales	39
Tabla 9-3:	Transiciones de coberturas en términos de área en el intervalo de tiempo 2000 - 2009	43
Tabla 10-3:	Transiciones de coberturas en términos de área en el intervalo de tiempo 2009 - 2019	45
Tabla 11-3:	Coefficientes de persistencias de ganancias, pérdidas y cambios netos en los intervalos de tiempo 2000-2009 y 2009-2019	47
Tabla 12-3:	Cambio de cobertura de suelo entre los años 2000 – 2019 y su predicción al 2030 ..	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Mapa de ubicación de la zona de estudio	13
Figura 2-2:	Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión.....	16
Figura 1-3:	Mapa de cobertura de suelo, año 2000	30
Figura 2-3:	Mapa de cobertura de suelo, año 2009	32
Figura 3-3:	Mapa de cobertura de suelo, año 2019	34
Figura 4-3:	Mapa de persistencias y transiciones de cobertura entre 2000 y 2009	44
Figura 5-3:	Mapa de persistencias y transiciones de cobertura entre 2009 y 2019	46
Figura 6-3:	Mapa de cobertura de suelo, proyección para el año 2030	49
Figura 7-3:	Mapa de persistencias y transiciones de cobertura entre 2019 y 2030	52
Figura 8-3:	Transición de coberturas entre los años 2000, 2009, 2019, y proyección al 2030	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes de la Cuenca del río Chambo	28
Gráfico 2-3: Cobertura de suelo en el año 2000	31
Gráfico 3-3: Cobertura de suelo en el año 2009	33
Gráfico 4-3: Cobertura de suelo en el año 2019	35
Gráfico 5-3: Pérdidas vs Ganancias en el intervalo de tiempo 2000 - 2009	40
Gráfico 6-3: Pérdidas vs Ganancias en el intervalo de tiempo 2009 - 2019	41
Gráfico 7-3: Curva de aprendizaje de red neuronal	48
Gráfico 8-3: Proyección de la cobertura de suelo para el año 2030.....	50

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. PUNTOS DE CONTROL

ANEXO B. MAPA MORFOMÉTRICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO

ANEXO C. CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es evaluar la dinámica espacial de la cobertura de ribera de la zona de influencia del río Chambo en la zona del nacimiento del río (cuenca media alta), entre los 2500 a 3000 m.s.n.m. Para su ejecución, se emplean imágenes Landsat 7 del año 2000, RapidEye del año 2009 y Spot 6 del año 2019, en dos períodos: 2000-2009 y 2009-2019, las cuales se someten a clasificación supervisada aplicando el algoritmo de máxima verosimilitud, identificándose cinco clases de cobertura de suelo: pasto, cultivos, suelo-remanentes de páramo, bosque, y antrópica; los resultados de la clasificación se validan mediante el cálculo de medidas de precisión y el índice kappa. Con el empleo de matrices de tabulación cruzada se identifican las ganancias, pérdidas y persistencias en los dos períodos estudiados; donde, se determina que, en el primer período de estudio la cobertura de suelo-remanentes de páramo presenta el mayor porcentaje de pérdida (26.70%), la cobertura de cultivo el mayor porcentaje de ganancia (28.91%), y en el segundo período la clase de cultivo presenta los mayores porcentajes de pérdidas (18.94%) y ganancias (17.29%). La proyección cartográfica de la zona, para el año 2030, aplicando la metodología MOLUSCE, predice que las áreas: categoría antrópica incrementará en un 1.27%, la de bosque disminuirá en 1.19%, la de suelo-remanentes de páramo ganará un 0.79%, las coberturas de cultivo y pasto disminuirán en 0.45% y 0.43% respectivamente. Los resultados obtenidos permiten atribuir las transiciones entre coberturas al crecimiento poblacional, actividades de forestación, reforestación, deforestación y agropecuarias, erupciones volcánicas, colonización de tierras y expansión de la actividad agrícola. Se recomiendan estudios complementarios que involucren medios de vida y calidad de agua, que faciliten la identificación de zonas vulnerables para proponer medidas de adaptación, prevención y/o restauración.

Palabras clave: <DINÁMICA ESPACIAL>, <COBERTURA DE SUELO>, <SUBCUENCA HIDROGRÁFICA>, <TELEDETECCIÓN>, <CLASIFICACIÓN SUPERVISADA>, <PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA >.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.19
08:55:48 -05'00'



1910-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The aim of the research is to evaluate the spatial dynamics of the river bank coverage in the influence area of Chambo River, specifically in the area of the river source (upper middle basin), from 2,500 to 3,000 meters above sea level. For its implementation, Landsat 7 images 2000, RapidEye 2009 and Spot 6 2019 are used in two periods: 2000-2009 and 2009-2019, which are exposed to supervised classification applying the maximum likelihood algorithm, identifying five types of ground cover like grass, crops, soil-moorland remnant, forest, and anthropic; The results of the classification are validated by calculating precision measures and kappa index. With the use of cross-tabulation matrices, the gains, losses and persistence are identified in the two periods studied. It is evidenced that during the first study period, the soil-moorland remnant coverage presents the highest loss percentage (26.70%), the crop cover represents the highest percentage of gain (28.91%), and during the second period the crop type presents the highest loss percentages (18.94%) and gains (17.29%). The map projection of the area for 2030 applying the MOLUSCE methodology, predicts that the areas with anthropic category will increase by 1.27%, the forest will decrease by 1.19%, the soil-moorland remnant will gain 0.79%, crop and pasture coverage will decrease by 0.45% and 0.43% respectively. The results obtained allow the transitions between coverage to be attributed to population growth, afforestation, reforestation, deforestation and agricultural activities, volcanic eruptions, land colonization and expansion of agricultural activity. Complementary studies involving livelihoods and water quality are recommended in order to facilitate the identification of vulnerable areas to propose adaptation, prevention and/or restoration measures.

Keywords: <SPATIAL DYNAMICS>, <GROUND COVERAGE>, <HYDROGRAPHIC SUB-BASIN>, <REMOTE DETECTION>, <SUPERVISED CLASSIFICATION>, <MAP PROJECTION>.

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema

Los ecosistemas de ribera son caracterizados como sistemas complejos, debido a que constituyen zonas de transición o interfase, al tratarse de un ecotono ubicado entre las zonas terrestres y acuáticas (Malanson, 1996, p.12). Su importancia se refleja en las múltiples interacciones que se producen entre ecosistemas acuáticos y terrestres; por lo cual, cualquier alteración a nivel de cuenca puede repercutir en el equilibrio natural de los cuerpos de agua (Kutschker et al. 2009, p.20).

La regulación del caudal, la introducción de especies exóticas y el cambio de cobertura de suelo, han determinado la alteración de los ecosistemas ribereños, provocando importantes impactos (Kutschker et al., 2009). De esta manera, en la zona de influencia del río Chambo se ha identificado pérdida de la cobertura vegetal, debido a la fragmentación de la tierra con el fin de llevar a cabo construcciones de viviendas, industrias y parcelas productivas (PDOT-Chambo, 2019, p.214).

A partir de ello, es importante tomar en cuenta que, las características superficiales de los ecosistemas regulan el balance de radiación y los flujos de masa y energía entre el suelo y la atmósfera, la intensidad del viento con su rugosidad y la humedad de la capa superficial. Es así que; el uso del suelo, actividad caracterizada por el tipo de cobertura, y particularmente la cobertura vegetal, desempeñan un papel importante en la regulación del clima y de diferentes fases del ciclo hidrológico (Pabón et al., 2014, p.380-381).

De tal manera, los cambios de cobertura de suelo contribuyen con una serie de impactos, como el cambio climático (el cual no solo es una consecuencia, sino también puede ser una de las causas de los cambios de cobertura) (Pabón et al., 2014, p.380), acompañado de altos niveles de erosión, reducción de la cobertura vegetal, pérdida de capacidad productiva de los suelos, elevados índices de migración y disminución de la calidad de vida de las comunidades rurales, a causa de un inadecuado manejo agropecuario (Alvarado, 2014, pp.5-15).

La subcuenca del río Chambo forma parte del sistema hidrográfico del río Pastaza, perteneciente a la vertiente del Amazonas. Esta subcuenca, se encuentra ubicada en el Callejón Interandino que forma parte de la cadena de fuego, motivo por el cual en los últimos años las erupciones volcánicas han provocado caídas de ceniza que han afectado en gran magnitud a los sistemas productivos de la zona; como es el caso del cantón Chambo y otros cantones aledaños (PDOT-Chambo, 2019, p.214).

Formulación del Problema

¿Existe cambio de cobertura en la zona de influencia del río Chambo entre los años 2000, 2009 y 2019; y cuál será su proyección para el año 2030?

Justificación

Los cambios de cobertura de suelo con la subsecuente pérdida de cobertura vegetal nativa provocan la fragmentación de hábitats y ecosistemas (Scolozzi y Geneletti, 2012, pp.9-10). El proceso de fragmentación afecta negativamente los procesos ecológicos y pone en peligro las especies de flora y fauna asociadas al lugar, de tal manera que su conservación y restauración es una temática indispensable de abordar al tomar en cuenta la importancia de estos ecosistemas. (Alvarado, 2014, p.2-3) Para ello, un análisis de la dinámica espacial de la zona de estudio permitirá cuantificar los cambios de cobertura de suelo, y de esta manera, la formulación de estrategias de conservación (Alvarado, 2014, p.3-4). Estos cambios y sus efectos en el paisaje se pueden analizar mediante teledetección o sensores remotos, herramientas que permiten realizar monitoreos temporales empleando imágenes satelitales o fotos aéreas (Farnum y Murillo, 2019, p.109).

Para medir la dinámica de la cobertura de suelo a largo plazo, el análisis multitemporal es una de las herramientas idóneas; se trata de un proceso cronológico de análisis digital de imágenes satelitales de una misma área, las mismas que al ser contrastadas permiten identificar las ganancias o pérdidas de cobertura en un tiempo determinado (Chuvienco, 1995; citado en Farnum y Murillo, 2019, pp.109-110)

El presente estudio se enfoca en la evaluación del cambio de cobertura en la zona de influencia del río Chambo, específicamente dentro de la cuenca media alta en lo que respecta a la zona aledaña al nacimiento del río, con la presencia de los tramos de los afluentes principales de la subcuenca del río Chambo; como son el río Cebadas, el Guamote y el Alao; esto con el fin de proporcionar información que pueda ser utilizada como una de varias herramientas que permitan mitigar la problemática de la fragmentación de los ecosistemas naturales. Para ello se empleará el análisis de la dinámica espacial de la cobertura de ribera de la zona de influencia de este río, entre los años 2000, 2009 y 2019; empleando sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG). De esta manera, será posible desarrollar una proyección del lugar para el año 2030.

El desarrollo de este estudio se llevará a cabo con la asesoría y aval del Grupo de Investigación, Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) como parte del proyecto de investigación “Medios de vida como estrategia para la planificación y gestión en la adaptación basada en

ecosistemas - PACHA” que se encuentra dentro del programa “Building a Resilient Future for the Andean Paramo Ecosystem of Ecuador”.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la dinámica espacial de la cobertura de ribera de la zona de influencia del río Chambo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estratificar la cobertura de ribera en la zona de influencia del nacimiento del río Chambo, dentro de la cuenca media alta entre los 2500 y 3000 m.s.n.m.
- Analizar las coberturas presentes en la zona de ribera del nacimiento del río Chambo en los años 2000, 2009 y 2019.
- Determinar cartográficamente la proyección de las coberturas presentes en la zona de ribera del nacimiento del río Chambo para el año 2030.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la Investigación

Los estudios de dinámica espacial, a partir de una secuencia multitemporal de imágenes satelitales, son considerados una de las aplicaciones más importantes en teledetección. La comparación de estas imágenes se ha empleado en la detección de cambios en la cobertura terrestre, para seguir la evolución de áreas forestales, superficies quemadas, desastres naturales, recursos naturales, crecimiento urbano, entre otros (Ambrosio et al., 2002, p.2).

Estos estudios surgen por la necesidad de analizar impactos ambientales suscitados con el pasar del tiempo, ya que permiten conocer la evolución y el grado de afectación de eventos naturales o antrópicos en los diferentes ecosistemas, mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Flórez et al., 2017, p.96).

En el Ecuador se ha desarrollado un mapa sobre la información de coberturas de suelo en las distintas zonas del Ecuador (MAGAP y MAE, 2015, p.1); sin embargo, los estudios multitemporales para determinar la dinámica espacial no han sido desarrollados en varias zonas y una de ellas es la cuenca media alta del río Chambo, específicamente, la zona de influencia del nacimiento de este río.

Se ha determinado que la zona de ribera del río Chambo ha sufrido ciertos cambios a causa de intensas lluvias, retaceo o fragmentación de la tierra para ser utilizada en la construcción y empleo de parcelas productivas, por actividades de deforestación en laderas y barrancos, e incluso por la actividad volcánica que ha provocado la afectación de tierras a causa de la caída de ceniza (PDOT-Chambo, 2019, p.214).

La Secretaría Técnica del Comité de Gestión de la subcuenca del río Chambo, reporta que esta subcuenca abarca 164.974 hectáreas de páramos y bosques, lo cuales, se han perdido en gran cantidad; como es el caso de los páramos de la parte alta de la cuenca, que soportan el avance de la frontera agrícola, la reforestación con especies exóticas, quema de pastizales en áreas de pastoreo y las principales actividades ganaderas y ovinas (MAE, 2013, p.18). Esta destrucción llega a provocar, además de la migración de la fauna, la pérdida de fuentes de agua y la reducción del caudal de los ríos, debido a que los páramos desempeñan un papel muy importante en el ciclo del agua (Ochoa et al., 2016, p.4075; MAE, 2013, p.18).

Tomando en cuenta que estas actividades mencionadas contribuyen con el cambio climático, y siendo esta una temática que se aborda en los últimos años, se han llevado a cabo la ejecución de estudios

como el caso del Proyecto de la Primera Comunicación Nacional, donde se realizó la primera evaluación de necesidades tecnológicas para el cambio climático (MAE, 2013, p.5). Es así que, los estudios de dinámica espacial, proveen de información que permitirá desarrollar tecnologías o planes para la adaptación y mitigación a esta problemática (Pabón et al., 2014; Suárez y Olaya, 2018).

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. Cobertura y usos de suelo

El término cobertura, hace referencia a las propiedades de la superficie terrestre como son: cuerpos de agua, vegetación, construcciones, cuerpos rocosos, cuerpos de nieve y superficies húmedas; algunos de estos naturales y otros a causa de la actividad antrópica, los cuales pueden ser observados directamente en imágenes satelitales y fotografías aéreas (Forero, 1981; citado en Castañeda et al., 2006 pp.3169-3170).

Por otro lado, el uso de suelo es caracterizado por las actividades de producción, cambio o mantenimiento que realiza el ser humano en una clase específica de cobertura del suelo (Castañeda et al., 2006, p.3170).

1.2.2. Sistemas ribereños

Los sistemas ribereños son zonas de interfase entre ecosistemas acuáticos y terrestres, por lo que son considerados sistemas heterogéneos (Kutschker et al., 2009, p.20), a menudo fértiles, principalmente debido a que están cercanos a cuerpos de agua, que hacen posible que los depósitos aluviales generen suelos ricos en nutrientes y materia orgánica (Granados et al., 2006, p.63).

1.2.2.1. Clasificación de coberturas de sistemas ribereños

La clasificación de cobertura y uso de suelo consiste en ordenar objetos en grupos de acuerdo a sus relaciones; describiendo los nombres de grupos, criterios utilizados para distinguirlos y las relaciones existentes entre clases (Castañeda et al., 2006, p.3170).

La clasificación de coberturas varía en función de la zona de estudio; es así que, de manera generalizada, las coberturas que se pueden detectar en los sistemas ribereños son:

- *Cuerpos de agua:*

Las corrientes de agua en bosques de ribera, varían en tamaño, desde manantiales hasta ríos principales; estos influyen sobre la vida acuática que en ellos habita, y aquella que se desarrolla en sus riberas o alrededores (Granados et al., 2006, p.56-57).

- *Cobertura vegetal:*

Hace referencia a todo aquello que se encuentra a los alrededores de los cuerpos de agua. A este grupo pertenecen bosques, vegetación natural arbustiva, pastos y mosaicos de cultivos; clasificación que también influirá sobre las especies que habitan este sistema (Poveda et al., 2018, p.217).

1.2.3. Sistemas de ríos altoandinos

Los ríos altoandinos son ecosistemas acuáticos de montaña, cuya importancia radica en el hecho de ser reservorios de recursos hídricos y en los servicios ecológicos que proveen, tales como la recarga de acuíferos, la retención de sedimentos, reciclado de nutrientes, disponibilidad de hábitat para los seres vivos, contribución de recursos tróficos para ecosistemas de las cuencas hidrológicas inferiores, entre otros (Villamarín, 2008, p.18).

La presencia de los Andes proporciona una diversidad climática a la zona altoandina, se presenta una disminución de la concentración de oxígeno y de la temperatura a medida que aumenta la altitud. De esta manera, la biota variará en función de las características climáticas y de muchos otros factores (Villamarín et al., 2014, p.1073).

1.2.3.1. Cobertura vegetal en ríos altoandinos

Villamarín (2008, p.17-18) resume las coberturas vegetales de las zonas de ríos altoandinos en los siguientes grupos:

- *Bosque montano*

Se encuentra entre los 2000 y 3500 m.s.n.m, estas zonas presentan temperaturas ligeramente cálidas en el día, y frías durante la noche. La composición de este bosque en las zonas de los ríos es variada e incluye arbustos y árboles de especies como *Oreopanax sp.*, *Baccharis sp.*, *Juglans neotropica*, entre otros.

- *Páramos, punas*

Los páramos y las punas son tipos de ecosistemas andinos ubicados en las zonas altas de los Andes, la temperatura promedio durante el día está alrededor de los 6° C, y en la noche pueden ser menores a los 0° C.

Los tipos de páramos que se identifican son: herbáceo, de almohadillas, de frailejones, el arbustivo y el seco; este último es denominado Puna.

- *Remanentes de páramo*

Hace referencia a fracciones de los diferentes tipos de páramo (herbáceo, de almohadillas, frailejones, arbustivo y seco) que antes ocupaban mayores áreas; y, su pérdida de cobertura es consecuencia del avance de la frontera agrícola, la reforestación con especies exóticas, actividades agropecuarias, entre otras (MAE, 2013, p.18).

- *Bosques relictos*

Estos bosques también se encuentran en zonas altas, específicamente en quebradas y laderas, en este grupo está la vegetación arbustiva y los árboles pequeños.

1.2.3.2. Subcuenca del río Chambo

El río Chambo, es el río principal de la subcuenca, cuenta con una longitud de 273 km, la misma que es considerada a partir de los nacimientos del río Yasipán que, al unirse con el río Ozogoche, se forma el río Cebadas, el que aguas abajo, al confluir con el río Guamote, toma el nombre de Chambo, hasta la confluencia con el río Patate, punto desde el cual toma el nombre de Pastaza (PDOT-Chambo, 2019).

La subcuenca del río Chambo, se ubica en el centro del Ecuador en la vertiente Atlántica de la cordillera de los Andes; representa un cierto porcentaje de áreas protegidas: la Reserva de Producción Faunística Chimborazo (2.4%) y el Parque Nacional Sangay (5.27%) (MAE, 2012; Suárez y Trujillo, 2018, pp.35-36).

Al ser un río altoandino, presenta variabilidad climática y altitudinal, debido a que la cuenca se encuentra entre los 2240-6310 m.s.n.m. (Suárez y Trujillo, 2018, p.36). Estos y otros factores, determinan la cobertura existente; de esta manera, la cobertura vegetal representativa de esta cuenca está conformada por páramo, cultivos anuales y pastizales (MAGAP y MAE, 2015, p.1).

1.2.4. Teledetección

La teledetección se basa en el hecho de que cada objeto, área o fenómeno emite un espectro electromagnético específico, en función de su propia naturaleza y de las radiaciones recibidas. Cada elemento o fenómeno se distingue del resto por su “firma espectral”, la cual se refiere a la reflectancia de ese espectro electromagnético (Molina y Eiroa, 2007, p.71).

1.2.4.1. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son elementos digitales con información obtenida de sensores instalados en satélites artificiales, los cuales captan la radiancia emitida o reflejada por los objetos (Molina y Eiroa, 2007, p.71). Están conformadas por un número determinado de píxeles, donde cada uno representa un área específica, diferenciadas entre sí por valores numéricos (números digitales) que indican la cantidad promedio de energía solar que cada superficie refleja (Labrador et al., 2012, pp.14-16).

Existen algunos sensores satelitales que proporcionan estas imágenes, como son Aster, RapidEye, Spot 2, Landsat 7, Landsat 8, entre otros.

1.2.4.2. Pre-procesamiento de imágenes satelitales

La radiancia medida por los sensores se ve perturbada por la absorción y dispersión producida por gases y aerosoles que atraviesan la atmósfera y llegan al sensor desde la superficie de la tierra, provocando distorsiones en las imágenes satelitales (Martínez et al., 2015, p.1).

Además, en estudios multitemporales, en los que se comparan imágenes de diferentes fechas, la atmósfera cambia de una fecha a otra lo que hace necesaria una corrección de los valores de las radiancias registradas por el sensor para cada banda (Aguilar et al., 2014, p.42).

De esta manera, con el fin de disminuir o eliminar estas perturbaciones, es indispensable llevar a cabo el tratamiento de las imágenes:

- Corrección Geométrica

La corrección geométrica suprime las distorsiones de este tipo y adapta las imágenes a proyecciones cartográficas deseadas e iguales, en caso de tratarse de un estudio de comparación de imágenes (Cabrera et al., 2011, pp.26-27).

- *Calibración Radiométrica*

Las imágenes satelitales cuentan con un escalado artificial de la radiancia, almacenada en una representación discreta de números digitales (ND), donde, la escala de estos depende de las características de almacenamiento de cada sensor (Aguilar et al., 2014, p.44).

Tomando en cuenta a los antes mencionado y que la radiancia percibida por el sensor depende de la luz solar en el momento de la captura, no es posible comparar firmas espectrales de imágenes capturadas en diferentes tiempos; para ello, se requiere una calibración radiométrica, que implica la conversión de los ND a valores de radiancia y reflectancia (Edwards, 1998; citado en Aguilar et al., 2014, p.44).

- *Corrección Atmosférica*

En la corrección atmosférica se recupera la radiancia intrínseca del objeto de investigación, proveniente de la señal que recibe el sensor (Aguilar et al., 2014, p.44), eliminando el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada por los gases y partículas en suspensión presentes en la atmósfera (Martínez et al., 2015, p.1).

1.2.5. Clasificación de coberturas por imágenes satelitales

La clasificación digital permite obtener una imagen en la que cada uno de los pixeles originales de la imagen satelital esté definido por un ND, el cual permite identificar distintos tipos de cubierta o intervalos de una misma categoría que se esté estudiando. Para su desarrollo se distinguen dos fases principales: fase de entrenamiento y fase de asignación (Chuvienco, 1995, pp.385-404).

1.2.5.1. Fase de Entrenamiento

En esta fase se definen las categorías de la imagen, agrupando rigurosamente los ND próximos entre sí; para lo cual se puede aplicar un método supervisado o un método no supervisado (Chuvienco, 1995, p.386).

- *Método Supervisado*

El método supervisado es aplicable cuando se tiene un conocimiento previo de la zona de estudio, que permita la delimitación de áreas representativas de las categorías definidas para el estudio. Estas áreas se denominan áreas de entrenamiento (ROI's), debido a que permiten entrenar al

software en el reconocimiento de las diferentes categorías, en función de sus ND (Chuvieco, 1995, p.389).

- *Método no supervisado*

Este método se centra en la interpretación humana para la definición de clases espectrales presentes en las imágenes. Los métodos usados para desarrollar esta clasificación son del tipo agrupamiento (*Clustering*), aunque recientemente se han empleado modelos neuronales (Chuvieco, 1995, p.393; Arango et al., 2005, p.2616).

Este método se basa en una búsqueda automática de grupos de valores (ND) homogéneos dentro de las imágenes, con el fin de definir las clases de interés (Arango et al., 2005, p.2616).

1.2.5.2. Fase de Asignación

En esta etapa, cada píxel se asigna a una de las categorías definidas en la fase de entrenamiento (Chuvieco, 1995, p.404). Para ello se pueden emplear diferentes clasificadores, siendo los más comunes los descritos a continuación.

- *Clasificador de mínima distancia*

En este clasificador, el píxel se asigna a la clase más próxima espectralmente, al comparar los ND de cada píxel con el central de cada clase (Chuvieco, 1995, p.404).

- *Clasificador de paralelepípedos*

Este clasificador emplea paralelepípedos alrededor de los valores de reflectancia máximo y mínimo definiendo las fronteras de cada clase. Un píxel se asigna a una categoría, cuando este es identificado dentro del paralelepípedo (Sarria, 2006, p.213).

- *Clasificador de máxima probabilidad (o máxima verosimilitud)*

En este clasificador se calcula la media y la desviación típica de las reflectividades de cada clase, y se trabaja con algún modelo de distribución de probabilidad. En este método se considera que los datos siguen una distribución normal; y, consecuentemente, el píxel es asignado a la categoría con mayor probabilidad de pertenencia (Sarria, 2006, p.213).

1.2.6. Modelado de cambios de terreno

Un modelado o simulación, consiste en diseñar un modelo a partir de la información previa de un sistema real, para experimentar con él y entender su comportamiento, de modo que permita predecir su comportamiento para un futuro (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2015, p.10).

En general, el análisis espacial de los cambios de cobertura/uso de suelo se lleva a cabo a través de la comparación de dos mapas con esta información de dos fechas anteriores, lo cual permite identificar patrones y procesos de cambio.

Existen algunos paquetes de modelación, cada uno cuenta con funciones y herramientas con requisitos distintos; además, se desarrollan en función a diferentes tipos de algoritmos, cuya aplicación depende de los datos de entrada y la finalidad de la modelación (Mas et al., 2011, p.2).

Algunos de estos modeladores son: Land Change Modeler, sistema integrado al software TERRSET; DINAMICA EGO, plataforma destinada al modelado ambiental; MOLUSCE (*Modules for Land Use Change Evaluation*), complemento de QGIS que evalúa el cambio de uso de la tierra (Suárez y Olaya, 2018, p.33).

Cada modelador tiene diferentes formas de ajustar la relación entre las variables explicativas y la probabilidad de transición; estos se denominan submódulos y entre ellos están Redes Neuronales Artificiales, Regresión Logística, Pesos de Evidencia, Autómatas Celulares, entre otros.

1.2.6.1. Redes Neuronales Artificiales (AN)

Las redes neuronales artificiales son técnicas empleadas en diversas áreas de estudio, idóneas para la clasificación, reconocimiento y predicción. Dentro de sus características reconocidas por sus usuarios, está su facultad de relacionar variables de manera funcional a pesar de trabajar con relaciones no lineales, debido a la influencia variable de factores y a su susceptibilidad frente a otros factores que no se han considerado en el estudio (Maneta y Schnable, 2003, p.296).

1.2.6.2. Autómatas Celulares

Un Autómata Celular es un modelo formal compuesto por un conjunto de elementos ubicados sobre una región geográfica o asociados a puntos de un espacio, cada uno de ellos susceptible a cambiar de un estado a otro según transcurre el tiempo, asumiendo que los sucesos ocurren en puntos en el tiempo distintos y separados (Peredo y Ramallo, 2002, p.348).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Unidad de análisis

Cobertura de suelo dentro de la Cuenca Media Alta del río Chambo entre los 2500 y 3000 m.s.n.m, que corresponde a tramos de los afluentes principales: Guamote, Cebadas y Alao.

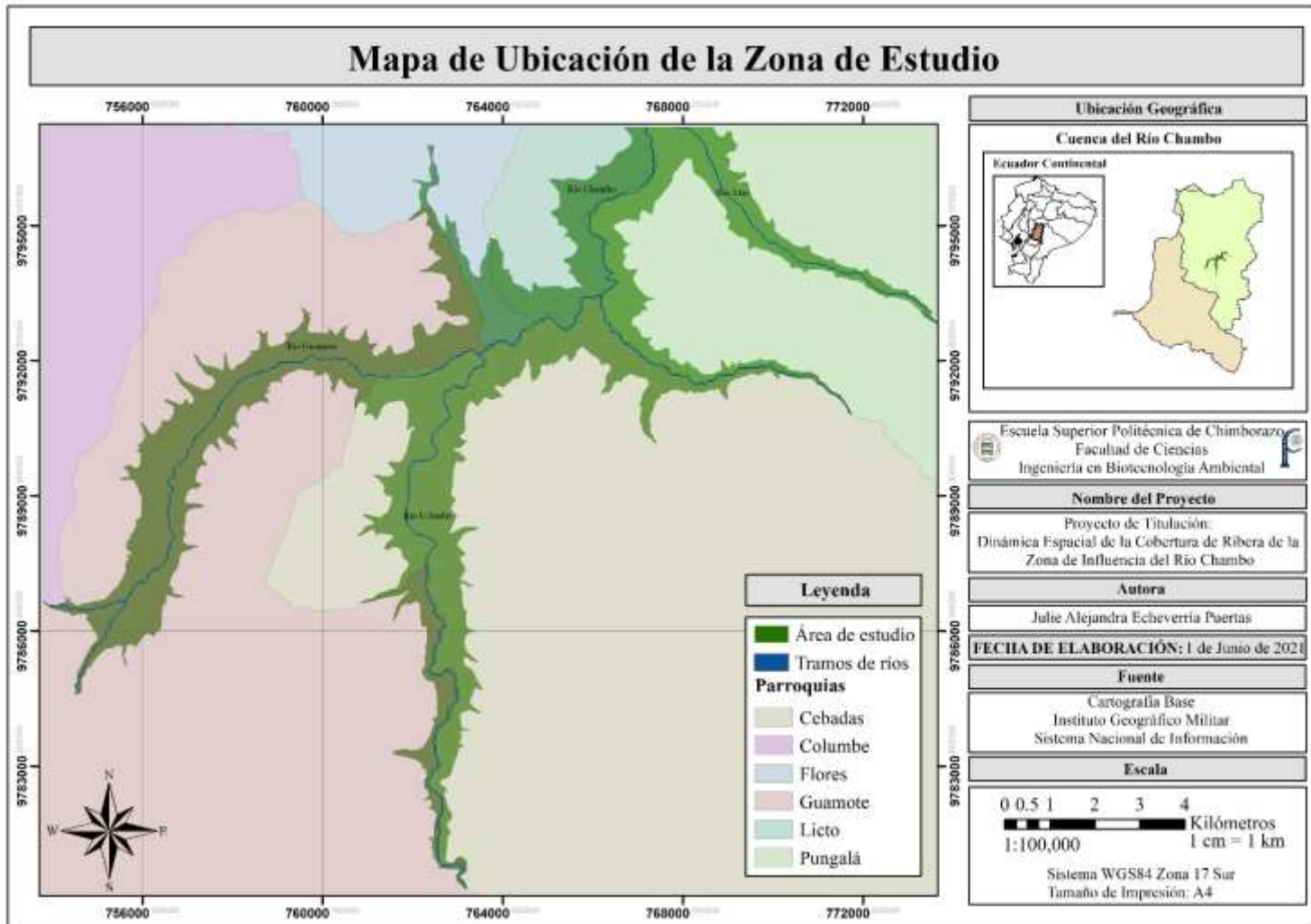


Figura 1-2: Mapa de ubicación de la zona de estudio

Realizado por: Echeverría Julie, 2021.

2.2. Estratificación de la cobertura de ribera en la zona de influencia del nacimiento del río Chambo

2.2.1. Delimitación de la zona de estudio

Para la delimitación de la zona de estudio se emplea la unidad hidrográfica del río Chambo, las curvas de nivel e hidrografía del área de estudio obtenidas en formato shapefile del portal web perteneciente al Instituto Geográfico Militar (IGM).

En primer lugar, se identificó una red hídrica formada por ramificaciones mayores e iguales a tres, esto con el fin de distinguir a los afluentes principales dentro de la subcuenca del río Chambo. Para ello, empleando el software GIS, se llevaron a cabo los siguientes pasos (Jumbo, 2015, p.85):

Tabla 1-2: Procedimiento para la identificación de una red hídrica

Herramienta	Función	Archivo de entrada	Archivo de salida
Fill	Corrige el Modelo de Elevación Digital (MED)	MED	MED corregido (relleno de pixeles vacíos)
Flow Direction	Calcula el ráster de dirección de flujo	MED corregido	Dirección de flujo
Flow Accumulation	Calcula el flujo acumulado para una celda.	Dirección de flujo	Acumulación de flujo
Map Algebra	Partiendo de la acumulación de flujo, calcula el ráster de corrientes, para lo cual se especifica el número de celdas deseadas para que conformen una corriente.	Acumulación de flujo	Red de drenajes
Stream Link	Convierte en segmentos continuos a la red de drenajes.	Red de drenaje Dirección de flujo	Drenaje segmentado
Stream Order	Crea un ráster del orden de las corrientes, en base al método de Strahler.*	Drenaje segmentado	Orden de los drenajes
Stream to Feature	Genera un shape de drenajes a partir del orden de los drenajes y la dirección de flujo.	Orden de los drenajes Dirección de flujo	Shape de la red de drenaje (red hídrica).

*Nota: **Método Horton-Strahler:** Cuando se unen dos corrientes de orden n, surge una corriente de orden n+1. Cuando una corriente interseca con otra de orden mayor, se deriva una corriente que conserva el mayor orden (Vega, 2020, p.76).

Fuente: Zhica (2020).

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

Posteriormente, la delimitación de la zona de estudio se realizó mediante una estratificación basada en rangos altitudinales, donde se ubicó al área de interés en un rango entre 2500 a 3000 m.s.n.m. empleando las curvas de nivel correspondientes, logrando determinar una superficie neta de 4669.42 hectáreas alrededor del punto de origen del río Chambo. Obteniendo así un área totalmente definida, dentro de la cuenca media alta del río Chambo.

El universo de esta investigación es el área asociada a la zona de estudio, a partir de este valor se determinan los puntos de control de la investigación, empleando un diseño completamente al azar y la fórmula de Fisher para el cálculo de muestras de poblaciones finitas (Aguilar, 2005, p.336), definiendo 355 puntos de control.

2.2.2. *Morfometría de la zona de estudio*

Una vez delimitada la zona de estudio, se procedió a realizar un análisis morfométrico de la subcuenca del río Chambo; el cual hace referencia al estudio de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; permitiendo una caracterización física (Gaspari et al., 2012, p.144). La morfometría se representó en un mapa que refleja numérica y gráficamente los parámetros correspondientes, para lo cual se empleó el Modelo de Elevación Digital y el shape de la subcuenca.

Los parámetros morfométricos que se calcularon son los siguientes:

- *Área (A)*: Superficie delimitada por la divisoria de aguas, medida en kilómetros cuadrados (Gaspari et al., 2012, p.147).
- *Perímetro (P)*: Medición de la longitud de la divisoria de aguas, calculada en kilómetros o metros (Gaspari et al., 2012, p.147).
- *Centroides*: Hace referencia a los centros de masa de la divisoria de aguas, en los ejes x, y e z (Quijano, 2014, p.9).
- *Coficiente de compacidad de Gravelius*: Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de una cuenca hidrográfica con el de un círculo teórico de área semejante al de la cuenca. En función al valor de este coeficiente, la cuenca tendrá diferente forma: $K_c = 1.00$ representa una cuenca redonda; $K_c = 1.25$, oval redonda; $K_c = 1.50$ oblonga; K_c igual o mayor a 1.75 apunta a una cuenca rectangular-oblonga (Gaspari et al., 2012, p.147).

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

- *Curva hipsométrica:* Caracteriza el relieve y se obtiene a partir de las cotas de altitud y con la superficie acumulada de cada cota (porcentaje) (Lux, 2015, p.5).

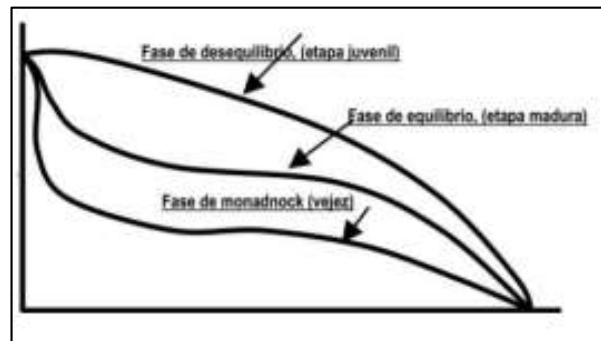


Figura 2-2: Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión

Fuente: (Lux, 2015).

- *Pendiente media:* Caracteriza el relieve de la cuenca, determinando la variación de la inclinación del terreno. Permite identificar el poder erosivo al que se ve sometida una cuenca hidrográfica; además, tiene relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la aportación del agua subterránea al flujo de los cauces (Zhica, 2020, p.36; Gaspari et al., 2012, p.148). En función al valor de pendiente (porcentaje), el relieve puede caracterizarse como: Muy plano a un valor menor del 0.5%; plano entre 0.5 a 1 %, de 1 a 3 % suave; de 3 a 12 % presenta lomadas; 12 a 20 % corresponde a un relieve accidentado; 20 a 50 % accidentado muy fuerte; escarpado cuando está entre 50 y 75 %, y mayor al 75% se caracteriza como muy escarpado (Gaspari et al., 2012, p.149).
- *Densidad de drenaje:* Se define como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto su área (Gaspari et al., 2012, p.149). Es calculada en km/km^2 ; y, en función a su valor se caracteriza como: Densidad baja para valores entre 0.1 y 1.8, valores entre 1.9 y 3.6 corresponde a una densidad moderada, y valores entre 3.7 y 5.6 se refieren a una densidad alta. Un valor de densidad de drenaje alto, se refiere a una cuenca muy bien drenada, atribuyendo a una respuesta relativamente rápida a un evento de precipitación; una cuenca con una densidad de drenaje baja, corresponde a un área pobremente drenada, presentando una respuesta muy lenta al evento de precipitación (Corradine, 2017, p.17).
- *Densidad de corrientes:* Se define como el número de corrientes por unidad de área, y es considerado como un indicador del grado de eficiencia de una cuenca hidrográfica. Entre mayor sea su valor, la divisoria de aguas tendrá mayores ramificaciones y, por ende, una respuesta rápida a eventos de lluvia (Corradine, 2017, p.17).
- *Longitud del cauce principal.*

- *Longitud de los ríos de cada orden dentro de la divisoria de aguas.*
- *Longitud total de la red hídrica.*

2.2.3. Insumos

Además de la cartografía base aplicada (unidad hidrográfica del río Chambo) y la cartografía oficial obtenida del IGM. También se emplean imágenes satelitales Landsat 7, RapidEye y Spot 6; de las cuales la imagen Landsat fue obtenida de Earth Explorer del sitio web *United States Geological Survey*, considerando nubosidades menores al 30% con el propósito de que el campo visible sea tan amplio como sea posible. Mientras que, las imágenes RapidEye y Spot fueron proporcionadas, por el proyecto PACHA del grupo de investigación que respalda el presente estudio.

Tabla 2-2: Metadata de las imágenes satelitales

	Imágenes					
	LANDSAT 7		RAPIDEYE		SPOT 6	
Fecha de Adquisición	16/09/2000		09/11/2009		20/09/2019	
Sensor	ETM+		RapidEye AG		SPOT 6 MDI	
WRS Path	10		10		10	
WRS Row	61		61		61	
Coordenadas Geográficas	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
	-0.50520	-79.54740	-0.51663	-79.46736	-0.51886	-79.48837
	-0.75230	-77.84990	-0.76261	-77.77085	-0.76470	-77.79127
	-2.14510	-79.89700	-2.13374	-79.81152	-2.13616	-79.83244
	-2.39240	-78.19770	-2.37997	-78.11317	-2.38227	-78.13353
Sistema de Proyección	UTM		UTM		UTM	
Unidades de Proyección	Metros		Metros		Metros	
Zona UTM	17S		17S		17S	
Sistema de Referencia	WGS84		WGS84		WGS84	
Cobertura Nubosa	25%		10%		5%	
Resolución (m)	30		5		1-2	
Combinación de bandas empleadas en el estudio	Azul: 0.45-0.52 μm Verde: 0.52-0.60 μm Rojo: 0.63-0.69 μm		Azul: 0.44-0.51 μm Verde: 0.52-0.59 μm Rojo: 0.63-0.685 μm		Azul: 0.43-0.55 μm Verde: 0.50-0.62 μm Rojo: 0.50-0.62 μm	

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

2.2.4. *Pre-procesamiento de imágenes satelitales*

El pre-procesamiento fue aplicado únicamente a la imagen Landsat, debido a que las imágenes RapidEye y Spot fueron proporcionadas, con la corrección respectiva, por el grupo de investigación (GIDAC).

El pre-procesamiento de la imagen Landsat 7 implica una corrección atmosférica, la cual requiere de una previa calibración radiométrica: convertir el número digital (ND) de cada banda en un valor de radiancia (L); y, convertir la radiancia a valores de reflectividad en el techo de la atmósfera “*Top of Atmosphere*” (TOA) (Aguilar et al., 2014, p.44).

Para convertir los valores ND a valores de radiancia, se utilizan los factores radiométricos de reescalamiento G y B que son específicos para cada banda (Chander y Markham, 2003, p.3), y son suministrados por el archivo de metadatos de MTL.

$$L = ND * G + B$$

Posteriormente, se convierte la radiancia espectral calculada, en una reflectancia planetaria o exoatmosférica (TOA) (Chander y Markham, 2003, p.4).

$$\rho_p = \frac{L * d^2 * \pi}{ESUN * \cos\theta}$$

ρ_p = Reflectancia planetaria adimensional

L = Radiancia espectral

d = Distancia entre el sol y la Tierra

ESUN = Irradiancia solar exoatmosférica

θ = Ángulo solar

De esta manera, se lleva a cabo la corrección atmosférica, empleando el método *Dark Subtraction* del Software ENVI (Wilson y Weng, 2011, p.4390).

2.2.5. Identificación de estratos de la zona de estudio

2.2.5.1. Fase de Entrenamiento

En las tres imágenes satelitales empleadas en este estudio, se aplicó la combinación de bandas espectrales en color natural, es decir, las tres bandas (azul, verde y rojo) que corresponden al espectro visible. Esta combinación es la más cercana a la apreciación de la tierra con nuestros ojos desde el espacio (Fernández y Herrero, 2001, p.13).

En esta fase se llevó a cabo una clasificación supervisada, con el fin de obtener un mapa de coberturas de suelo de la zona de estudio, empleando la librería “Semi-Automatic Classification” en el software QGIS. Para ello se requiere establecer puntos de control, los cuales hacen referencia a las áreas o regiones de interés (ROI’s), también denominadas parcelas de entrenamiento (Paegelow y Camacho, 2010, p.11).

Los 355 puntos de control fueron identificados en campo con el empleo de un GPS. Posteriormente, fueron localizados en las imágenes satelitales, agregando las coberturas identificadas, con la herramienta “Macro Class List”, y seguidamente empleando el ícono para creación de un ROI de polígono (Brenes, 2019, p.10).

2.2.5.2. Fase de Asignación

Para esta fase de la metodología, se seleccionó el clasificador de máxima verosimilitud empleando también el software QGIS, al ser un algoritmo sencillo de aplicar y considerado como uno de los procedimientos de discriminación más acertados y eficientes. (Maselli et al., 1995; citados en García y François, 2008, p.11)

Este algoritmo elabora el “retrato espectral” de cada categoría en función de la media y de la varianza de los sitios de entrenamiento localizados en la imagen satelital. Se considera que los datos siguen una distribución normal, lo cual permite trabajar con un modelo de distribución de probabilidad que permite asignar a cada píxel a la categoría con mayor probabilidad de pertenencia (García y François, 2008, p.11).

2.2.5.3. Estratos en la zona de estudio

La estratificación del área de estudio consistió en identificar las coberturas de suelo presentes: Pasto, cultivos, suelo y remanentes de páramo, bosque, antrópica (referente a construcciones, vías, y

cualquier actividad en la que intervenga el hombre exceptuando la parte agrícola que ya se incluye en las otras coberturas designadas).

2.3. Análisis de las coberturas presentes en la zona de ribera del nacimiento del río Chambo en los años 2000, 2009 y 2019

Para analizar las coberturas de suelo identificadas en los años 2000, 2009 y 2019; en primer lugar, se valida la clasificación supervisada, aplicando una matriz de error que permite calcular las medidas de precisión y el índice Kappa. La matriz de error es una matriz cuadrada, cuyas filas y columnas que la conforman representan a cada una de las categorías del mapa de cobertura de suelo obtenido en de la clasificación ejecutada (Anupam, 2017, p.65).

Tabla 3-2: Medidas de precisión e índice kappa

Medida	Fórmula	Descripción
Precisión del Productor - PA (<i>Producer's Accuracy</i>)	$PA = \frac{\text{Número de píxeles clasificados correctamente en una categoría (columna)}}{\text{Número total de píxeles en esa categoría (columna)}}$	Hace referencia a la probabilidad de que una clase determinada se reconozca correctamente. (Ayala et al., 2017, p.10)
Precisión del Usuario - UA (<i>User's Accuracy</i>)	$UA = \frac{\text{Número de píxeles clasificados correctamente en una categoría (fila)}}{\text{Número total de píxeles en esa categoría (fila)}}$	Representa la probabilidad de que un píxel sea clasificado correctamente en la clase específica a la que pertenece. (Ayala et al., 2017, p.10)
Precisión Global - OA (<i>Overall Accuracy</i>)	$OA = \frac{\text{Número total de píxeles correctamente clasificados}}{\text{Número total de píxeles clasificados}}$	Indica la proporción del área clasificada correctamente. (Ayala et al., 2017, p.10)
Índice kappa	$kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r n_{ii} - \sum_{i=1}^r (n_{i+} * n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (n_{i+} * n_{+i})}$ <p>Dónde: r = número de filas y columnas en la matriz de error. N = número de píxeles en la matriz de error. n_{ii} = elemento en la diagonal de la clase i. n_{i+} = número total de observaciones en la fila i. n_{+i} = número total de observaciones en la columna i.</p>	Es una medida de la concordancia entre dos mapas teniendo en cuenta todos los elementos de la matriz de error. (Anupam, 2017, p.70)

Nota: El valor promedio de PA y UA se lo determina dividiendo su valor para el número de clases.

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

Consecuentemente, se direccionó a la evaluación multitemporal para la identificación de ganancias, pérdidas y persistencias de cada una de las coberturas de suelo. Para ello, se empleó una matriz transicional de cambio de cobertura, se trata de una matriz de tabulación cruzada valorada como una herramienta ideal para análisis descriptivos de transiciones (Plata, 2010, p.25); de esta manera, se procedió a calcular las medidas de cambios y vulnerabilidad como se presenta en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Medidas de cambios y vulnerabilidad del área de estudio

Medida	Fórmula	Descripción																																																	
Matriz de tabulación cruzada	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="3">Año 2</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>Año 1</th> <th>Clase 1</th> <th>Clase 2</th> <th>Clase 3</th> <th>Total año 1</th> <th>Pérdidas</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Clase 1</td> <td>P_{11}</td> <td>P_{12}</td> <td>P_{13}</td> <td>P_{1+}</td> <td>$P_{1+} - P_{11}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Clase 2</td> <td>P_{21}</td> <td>P_{22}</td> <td>P_{23}</td> <td>P_{2+}</td> <td>$P_{2+} - P_{22}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Clase 3</td> <td>P_{31}</td> <td>P_{32}</td> <td>P_{33}</td> <td>P_{3+}</td> <td>$P_{3+} - P_{33}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total año 2</td> <td>P_{+1}</td> <td>P_{+j}</td> <td>P_{+n}</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ganancias</td> <td>$P_{+1} - P_{11}$</td> <td>$P_{+2} - P_{22}$</td> <td>$P_{+3} - P_{33}$</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Año 2					Año 1	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Total año 1	Pérdidas		Clase 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$		Clase 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$		Clase 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$		Total año 2	P_{+1}	P_{+j}	P_{+n}				Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$				<p>La matriz de tabulación cruzada se la conoce también como matriz de cambios (en estudios de usos de suelo). Está conformada por filas que poseen la información de las clases del tiempo 1 y las columnas a la del tiempo 2 (Plata, 2010).</p>
		Año 2																																																	
Año 1	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Total año 1	Pérdidas																																														
Clase 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$																																														
Clase 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$																																														
Clase 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$																																														
Total año 2	P_{+1}	P_{+j}	P_{+n}																																																
Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$																																																
Parámetros para el análisis de los cambios de cobertura de suelo	<p>Ganancias: $(G_{ij}) = P_{+j} - P_{ij}$ Pérdidas: $(L_{ij}) = P_{j+} - P_{ij}$ Cambio neto: $(D_j) = L_{ij} - G_{ij}$ Cambio total: $(D_{Tj}) = G_{ij} + L_{ij}$ Intercambio: $(S_j) = 2 * \text{MIN}(P_{j+} - P_{ij}, P_{+j} - P_{ij})$</p> <p>Dónde: P_{+j} = Ganancias en el tiempo 2 P_{ij} = Ausencia de cambios de cobertura P_{j+} = Pérdidas en el tiempo 2</p>	<p>Estos parámetros determinan ganancias, pérdidas, cambio neto, cambio total e intercambios, para cada clase (cobertura) experimentados entre dos tiempos de estudio. El cambio total es la mitad de la suma de los cambios en las categorías individuales, de igual manera sucede con el cambio neto y el intercambio; debido a que la suma de los cambios en las categorías individuales cuenta dos veces el cambio en el área total porque el cambio en una celda de la matriz cuenta como una ganancia en una categoría y una pérdida en otra categoría (Pontius et al., 2004, p.258).</p>																																																	

Vulnerabilidad	gp =ganancia/persistencia lp =pérdida/persistencia	Relacionan la persistencia de la pérdida y ganancia de cada categoría (Braimoh, 2005, p.259).
Índices de persistencia de Braimoh	np= gp- lp Donde: gp = persistencia de ganancia lp = persistencia de pérdida np = cambio neto de persistencia	

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

2.4. Proyección cartográfica de las coberturas presentes en el ecosistema de ribera para el año 2030

Para efectuar la proyección del área de estudio se aplicó el complemento MOLUSCE del software QGIS; el cual, tal como su nombre lo indica (*Modules for Land Use Change Evaluation*) hace referencia a módulos para la evaluación de cambios de uso de suelo. Este complemento ha sido diseñado para analizar, modelar y simular cambios de uso/cobertura de suelo de manera efectiva. Donde, su interfaz gráfica de usuario cuenta con siete submódulos principales, que permiten valorar a MOLUSCE como un complemento intuitivo y fácil de usar (Gismondi et al., 2014).

A continuación, en la Tabla 5-2, se presentan en orden los submódulos que se aplicaron para la obtención de la proyección cartográfica para el año 2030 de las coberturas presentes en la zona de estudio.

Tabla 5-2: Submódulos de la Metodología MOLUSCE

Submódulo	Función
Entrada	Se cargan los mapas de cobertura de suelo (Ráster), de los dos últimos años de estudio, generados previamente con la clasificación supervisada.
Cambios de área	Calcula las áreas de cada cobertura de suelo, matrices de transición de cambio de cobertura y los mapas de cobertura de suelo.
Modelado de potencial de transición	En este apartado están disponibles cuatro métodos de modelado: Redes Neuronales Artificiales, Pesos de evidencia, Regresión Logística y Evaluación Multicriterio. En el presente estudio se trabajó con el primer método; donde, el algoritmo de aprendizaje examina la precisión alcanzada en los conjuntos de muestras (puntos de control) y validaciones de entrenamiento, y guarda la mejor red neuronal en la memoria. La culminación del proceso de entrenamiento se da cuando se alcanza la mejor precisión. (Palacios, 2019, p.20)
Simulación de autómatas celulares	Genera mapas de potencial de transición y el mapa de proyección (simulación) de la cobertura de suelo. Siendo este último, el objetivo de este apartado de la investigación.

Fuente: Gismondi et al. (2014).

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Estratificación de la cobertura de ribera en la zona de influencia del nacimiento del río Chambo

3.1.1. Delimitación de la zona de estudio

El área delimitada para el estudio se ubica en la cuenca media alta del río Chambo, donde, la zona alta corresponde al páramo andino y la zona baja a la parte productiva. Las coberturas características son el pasto y bosques de *Polylepis* (zonas de páramo) (Bautista, 2009, p.71), eucalipto (*Eucaliptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*) (Bautista, 2014, p.14); siendo estas últimas, las principales causantes de los cambios de cobertura al tratarse de especies introducidas que tienen el objetivo de incrementar o diversificar el ingreso económico de los campesinos andinos, reducir la erosión de áreas degradadas y también como una estrategia de secuestro de carbono (Vargas y Velasco, 2011, p.79). Las parcelas agrícolas y construcciones antrópicas son coberturas que también se han ampliado debido al incremento poblacional.

3.1.2. Morfometría de la zona de estudio

Se llevó a cabo el cálculo de los parámetros morfométricos de la subcuenca del río Chambo, debido a que la zona de estudio no corresponde a una cuenca hidrográfica específica y no es posible atribuirle características que determinan el comportamiento de la divisoria de aguas.

Tabla 1-3: Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chambo

Parámetro	Unidades	Valor
Área	km ²	3458.09
Perímetro	km	470.40
Cota máxima	msnm	6256
Cota mínima	msnm	2249
Desnivel altitudinal	m	4007
Centroide X	m	765.06
Centroide Y	m	9795.31
Centroide Z	m	4116.55
Índice de Compacidad	Adimensional	2.26
Altura Media	m	4252.50
Altura más frecuente	m	5254.25
Pendiente media de la cuenca	%	33.94
Pendiente media de la red hídrica	%	35.96
Longitud cauce principal	km	134.11
Longitud orden 1	km	467.41
Longitud orden 2	km	200.77
Longitud orden 3	km	118.34
Longitud orden 4	km	77.26
Longitud red hídrica	km	863.78
Densidad de drenaje	km/km ²	0.25
Densidad de corrientes	l/km	0.057

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

El río Chambo tiene una orientación de sur a norte con una longitud aproximada de 85 km (Arias y Pérez, 2018, p.24). El valor del índice de compacidad (2.26) caracteriza a la cuenca como rectangular oblonga. La pendiente media de la cuenca de 33.94%, se atribuye a un relieve fuertemente accidentado. Además, la densidad de drenaje baja (0.25 km/km²) permite determinar que su respuesta a un evento de precipitación es muy lenta; lo que se relaciona con la densidad de corrientes, al ser un valor muy bajo indica que no existen las ramificaciones suficientes que permitan responder favorablemente a estos eventos.

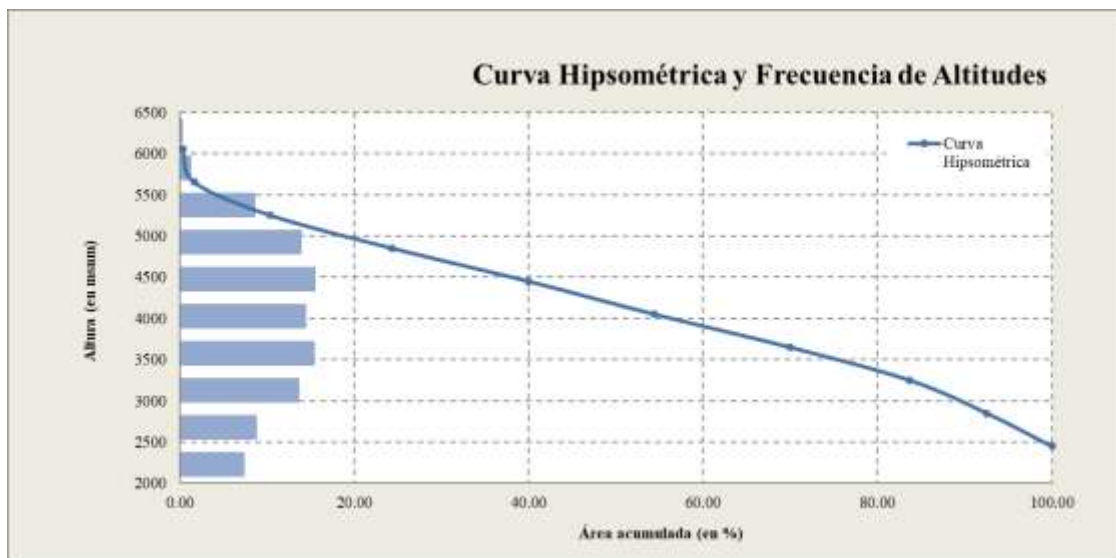


Gráfico 1-3: Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes de la Cuenca del río Chambo

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

La curva hipsométrica muestra que la cuenca del río Chambo se encuentra en una etapa madura y de equilibrio, representando una actividad erosiva media (Arias y Pérez, 2018, p.24).

A continuación, se calcularon las alturas de la zona de estudio. Donde, su valor de altura media (2911.50 m) y altura más frecuente (2998.23 m) permite ubicarla dentro de la zona media alta de la cuenca del río Chambo. Es importante recalcar, que la zona de estudio está conformada únicamente por los tramos de los ríos principales (Chambo, Guamote, Cebadas y Alao) y sus tributarios; y, por ende, los órdenes de los mismos no pueden ser identificados gráficamente en la zona de estudio. En la Tabla 2-3 se muestran las longitudes de los tramos de los ríos que se encuentran en el área estudiada y las curvas de nivel con las que se delimitaron.

Tabla 2-3. Descripción de los tramos de los ríos ubicados en la zona de estudio

Nombre del Río	Orden	Longitud	Curvas de nivel
Río Cebadas	3	17148.14	2880-3040
Río Alao	2	16163.84	2760-3040
Río Guamote	4	13918.00	2840-3000
Río Chambo	4	9782.13	2760-2840

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

3.1.3. Identificación de estratos de la zona de estudio

El área de estudio se estratificó en función a los tipos de coberturas identificadas, tomando en cuenta las coberturas de interés para el MAE, presentadas en su leyenda temática, de los niveles I y II (MAE y MAGAP, 2013, p.11):

- *Pasto (Nivel II)*: Vegetación característica de las vertientes de las cordilleras, pertenece al grupo de Tierra Agropecuaria (Nivel I) de la clasificación de coberturas.
- *Cultivos (Nivel II)*: Cobertura perteneciente a la Tierra Agropecuaria. En la subcuenca del río Chambo se pueden identificar cultivos anuales, semipermanentes y permanentes; siendo el maíz y el arroz los predominantes.
- *Bosque*: Cobertura perteneciente al Nivel I de la clasificación de coberturas, la misma que incluye plantaciones forestales y bosque nativo (Nivel II). La cobertura de bosque presente en esta zona de estudio, está conformada principalmente por bosques de polylepis (nativo), especies de *Eucaliptus globulus* y *Pinus radiata*.
- *Zona Antrópica (Nivel I)*: Se refiere a las zonas pobladas que se encuentran en la subcuenca; por lo tanto, hace referencia a construcciones y vías pertenecientes al Nivel II de la clasificación mencionada.
- *Suelo y remanentes de páramo*: Hace referencia a los terrenos con suelo desnudo y remanentes de la vegetación pertenecientes a zonas de páramo. No se seleccionan como coberturas por separado debido a que la densidad existente de remanentes de páramo no es significativa.

3.1.3.1. Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada permitió obtener los mapas de cobertura de suelo de los años estudiados, para ello se emplearon imágenes satelitales Landsat 7, Spot 6 y RapidEye.

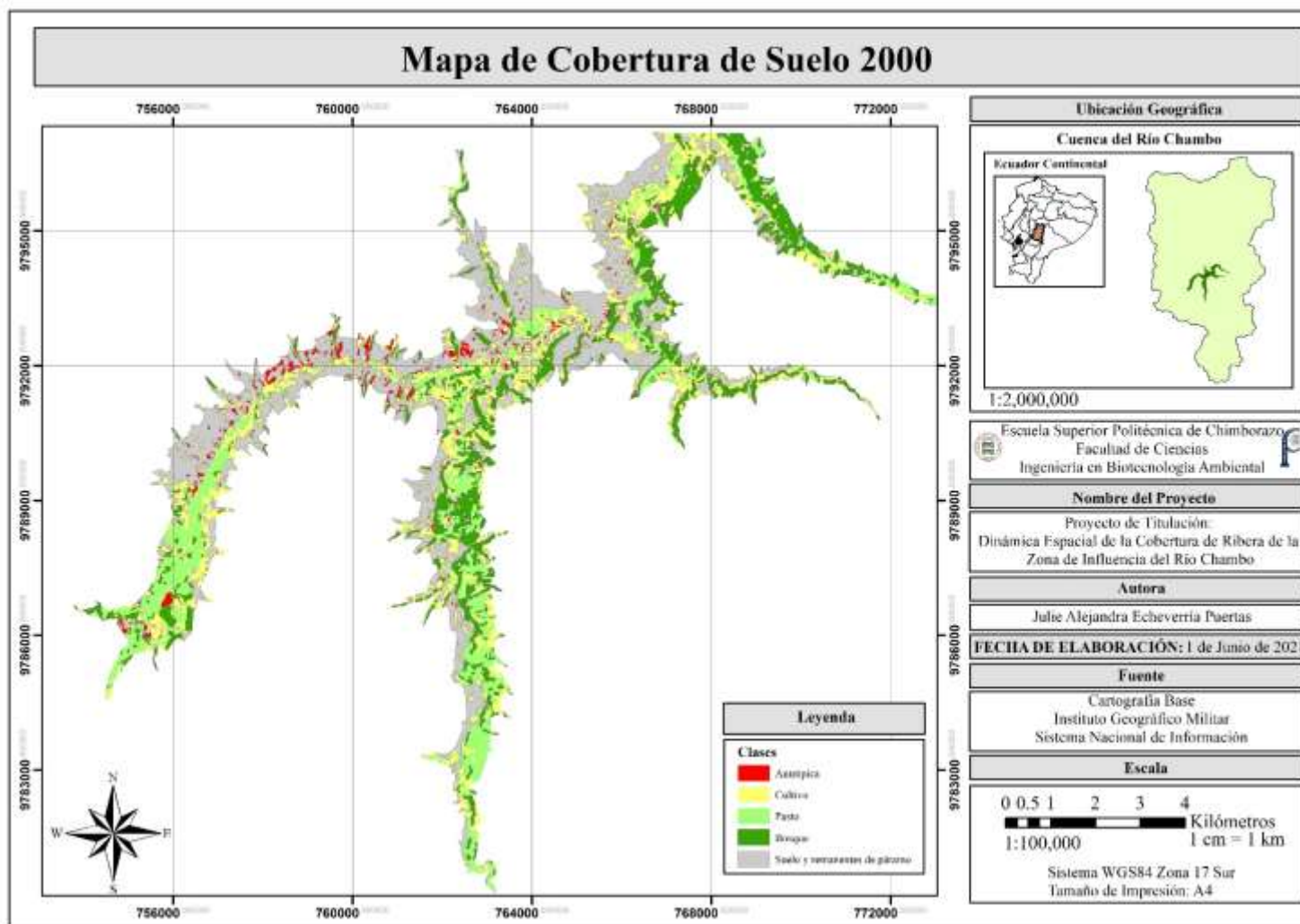


Figura 1-3: Mapa de cobertura de suelo, año 2000

Realizado por: Echeverría Julie, 2021.

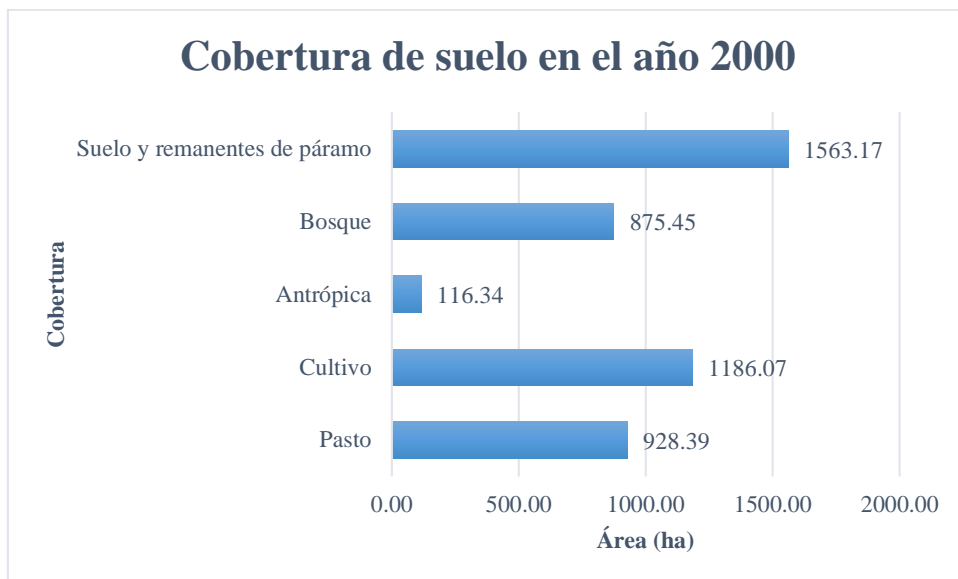


Gráfico 2-3: Cobertura de suelo en el año 2000

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

En el año 2000 se evidencia que la cobertura predominante es la que corresponde a suelo y remanentes de páramo con un área de 1563.17 ha (33.48%). Posteriormente, están los cultivos, cobertura que tiene un área de 1186.07 ha (25.40%); seguida de la cobertura de pasto con 928.39 ha (19.88%), bosque con un área de 875.45 ha (18.75%). La cobertura de menor área es la referente a la actividad humana, cobertura antrópica, con 116.34 ha (2.49%).

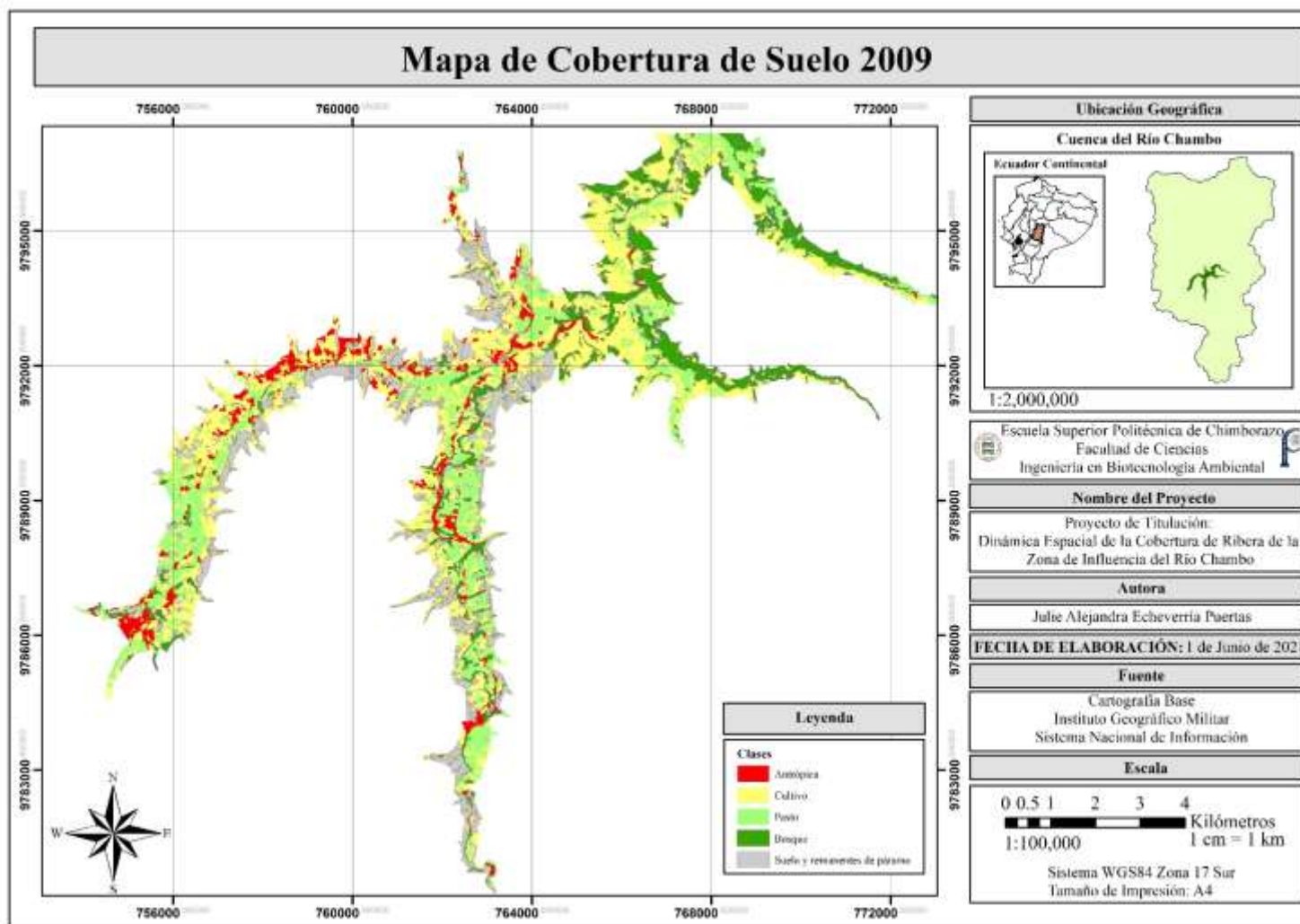


Figura 2-3: Mapa de cobertura de suelo, año 2009

Realizado por: Echeverría Julie, 2021

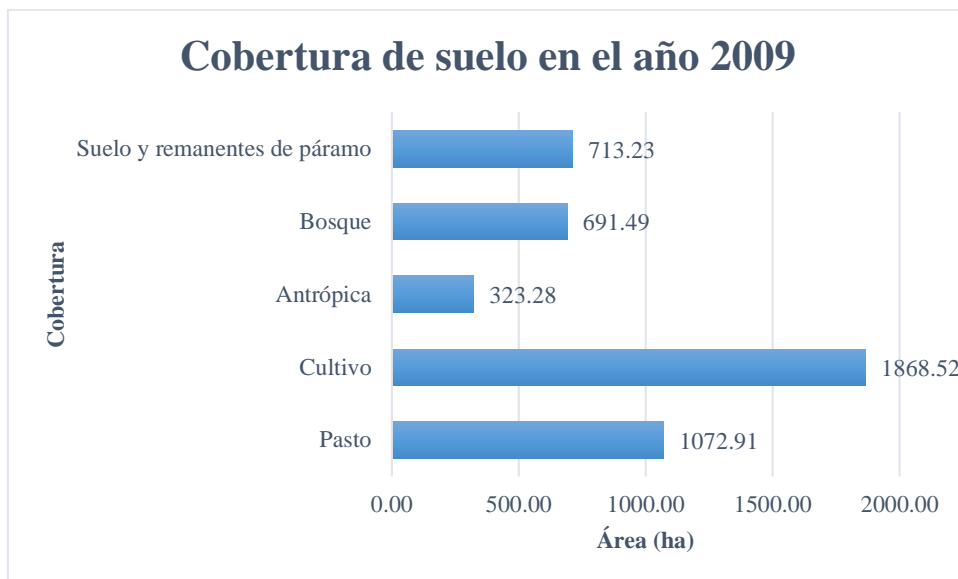


Gráfico 3-3: Cobertura de suelo en el año 2009

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

Para el año 2009 se evidencia un cambio en las áreas de cada tipo de cobertura. Donde, la cobertura predominante es la de cultivos con 1868.52 ha (40.02), seguida de la cobertura de pasto con un área de 1072.91 ha (22.98%), bosque con 691.49 ha (14.81%), suelo y remanentes de páramo con 713.23 ha (15.27%); y, con la menor área, la cobertura de la zona antrópica con 323.28 ha (6.92%).

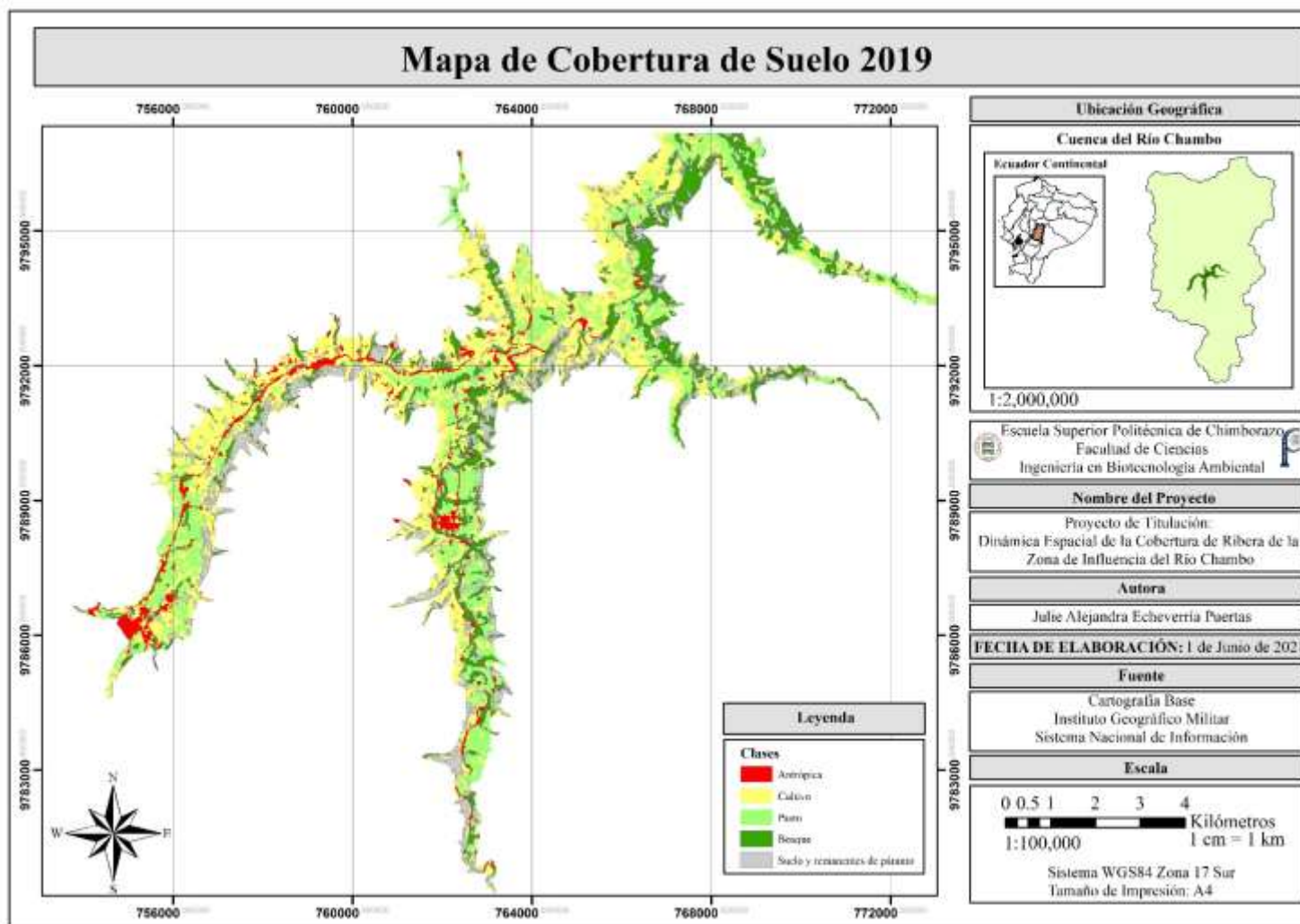


Figura 3-3: Mapa de cobertura de suelo, año 2019

Realizado por: Echeverría Julie, 2021.

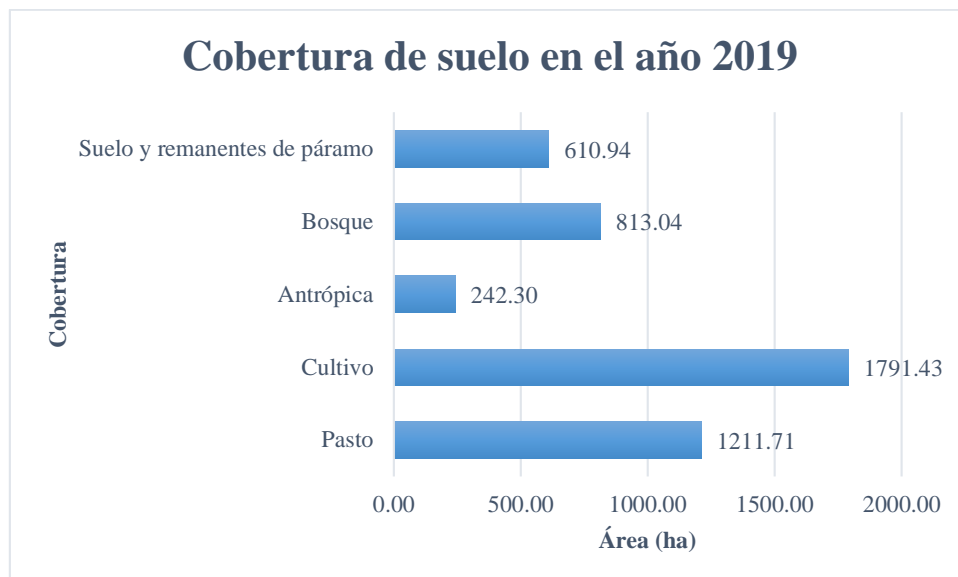


Gráfico 4-3: Cobertura de suelo en el año 2019

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

En el año 2019, la cobertura de cultivo continúa siendo la predominante con un área de 1791.43 ha (38.37%); de igual manera, seguida de la cobertura de pasto con 1211.71 ha (25.95%), bosque con 813.04 ha (17.41%), suelo y remanentes de páramo con 610.94 ha (13.08%), y la cobertura correspondiente a las zonas antrópicas tienen un área de 242.30 ha (5.19%).

3.2. Análisis de las coberturas presentes en la zona de ribera del nacimiento del río Chambo en los años 2000, 2009 y 2019

3.2.1. Análisis de la Clasificación Supervisada

Para validar la clasificación supervisada se calcularon las medidas de precisión y el índice kappa, de cada una de las clasificaciones en los tres años de estudio. Para ello se realizó una matriz de error de cada año, en las cuales se obtuvieron los valores que se muestran a continuación:

Tabla 3-3: Evaluación de precisión de la clasificación supervisada e índice kappa de los años de estudio

Año	Medidas de precisión			Índice kappa
	Precisión del Productor	Precisión del Usuario	Precisión Global	
2000	75.50%	74.02%	75.24%	0.68
2009	85.18%	81.63%	84.76%	0.80
2019	90.84%	89.30%	92.86%	0.91

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

Los tres mapas de clasificación de coberturas obtenidos de los años 2000 y 2009, presentan valores de precisión global aceptables; ya que se encuentran en el rango de 70% - 90% como lo mencionan Li et al., (2014, p.8905) para clasificaciones de coberturas de suelo. Además, la precisión del año 2019 es de 92.86%, considerada como casi perfecta.

Por otro lado, está el valor del índice kappa, el cual califica la fuerza de concordancia de los valores de estudio (Landis y Koch, 1977), en este caso se atribuye a la concordancia entre los datos tomados en campo con los obtenidos de la clasificación realizada por el software GIS. Los valores correspondientes a los años 2000 y 2009, que son 0.68 y 0.80 respectivamente, determinan una concordancia de datos considerable; mientras que el índice kappa del año 2019, indica una concordancia casi perfecta, al ser un valor de 0.91. Esto en función a los rangos presentados en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Valoración del índice kappa

Coficiente kappa	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecta

Fuente: (Landis y Koch, 1977).

3.2.2. Evaluación multitemporal de las transiciones de cobertura

3.2.2.1. Matriz de tabulación cruzada

Con la aplicación de una matriz de tabulación cruzada se identificaron las transiciones de cobertura; donde, las proporciones de persistencia de cada categoría se ubican en las celdas de la diagonal de la matriz, y las proporciones correspondientes a las categorías que han experimentado transiciones se encuentran en las celdas restantes (Pontius et al., 2004, p.253).

Tabla 5-3: Matriz de tabulación cruzada con valores expresados en porcentajes (2000 - 2009)

		2009					Total 2010	Pérdida	
		Pasto	Cultivo	Antrópica	Bosque	Suelo y remanentes de páramo			
Codificación		10	20	30	40	50			
2000	Pasto	1	9.79	5.14	1.16	2.26	1.54	19.88	10.09
	Cultivo	2	4.89	11.11	1.56	3.22	4.62	25.40	14.29
	Antrópica	3	0.14	1.01	0.90	0.07	0.36	2.49	1.59
	Bosque	4	4.52	5.36	0.73	6.15	1.99	18.75	12.60
	Suelo y remanentes de páramo	5	3.63	17.39	2.57	3.11	6.77	33.48	26.70
	Total 2017		22.98	40.02	6.92	14.81	15.27		
	Ganancia		13.19	28.91	6.02	8.66	8.50		65.27

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

En el intervalo de tiempo entre los años 2000 y 2009, la transición de mayor impacto corresponde al cambio de suelo y remanentes de páramo a cultivo, con un 17.39% del total; estas transiciones se evidencian a lo largo de toda la zona de estudio, pero en mayor cantidad en los tramos de los ríos ubicados en las parroquias Cebadas y Pungalá (Figura 4-3). Por otra parte, el cultivo es la categoría que presenta mayor porcentaje de persistencia (11.11%,) en este período, posteriormente están, el pasto con 9.79%, bosque con 6.15%, suelo y remanentes de páramo con un 6.77%, y finalmente la cobertura correspondiente a la zona antrópica, con 0.90%.

Tabla 6-3: Matriz de tabulación cruzada con valores expresados en porcentajes (2009 - 2019)

		2019					Total 2010	Pérdida
		Pasto	Cultivo	Antrópica	Bosque	Suelo y remanentes de páramo		
		10	20	30	40	50		
2009	Codificación	1	2	3	4	5		
	Pasto	13.63	4.60	1.00	2.83	0.92	22.98	9.35
	Cultivo	8.06	21.08	1.45	4.94	4.49	40.02	18.94
	Antrópica	1.02	3.05	2.03	0.43	0.40	6.92	4.89
	Bosque	1.97	3.57	0.35	6.93	1.98	14.81	7.88
	Suelo y remanentes de páramo	1.27	6.07	0.36	2.28	5.29	15.27	9.98
	Total 2017		25.95	38.37	5.19	17.41	13.08	
Ganancia		12.32	17.29	3.16	10.48	7.79	51.04	

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

Por otro lado, en el período de años de 2009-2019, la transición de mayor impacto corresponde a la de cultivo a pasto con un 8.06% del total. Mientras que, los porcentajes de áreas que se han mantenido son; en mayor porcentaje la referente a cultivo con un 21.08%, seguido de un 13.63% de pasto, 6.93% de bosque, 5.29% de suelo y remanentes de páramo, y en menor porcentaje se ha mantenido la cobertura relacionada con la actividad antrópica exceptuando la actividad agrícola. Estas transiciones se evidencian gráficamente en el mapa de persistencias y transiciones de cobertura (Figura 5-3).

3.2.2.2. Índice de cambio

En base a los valores determinados en el punto anterior, fue posible determinar el índice de cambio en los dos períodos de tiempo de la investigación.

Tabla 7-3: Índice de cambio del intervalo de tiempo 2000 - 2009 expresado en términos porcentuales

	Ganancias	Pérdidas	Cambio Neto	Intercambio	Cambio Total
Pasto	13.19	10.09	3.10	20.18	23.28
Cultivo	28.91	14.29	14.62	28.58	43.20
Antrópica	6.02	1.59	4.43	3.17	7.61
Bosque	8.66	12.60	3.94	17.32	21.26
Suelo y remanentes de páramo	8.50	26.70	18.20	17.00	35.21
	Sumatoria		44.28	86.26	130.54
	Total		22.14	43.13	65.27

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

En la Tabla 7-3 se presentan los valores porcentuales de ganancias, pérdidas, cambio neto, intercambio y cambio total de las coberturas de suelo analizadas en el área de estudio. Entre los años 2000 y 2009, se identifica los siguientes valores: un cambio total de 65.27%, un cambio neto de 22.14% y un intercambio de 43.13%. La cobertura correspondiente a cultivo es la que más interacciones ha presentado con las otras coberturas, al contar con un valor de intercambio de 28.58%. Además, las categorías que registran pérdidas de área con respecto al cambio neto son: bosque con 3.94% y, suelo y remanentes de páramo con 18.20%. Por otro lado, las coberturas de suelo cuyas áreas han presentado ganancias con respecto al cambio neto son: pasto con 3.10%, cultivo con 14.62%, y antrópica con 4.43%.

Tabla 8-3: Índice de cambio del intervalo de tiempo 2009 - 2019 expresado en términos porcentuales

	Ganancias	Pérdidas	Cambio Neto	Intercambio	Cambio Total
Pasto	12.32	9.35	2.97	18.70	21.67
Cultivo	17.29	18.94	1.65	34.58	36.23
Antrópica	3.16	4.89	1.73	6.32	8.05
Bosque	10.48	7.88	2.60	15.76	18.36
Suelo y remanentes de páramo	7.79	9.98	2.19	15.58	17.77
	Sumatoria		11.15	90.94	102.09
	Total		5.58	45.47	51.04

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

En el período 2009-2019 se evidencia un cambio total de 51.04%, un cambio neto de 5.58% y un intercambio de 45.47% del área de estudio. La categoría que ha interactuado en mayor porcentaje con el resto, al igual que en el período anterior, es la del cultivo, al presentar un 34.58% de intercambio. Además, las categorías que registran pérdidas de área con respecto al cambio neto son: Cultivo con 1.65%, antrópica con 1.73% y, suelo y remanentes de páramo con 2.19%. Por otro lado, las categorías que registran ganancias de área respecto al cambio neto son: Pasto con 2.97% y bosque con 2.60%.

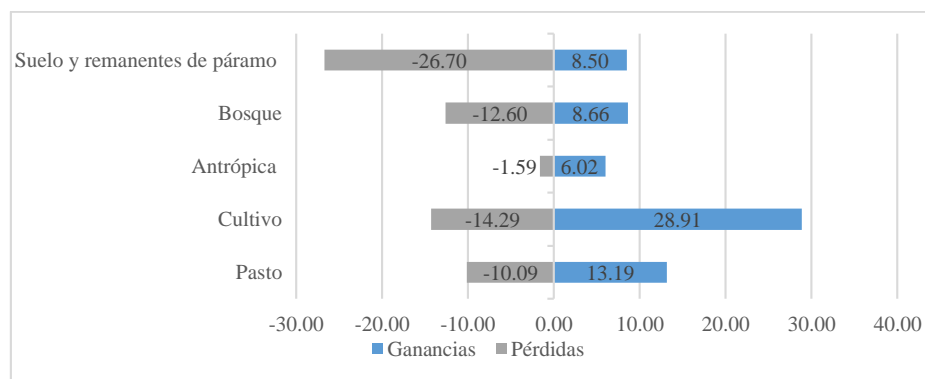


Gráfico 5-3: Pérdidas vs Ganancias en el intervalo de tiempo 2000 - 2009

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

Como se puede observar en el gráfico, la cobertura correspondiente a suelo y remanentes de páramo es la que ha presentado el mayor porcentaje de pérdida (26.70%) debido a su transición a las otras coberturas, como se observa en la Tabla 9.3; siendo este valor, tres veces (3.14) mayor que el porcentaje de ganancia (8.50%). Al ser los remanentes de páramo parte de esta clase, su pérdida es atribuible a la degradación del mismo, y esto debido a que gran parte de los páramos de la provincia de Chimborazo han estado expuestos a presiones mediante prácticas comunes de agricultura, ganadería y reforestación con especies introducidas; la quema de la mayor parte de la paja, también es una práctica común, cuyo propósito es el rebrote de la paja tierna para alimentar al ganado, aumentando así la productividad del mismo (Bustamante et al., 2011, p.16).

Por el contrario, la clase referente a cultivos es la que evidencia el mayor porcentaje de ganancia (28.91%), el cual corresponde al doble del porcentaje de pérdidas (14.29%). Como causa de esto es oportuno citar la Ley de Reforma Agraria y Colonización, que entró en vigencia en el Ecuador en julio de 1964, proponiendo un nuevo concepto de obtención de derechos de uso de la tierra. Por lo tanto, hasta 30 años después de su aplicación, los Andes ecuatorianos experimentaron una transformación significativa, dando lugar a la expansión de las actividades agrícolas (Pierre, 2001, p.29). Por otro lado, en lo que se refiere a pérdidas de esta cobertura, añadiendo a las actividades mencionadas anteriormente, la ceniza proveniente de las erupciones volcánicas también han sido un problema que ha contribuido a la pérdida de cultivos (PDOT-Chambo, 2019, p.214).

Por otra parte, la categoría bosque presenta un porcentaje de pérdida de 12.60%; como se denotó en la estratificación de la zona de estudio, esta categoría incluye las plantaciones forestales en general, y los bosques nativos del lugar. Las causas de estas pérdidas también se relacionan con las causas de las categorías descritas en los párrafos anteriores, tomando en cuenta que los bosques nativos representativos del área de estudio son aquellos que están ubicados en las zonas de páramo; y de igual manera, la colonización y la expansión agrícola han provocado el reemplazo de estas coberturas

forestales. El valor de ganancia (8.66%) se respalda con actividades de reforestación y forestación, aplicadas con distintos objetivos, como por ejemplo el “Proyecto forestación y reforestación de la subcuenca del Río Chambo” que buscaba contribuir con las condiciones ambientales en la subcuenca, empleando especies nativas para protección y exóticas para producción; este proyecto finalizado, ya presentaba resultados en el año 2008 (FIEDS, 2017, párr.3).

Continuando con el orden descendente de los porcentajes de pérdidas, está la categoría pasto, la cual presenta los porcentajes de ganancias y pérdidas muy cercanos, 13.19% y 10.09% respectivamente, lo cual no puede representar un impacto significativo en la zona. Sin embargo, las inundaciones en la subcuenca, especialmente en la parte media y en la parte de la desembocadura, se presentan como una importante amenaza para esta categoría; debido a que se ha determinado que a lo largo de la subcuenca del río Chambo, el 28% de las áreas afectadas por inundaciones corresponde a los pastos plantados (Arias y Pérez, 2018, p.35).

Con lo que respecta a la cobertura antrópica, su porcentaje de pérdida (1.59%) es el de menor impacto en comparación con las demás categorías. Al igual que su valor de ganancia (6.02%) lo cual se debe al aumento poblacional típico de las sociedades.

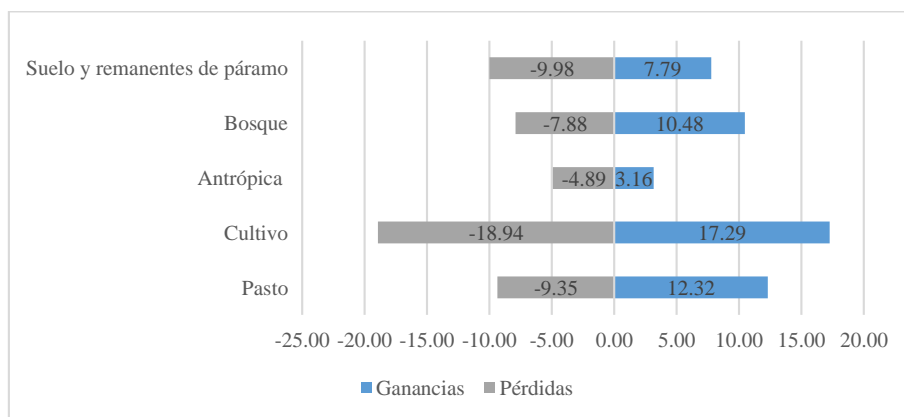


Gráfico 6-3: Pérdidas vs Ganancias en el intervalo de tiempo 2009 - 2019

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

En el intervalo de tiempo 2009-2019, la categoría que mayor porcentaje de pérdida presenta es la de cultivo con un 18.94%; a pesar de ello, esta cobertura prácticamente pierde lo que gana. A continuación, está la cobertura de suelo y remanentes de páramo, la cual ha disminuido significativamente sus porcentajes de transiciones en comparación al período analizado anteriormente; pero, se mantiene la tendencia de presentar mayor porcentaje de pérdida (9.98%) que de ganancia (7.79%).

En lo que respecta a la cobertura pasto, se observa un mayor porcentaje de ganancias (12.32%) que de pérdidas (9.35%), manteniendo una tendencia similar al período anterior. Todo lo contrario, ocurre con la categoría bosque, en este período de tiempo presenta un mayor porcentaje de ganancias (10.48%) que de pérdidas, lo cual se lo atribuye a las actividades de forestación y reforestación de años anteriores. De igual manera sucede con la cobertura antrópica, todo lo contrario al período anterior, su porcentaje de pérdidas (4.89%) es ligeramente mayor al porcentaje de ganancias (3.16%); esto se respalda con la migración por parte de la población rural hacia los poblados urbanos (PDOT-Chambo, 2019, p.81) tomando en cuenta que la mayor parte de la zona de estudio corresponde a zonas rurales.

En función al análisis del cambio de cobertura realizado, a continuación, se presentan las tablas y mapas que exponen las interacciones que se registraron en este estudio.

Tabla 9-3. Transiciones de coberturas en términos de área en el intervalo de tiempo 2000 - 2009

		Área (ha)
Código	Cambio	2000-2009
11	Se mantuvo Pasto	457.19
12	De Cultivo a Pasto	228.23
13	De Antrópica a Pasto	6.51
14	De Bosque a Pasto	211.27
15	De Suelo y remanentes de páramo a Pasto	169.71
21	De Pasto a Cultivo	239.93
22	Se mantuvo Cultivo	518.76
23	De Antrópica a Cultivo	47.22
24	De Bosque a Cultivo	250.39
25	De Suelo y remanentes de páramo a Cultivo	812.23
31	De Pasto a Antrópica	54.26
32	De Cultivo a Antrópica	72.95
33	Se mantuvo Antrópica	42.24
34	De Bosque a Antrópica	33.9
35	De Suelo y remanentes de páramo a Antrópica	119.92
41	De Pasto a Bosque	105.32
42	De Cultivo a Bosque	150.58
43	De Antrópica a Bosque	3.33
44	Se mantuvo Bosque	287.18
45	De Suelo y remanentes de páramo a Bosque	145.08
51	De Pasto a Suelo y remanentes de páramo	71.69
52	De Cultivo a Suelo y remanentes de páramo	215.56
53	De Antrópica a Suelo y remanentes de páramo	17.03
54	De Bosque a Suelo y remanentes de páramo	92.71
55	Se mantuvo Suelo y remanentes de páramo	316.24

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

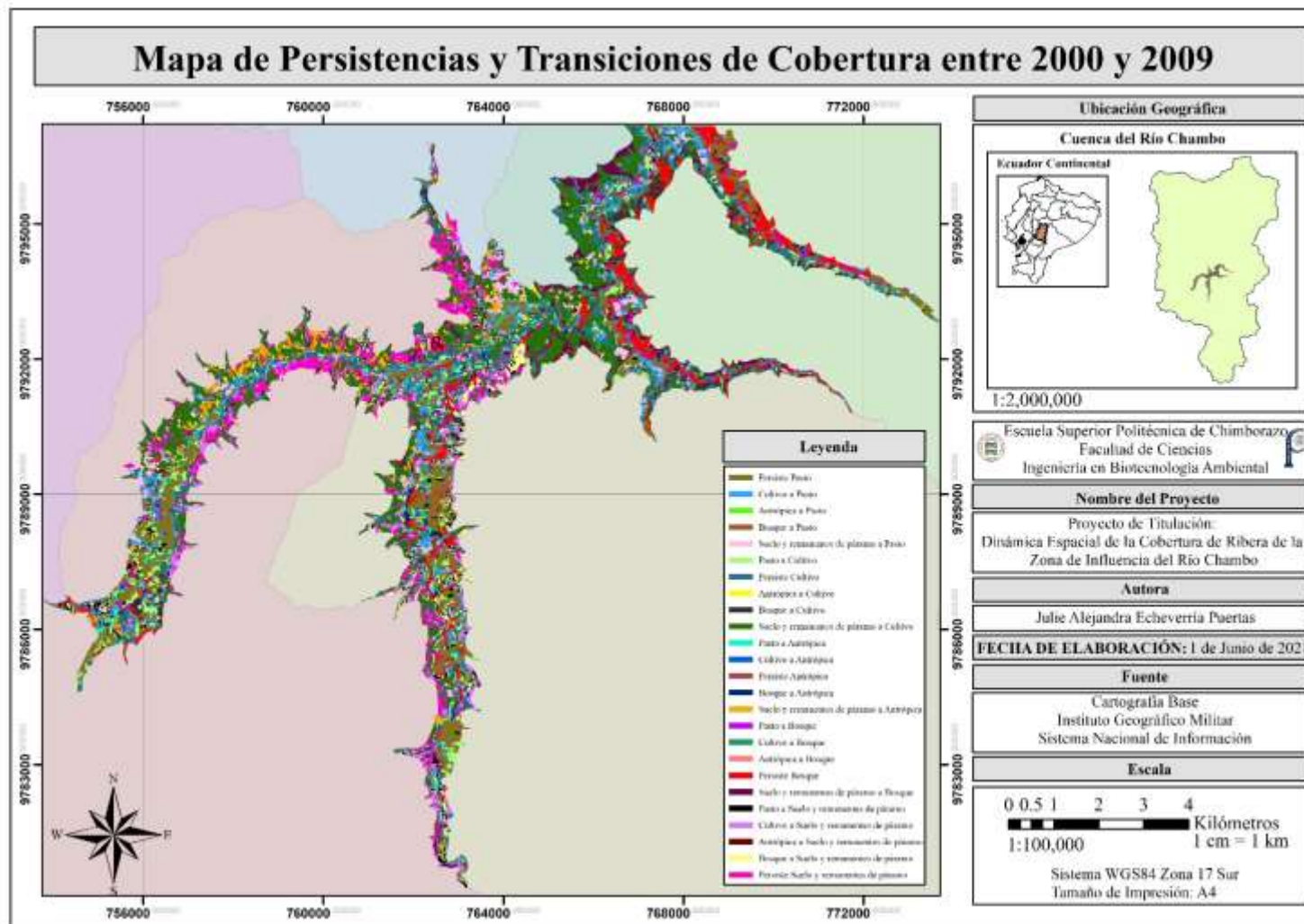


Figura 4-3: Mapa de persistencias y transiciones de cobertura entre 2000 y 2009

Realizado por: Echeverría Julie, 2021.

Tabla 10-3. Transiciones de coberturas en términos de área en el intervalo de tiempo 2009 - 2019

		Área (ha)
Código	Cambio	2009-2019
11	Se mantuvo Pasto	636.34
12	De Cultivo a Pasto	376.49
13	De Antrópica a Pasto	47.52
14	De Bosque a Pasto	92.07
15	De Suelo y remanentes de páramo a Pasto	59.28
21	De Pasto a Cultivo	214.65
22	Se mantuvo Cultivo	984.18
23	De Antrópica a Cultivo	142.38
24	De Bosque a Cultivo	166.85
25	De Suelo y remanentes de páramo a Cultivo	283.38
31	De Pasto a Antrópica	46.73
32	De Cultivo a Antrópica	67.61
33	Se mantuvo Antrópica	94.76
34	De Bosque a Antrópica	16.43
35	De Suelo y remanentes de páramo a Antrópica	16.77
41	De Pasto a Bosque	132.37
42	De Cultivo a Bosque	230.44
43	De Antrópica a Bosque	20.03
44	Se mantuvo Bosque	323.56
45	De Suelo y remanentes de páramo a Bosque	106.65
51	De Pasto a Suelo y remanentes de páramo	42.82
52	De Cultivo a Suelo y remanentes de páramo	209.81
53	De Antrópica a Suelo y remanentes de páramo	18.59
54	De Bosque a Suelo y remanentes de páramo	92.57
55	Se mantuvo Suelo y remanentes de páramo	247.15

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

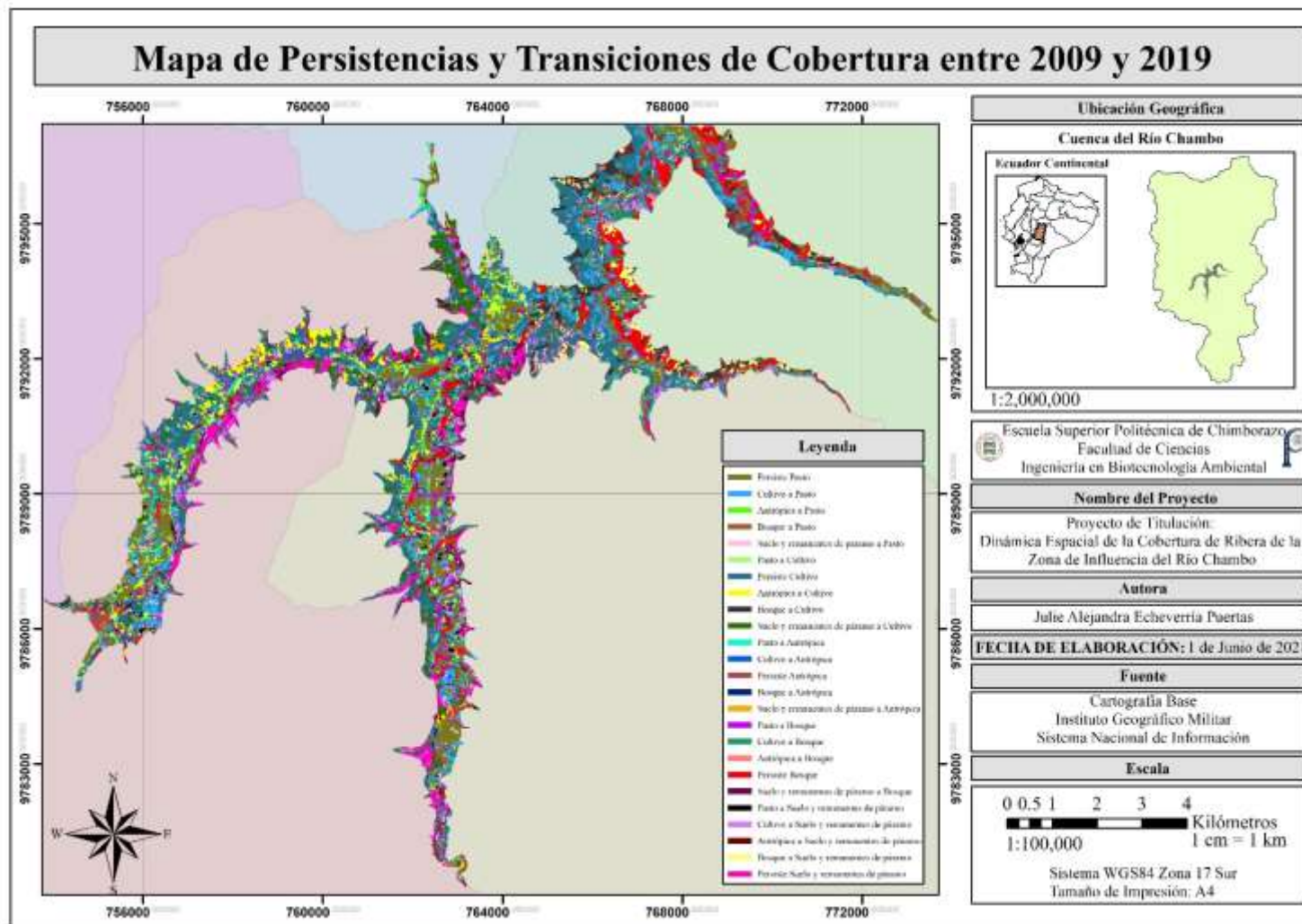


Figura 5-3: Mapa de persistencias y transiciones de cobertura entre 2009 y 2019

Realizado por: Echeverría Julie, 2021.

3.2.2.3. Índices de persistencias

Las persistencias de las pérdidas y ganancias se evaluaron de acuerdo a la tendencia que presentaban a disminuir o aumentar las proporciones en cada categoría. En la siguiente tabla se presentan los coeficientes de persistencias de pérdidas, ganancias y cambios netos (Braimoh, 2005, p.259).

Tabla 11-3: Coeficientes de persistencias de ganancias, pérdidas y cambios netos en los intervalos de tiempo 2000-2009 y 2009-2019

	2000-2009			2009-2019		
	gp	lp	np	gp	lp	np
Pasto	1.35	1.03	0.32	0.90	0.69	0.22
Cultivo	2.60	1.29	1.32	0.82	0.90	-0.08
Antrópica	6.65	1.75	4.90	1.56	2.41	-0.85
Bosque	1.41	2.05	-0.64	1.51	1.14	0.38
Suelo y remanentes de páramo	1.26	3.94	-2.69	1.47	1.89	-0.41

gp = persistencia de ganancia lp = persistencia de pérdida np = cambio neto de persistencia

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

Cuando los valores de gp y lp son superiores a 1 indican que existe una tendencia más alta al aumento o reducción que a la persistencia (Braimoh, 2005, p.260). De esta manera, en el período 2000-2009, todas las categorías tienen una mayor tendencia a ganar que a persistir, siendo la categoría antrópica la de mayor impacto (6.65); de manera similar sucede con la tendencia a perder, pero en este caso el valor de mayor importancia es el perteneciente a la categoría suelo y remanentes de páramo.

En el período 2009-2019, exceptuando las categorías de pasto y cultivo, todas las categorías tienden en mayor cantidad a ganar y a perder que a persistir.

Como se puede observar el coeficiente correspondiente a la clase antrópica en el primer período es un valor muy elevado en comparación con los demás, incluso comparándolo con el valor de la misma clase en el siguiente período. Esta disminución entre períodos se puede atribuir al aumento de las migraciones con el pasar de los años, como ya se mencionó anteriormente.

En cuanto al valor de persistencia de pérdida de suelo y remanentes de páramo en el primer período, se ve respaldado principalmente por la degradación de los páramos como se describió en el apartado anterior. De igual manera, se ve ligado a la ganancia de las otras categorías, debido a que además de reemplazar los páramos también ocupan los terrenos sin cobertura (suelo).

3.3. Proyección cartográfica de las coberturas presentes en el ecosistema de ribera para el año 2030

La proyección para el año 2030 de la zona de estudio, se obtuvo empleando el método de modelado de Redes Neuronales Artificiales del complemento MOLUSCE. Donde, en primer lugar, se estableció un vecindario de 9 píxeles, una tasa de aprendizaje de 0,1 y un máximo de 1000 iteraciones (Suárez y Olaya, 2018, p.71) para obtener la curva de aprendizaje de red neuronal que se muestra en el Gráfico 7-3.

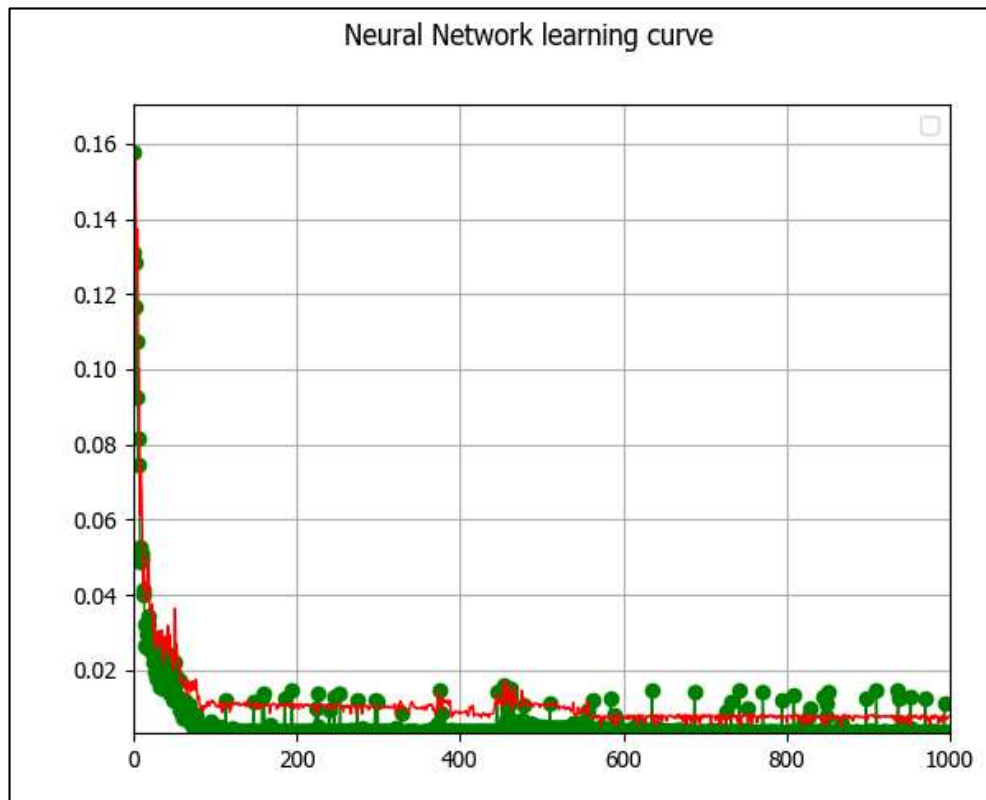


Gráfico 7-3: Curva de aprendizaje de red neuronal

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

El error general mínimo de validación fue 0.00527 y la validación actual kappa de 97.33% para el mapa de simulación de cobertura de suelo del año 2030.

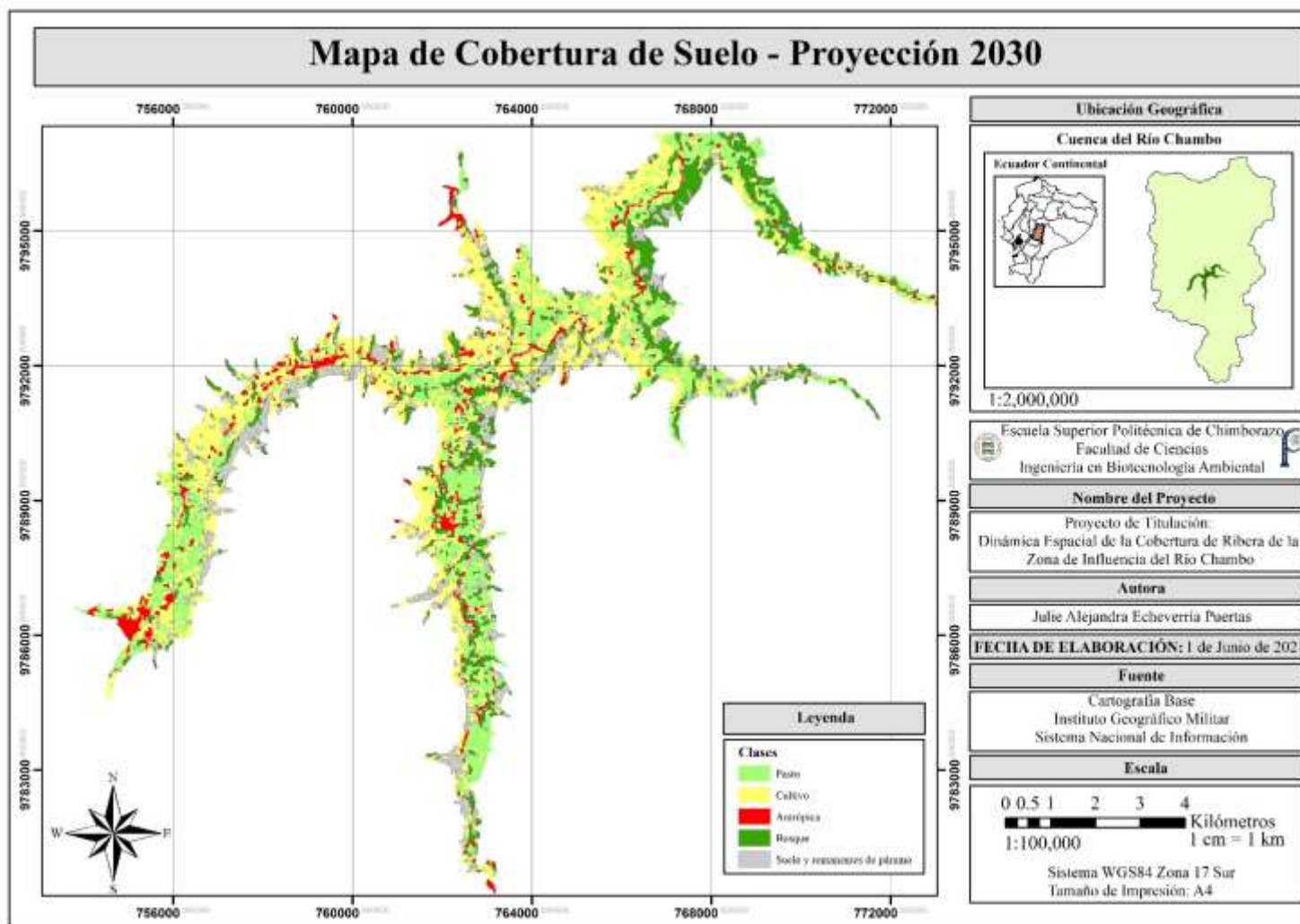


Figura 6-3: Mapa de cobertura de suelo, proyección para el año 2030

Realizado por: Echeverría Julie, 2021.

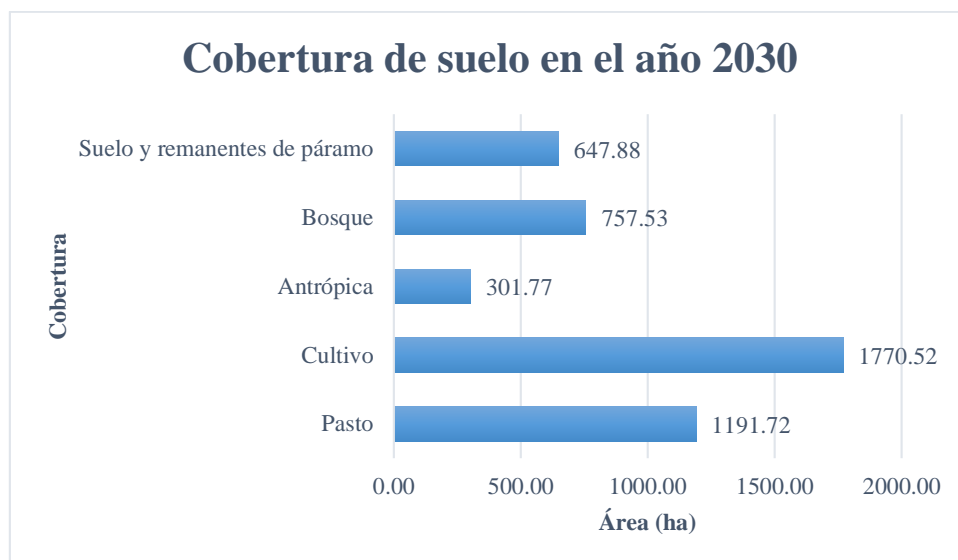


Gráfico 8-3: Proyección de la cobertura de suelo para el año 2030

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

En función a la simulación realizada, se predice que para el año 2030, la cobertura predominante continuará siendo la de cultivo con un área de 1770.52 ha (37.92%), seguida de la cobertura de pasto con 1191.72 ha (25.52%), bosque con 757.53 ha (16.22%), y finalmente suelo y remanentes de páramo con 647.88 ha (13.87%).

Tabla 12-3: Cambio de cobertura de suelo entre los años 2000 – 2019 y su predicción al 2030

Año	2000		2009		Tasa de cambio 2000-2009		2019		Tasa de cambio 2009-2019		2030		Tasa de cambio 2019-2030	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Pasto	928.39	19.88	1072.91	22.98	144.52	3.10	1211.71	25.95	138.80	2.97	1191.72	25.52	-19.99	-0.43
Cultivo	1186.07	25.40	1868.52	40.02	682.45	14.62	1791.43	38.37	-77.08	-1.65	1770.52	37.92	-20.91	-0.45
Antrópica	116.34	2.49	323.28	6.92	206.94	4.43	242.30	5.19	-80.98	-1.73	301.77	6.46	59.47	1.27
Bosque	875.45	18.75	691.49	14.81	-183.96	-3.94	813.04	17.41	121.56	2.60	757.53	16.22	-55.51	-1.19
Suelo y remanentes de páramo	1563.17	33.48	713.23	15.27	-849.95	-18.20	610.94	13.08	-102.29	-2.19	647.88	13.87	36.94	0.79

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

En la Tabla 12-3 se presenta una recopilación de los valores que determinan la variación del área de cada una de las categorías en el período 2000 – 2019, información que fue analizada en los apartados anteriores; y adicionalmente, se presentan los valores pertenecientes a la proyección de la zona de estudio a futuro (2030). Es así que, en función a la simulación realizada, se predice que entre el año 2019 y 2030 existirán las siguientes variaciones en cada una de las coberturas estudiadas: La categoría que presentará mayor porcentaje de variación será la antrópica con una ganancia de 1.27%, luego

estará la de bosque con una pérdida de área de 1.19%, posteriormente la de suelo y remanentes de páramo presentará una ganancia de 0.79%, la cobertura de cultivo presentará una pérdida de 0.45% y finalmente la cobertura pasto también presentará una disminución de 0.43% de su área.

De acuerdo a las tasas de cambio calculadas en los períodos de estudio, es posible determinar que la proyección a futuro muestra los valores más bajos de pérdidas de cobertura en comparación a los años anteriores. A continuación, en la Tabla 11-3 se presenta la predicción, para el año 2030, de las áreas correspondientes a las transiciones y persistencias de cobertura de suelo.

Tabla 11-3. Transiciones de coberturas en términos de área en el intervalo de tiempo 2019 - 2030

Código	Cambio	Área (ha)
		2019-2030
11	Se mantuvo Pasto	919.28
12	De Cultivo a Pasto	161.03
13	De Antrópica a Pasto	27.36
14	De Bosque a Pasto	61.97
15	De Suelo y remanentes de páramo a Pasto	22.08
21	De Pasto a Cultivo	160.31
22	Se mantuvo Cultivo	1366.93
23	De Antrópica a Cultivo	54.25
24	De Bosque a Cultivo	63.97
25	De Suelo y remanentes de páramo a Cultivo	125.06
31	De Pasto a Antrópica	51.96
32	De Cultivo a Antrópica	61.02
33	Se mantuvo Antrópica	145.64
34	De Bosque a Antrópica	20.01
35	De Suelo y remanentes de páramo a Antrópica	23.14
41	De Pasto a Bosque	67.72
42	De Cultivo a Bosque	63.45
43	De Antrópica a Bosque	11.91
44	Se mantuvo Bosque	571.32
45	De Suelo y remanentes de páramo a Bosque	43.13
51	De Pasto a Suelo y remanentes de páramo	20.19
52	De Cultivo a Suelo y remanentes de páramo	123.81
53	De Antrópica a Suelo y remanentes de páramo	11.09
54	De Bosque a Suelo y remanentes de páramo	86.16
55	Se mantuvo Suelo y remanentes de páramo	406.63

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021.

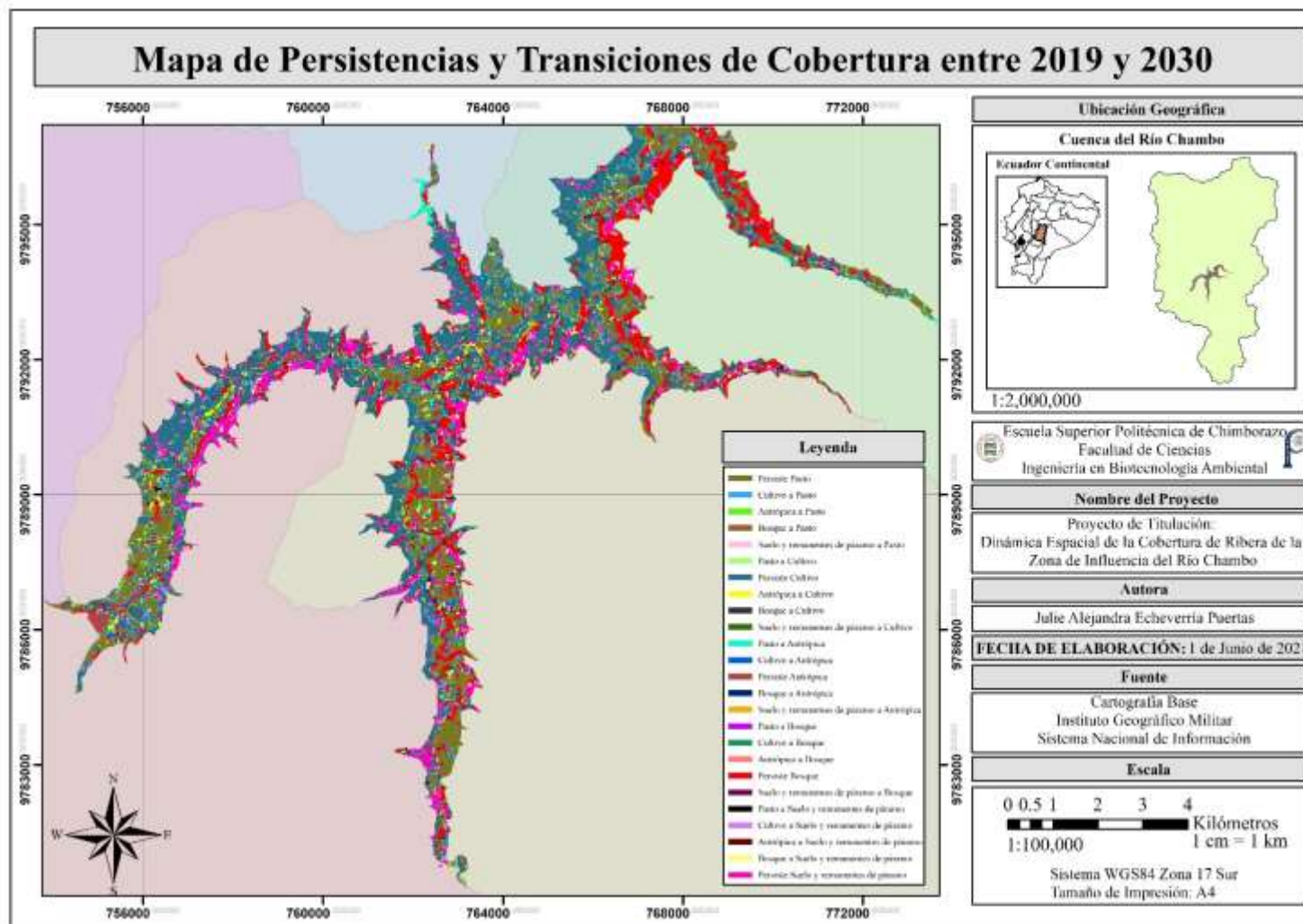


Figura 7-3: Mapa de persistencias y transiciones de cobertura entre 2019 y 2030

Realizado por: Echeverría Julie, 2021.

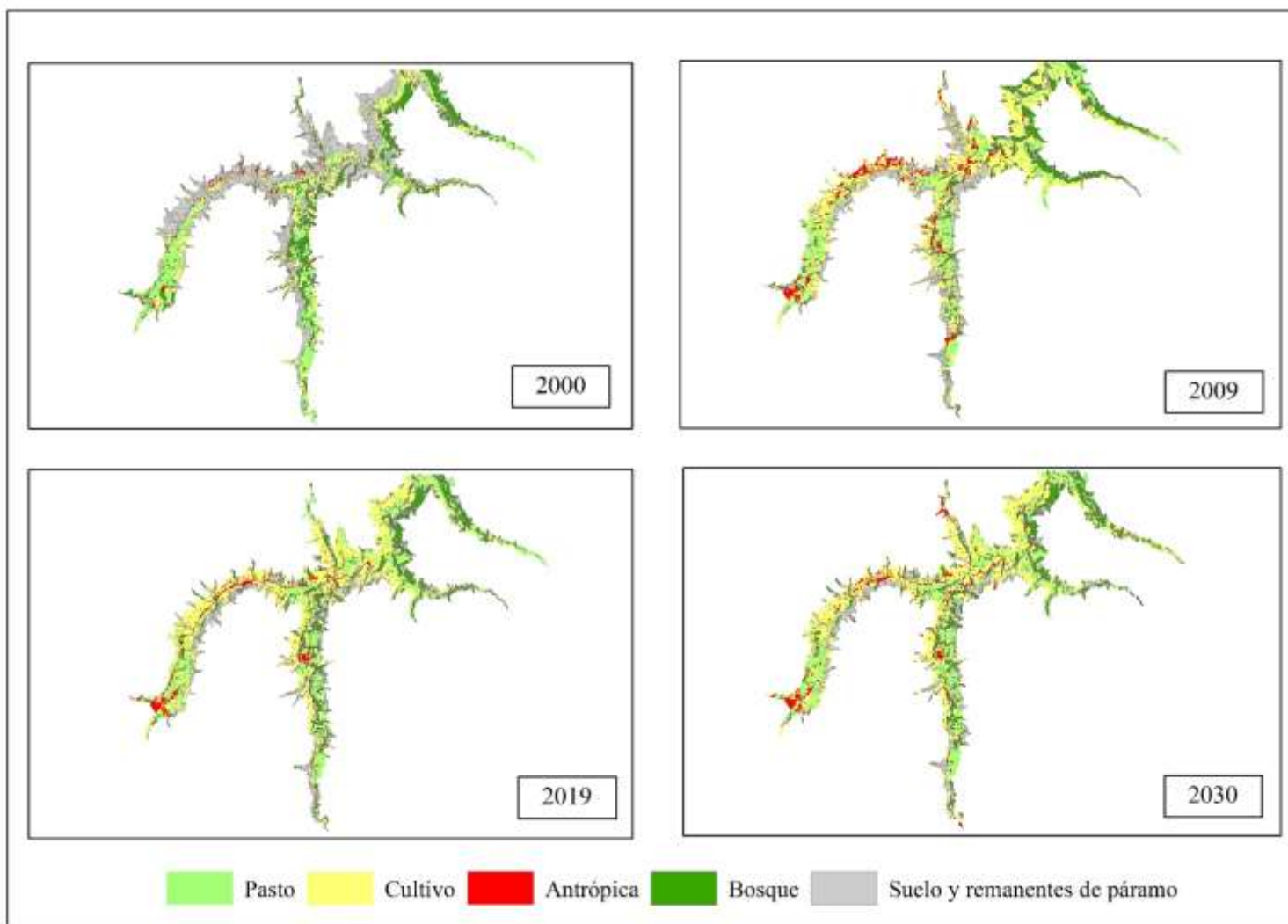


Figura 8-3: Transición de coberturas entre los años 2000, 2009, 2019, y proyección al 2030

Realizado por: Echeverría Julie, 2021.

CONCLUSIONES

- Mediante una clasificación supervisada empleando el algoritmo de máxima verosimilitud en imágenes satelitales Landsat, RapidEye y Spot, se estratificó la zona de estudio ubicada dentro de la cuenca media alta de la subcuenca del río Chambo correspondiente al área de su nacimiento, donde se identificaron cinco coberturas de suelo predominantes: pasto, cultivos, suelo-remanentes de páramo, bosque, y antrópica.
- El análisis de las coberturas presentes en la zona de estudio, partió con una validación de los mapas de clasificación de coberturas; donde, en los mapas de los años 2000 y 2009 se obtuvieron valores de precisión global aceptables (72.24% y 84.76%) y coeficientes kappa aceptables (0.68 y 0.80), y en el año 2019 la precisión global (92.86%) e índice kappa (0.91) presentaron valores casi perfectos. Además, se determinaron las ganancias, pérdidas y persistencias de los cinco tipos de cobertura dentro de los dos intervalos de tiempo estudiados, en el primer período (2000-2009), la cobertura de suelo-remanentes de páramo presentó el mayor porcentaje de pérdida (26.70%) y la cobertura de cultivo cuenta con el mayor porcentaje de ganancia (28.91%); y en el segundo período (2009-2019), el cultivo presenta los mayores porcentajes de pérdidas (18.94%) y ganancias (17.29%); estas transiciones entre coberturas pueden deberse a varios factores como: crecimiento poblacional, actividades de forestación, reforestación, deforestación y agropecuarias, erupciones volcánicas, colonización de tierras y expansión de la actividad agrícola (a partir de la Ley de Reforma Agraria y Colonización).
- La proyección cartográfica de las coberturas presentes en el ecosistema de ribera para el año 2030, con el empleo de Redes Neuronales Artificiales del modelador MOLUSCE, permite determinar que la zona antrópica y, a suelo-remanentes de páramo, incrementarán su área en 1.27% y 0.79% respectivamente; y las que se verán impactadas por una disminución de sus áreas son pasto con 0.43%, cultivo con 0.45% y bosque con 1.19%; siendo estos porcentajes los de menor impacto en comparación a los períodos correspondientes a los años anteriores.

RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo estudios complementarios en las zonas distintas a la ribera de las subcuencas hidrográficas que corresponden a los ríos que se encuentran en la zona de estudio de esta investigación, con el fin de realizar una comparativa de los sistemas hidroecológicos, las coberturas de suelo presentes y sus cambios, entre las zonas de ribera y el resto del área de las cuencas hidrográficas. Esto permitirá identificar la vulnerabilidad de algunas zonas; y, de esta manera, direccionar a la aplicación de medidas de adaptabilidad, prevención y/o restauración.
- Ejecutar, de manera complementaria, estudios que impliquen un análisis del efecto de la variabilidad climática en el cambio de uso de suelo y viceversa, y también de los medios de vida de la zona de estudio. El primero con el fin de evaluar su impacto hacia el cambio de coberturas, y el segundo para determinar el comportamiento de la población frente a los cambios de cobertura que se han presentado a lo largo de los años; de esta manera, proveer la información a las entidades competentes para la formulación de políticas públicas.
- Desarrollar un estudio que relacione patrones espaciales con la calidad de agua de los cauces de la cuenca media alta del río Chambo, con el fin de vincularlo con los impactos generados por los cambios de cobertura de suelo.

GLOSARIO

Algoritmo de aprendizaje: Los algoritmos de aprendizaje automático son fragmentos de código que permiten a los usuarios explorar y analizar conjuntos de datos complejos y conocer su significado. Cada algoritmo es un conjunto de instrucciones que puede seguir un dispositivo para lograr un objetivo específico (Azurre, 2021, párr.1).

Banda espectral: Se refiere a cada uno de los intervalos de longitudes de onda que son detectados por un sensor (Rodríguez et al., 2015, p.167).

Cobertura de suelo: Describe las propiedades de la superficie terrestre, determinadas por el uso de suelo, estas son: cuerpos de agua, vegetación, construcciones, cuerpos rocosos, cuerpos de nieve y superficies húmedas; algunos de estos naturales y otros a causa de la actividad antrópica (Forero, 1981; citado en Castañeda et al., 2006 pp.3169-3170).

Dinámica Espacial: Se refiere a las transformaciones del medio que se producen a través del tiempo, ya sea a causa de actividades antropogénicas o naturales (Ambrosio et al., 2002, p.2).

Divisoria de aguas: Es la línea imaginaria que delimita una cuenca hidrográfica (Ordoñez, 2011, p.11).

Ecotono: Se refiere a la zona de transición ubicada entre dos ecosistemas diferentes (MITECO, 2019b, párr.2).

Espectro electromagnético: Intervalo total de longitudes de onda o frecuencias de radiación electromagnética. Incluye desde los rayos cósmicos hasta las ondas de radio (Labrador et al., 2012, p.59).

Estudio multitemporal: Proceso cronológico de análisis digital de un área específica empleando imágenes satelitales, las mismas que al ser contrastadas permiten identificar las ganancias o pérdidas de cobertura en un período de tiempo específico (Farnum y Murillo, 2019, p.109).

Firma espectral: Representa la reflectancia del espectro electromagnético de un objeto, superficie o fenómeno (Molina y Eiroa, 2007, p.71).

Hidroecológico: Hace referencia a la relación entre los sistemas ecológicos y el agua; específicamente al vínculo entre los procesos físicos de la hidrología con los procesos biológicos de la ecología (Palmer y Bernhardt, 2006, p.1).

Imagen multiespectral: Imagen con múltiples valores numéricos asociados a cada píxel, en función al número de bandas espectrales que sea capaz de detectar el sensor (Labrador et al., 2012, p.21).

Imagen satelital: Componente digital con información obtenida de sensores establecidos en satélites artificiales (Molina y Eiroa, 2007, p.71).

Landsat: Programa dirigido en conjunto por la NASA y el USGS de Estados Unidos, el cual ha dado lugar a 8 satélites que permiten la obtención de imágenes multiespectrales y pancromáticas con el mismo nombre (Labrador et al., 2012, p.38).

Metadatos: Documentos que cuentan con información descriptiva adicional referente a la información geográfica; como, por ejemplo, la fuente de los datos, su fecha de creación, formato, proyección, escala, resolución, entre otros (Labrador et al., 2012, p.59).

Píxel: Elementos que componen una imagen, organizados en filas y columnas de una matriz (Labrador et al., 2012, p.60).

RapidEye: Se refiere a la constelación compuesta por 5 satélites comerciales propiedad de RapidEye AG (compañía proveedora de información espacial), su función es suministrar imágenes multiespectrales con su mismo nombre (Labrador et al., 2012, p.42).

Ráster: Formato de representación de datos espaciales ordenados matricialmente en celdas o píxeles, las cuales contienen valores que representan información (Labrador et al., 2012, p.59).

Reflectancia: Hace referencia al fragmento de la radiación solar incidente reflejada por un cuerpo o superficie (Gaffin et al., 2012, p.1).

Ribera: Corresponde al terreno aledaño a los ríos, aunque no esté a su margen (RAE, 2014).

Shape: Formato vectorial que almacena y representa datos espaciales, donde guarda la ubicación de los elementos que representa y sus características (Labrador et al., 2012, p.59).

SPOT: Programa francés que hasta la actualidad ha dado fruto a un total de 7 satélites, de los cuales el SPOT 6 Y SPOT 7 siguen operando. Estos permiten obtener imágenes pancromáticas y multiespectrales (CONAE, 2017, p.3).

Subcuenca hidrográfica: Una subcuenca hidrográfica es el área considerada como una subregión de una cuenca hidrográfica con características propias de escurrimiento y extensión. Su escorrentía superficial fluye a través de una serie de corrientes, ríos y, algunas veces, lagos hacia un determinado punto de un curso de agua (MITECO, 2019a, párr.2).

Teledetección: Técnica enfocada a la obtención de información de la superficie terrestre mediante el empleo de sensores instalados en plataformas espaciales. (Molina y Eiroa, 2007, p.71).

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, H.MORA, R. & VARGAS, C.** Metodología para la corrección atmosférica de imágenes ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 Y LANDSAT 8 con el módulo FLAASH del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central* [en línea], 2014 , pp. 39-59. [Consulta: 22 septiembre 2020]. ISSN 1011-48X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744544002.pdf>.
- AGUILAR, S.** Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco* [en línea], vol. 11, 2005 , pp. 333-338. [Consulta: 30 diciembre 2020]. ISSN 1405-2091. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>.
- ALVARADO, D.** Dinámica Espacio-Temporal de la cobertura de Bosque Seco Tropical del Departamento del Valle del Cauca, Colombia. [en línea], 2014 , pp. 5-15. [Consulta: 13 septiembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/267626550_Dinamica_Espacio-Temporal_de_la_cobertura_de_Bosque_Seco_Tropical_del_Departamento_del_Valle_del_Cauca_Colombia.
- AMBROSIO, G.GONZÁLEZ, J. & ARÉVALO, V.** Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. *X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección* [en línea], 2002 , pp. (9). [Consulta: 27 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266478620_Correccion_Radiometrica_y_Geometrica_de_Imagenes_para_la_Deteccion_de_Cambios_en_una_Serie_Temporal_in_spanish.
- ANUPAM, A.** *Accuracy Assesment* [en línea]. Maidan Garhi: Ignou: The people's University. 2017 . [Consulta: 13 agosto 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324943246_UNIT_14_ACCURACY_ASSESSMENT.
- ARANGO, M.BRANCH, W. & BOTERO, V.** Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: «LANDSAT-ETM+». [en línea]. Medellín: 2005 . [Consulta: 18 octubre 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v58n1/a04v58n1.pdf>.

ARIAS, H. & PÉREZ, M. *Estudio hidráulico del río Chambo para la determinación de la conductancia entre Río-acuífero y zonas de inundación* [en línea]. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2018. 2018 . [Consulta: 21 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4876>.

AYALA, J.E.MÁRQUEZ, C.O. et al. Land cover classification in an Ecuadorian mountain geosystem using a random forest classifier, spectral vegetation indices, and ancillary geographic data. *Geosciences (Switzerland)*, vol. 7, no. 2, 2017 , pp. 1-34. DOI 10.3390/GEOSCIENCES7020034.

AZURRE. Algoritmos de aprendizaje automático. [en línea]. ,2021 . [Consulta: 18 septiembre 2021]. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/machine-learning-algorithms/#overview>.

BAUTISTA, K. Estudio del aprovechamiento hídrico de la microcuenca del río Alao desde los usos de concesión. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, vol. 2, no. 75, 2009 , pp. 3500.

BAUTISTA, V.I. *Estudio de la calidad del agua de la cuencas del Río Chambo en época de estiaje* [en línea]. Riobamba: s.n. 2014 . Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3221>.

BRAIMOH, A. Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. [en línea], 2005 , pp. 254-263. [Consulta: 23 agosto 2021]. DOI 10.1016/j.agee.2005.10.019. Disponible en: www.elsevier.com/locate/agee.

BRENES, C. Tutorial de clasificación supervisada de imágenes de satélite con QGIS y R Statistics. [en línea]. Managua: 2019 . [Consulta: 25 agosto 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/336775871_Tutorial_de_clasificacion_supervisada_de_imagenes_de_satelite_con_QGIS_y_R_Statistics.

BUSTAMANTE, M.ALBÁN, M. & ARGÜELLO, M. *Los Páramos de Chimborazo. Un estudio socioambiental para la toma de decisiones* [en línea]. Riobamba: EcoCiencia & CONDENSAN. 2011 . [Consulta: 21 agosto 2021]. ISBN 9978-9940-8. Disponible en: www.flacsoandes.edu.ec.

CABRERA, E.VARGAS, G.et al. *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia, Nivel Subnacional Escala Grues y fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-*. [en línea]. Bogotá: IDEAM-Bogotá. 2011 . [Consulta: 14 octubre 2020]. ISBN 978-958-8067-44-5. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022108/PARTE2.pdf>.

CASTAÑEDA, D.MONTOYA, R. & ESCOBAR, C. Digital integrated system for the classification of land cover and use to banana farm level. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* [en línea], 2006 , pp. 3167-3199. [Consulta: 19 octubre 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472006000100007.

CHANDER, G. & MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, no. 11 PART II, 2003 , pp. 2674-2677. ISSN 01962892. DOI 10.1109/TGRS.2003.818464.

CHUVIECO, E. *Teledeteccion ambiental - Emilio Chuvieco Salinero - Google Libros* [en línea]. Segunda ed. Madrid: Ediciones RIALP. 1995 . [Consulta: 10 septiembre 2020]. Disponible en: [https://books.google.es/books?id=aKsNXCVCtQC&printsec=frontcover&dq=teledeteccion+ambiental&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiE6vLagfbOAhULkRQKHQg2AhMQ6AEIGzAA#v=onepage&q=teledeteccion ambiental&f=false](https://books.google.es/books?id=aKsNXCVCtQC&printsec=frontcover&dq=teledeteccion+ambiental&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiE6vLagfbOAhULkRQKHQg2AhMQ6AEIGzAA#v=onepage&q=teledeteccion%20ambiental&f=false).

CONAE. Guía única de productos SPOT. [en línea]. Argentina: 2017 . [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: https://catalogos4.conae.gov.ar/spot6/Docs/Guia_Unica_UsuariosSPOT-V1.0.pdf.

CORRADINE, M.F. Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Garagoa. . Boyacá: 2017 .

EDWARDS, A. 3 : RADIOMETRIC CORRECTION OF SATELLITE IMAGES : WHEN AND WHY RADIOMETRIC CORRECTION IS NECESSARY. [en línea]. ,1998 . [Consulta: 12 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.ncl.ac.uk/tcmweb/bilko/module7/lesson3.pdf>.

FARNUM, F. & MURILLO, V. ANÁLISIS MULTITEMPORAL (1970-2017) DEL USO DEL SUELO EN CINCO COMUNIDADES UBICADAS A LO LARGO DE LA CARRETERA BOYDROOSEVELT, PANAMÁ. [en línea], 2019 , pp. 108-110. [Consulta: 13 septiembre 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/k6dus>

FERNÁNDEZ, I. & HERRERO, E. El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat. [en línea]. Palencia: 2001 . [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.cartesia.org/data/apuntes/teledeteccion/landsat-analisis-visual.pdf>.

FIEDS. Proyecto forestación y reforestación de la subcuenca del Río Chambo | fieds.org. [en línea]. ,2017 . [Consulta: 21 agosto 2021]. Disponible en: <https://fieds.org/historia-fie/convocatoria/proyecto-forestacion-y-reforestacion-de-la-subcuenca-del-rio-chambo/>.

FLÓREZ, G. RINCON, A. et al. Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. *DYNA (Colombia)* [en línea], vol. 84, no. 201, 2017 , pp. 95-101. [Consulta: 27 noviembre 2020]. ISSN 00127353. DOI 10.15446/dyna.v84n201.55759. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49650911012.pdf>.

FORERO, M. *Levantamiento de cobertura terrestre y uso de la tierra*. Bogotá: s.n. 1981 .

GAFFIN, S. IMHOFF, M. et al. Bright is the new black multi-year performance of high-albedo roofs in an urban climate. *Environmental Research Letters*, vol. 7, no. 1, 2012 , pp. 12. DOI 10.1088/1748-9326/7/1/014029.

GARCÍA, T. & FRANÇOIS, J. Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México Comparison of methodologies for mapping land use cover in Southeast Mexico. *Núm.*, vol. 67, 2008 , pp. 7-19. ISSN 0188-4611.

GASPARI, F. RODRÍGUEZ, A. et al. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS* [en línea], vol. 4, 2012 , pp. 143-158. [Consulta: 15 septiembre 2021]. ISSN 1852-2181. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476/505>.

GISMONDI, M.KAMOSOKO, C. et al. MOLUSCE An open source land use change analyst for QGIS. [en línea]. S.l.: 2014 . [Consulta: 23 agosto 2021]. Disponible en: https://www.ajiko.co.jp/download/pdf_tf2014/p62-63.pdf.

GRANADOS, D.HERNÁNDEZ, M. & LÓPEZ, G. ECOLOGÍA DE LAS ZONAS RIBEREÑAS. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 12, no. 1, 2006 , pp. 55-69.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA. *Proyecyo EUROCLIMA-IICA: Modelos de simulación y herramientas de modelaje* [en línea]. Costa Rica: s.n. 2015 . [Consulta: 17 septiembre 2021]. ISBN 9789292486105. Disponible en: <http://www.iica.int>.

JUMBO, F. Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA (Automatic delimitation of microwatershed using SRTM data of the NASA). *Enfoque UTE* [en línea], vol. 6, 2015 , pp. 81-97. [Consulta: 20 septiembre 2020]. ISSN 1390-9363. Disponible en: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>.

KUTSCHKER, A.BRAND, C. & MISERENDINO, M. Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral* [en línea], vol. 19, 2009 , pp. 19-34. [Consulta: 14 septiembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Maria_Miserendino/publication/262141135_Evaluacion_de_la_calidad_de_los_bosques_de_ribera_en_rios_del_NO_del_Chubut_sometidos_a_distintos_usos_de_la_tierra/links/0deec536b8c3db01cf000000.pdf.

LABRADOR, M.ÉVORA, J. & ARBELO, M. *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio* [en línea]. Canarias: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias. 2012 . [Consulta: 15 octubre 2020]. Disponible en: http://www.gmrcanarias.com/wp-content/uploads/2016/01/20_catalogo_satelites_es.pdf.

LANDIS, J.R. & KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* [en línea], vol. 33, no. 1, 1977 , pp. 159. [Consulta: 15 agosto 2021]. ISSN 0006-341X. DOI 10.2307/2529310. Disponible en: <https://www.scinapse.io/papers/2164777277>.

LI, Y.ZHU, X. et al. A comparison of model-assisted estimators to infer land cover/use class area using satellite imagery. *Remote Sensing*, vol. 6, no. 9, 2014 , pp. 8904-8922. DOI 10.3390/RS6098904.

LUX, B. Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. *CORE-Universidad San Carlos de Guatemala*, 2015 , pp. 1-8.

MAE, M. del A.E. *Mapa del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador* [en línea]. 2012. Quito: s.n. 2012 . [Consulta: 23 octubre 2020]. Disponible en: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/SNAP_19_09_12.pdf.

MAE, M. del A.E. Evaluación de necesidades tecnológicas para el manejo de la oferta hídrica en cantidad y calidad. [en línea]. Quito: 2013 . [Consulta: 27 noviembre 2020]. Disponible en: <https://tech-action.unepdtu.org/wp-content/uploads/sites/2/2013/12/evaluacionnecesidadestecnologicas-adaptacion-ofertahidrica-ecuador-12.pdf>.

MAE & MAGAP. Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013-2014, escala 1:100.000. [en línea]. Quito: 2013 . [Consulta: 13 mayo 2021]. Disponible en: www.magap.gob.ec.

MAGAP & MAE. *Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental 2013-2014* [en línea]. 2015. S.l.: s.n. 2015 . [Consulta: 23 octubre 2020]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal_SNI_2014/USO_DE_LA_TIERRA/05-MAPA_NACIONAL_COBERTURA_USO.pdf.

MALANSON, G. *Riparian Landscapes - George P. Malanson - Google Libros*. New York: Cambridge Univ Press. 1996 . ISBN 9780521566834.

MANETA, M. & SCHNABLE, S. Aplicación de Redes Neuronales Artificiales para determinar la distribución espacial de la humedad del suelo en una pequeña cuenca de drenaje. Estudios preliminares. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* [en línea], vol. 1, 2003 , pp. 295-304. [Consulta: 17 septiembre 2021]. Disponible en: http://www.zonanosaturada.com/zns03/publications_files/p295-304.pdf.

MARTÍNEZ, L.PALÀ, V. & ARBIOL, V. Sistema de Corrección Atmosférica en Espectro Solar por Métodos Físico-Estadísticos. *Instituto Cartográfico de Cataluña*, no. Icc, 2015 , pp. 5.

MAS, J.-F.KOLB, M.et al. Una comparacion de programas de modelacion de cambios de cobertura/uso del suelo. *XV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR* [en línea], 2011 , pp. 9. [Consulta: 17 septiembre 2021]. Disponible en: <https://hal-univ-tlse2.archives-ouvertes.fr/hal-01447901>.

MASELLI, F.CONESE, C. et al. Integration of ancillary data into a maximum-likelihood classifier with nonparametric priors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 50, no. 2, 1995 , pp. 2-11. ISSN 09242716. DOI 10.1016/0924-2716(95)98210-Q.

MITECO. Cuencas y subcuencas hidrográficas. *Gobierno de España* [en línea]. ,2019 a . [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/cuencas-y-subcuencas.aspx>.

MITECO. Principales iniciativas desarrolladoras por la organización en el campo de la educación ambiental. [en línea]. ,2019 b . [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/quien-es-quien/ecotono.aspx>.

MOLINA, Á. & EIROA, J. Teledetección. *Tendencias actuales en arqueología medieval* [en línea]. Murcia: EDITUM, 2007. pp. 71. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=Jve_qFNVfcUC&dq=Se+basa+en+que+cada+objeto,+área+o+fenómeno+emite+un+espectro+electromagnético+específico,+en+función+de+su+propia+naturaleza+y+de+las+radiaciones+que+recibe.+La+reflectancia+de+ese+espectro+electro magn.

OCHOA, B.BUYTAERT, W. et al. Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *Hydrological Processes*, vol. 30, no. 22, 2016 , pp. 4074-4089. ISSN 10991085. DOI 10.1002/hyp.10980.

ORDOÑEZ, J. «Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico» *¿QUÉ ES CUENCA HIDRÓLOGICA? ¿QUÉ ES CUENCA*

HIDRÓLOGICA? Primera. Lima: Sociedad Geográfica de Lima. 2011 . ISBN 978-9972-602-76-4.

PABÓN, J.D.RODRÍGUEZ, N. et al. Modelamiento del efecto del cambio en el uso del suelo en el clima local-regional sobre los Andes colombianos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 37, no. 144, 2014 , pp. 380-381. ISSN 0370-3908. DOI 10.18257/raccefyn.16.

PAEGELOW, M. & CAMACHO, M. Modelos de simulacion espacio-temporal y teledeteccion : el método de la segmentacion para la cartografia cronologica de usos del suelo. [en línea]. S.l.: 2010 . [Consulta: 24 junio 2021]. Disponible en: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01063980>.

PALACIOS, J. Evaluación de la dinámica del cambio de la cobertura y uso de tierra en el área de influencia de la propuesta de carretera Bellavista, Mazan, Salvador, El Estrecho. [en línea]. Iquitos: 2019 . [Consulta: 17 septiembre 2021]. Disponible en: http://terra.iiap.gob.pe/assets/files/riesgos/2018/01_2018_EVALUACION_DINAMICA_CAMBIO_DE_COBERTURA_ESTRECHO.pdf.

PALMER, M. & BERNHARDT, E. Hydroecology and river restoration: Ripe for research and synthesis. *Water Resources Research*, vol. 42, no. 3, 2006 , pp. 1-4. DOI 10.1029/2005WR004354.

PDOT-CHAMBO. Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón chambo. [en línea]. ,2019 . [Consulta: 13 septiembre 2020]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0660001680001_DIAGNOSTICO_PDyOT_CHAMBO_2014-2019_15-01-2015_16-16-38.pdf.

PEREDO, M. & RAMALLO, R. Aplicación de Autómatas Celulares a Simulación Básica de Incendios Forestales. *Acta Nova* [en línea], vol. 1, 2002 , pp. 347-361. [Consulta: 17 septiembre 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v1n4/v1n4_a03.pdf.

PIERRE, H. 30 años de reforma agraria y colonización en el Ecuador : 1964-1994 : dinámicas espaciales. , 2001 ,.

PLATA, W. *Descripción, análisis y simulación del crecimiento urbano mediante tecnologías de la información geográfica. El caso de la Comunidad de Madrid* [en línea]. Madrid: Universidad de Alcalá. 2010 . [Consulta: 7 julio 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=89948&info=resumen&idioma=ENG>.

PONTIUS, R.G.SHUSAS, E. & MCEACHERN, M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 101, 2004 , pp. 251-268. DOI 10.1016/j.agee.2003.09.008.

POVEDA, J.LÓPEZ, E. & VILLA, F. Efecto de la cobertura vegetal de ribera en las comunidades ícticas en el bosque húmedo premontano y muy húmedo premontano del Alto Magdalena, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* [en línea], vol. 42, no. 163, 2018 , pp. 216. [Consulta: 20 octubre 2020]. ISSN 0370-3908. DOI 10.18257/raccefyn.623. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.623>.

QUIJANO, J. *Parámetros morfométricos, geomorfológicos, y cprrelación estructural en cinco cuencas hidrográficas de la cuenca Amagá*. S.l.: Universidad EAFIT. 2014 .

RAE. ribera | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE. [en línea]. ,2014 . [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/ribera>.

RODRÍGUEZ, D.SÁNCHEZ, N.et al. *Cuestiones de Teledetección* [en línea]. 2015. Madrid: s.n. 2015 . ISBN 9788436269857. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/48836>.

ROSAS, L. *Manual de procedimientos de delimitación de unidades hidrográficas. Caso: Ecuador* [en línea]. Quito: s.n. 2009 . [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: www.worldwildlife.org/hydrosheds.

SARRIA, F. Teledetección. *Sistemas de información geográfica* [en línea], 2006. Murcia: Universidad de Murcia, pp. 181-216. [Consulta: 19 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>.

SCOLOZZI, R. & GENELETTI, D. A multi-scale qualitative approach to assess the impact of urbanization on natural habitats and their connectivity. *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 36, 2012 , pp. 9-22. ISSN 01959255. DOI 10.1016/j.eiar.2012.03.001.

SUÁREZ, G. & OLAYA, L. *Aplicación de un modelo predictivo para el análisis del impacto generado por el cambio de cobertura urbana en el Municipio de Mosquera, Cundinamarca.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2018 .

SUÁREZ, J. & TRUJILLO, B. Evaluación de la contaminación orgánica de un tramo del río Chambo usando el índice ICOMO. *Ciencias, Medio Ambiente y Biodiversidad* [en línea], 2018. Riobamba: s.n., pp. 31-53. [Consulta: 23 octubre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329591591_EVALUACION_DE_LA_CONTAMINACION_ORGANICA_DE_UN_TRAMO_DEL_RIO_CHAMBO_USANDO_EL_INDICE_ICOMO.

VARGAS, O. & VELASCO, P. *Páramos Andinos Reviviendo Nuestros Páramos Restauración Ecológica de páramos* [en línea]. S.l.: Proyecto Páramo Andino. 2011 . [Consulta: 21 julio 2021]. Disponible en: www.flacsoandes.edu.ec.

VEGA, X. Diferentes soluciones para la delimitación y codificación de cuencas superficiales cubanas . *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. XLI, no. 2, 2020 , pp. 75-84. ISSN 1815–591X.

VILLAMARÍN, C. *Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos* [en línea]. Barcelona: Universitat Barcelona. 2008 . [Consulta: 21 octubre 2020]. Disponible en: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/83923/CPVF_TESIS.pdf?sequence=1.

VILLAMARÍN, C., N. & RIERADEVALL, M. Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*, vol. 42, no. 5, 2014 , pp. 1072-1086. ISSN 0718560X. DOI 10.3856/vol42-issue5-fulltext-12.

WILSON, C.O. & WENG, Q. Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 409, no. 20, 2011 , pp. 4387-4405. ISSN 00489697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2011.07.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.07.001>.

ZHICA, J. *Caracterización Morfométrica y estudio hidrológico de la Microcuenca del Río San Francisco, Cantón*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana . 2020 . pp.1-120

ANEXOS

ANEXO A. PUNTOS DE CONTROL

Punto	Clase	Coordenada X	Coordenada Y
0	Pastura	767397.7862	9791660.204
1	Pastura	766913.5977	9792027.976
2	Pastura	766540.5345	9791660.204
3	Pastura	766606.6804	9792176.143
4	Pastura	766495.5552	9792591.539
5	Pastura	766776.0141	9793340.312
6	Pastura	766651.6597	9793028.103
7	Pastura	765955.8041	9793803.333
8	Pastura	764722.8433	9793078.374
9	Pastura	764336.5509	9793226.541
10	Pastura	764016.4044	9793012.228
11	Pastura	763714.7788	9792938.144
12	Pastura	763550.7368	9793327.083
13	Pastura	763489.8825	9792258.164
14	Pastura	761751.5665	9791792.496
15	Pastura	761569.0037	9791829.538
16	Pastura	761022.3734	9791702.008
17	Pastura	762277.1955	9790931.165
18	Pastura	762093.0451	9791068.749
19	Pastura	762344.9289	9790023.114
20	Pastura	762289.8955	9789536.279
21	Pastura	762156.5452	9789538.396
22	Pastura	762321.6456	9789286.512
23	Pastura	762038.0116	9788933.028
24	Pastura	762016.8449	9789248.412
25	Pastura	762577.7627	9787944.543
26	Pastura	762302.5955	9787538.142
27	Pastura	762076.1117	9787883.159
28	Pastura	762647.6129	9787275.675
29	Pastura	762639.1462	9787531.792
30	Pastura	762992.6302	9787171.958
31	Pastura	762929.1301	9786704.174
32	Pastura	762543.896	9785586.571
33	Pastura	762971.4635	9785334.688
34	Pastura	762694.1796	9783831.851

35	Pastura	763020.1469	9784090.085
36	Pastura	762973.5802	9783311.15
37	Pastura	762639.1462	9783251.883
38	Pastura	762806.3632	9782947.083
39	Pastura	762408.4291	9782724.832
40	Pastura	762668.7796	9781615.697
41	Pastura	762554.4793	9781236.813
42	Pastura	756143.5242	9788215.887
43	Pastura	756201.7326	9787567.656
44	Pastura	756553.6292	9788809.613
45	Pastura	756371.0663	9789417.627
46	Pastura	756104.3658	9789044.563
47	Pastura	757239.4173	9790219.607
48	Cultivo	767242.3627	9791751.681
49	Cultivo	767231.7793	9791640.556
50	Cultivo	766488.2987	9792111.515
51	Cultivo	766340.1317	9792418.432
52	Cultivo	766064.9645	9792677.725
53	Cultivo	764763.2119	9792532.203
54	Cultivo	765014.5665	9792143.265
55	Cultivo	765128.3376	9792556.016
56	Cultivo	763932.4185	9792238.515
57	Cultivo	763898.0226	9792272.911
58	Cultivo	763638.7305	9792648.62
59	Cultivo	764445.7112	9792635.391
60	Cultivo	763279.161	9792598.879
61	Cultivo	762981.5041	9792515.535
62	Cultivo	762955.0458	9792452.034
63	Cultivo	763254.3783	9793208.215
64	Cultivo	763302.0034	9793131.486
65	Cultivo	762801.9399	9793922.592
66	Cultivo	762724.6814	9792261.005
67	Cultivo	762523.2669	9791607.814
68	Cultivo	762289.904	9791364.132
69	Cultivo	761897.7742	9791173.235
70	Cultivo	758467.4797	9791712.509
71	Cultivo	758262.1626	9791818.343
72	Cultivo	757396.4442	9790652.057
73	Cultivo	757165.727	9790787.524
74	Cultivo	756212.0786	9786293.942

75	Cultivo	755984.5365	9786254.254
76	Cultivo	756083.7554	9786312.463
77	Antrópico	754894.1202	9786116.935
78	Antrópico	755395.7713	9786525.453
79	Antrópico	755162.9375	9786163.502
80	Antrópico	755260.3043	9786375.169
81	Antrópico	755452.9214	9785973.002
82	Antrópico	754942.8037	9786362.469
83	Antrópico	754858.1368	9786318.019
84	Antrópico	755298.4044	9786453.486
85	Antrópico	756619.207	9786891.637
86	Antrópico	756312.2898	9786891.637
87	Antrópico	755865.6722	9786806.97
88	Antrópico	755766.1887	9787488.538
89	Antrópico	755778.8887	9787634.589
90	Antrópico	755975.7391	9787740.422
91	Antrópico	756371.5565	9788026.173
92	Antrópico	756043.4725	9788195.506
93	Antrópico	756373.6732	9788885.541
94	Antrópico	756322.8731	9788932.108
95	Antrópico	756329.2231	9789232.675
96	Antrópico	756868.9742	9788542.64
97	Antrópico	756217.0396	9788735.257
98	Antrópico	756225.5062	9789543.826
99	Antrópico	756557.8236	9789537.476
100	Antrópico	756913.4243	9789988.327
101	Antrópico	758752.0493	9791970.123
102	Antrópico	758690.1367	9791854.235
103	Antrópico	758648.8616	9791893.923
104	Antrópico	762011.3732	9791919.524
105	Antrópico	761942.5814	9791895.712
106	Antrópico	762599.4384	9791447.462
107	Antrópico	762520.0633	9791432.91
108	Antrópico	762489.6361	9791468.629
109	Antrópico	762595.4697	9791551.973
110	Antrópico	762833.5951	9791655.161
111	Antrópico	762895.7724	9791709.4
112	Antrópico	762783.3242	9791592.984
113	Antrópico	762299.9295	9791037.887
114	Antrópico	762351.7879	9790727.794

115	Antrópico	762015.396	9788522.276
116	Antrópico	762348.7717	9788638.164
117	Antrópico	762136.0463	9788569.901
118	Antrópico	762075.7211	9788593.714
119	Antrópico	762013.8085	9788396.863
120	Antrópico	762469.4219	9788080.95
121	Antrópico	762231.2964	9788325.426
122	Antrópico	762685.3223	9787996.813
123	Antrópico	762653.5723	9787885.687
124	Antrópico	762499.5845	9787339.586
125	Antrópico	763145.6454	9784760.423
126	Antrópico	763144.0578	9784619.135
127	Antrópico	763074.2077	9784209.559
128	Plantaciones	762414.489	9787226.254
129	Plantaciones	762593.0831	9787867.87
130	Plantaciones	761759.644	9788039.85
131	Plantaciones	761690.1907	9789878.708
132	Plantaciones	762586.4685	9789839.02
133	Plantaciones	762087.0665	9789240.399
134	Plantaciones	762927.1202	9790288.813
135	Plantaciones	763386.8347	9790768.371
136	Plantaciones	762765.0626	9790966.809
137	Plantaciones	762345.0358	9791654.727
138	Plantaciones	762345.0358	9792302.957
139	Plantaciones	763241.3136	9792071.446
140	Plantaciones	764362.4877	9793047.099
141	Plantaciones	763605.1164	9792878.427
142	Plantaciones	765721.7873	9793086.787
143	Plantaciones	766902.4928	9793014.026
144	Plantaciones	766766.8936	9793503.507
145	Plantaciones	766584.9921	9792785.823
146	Plantaciones	767038.092	9792130.978
147	Plantaciones	766803.2738	9792041.681
148	Plantaciones	767593.7181	9791366.992
149	Plantaciones	767219.9934	9790583.162
150	Plantaciones	758584.6376	9791558.815
151	Plantaciones	757744.5838	9790672.459
152	Plantaciones	757321.2497	9790272.276
153	Plantaciones	756358.8259	9789514.905
154	Plantaciones	757069.895	9789333.003

155	Plantaciones	756315.831	9788595.476
156	Plantaciones	756206.6901	9787960.475
157	Plantaciones	755710.5954	9787249.406
158	Plantaciones	756150.4661	9785476.694
159	Plantaciones	756901.2228	9786323.362
160	Suelo	757399.3231	9790101.754
161	Suelo	758696.8424	9790362.104
162	Suelo	759274.6935	9791562.257
163	Suelo	759471.5439	9791697.724
164	Suelo	759750.9445	9791676.557
165	Suelo	760072.6784	9791767.574
166	Suelo	760724.6131	9792294.625
167	Suelo	761655.9483	9792089.308
168	Suelo	761442.1645	9790954.772
169	Suelo	763154.5513	9790908.206
170	Suelo	766670.1708	9796626.276
171	Suelo	764208.2841	9785885.12
172	Suelo	763391.3814	9786328.297
173	Suelo	761231.7156	9784892.93
174	Suelo	761430.1535	9786602.803
175	Suelo	761112.6529	9786460.589
176	Suelo	761492.9922	9786668.949
177	Pastura	767185.955	9795440.568
178	Pastura	766476.8702	9796046.465
179	Pastura	766069.4111	9794988.129
180	Pastura	767564.3099	9794424.566
181	Pastura	767831.5396	9794599.191
182	Pastura	769376.7093	9796305.757
183	Pastura	768537.9785	9796729.091
184	Pastura	769030.1045	9796789.946
185	Pastura	769149.1672	9795694.568
186	Pastura	769389.9385	9795866.548
187	Pastura	770199.5651	9794466.899
188	Pastura	770710.212	9794839.963
189	Pastura	770630.8368	9794466.899
190	Pastura	769445.5011	9795453.797
191	Pastura	768627.937	9796316.34
192	Pastura	767897.6855	9797112.738
193	Cultivo	769310.5634	9796406.299
194	Cultivo	766232.4829	9794402.694

195	Cultivo	766349.9581	9794515.935
196	Cultivo	765711.4291	9795466.475
197	Cultivo	765607.4476	9795289.468
198	Cultivo	765452.6661	9795323.6
199	Plantaciones	765935.5316	9795477.72
200	Plantaciones	766088.9903	9795652.345
201	Plantaciones	767194.9508	9795541.22
202	Plantaciones	766959.4712	9795969.846
203	Plantaciones	767245.2217	9797096.973
204	Plantaciones	768673.9746	9796536.055
205	Plantaciones	769110.538	9795895.762
206	Antrópico	768155.3902	9796816.514
207	Antrópico	768390.8699	9797110.202
208	Antrópico	767634.16	9796996.431
209	Antrópico	767660.6184	9796342.909
210	Cultivo	765473.9999	9792828
211	Cultivo	762999.9162	9793279.718
212	Cultivo	763254	9793518
213	Cultivo	763063.4164	9793652.781
214	Cultivo	762849.1034	9794017.907
215	Cultivo	765801.8594	9794398.908
216	Cultivo	762737.9782	9792470.091
217	Cultivo	762785.6033	9792382.779
218	Cultivo	762825.2909	9792525.654
219	Plantaciones	765843.7735	9793069.784
220	Plantaciones	765827.9999	9793242
221	Plantaciones	765843.7735	9793069.784
222	Plantaciones	762671.9999	9791268
223	Plantaciones	762780	9791340
224	Plantaciones	767573.5129	9796038.798
225	Plantaciones	767573.5129	9795979.267
226	Plantaciones	767672.7318	9795991.173
227	Plantaciones	767617.1692	9795876.079
228	Plantaciones	767704.4819	9796054.673
229	Plantaciones	767696.5444	9796134.049
230	Plantaciones	767637.013	9796145.955
231	Plantaciones	767648.9193	9796237.236
232	Plantaciones	766601.1672	9795161.703
233	Plantaciones	766593.2297	9794756.89
234	Plantaciones	766426.5419	9794633.858

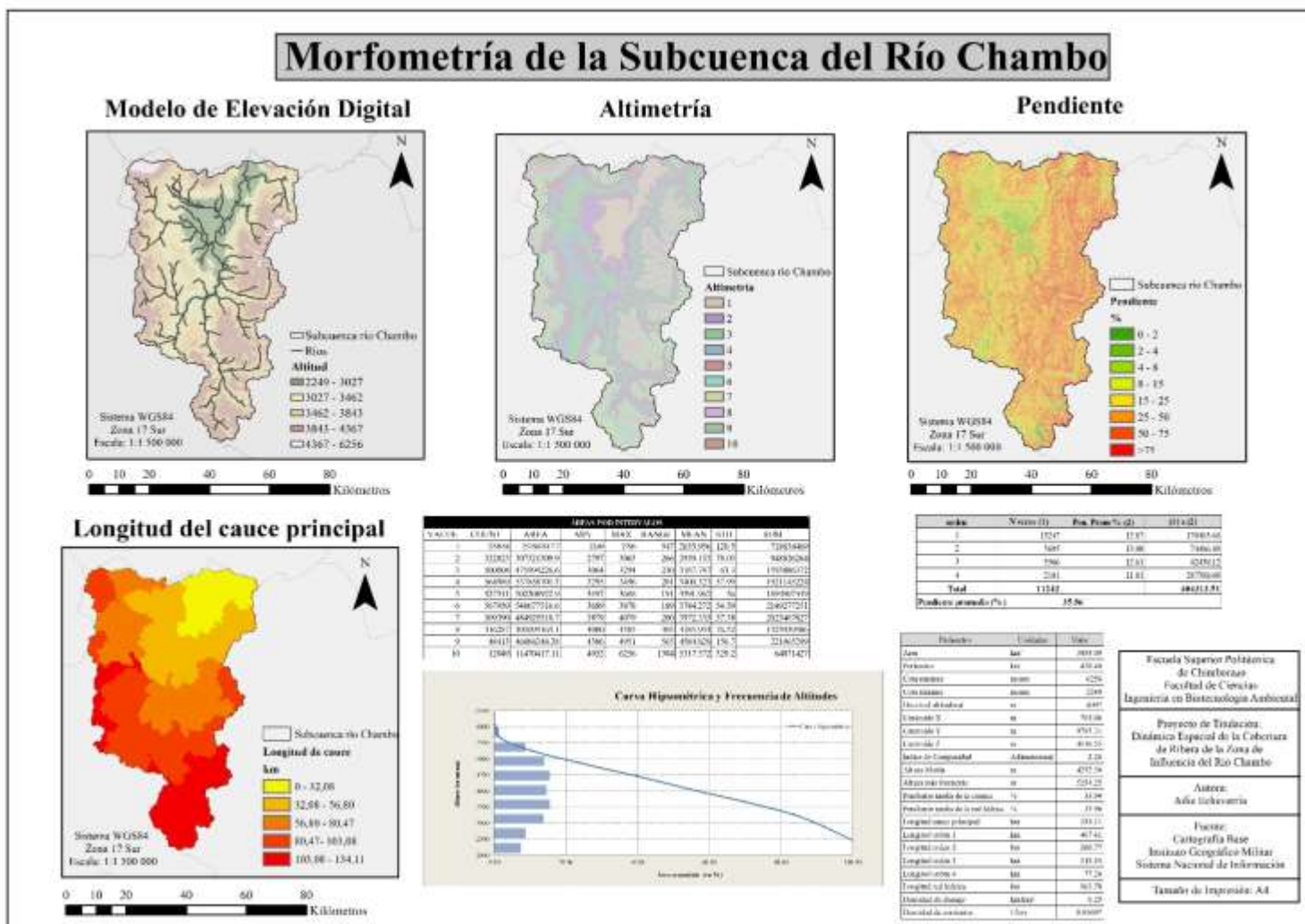
235	Suelo	765663	9795823.035
236	Suelo	766370.9792	9795005.764
237	Suelo	766378.9168	9794922.42
238	Suelo	764324.1585	9791984.216
239	Suelo	764353.2627	9792030.518
240	Suelo	764452.4817	9792109.893
241	Suelo	764385.0128	9792095.341
242	Suelo	764280.5021	9791955.112
243	Suelo	764363.8461	9791957.758
244	Suelo	763994.7516	9792074.175
245	Suelo	763964.3244	9792030.518
246	Suelo	764017.2412	9792062.268
247	Suelo	764001.3662	9792111.216
248	Pastura	764112.8848	9792775.932
249	Pastura	764176.9176	9792871.564
250	Pastura	764260.2615	9792927.127
251	Pastura	764244.3864	9792816.002
252	Pastura	764028	9792852
253	Pastura	763863.3857	9792903.314
254	Pastura	763772.1043	9792835.845
255	Pastura	766341.7617	9795360.598
256	Pastura	765684	9795078
257	Pastura	766188	9793188
258	Pastura	764146.0053	9793210.805
259	Pastura	763679.6763	9794156.692
260	Pastura	763729.2858	9794107.083
261	Pastura	763669.7544	9794107.083
262	Pastura	763742.515	9794166.614
263	Pastura	765048	9793332
264	Pastura	765111.7364	9793237.263
265	Pastura	763904.5726	9793541.535
266	Pastura	763891.3434	9793915.259
267	Pastura	762554.5334	9789514.568
268	Pastura	762351.761	9789413.402
269	Pastura	762205.2827	9789451.068
270	Pastura	762174	9790824
271	Pastura	762562.4709	9788355.691
272	Pastura	762204	9787944
273	Pastura	762066	9787710
274	Pastura	762737.9999	9787566

275	Pastura	762503.9999	9787212
276	Pastura	762985.5901	9785640.212
277	Pastura	762892.9858	9785633.597
278	Pastura	762431.9999	9785760
279	Pastura	762842.614	9785901.387
280	Pastura	762572.1778	9785157.346
281	Pastura	762631.7092	9785240.029
282	Pastura	762953.9999	9785190
283	Pastura	763032	9784950
284	Pastura	762826.8398	9785028.361
285	Pastura	762714.3917	9784892.762
286	Pastura	763026	9784824
287	Pastura	762826.8398	9784634.793
288	Pastura	762797.0741	9784469.428
289	Pastura	762714	9784428
290	Pastura	762793.7668	9783841.041
291	Pastura	762730.9282	9783728.593
292	Pastura	762982.2828	9783996.484
293	Pastura	762780.5376	9783917.109
294	Pastura	762846.6836	9783530.155
295	Pastura	762618.48	9783592.994
296	Pastura	762912.8296	9783612.838
297	Pastura	762704.4698	9783652.525
298	Pastura	762879.7566	9783077.056
299	Pastura	762186	9790980
300	Pastura	761468.5324	9791347.616
301	Pastura	761579.6576	9791273.533
302	Pastura	762458.0761	9789405.571
303	Pastura	762714	9789462
304	Antrópico	759243.0514	9792025.061
305	Antrópico	759337.1265	9791997.805
306	Antrópico	759498	9792144
307	Antrópico	762504	9792228
308	Antrópico	762564.9018	9792299.071
309	Antrópico	761436	9791886
310	Antrópico	762198	9791880
311	Antrópico	762114	9791886
312	Antrópico	762474	9792030
313	Antrópico	762577.021	9792240.619
314	Antrópico	762445.8391	9792246.154

315	Antrópico	758054.3312	9791494.35
316	Antrópico	758133.7064	9791575.842
317	Antrópico	758202	9791598
318	Antrópico	765114	9792942
319	Antrópico	763548	9792174
320	Antrópico	763533.7287	9792063.071
321	Antrópico	763543.7518	9792499.868
322	Antrópico	763554	9792558
323	Antrópico	763535.0206	9792530.824
324	Antrópico	763566	9792594
325	Antrópico	763571.5331	9792624.487
326	Antrópico	763596.9332	9792414.937
327	Antrópico	763634.2395	9792414.937
328	Antrópico	763677.8959	9792424.462
329	Antrópico	763519.9393	9792382.393
330	Antrópico	763481.0455	9792331.593
331	Antrópico	763602.3307	9792001.392
332	Antrópico	763587.78	9791930.61
333	Antrópico	763519.7805	9791869.629
334	Antrópico	763326.1052	9791790.254
335	Antrópico	762822.3375	9784076.047
336	Antrópico	762787.4124	9784052.764
337	Antrópico	762541.8786	9783792.413
338	Antrópico	762514.3619	9783718.33
339	Antrópico	762456.1534	9783462.212
340	Suelo	763261.1498	9784649.18
341	Suelo	763204.9257	9784678.945
342	Suelo	762515.5034	9784892.451
343	Suelo	762426.9771	9784898.451
344	Suelo	762589.7683	9784420.976
345	Suelo	762712.1383	9784325.065
346	Suelo	766725.5668	9793924.52
347	Suelo	766807.5878	9793810.749
348	Suelo	766466.2746	9794070.041
349	Suelo	766120.1236	9794387.01
350	Suelo	766158	9794478
351	Suelo	767547.0997	9796350.754
352	Suelo	767340.7243	9796365.306
353	Suelo	767293.0992	9796381.181
354	Cultivo	766799.2093	9796448.209

Realizado por: Echeverría, Julie, 2021

ANEXO B. MAPA MORFOMÉTRICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CHAMBO



Realizado por: Echeverría, Julie, 2021

ANEXO C. CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

*DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 19 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Julie Alejandra Echeverría Puertas</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>
Título a optar: <i>Ingeniera en Biotecnología Ambiental</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.19
09:04:49 -05'00'



1910-DBRA-UTP-2021