



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Instituto de
Posgrado

INSTITUTO DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**“CAMBIO DE USO DEL SUELO Y COBERTURAS VEGETALES EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO COVERTILLO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.
PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN”**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión
Integral de Cuencas Hidrográficas.**

TUTORA:

MSc. Piedad Maribel Jarrín Puente

AUTOR:

Ing. Carlos Humberto Reyes Vera

IBARRA - ECUADOR

2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutora de Trabajo de Grado Titulado: **“CAMBIO DE USO DEL SUELO Y COBERTURAS VEGETALES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO COVERTILLO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN”**, de autoría de: Carlos Humberto Reyes Vera, para optar por el título de Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, doy fe de que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se asigne.

En la ciudad de Ibarra, a 21 de julio del 2021.

Lo certifico

Ing. Maribel Jarrín Puente MSc.

Tutora



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0803524537		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Reyes Vera Carlos Humberto		
DIRECCIÓN:	Los Rosales Tercera Etapa, Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas.		
EMAIL:	chreyesv@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0997908708

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Cambio de uso del suelo y coberturas vegetales en la microcuenca del río Covertillo, provincia de Chimborazo. Propuesta de estrategias de conservación.
AUTOR:	Reyes Vera Carlos Humberto
FECHA:	20/07/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
ASESOR /DIRECTORA:	Arias Muñoz Paul / Jarrín Puente Maribel

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 20 días del mes de julio de 2021.

EL AUTOR:



Nombre: Reyes Vera Carlos Humberto.

DEDICATORIA

A mis padres por guiarme en el camino de la educación y apoyarme en cada momento de mi vida.

A mi esposa un pilar fundamental en el logro de cada meta y objetivo cumplido.

A mis compañeros y grupo de amigos que supieron acompañarme en esta ardua tarea de seguir un posgrado.

RECONOCIMIENTO

A la Universidad Técnica del Norte que con sus programas de posgrados forman excelentes profesionales, capacitados para cumplir roles notables dentro de la sociedad.

Al grupo de profesores, coordinadores, personal administrativo, que demostraron gran profesionalismo y dedicación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1. Problema de Investigación.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Objetivos de la Investigación.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación.....	3

CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico.....	5
2.1.1. Cuenca Hidrográfica.....	5
2.1.1.1. Características de la cuenca hidrográfica.....	6
2.1.1.2. Funciones de la Cuenca Hidrográfica.....	7
2.1.2. Importancia del Estudio de una Cuenca Hidrográfica.....	8
2.1.2.1. Problemas Ambientales de las Cuencas Hidrográficas.....	8
2.1.3. Morfometría de una cuenca hidrográfica.....	8
2.1.4. Análisis de cobertura y uso del suelo.....	11
2.1.4.1. Relación entre la cubierta y el uso del suelo.....	12
2.1.4.2. Cambio de cubierta y uso del suelo.....	12
2.2.5. Análisis multitemporal.....	13
2.1.5.1. Matriz de transición.....	14
2.1.5.2. Clasificación de imágenes satelitales.....	14

2.1.5.2.1. Tipos de clasificación de imágenes satelitales.....	15
2.2. Marco Legal.....	16
2.2.1 Constitución del Ecuador	16
2.2.2 Código Orgánico Organización Territorial Autonomía y Descentralización.....	18
2.2.3 Código Orgánico de Ambiente.....	20

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio	22
3.1.1. Ubicación geográfica.....	22
3.1.2. Características Climáticas	24
3.1.3. Clasificación Ecológica.....	24
3.1.5. Características del Suelo	26
3.1.5. Actividades Socio Económicas	26
3.1.5.1. Demografía	26
3.1.5.2. Aspectos económicos.....	26
3.1.5.3. Actividades productivas.....	27
3.2. Enfoque y tipo de investigación.....	28
3.3. Procedimientos.....	28
3.3.1. Caracterización física de la microcuenca del río Covertillo	28
3.3.1.1. Delimitación de la microcuenca del río Covertillo.....	28
3.3.1.1.1. Implementación de la herramienta Hydrology	29
3.3.1.2. Cálculo de parámetros morfométricos.....	32
3.3.1.2.1. Parámetros de forma	32
3.3.1.2.2. Parámetros de relieve	35
3.3.1.2.3. Parámetros de drenaje	37
3.3.2. Determinación de las transiciones producidas en los cambios de uso de suelo y coberturas vegetales.	38

3.3.2.1. Imágenes satelitales y software utilizado.....	38
3.3.2.2. Preprocesamiento de las imágenes satelitales.....	38
3.3.2.2.1. Proceso de calibración para las imágenes Landsat	39
3.3.2.3. Proceso de clasificación supervisada.....	39
3.3.2.3.1. Identificación de las coberturas y usos de suelo	40
3.3.2.3.2. Validación de las áreas de entrenamiento generadas por clase....	42
3.3.2.3.3. Determinación de la separabilidad entre clases	42
3.3.2.3.4. Implementación del algoritmo de clasificación supervisada	43
3.3.2.3.5. Validación de la clasificación	44
3.3.3. Análisis multitemporal	44
3.3.3.1. Obtención de la matriz de transición	44
3.3.3.2. Análisis de la matriz de transición.....	45
3.3.3.3. Análisis de las transiciones	47
3.3.3.3.1. Análisis de las ganancias	47
3.3.3.3.2. Análisis de las pérdidas.....	48
3.3.3.4. Análisis de la vulnerabilidad del cambio.....	49
3.3.4. Elaboración de cartografía temática.....	49
3.3.5. Estrategias de conservación para la microcuenca	49
3.3.6. Esquema de procesos	51

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Microcuenca del Río Covertillo.....	52
4.1.1. Parámetros morfométricos de la cuenca.....	54
4.1.1.1. Parámetros de forma	54
4.1.1.2. Parámetros de relieve.....	55
4.1.1.2.1. Pendiente media y curva hipsométrica	55
4.1.1.2.2. Pendiente.....	56
4.1.1.3. Parámetros de drenaje.....	59
4.1.1.3.1. Orden de Cauce y Densidad de Drenaje	59

4.2. Clasificación de imágenes satelitales.....	61
4.2.1. Usos de suelo y coberturas vegetales	61
4.2.1.1. Plantaciones (Pl)	61
4.2.1.2. Páramo herbáceo (Ph).....	61
4.2.1.3. Páramo de pajonal (Ps)	62
4.2.1.4. Suelo de Uso Agropecuario (Su)	62
4.2.1.5. Mosaico Agropecuario (Mo)	63
4.2.1.6. Área Poblada (Ap)	63
4.2.2. Clasificación supervisada de las imágenes satelitales.....	64
4.2.2.1. Imagen Landsat 2011	64
4.2.2.2. Imagen Landsat 2018.....	74
4.3. Análisis de las transiciones	83
4.3.1. Análisis multitemporal de la microcuenca del río Covertillo	83
4.3.2. Matriz de transición.....	84
4.3.3. Índices de Cambio	90
4.3.4. Análisis de las transiciones entre las clases de usos de suelo y cobertura vegetal	91
4.3.4.1. En función de las ganancias.....	91
4.3.4.2. En función de las pérdidas	94
4.3.5. Vulnerabilidad al cambio	97
4.4. Estrategias de conservación para la microcuenca del río Covertillo	98
4.4.1. Recuperación y conservación de ecosistemas nativos	99
4.4.1.1. Áreas de protección municipales	99
4.4.1.2. Protección de drenajes y quebradas	102
4.4.1.3. Restauración de áreas degradadas.....	102
4.4.2. Educación ambiental	103
4.4.2.1. Temáticas para abordar en las charlas de educación ambiental.....	103
4.4.3. Apoyo a actividades de quema controlada.....	104
4.4.4. El pago por servicios ambientales (PSA) como estrategia de conservación....	105
4.4.4.1. Programas Socio Bosque	106

4.5. Discusión	107
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Subdivisión de una cuenca hidrográfica	5
Tabla 2. Elementos de una cuenca hidrográfica	6
Tabla 3. Funciones de una cuenca hidrográfica	7
Tabla 4. Parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica	9
Tabla 5. Cobertura y uso de suelo	11
Tabla 6. Clasificación de imágenes satelitales	15
Tabla 7. Actividades productivas en la microcuenca del río Covertillo.....	27
Tabla 8. Superficie de la microcuenca.....	32
Tabla 9. Susceptibilidad de la microcuenca a las crecidas	34
Tabla 10. Forma de la microcuenca.....	35
Tabla 11. Tipos de pendiente.....	37
Tabla 12. Valores de calibración radiométrica para LandSat.....	39
Tabla 13. Sistema de clasificación para usos de suelo y coberturas vegetales.....	40
Tabla 14. Grados de separabilidad entre las áreas de entrenamiento	43
Tabla 15. Rango de interpretación del coeficiente de validación Kappa	44
Tabla 16. Matriz de transición	45
Tabla 17. Conformación de la matriz de transición en función de las ganancias y las pérdidas	46
Tabla 18. Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Covertillo	54
Tabla 19. Valores calculados para la curva hipsométrica.....	55
Tabla 20. Tipos de pendientes dentro de la microcuenca del río Covertillo	57
Tabla 21. Orden de cauce de la microcuenca del río Covertillo.....	59
Tabla 22. Coeficiente de variación para las áreas de entrenamiento - imagen 2011	65
Tabla 23. Coeficiente de variación de las clases de cobertura y usos de suelo - imagen 2011	66
Tabla 24. Análisis de separabilidad - imagen 2011	68
Tabla 25. Matriz de confusión para la clasificación supervisada - imagen 2011	71
Tabla 26. Coeficiente de variación para las áreas de entrenamiento - imagen 2018.....	74
Tabla 27. Coeficiente de variación de las clases de cobertura y usos de suelo - imagen 2018	75
Tabla 28. <i>Análisis de separabilidad - imagen 2018</i>	77

Tabla 29. Matriz de confusión para la clasificación supervisada - imagen 2018.....	80
Tabla 30. Porcentajes de cobertura vegetal y usos de suelos para los años 2011 - 2018 ...	83
Tabla 31. Transiciones existentes entre los años 2011 – 2018.....	85
Tabla 32. Matriz de transición de los años 2011 - 2018.....	88
Tabla 33. Índices de cambio para los años 2011 - 2018.....	91
Tabla 34. Transiciones sistemáticas en función a las ganancias	92
Tabla 35. Interpretación de las transiciones en función a las ganancias	93
Tabla 36. Análisis de las transiciones en función de las ganancias.....	94
Tabla 37. Transiciones sistemáticas en función a las pérdidas.....	95
Tabla 38. Interpretación de las transiciones en función a las pérdidas.....	96
Tabla 39. Análisis de las transiciones en función de las pérdidas	97
Tabla 40. Vulnerabilidad al cambio de las clases de cobertura y usos de suelo.....	98
Tabla 41. Temáticas para charlas de educación ambiental.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio, cantón Colta.	23
Figura 2. Clasificación ecológica de la microcuenca del Río Covertillo	25
Figura 3. Creación de la red de triangulación y modelo digital de elevación	29
Figura 4. Proceso de implementación de Hydrology	30
Figura 5. Mapa de proceso de delimitación de la microcuenca	31
Figura 6. Curvas hipsométricas características de una cuenca hidrográfica	35
Figura 7. Mapa de identificación de las coberturas y usos de suelo.....	41
Figura 8. Esquema de procesos	51
Figura 9. Zonificación de la microcuenca del Río Covertillo	53
Figura 10. Curva hipsométrica de la microcuenca del Río Covertillo	56
Figura 11. Mapa de pendientes de la microcuenca del Río Covertillo.....	58
Figura 12. Orden de cauce del Río Covertillo.....	60
Figura 13. Plantaciones Forestales en la microcuenca del río Covertillo.....	61
Figura 14. Páramo herbáceo en la microcuenca del río Covertillo	62
Figura 15. Páramo de pajonal en la microcuenca del río Covertillo	62
Figura 16. Suelo de uso agropecuario en la microcuenca del río Covertillo.....	63
Figura 17. Mosaico agropecuario en la microcuenca del río Covertillo	63
Figura 18. Área poblada en la microcuenca del río Covertillo	64
Figura 19. Firmas espectrales de las clases de coberturas y uso de suelo - imagen 2011..	67
Figura 20. Clasificación supervisada imagen 2011	70
Figura 21. Área de cobertura de los usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2011	72
Figura 22. Usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2011.....	73
Figura 23. Firmas espectrales de las clases de coberturas y uso de suelo - imagen 2018..	76
Figura 24. Clasificación supervisada imagen 2018.....	79
Figura 25. Área de cobertura de los usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2018	81
Figura 26. Usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2018.....	82
Figura 27. Variación de las coberturas vegetales y usos de suelos para los años 2011 - 2018	84
Figura 28. Matriz de transiciones para los años 2011 - 2018.....	87
Figura 29. Propuesta para la creación de Área de Protección Municipales	101

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

**“CAMBIO DE USO DEL SUELO Y COBERTURAS VEGETALES EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO COVERTILLO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.
PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN”**

Autor: Ing. Carlos Humberto Reyes Vera

Tutor: MSc. Piedad Maribel Jarrín Puente

Año: 2020

RESUMEN

Las cuencas hidrográficas representan una superficie que funciona como un sistema complejo, dinámico y abierto. Dentro de estas interactúan elementos naturales y antrópicos a través de una unidad de planificación y gestión. Lo que ocurre dentro de este espacio geográfico repercutirá en las poblaciones que se encuentran dentro y fuera de ella. En este contexto el propósito de la investigación fue analizar el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del río Covertillo, parroquia Cajabamba, cantón Colta, provincia de Chimborazo con la finalidad de proponer estrategias de conservación para los ecosistemas nativos. Para esto se delimitó la microcuenca con el software ArcMap 10.3, a partir de la información generada se calculó y analizó los parámetros morfométricos. Con el área establecida se delimitó la microcuenca en imágenes satelitales LandSat 8 de los años 2011 – 2018. A estas se les implementó un preprocesamiento con el software ENVI 5 con la finalidad de obtener resultados precisos al momento de realizar la clasificación supervisada. Con este proceso se obtuvo las coberturas vegetales y usos de suelo del área en estudio, el cambio de estas superficies en el tiempo se realizó con un análisis multitemporal. Los valores generados se interpretaron con la metodología propuesta por Pontius et al. (2004) para el estudio de las transiciones en función de las ganancias y las pérdidas. En función a los resultados obtenidos se estableció las propuestas de conservación con la finalidad de dar una mayor prioridad a las zonas que estén más afectadas. Se determinó que en la microcuenca del río Covertillo, el cambio de uso de suelo aún no se ha convertido en un problema relevante debido a que los páramos que la conforman no han disminuido su porcentaje de cobertura de forma considerable. Para el año 2011 el suelo de uso agropecuario y el mosaico agropecuario representaron el 1.1% y el 1.7% del total de la superficie, estos se incrementaron al 3.7% y 4.0% respectivamente en el 2018. Las transiciones en función de las ganancias y las pérdidas reflejaron que existe una disminución de los ecosistemas nativos, el cual se registró en la parte baja de la microcuenca. A pesar de que las transiciones son sistemáticas y significativas este avance no es muy notorio en términos de superficies netas, pero sí representa un problema a ser considerado, ya que se trata de zonas de recargar hídrica. Por lo tanto, el trabajo realizado debe implementarse en todo el cantón Colta, ya que el mismo está conformado por extensas zonas de recarga hídrica. Con la metodología implementada es posible saber de forma más exacta donde la pérdida de los ecosistemas nativos es significativa, y de esta forma poder focalizar las estrategias de conservación en los lugares que así lo requieran.

Descriptores

Microcuenca, Análisis Multitemporal, Transiciones, Conservación

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

**“CAMBIO DE USO DEL SUELO Y COBERTURAS VEGETALES EN LA
MICROCUCIENCA DEL RÍO COVERTILLO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.
PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN”**

Autor: Ing. Carlos Humberto Reyes Vera

Tutor: MSc. Piedad Maribel Jarrín Puente

Año: 2020

ABSTRACT

Watersheds represent a surface that functions as a complex, dynamic and open system. Within these, natural and anthropic elements interact through a planning and management unit. What happens within this geographic space will affect the populations that are inside and outside it. In this context, the purpose of the research was to analyze the change in land use and vegetation cover in the Covertillo river micro-basin, Cajabamba parish, Colta canton, Chimborazo province in order to propose conservation strategies for native ecosystems. For this, the micro-basin was delimited with the ArcMap 10.3 software, from the information generated, the morphometric parameters were calculated and analyzed. With the established area, the micro-basin was delimited in LandSat 8 satellite images for the years 2011 - 2018. Preprocessing was implemented with the ENVI 5 software in order to obtain accurate results at the time of supervised classification. With this process, the plant covers and land uses of the study area were obtained, the change of these surfaces over time was carried out with a multitemporal analysis. The generated values were interpreted with the methodology proposed by Pontius et al. (2004) for the study of transitions as a function of gains and losses. Based on the results obtained, conservation proposals were established in order to give higher priority to the areas that are most affected. It was determined that in the Covertillo river micro-basin, the change in land use has not yet become a relevant problem because the moorlands that comprise it have not significantly decreased their coverage percentage. For the year 2011, the land for agricultural use and the agricultural mosaic represented 1.1% and 1.7% of the total surface area, these increased to 3.7% and 4.0% respectively in 2018. Transitions based on profits and Losses reflected that there is a decrease in native ecosystems, which was recorded in the lower part of the micro-basin. Despite the fact that the transitions are systematic and significant, this progress is not very noticeable in terms of net surfaces, but it does represent a problem to be considered, since they are areas of water recharge. Therefore, the work carried out must be implemented throughout the Colta canton, since it is made up of extensive water recharge zones. With the implemented methodology, it is possible to know more precisely where the loss of native ecosystems is significant, and in this way to be able to focus conservation strategies in the places that require it.

Keyword

Micro-watershed, Multitemporal Analysis, Transitions, Conservation

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Problema de Investigación

Los recursos existentes en la naturaleza son sometidos a un avance acelerado de degradación y considerar que algún país no se encuentre involucrado en esta problemática es complicado. La degradación de los distintos ecosistemas varía según el tipo de uso que se quiera implementar, pero siempre con una mayor intensidad cuando se trata de cultivos y pastos (Oldeman, 2001). Áreas cubiertas con bosques nativos son eficientes para reciclar elementos y/o compuestos químicos evitando el arrastre de estos hacia los cuerpos de agua. Es por ello por lo que a medida que son talados por el cambio de uso de la tierra, el reciclaje tiende a ser menor (Basterrechea et al.1987).

En Ecuador, el avance de la frontera agrícola se puede registrar en las últimas décadas en distintas provincias. Los Andes del Ecuador es el lugar con más afección donde se ha tenido una gran pérdida de los pocos remanentes de bosque y páramo, ubicados principalmente en las partes altas de las microcuencas. Esto ha provocado un deterioro y pérdida de los componentes agua, suelo, vegetación, flora, fauna.

En el caso particular de la microcuenca del río Covertillo, esta presenta la influencia de los factores de tipo antrópico como el avance de la frontera agrícola. Esto incrementa el cambio de uso del suelo y las coberturas vegetales, además, disminuye la superficie de los páramos que es el principal ecosistema de esta zona. Donde la principal consecuencia es la pérdida de la biodiversidad, disminución de la cobertura vegetal, disminución de caudales alterando completamente la dinámica del ecosistema.

Por esta razón los páramos del área de estudio requieren medidas de protección y conservación debido a que se constituye en un ecosistema importante para la microcuenca del río Covertillo. De esta depende el abastecimiento de agua para la zona urbana y al sistema de riego del cantón que suministra a comunidades y cooperativas agropecuarias aledañas a la zona.

1.2. Antecedentes

En Perú se realizó estudios de la desglaciación de la cordillera, específicamente el volumen del glaciar de la Cordillera Parón en los últimos 24 años. Esto debido a que se considera a la pérdida de los glaciares como un indicador del cambio climático a nivel regional y global. Para la cuantificación se emplearon imágenes satelitales, técnicas multifractales y multitemporales que permitieron determinar en que medida los eventos climáticos como el fenómeno del niño y la niña influyeron en la desglaciación a través del tiempo. El estudio concluyó con que la superficie glaciar de la Cordillera Parón se ha reducido en un 18% en los últimos 24 años (Medina y Mejía, 2014).

En Venezuela, en la Reserva Forestal de Ticoporo se emplearon diferentes técnicas de interpretación sobre imágenes satelitales LANDSAT y HRV de SPOT, para analizar un periodo de tiempo comprendido de 38 años (1963, 1976, 1987, 2001). Se determinó que la superficie boscosa disminuyó su superficie en un 77%, pasando de 171171.5 hectáreas en el año 1963 a 39740.8 hectáreas para el año 2001. Esto representó una tasa de deforestación total media anual del 2%, equivalente a una pérdida de 3424.4 hectáreas de bosque por año. Además, se concluyó que la reserva forestal para el año 2001, presenta una cobertura boscosa de 39740.8 hectáreas, lo que representa sólo el 21% de la totalidad del área (Pozzobon y Osorio, 2002).

En Ecuador se obtuvo el Mapa de Cobertura Vegetal y Ocupación del Suelo y el Mapa de Ecosistemas para el año referencial de 1990. Esto a partir de la implementación de técnicas de clasificación supervisada y no supervisada, con imágenes satelitales Landsat de los años 1988, 1989 y 1991. Posteriormente y actualizando las metodologías previamente usadas se clasificaron 23 imágenes ASTER para obtener los mapas correspondientes al año 2008. En este último el trabajo realizado se complementó con la verificación en campo efectuada en el primer trimestre del año 2009. Por último, se debe recalcar que el esquema de clasificación utilizado en los mapas de ecosistemas correspondió al propuesto por Nature Serve, el cual maneja el criterio de eco-regiones (The Nature Conservancy, 2009).

En Ecuador en el valle interandino del Chota se han realizado comparaciones multitemporales de la cobertura vegetal (bosques y arbustos xéricos) en los años 1991, 2000, 2007 y 2016. Para esto se utilizó imágenes Landsat ETM+7 y OLI8 e imágenes Aster, a

partir de las cuales se identificó y cuantificó los cambios en las superficies que conformaron el área de estudio. Para cada año se generó cartografía temática donde se pudo diferenciar cinco clases de cobertura de vegetal y usos del suelo: riparia, arbustiva, xérica, cultivos-frutales y áreas erosionadas, además, de los cambios registrados (Ponce, 2017).

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

- Analizar el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del río Covertillo, parroquia Cajabamba, cantón Colta, provincia de Chimborazo, con el fin de proponer estrategias de conservación.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización física de la microcuenca del río Covertillo.
- Determinar las transiciones producidas en el cambio de uso de suelo y coberturas vegetales de la microcuenca del río Covertillo.
- Establecer estrategias de conservación en función a las transiciones registradas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales.

1.4. Justificación

El análisis de cambios de uso del suelo y cobertura vegetal en el área de la microcuenca del río Covertillo ubicada en la parroquia Villa La Unión, cantón Colta, provincia de Chimborazo es de gran importancia, ya que con el paso del tiempo se ha generado un deterioro del ecosistema. Como lo indica Velázquez et al. (2002) este proceso se da por el aumento de la densidad poblacional que ha hecho que se requiera una mayor cantidad de recursos y por ende la transformación de ecosistemas nativos en superficies productivas. Esto ocasiona que se dé una pérdida de los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas para el bienestar humano.

Identificar las transiciones que se están produciendo y su nivel de significancia permite tener una idea clara de cómo se ha dado la ampliación de la frontera agrícola y la pérdida de la cobertura vegetal nativa. Además se ha considerado que resulta necesario contar con

información cartográfica temática y preliminar como una línea base para la ejecución de futuros proyectos ambientales, sociales, productivos y económicos, que en conjunto lleven a un manejo integral de la microcuenca. También se ha valorado la importancia de la conservación y protección de los páramos para asegurar a la población la disponibilidad de agua para riego, consumo humano y producción.

El presente trabajo investigativo se busca identificar los principales problemas que se tienen dentro de la microcuenca, para generar soluciones a corto y mediano plazo. Estas estarán plasmadas y se transmitirán a través de las propuestas de conservación, no solo buscando la conservación del ecosistema si no tratando de mejorar la calidad de vida de los pobladores de la microcuenca. De esta forma la investigación aportara y se enmarca dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 en su primer eje: derechos para todos durante toda una vida. Donde en el objetivo 3 se garantiza los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica, sus recursos naturales y sus habitantes poseen condiciones físicas, biológicas, económicas y culturales que les confieren características que son particulares a cada una de estas. Esto la convierte en una fuente de vida para el hombre, aunque también de riesgo cuando ocurren fenómenos naturales extremos como sequías o inundaciones (Duarte, 2014).

Es un elemento territorial que está delimitado por la influencia de un sistema de drenaje superficial, que tiene como límite la divisoria de aguas hasta conectar con el río principal, otro río mayor cauce, un lago o el mar. Dentro de esta se interrelacionan sistemáticamente procesos biofísicos, socioeconómico y ambientales, creando de esta manera un sistema dinámico (Duarte, 2014). La cuenca hidrográfica se subdivide en alta, media y baja (Tabla 1).

Tabla 1.

Subdivisión de una cuenca hidrográfica

Subdivisión	Descripción
Cuenca Alta	Zona montañosa de captación y recepción de precipitación.
Cuenca Media	Zona de valles interandinos, existe cauce definido y se realizan actividades socioeconómicas derivadas del uso del agua.
Cuenca Baja	Zona de inundación y desembocadura, se desarrollan grandes actividades agropecuarias, socioeconómicas y de infraestructura de riego.

Fuente: (Duarte, 2014).

En la tabla 2 se detalla los elementos que forman parte de una cuenca hidrográfica.

Tabla 2.

Elementos de una cuenca hidrográfica

Elementos de la cuenca hidrográfica	Descripción
Subcuenca hidrográfica	Área en la que su drenaje va directamente al río principal de la cuenca (Faustino et al., 2006).
Microcuenca hidrográfica	Su drenaje va a parar al cauce principal de una subcuenca; son unidades pequeñas que originan quebradas y riachuelos que drenan las laderas y pendientes altas. En esta parte de la cuenca se planifican y se realizan acciones para su manejo (Verdugo, 2017).
Parteaguas	Línea divisoria que delimita a una cuenca hidrográfica, es decir, es la parte con mayor cota dentro de la cuenca. Puede ser la extensión que comprenden dos valles adyacentes, por lo tanto es la línea que separa a dos vertientes de valles distintos (Centeno, 2009).

2.1.1.1. Características de la cuenca hidrográfica

De acuerdo con Mendoza (2008), una cuenca hidrográfica posee las siguientes características:

- **Es un medio natural geográficamente bien definido.** Es el área de alimentación de una red natural de drenaje cuyas aguas son recogidas por un colector común.
- **Es un medio biofísico complejo.** Es un medio natural compuesto por diferentes elementos: suelo, agua, vegetación, flora, fauna, subsuelos y clima; complejo por las interrelaciones e interacciones que dichos elementos mantienen en el dinámico equilibrio de la naturaleza.
- **Es un medio natural morfodinámico.** La génesis de la morfología de una cuenca es un proceso dinámico porque según el clima que prevalece en una cuenca, formaciones superficiales y el tipo de relieve se operan constantes modificaciones como decir,

cambios en el patrón de drenaje, como eliminación de meandros, formación de brazos, creación de áreas de abrupción, de transporte y acumulación de sedimentos, etc.

- **Es un medio humano en transformación.** Se refiere a la demografía, la tenencia de la tierra, la estructura social de los sistemas de producción, las condiciones de mercado y de crédito, etc.

2.1.1.2. *Funciones de la Cuenca Hidrográfica*

Bajo condiciones normales, la cuenca hidrográfica cumple las siguientes funciones (Tabla 3).

Tabla 3.

Funciones de una cuenca hidrográfica

Funciones	Descripción
Función Hidrológica	Función principal al ser el espacio físico de consecución y disposición del ciclo hidrológico.
Función Ambiental	Regula el balance hídrico y los ciclos biogeoquímicos, constituye un sumidero de CO ₂ , mantiene la biodiversidad, previene la erosión.
Función de Servicios	Dota de agua potable a la población, transporte natural de desechos y vía fluvial de transporte (cuenca baja); además, constituye el espacio idóneo para implementar infraestructuras para la generación de energía eléctrica, también se realizan proyectos de riego masivo.
Función Socioeconómica	Brinda recursos naturales a las comunidades cercanas para que realicen actividades económicas para su sustento como por ejemplo, la ganadería, agricultura, turismo, entre otros.

Fuente: (INEN, 2005)

2.1.2. Importancia del Estudio de una Cuenca Hidrográfica

El ciclo hidrológico es el responsable del mantenimiento del clima mundial y, por ende, es de vital importancia el aseguramiento de la calidad de las microcuencas y de su correspondiente cobertura vegetal. Las cuencas hidrográficas sin intervención antrópica se convierten en un almacén de flora y fauna en equilibrio, por ello, cada cuenca es un sistema independiente, por lo cual, es imprescindible diagnosticar sus componentes específicamente, en el caso de la explotación antrópica, para obtener resultados acordes a las expectativas ecológicas que se manejen para dicha cuenca hidrográfica y no generar desajustes en la interrelación y continuidad de los recursos naturales (Duque, 2008).

2.1.2.1. Problemas Ambientales de las Cuencas Hidrográficas

Existen en la naturaleza dos clases de factores que determinan la existencia de problemas ambientales: los naturales y los antropogénicos. En el caso de los factores naturales, estos son eventos en los cuales el hombre no posee la capacidad total de respuesta ante ellos. Sin embargo, los factores antropogénicos son aquellos ocasionados por el hombre y los que generan la mayor parte de los problemas ambientales. Es responsabilidad del ser humano prevenirlos, reducirlos y mitigarlos (Duque, 2008).

Los problemas ambientales dentro de las cuencas hidrográficas son principalmente la contaminación del agua, suelo, aire o el ruido. Estos alteran la composición física y química generando daños irreversibles a la cuenca como la pérdida de su biodiversidad, erosión y alteraciones en el ciclo hidrológico, creando un desequilibrio dentro de esta.

2.1.3. Morfometría de una cuenca hidrográfica

Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica describen sus características físicas, esto permite realizar comparaciones entre distintas superficies que conforman una red hídrica. De igual forma, pueden establecer conclusiones preliminares sobre las características ambientales de la zona a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales.

La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica ante eventos climáticos está estrechamente relacionada con la de disposición del recurso hídrico y la capacidad de responder al incremento o disminución de este. Como por ejemplo, la escorrentía superficial expresada en término de caudales, y la incidencia de esta en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran.

El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros como la forma, relieve y red de drenaje es esencial en la modelación hidrológica. De esta forma es posible determinar el movimiento y la captación del agua de lluvia a través de la cuenca. También, esta modelación permite explicar el movimiento del agua superficial y predefinir la oferta hídrica complementada con otros modelos matemáticos. Esta oferta de agua puede ser la apertura de una estrategia de ordenamiento territorial y desarrollo local representada por un sistema de pago por servicios ambientales (Gaspari, F. et al., 2012).

A continuación se describen las principales características morfométricas que se analizan en una cuenca hidrográfica (Tabla 4).

Tabla 4.

Parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica

Parámetros	Descripción
Parámetros de Forma	
Área (A) y perímetro (P)	Es la superficie total que conforma la microcuenca y su red hídrica. Se clasifica en función al tamaño. El perímetro es el límite del área que abarca la microcuenca (Guerra et al, 2002).
Longitud axial (La)	Extensión en línea recta a partir de la desembocadura de la red hídrica, hasta la zona más alejada de la microcuenca (Gaspari et al, 2012).
Ancho promedio (Ap)	Es el resultado de la división del área total para la longitud axial (Gaspari et al, 2012).

Factor de Forma (Ff)

Permite establecer la tendencia que tiene la microcuenca a sufrir crecidas por aumento de precipitaciones. Un factor de forma que tiende a 1, asegura que la microcuenca es redondeada en consecuencia lluvias intensas y simultáneas ocasionaran crecidas de gran magnitud. Si el factor de forma tiende a 0 la microcuenca tendrá una forma alargada, por lo tanto lluvias intensas y simultáneas no originaran crecidas de gran magnitud (Gaspari et al, 2012).

Coefficiente de compacidad (Kc)

Indica el tiempo de concentración, tiempo que le lleva a una gota de lluvia para trasladarse desde la parte más alejada de la microcuenca hasta la desembocadura o punto de conexión con otro río. En dicho momento se da la máxima concentración de agua debido a que todas las gotas de lluvia arribarán desde todos los límites de la microcuenca. En función al valor obtenido para el coeficiente se clasifica la forma de la microcuenca (Gaspari et al, 2012).

Parámetro de relieve

Curva Hipsométrica (CHA)**Adimensional**

Indica el potencial evolutivo de la cuenca hidrográfica, por medio de un gráfico de dos ejes, donde la ordenada representa la Altura relativa (h/H) y la abscisa el Área relativa (a/A). Cuando las curvas hipsométricas demuestran variaciones, por apartarse de las teóricas o por presentar más de un punto de inflexión, puede referirse a controles tectónicos o litológicos particulares (Racca, 2007).

Pendiente media (PM)

El proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica, está influenciada por la configuración topográfica, debido a que el dominio erosivo se manifiesta en mayor o menor intensidad de acuerdo con los distintos grados de pendiente (Henaos, 1988; López Cadenas de Llano, 1998). Es la diferencia total de elevación del cauce principal (cota máxima – cota mínima), dividida por su longitud total (L_c)

Red de Drenaje

Orden de cauce

Se determina en función a la jerarquización propuesta por Strahler (1957). En la cual un nivel de jerarquía se incrementa en el momento en que dos jerarquías del mismo nivel se unan. Nivel: 1 en el caso de las nacientes de agua; 2 para cuando se encuentre dos jerarquías de nivel 1, y 3 en el caso de tratarse del nivel 2 (Salas et al, 2011).

Densidad de drenaje (Dd)

Estima la facilidad que tiene la cuenca para evacuar las aguas provenientes de las precipitaciones. Su valor se obtiene de la división de la sumatoria de las longitudes de los cauces que conforman la red hídrica para el área total de la microcuenca. En función al resultado se puede clasificar: cuenca pobremente drenada si la $Dd \leq 0.6 \text{ km/km}^2$ o cuenca bien drenada si la $Dd > 3 \text{ km/km}^2$ (Rivas et al, 2013).

2.1.4. Análisis de cobertura y uso del suelo

La cobertura y el uso del suelo son elementos claves que representan el ambiente terrestre con la naturaleza y las actividades antrópicas. En la tabla 5 se detalla las definiciones de cada una de estas.

Tabla 5.*Cobertura y uso de suelo*

Tipo	Definición
Cobertura vegetal	Son aquellos cuerpos que se encuentran sobre la superficie del planeta y pueden ser de origen natural (ríos, lagunas, selvas, glaciares, entre otros); u originados y mantenidos por el hombre (vías, urbes, redes, etc.); es estudiada por las ciencias naturales y representa al estado físico de la cobertura vegetal, y está determinada por factores biofísicos, como son el clima, topografía, tipo de suelos, disponibilidad de agua y el tipo de vegetación (López, 2006).
Uso de Suelo	Se describe como la forma en que las coberturas son usadas por el hombre, para satisfacer sus necesidades materiales y espirituales. En sí se describe como las actividades que desarrolla el hombre sobre la superficie terrestre y al intervenir el humano en el ambiente para promover bienes y servicios este uso tiende a cambiar (López, 2006).

2.1.4.1. Relación entre la cubierta y el uso del suelo

Según Pineda (2011) un tipo de cobertura puede implicar muchos usos, por ejemplo un glaciar puede tener fines turísticos, de conservación y de investigación. De igual manera el uso de suelo puede implicar varias categorías de cobertura, por ejemplo la actividad agropecuaria se puede desarrollar en pastizales, tierras de cultivo, matorrales e inclusive bosques. La relación que existe entre el tipo de cobertura y el uso del suelo no es una relación única. Esta puede ser de un tipo de cobertura a un uso específico, de un tipo de cobertura a diferentes de usos y de diferentes coberturas a diferentes usos.

Varios usos que los humanos implementan en el suelo constituyen un tema de importancia, debido a la intervención constante del hombre en su variación y su degradación. La acción del hombre en un territorio adquiere mayor significado con las primeras colectividades agrícolas. Sin embargo en la actualidad el desarrollo científico y tecnológico del hombre ha aumentado su capacidad para perturbar el lugar que habita. Por tal razón, está ocupando posiciones cada vez más arbitrarias dentro de la estructura y dinámica de un territorio, excediendo así su capacidad de carga.

2.1.4.2. Cambio de cubierta y uso del suelo

Estudios sobre los cambios de uso de suelo y coberturas vegetales permiten determinar procesos asociados con la deforestación, perturbación de bosques, disminución de biodiversidad, erosión, entre otros. Dichos cambios que experimentan las coberturas vegetales y usos del suelo de un área específica se consideran como una de las principales causas de la degradación ambiental. En la actualidad podemos asegurar que las actividades antrópicas son el principal desencadenante de las variaciones de los ecosistemas terrestres (Lambin et al., 2001).

Para realizar estudios de cambios de uso de suelo y coberturas vegetales se necesita del manejo de varios insumos cartográficos, principalmente de mapas, esto a su vez apoyado de herramientas de sistemas de información geográfica que permiten identificar y representar áreas más susceptibles al cambio. De esta forma, los especialistas y tomadores de decisiones que son responsables del uso de los recursos naturales pueden efectuar políticas públicas encaminadas al aprovechamiento sostenible y la conservación. Debido a que comprenden la

dinámica de cambio o transición que experimentan las distintas coberturas terrestres (Veldkamp et al., 2001)

Los estudios referidos a los usos y cubiertas del suelo son parte de una ciencia interdisciplinaria llamada *Land Use Science* que está influenciada por sistemas ambientales, ecológicos y socioeconómicos. Esto a partir de una compleja serie de procesos naturales y socioeconómicos, donde se incluye a la gestión, la política y la toma de decisiones (Aspinall, 2006).

En el caso del cambio de la superficie se denomina *Land Change Science* donde se considera a esta, como una unidad necesaria para el entendimiento de los cambios ambientales a nivel local, regional o mundial. Esto se da a partir del estudio de la dinámica existente entre las cubiertas y usos del suelo, analizados desde el punto de vista de un sistema entre el hombre y el ambiente (Turner et al., 2007).

De forma pragmática, el concepto de cambio del suelo indica el resultado de las actividades socioeconómicas que se realizan sobre una cobertura, por su parte cobertura se refiere a los objetos que se distribuyen sobre un territorio determinado (Pineda, 2011). De igual manera el cambio de uso de suelo es asociado a las acciones humanas dentro de un territorio a través del tiempo. Las interacciones humano-ambientes son complejas y no se pueden determinar en un periodo corto de tiempo, debido a que una actividad humana puede causar daños al ambiente, pero estos daños son tangibles a futuro.

López et al., (2001) reconocen en el cambio de uso de suelo dos modalidades: 1) Conversión de un tipo de categoría a otra, por ejemplo de bosque a pastizal. 2) Modificación dentro de la misma categoría, por ejemplo de áreas de cultivo de temporal cultivos de riego. El análisis de estas dos formas de cambio requiere de diferentes métodos y técnicas de realización. La conversión implica un cambio evidente y la modificación es un cambio más sutil entre las coberturas por lo que requiere de un gran nivel de detalle para ser detectada.

2.2.5. Análisis multitemporal

El análisis multitemporal permite detectar cambios entre dos fechas de referencia, así se deduce la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Chuvienco, 1990). Los estudios multitemporales son llevados a cabo con el objeto de detectar cambios entre dos o más fechas de referencia, donde se determina la evolución del

medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio. De esta forma es posible identificar las medidas adecuadas para evitar su deterioro o asegurar su mejor conservación. “*El objetivo de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas*” (González et al., 1992).

Otra implementación del análisis multitemporal implica el estudio del dinamismo temporal de una determinada zona: espacios urbanos, forestales, áreas de agricultura, entre otros. También permite evaluar fenómenos como inundaciones, incendios forestales, deforestación, así como seguir la evolución de sus efectos (Chuvieco 1990).

2.1.5.1. Matriz de transición

Las matrices de transición son parte de una metodología útil para identificar los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo. Estas se obtienen al superponer al menos dos mapas de cobertura/uso del suelo de fechas diferentes y analizar los datos resultantes a través del acomodo matricial de los mismos. De esta forma es posible identificar de manera eficiente los cambios existentes entre categorías.

Dicha matriz se ordena de tal forma que las categorías de fecha inicial (t_1) se acomodan en los renglones y las categorías de fecha final (t_2) en las columnas. De esta manera la diagonal principal de la matriz muestra la cantidad total del paisaje que no ha tenido cambios entre una fecha y otra fecha. El resto corresponde a todas las combinaciones posibles de intercambio entre categorías (Falcón, 2014).

2.1.5.2. Clasificación de imágenes satelitales

Las técnicas de clasificación de imágenes posibilitan la transformación de imágenes crudas (fotografías aéreas, imágenes de Satélite, etc.) en datos temáticos o mapas que muestran información con un significado evidente. En este contexto, el proceso de clasificación intenta categorizar todos los píxeles de una imagen digital asignándolos a una o más clases de coberturas terrestres o clases temáticas (Cervantes, 2014).

Los métodos tradicionales de clasificación involucran dos alternativas: no supervisada y supervisada. El método no supervisado crea agrupamientos espectrales que no tienen mayor significado desde el punto de vista del usuario, por lo que el analista debe intentar asociar una clase temática a cada uno de dichos grupos. En el método supervisado, el analista supervisa el proceso de categorización del pixel especificando al algoritmo de la computadora los tipos de coberturas terrestres presentes en la escena. Para ello debe recurrirse a un muestreo de sitios representativos de coberturas conocidas, llamadas áreas o sitios de entrenamiento que permitan compilar un código de interpretación numérica que describe los atributos espectrales para cada cobertura de interés (Cervantes, 2014).

Cada pixel de la escena es entonces comparado con el código de cada categoría, asignándole el nombre de aquella categoría a la que más se asimila. Es decir que en el enfoque supervisado el analista define sus categorías de interés y examina su separabilidad espectral, mientras que en el no supervisado primero determina las clases espectralmente separables y luego define las clases temáticas de interés.

2.1.5.2.1. Tipos de clasificación de imágenes satelitales

En la tabla 6 se detallan los tipos de clasificación para imágenes satelitales

Tabla 6.

Clasificación de imágenes satelitales

Tipo de clasificación	Descripción
Supervisada	<p>La clasificación supervisada involucra las siguientes etapas (Gamarra, 2017):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etapa de entrenamiento. Identificación de área de entrenamiento en la imagen satelital • Selección del algoritmo de clasificación adecuado y clasificación. Entre los algoritmos clásicos están: <ol style="list-style-type: none"> 1. Clasificador por mínima distancia 2. Clasificador por paralelepípedos 3. Clasificador por máxima probabilidad (Coronado, 2002).

- Operaciones de post clasificación.

No supervisada

El método no supervisado crea agrupamientos espectrales o clusters (grupo o agrupamiento) y el analista debe intentar asociar una clase temática a cada uno de dichos grupos. Las clasificaciones no supervisadas guardan relación con el valor relativo al color, al tono o al clúster, para identificar entidades (Arango et al., 2005).

ISODATA es el algoritmo más utilizado en este tipo de clasificación, los parámetros para tener en cuenta son los siguientes:

- Número máximo de clusters
- Máximo porcentaje de píxeles
- Máximo número de iteraciones. (Coronado, 2002).

2.2. Marco Legal

2.2.1 Constitución del Ecuador

El trabajo de investigación se enmarca en la normativa legal vigente en el país, que está en la Constitución del Ecuador que fue publicada en el registro oficial No. 449 del 20 de octubre del 2008. En donde el orden jerárquico correspondiente será el mismo que está en el art. 425 de la misma como es: la Constitución, los tratados y convenios internacionales; las leyes orgánicas; las leyes ordinarias, las normas regionales y las ordenanzas distritales; los decretos y reglamentos: las ordenanzas; los acuerdos y resoluciones; y los demás actos y decisiones de los poderes públicos.

En lo que respecta al ambiente, en el Capítulo segundo Derechos del Buen Vivir, Sección segundo Ambiente Sano, el art. 14 menciona que se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

En la sección segunda se habla de la biodiversidad en donde el artículo 400 declara que el Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se

realizará con responsabilidad intergeneracional. Se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país. De igual manera en la sección tercera, artículo 404, que habla sobre el patrimonio natural y ecosistemas, donde dice que el patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo con el ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley.

El artículo 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros.

En la sección quinta se detalla sobre el suelo. El artículo 409 pone de manifiesto que es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona. A su vez el artículo 410, indica que el Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

En la sección sexta, se detalla sobre el uso de los recursos hídricos, temática en la cual se desarrolla la presente investigación. El artículo 411 indica que el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua. Los siguientes artículos también denotan importancia en el manejo del agua. El artículo 412, menciona que la

autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

El artículo 414 menciona que el Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica. Tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo. Por su parte el artículo 415, indica que el Estado central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. Se incentivará y facilitará el transporte terrestre no motorizado, en especial mediante el establecimiento de ciclo vías.

2.2.2 Código Orgánico Organización Territorial Autonomía y Descentralización

Dentro del marco del COOTAD existen varios literales que se dirigen a la naturaleza, sostenibilidad, entre otros, como:

- La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de medio ambiente sostenible y sustentable.
- La obtención de un hábitat seguro y saludable para los ciudadanos y la garantía de su derecho a la vivienda en el ámbito de sus respectivas competencias.
- Gestionar el ordenamiento de cuencas hidrográficas y propiciar la creación de consejos de cuencas hidrográficas, de acuerdo con la ley.

También el artículo 136, menciona sobre el ejercicio de las competencias de gestión ambiental. De acuerdo con lo dispuesto en la Constitución, el ejercicio de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación se articularán a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental. Este tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza a través de la gestión concurrente y subsidiaria de

las competencias de este sector, con sujeción a las políticas, regulaciones técnicas y control de la autoridad ambiental nacional, de conformidad con lo dispuesto en la ley.

Corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales gobernar, dirigir, ordenar, disponer, u organizar la gestión ambiental, la defensoría del ambiente y la naturaleza, en el ámbito de su territorio. Estas acciones se realizarán en el marco del sistema nacional descentralizado de gestión ambiental y en concordancia con las políticas emitidas por la autoridad ambiental nacional.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales establecerán en forma progresiva sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar. Además, de las aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales Rurales promoverán actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente para lo cual impulsarán en su circunscripción territorial programas y/o proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales y recuperación de ecosistemas frágiles. Así como la protección de las fuentes y cursos de agua, prevención y recuperación de suelos degradados por contaminación, desertificación y erosión. Generación de programas de forestación y reforestación con la utilización preferente de especies nativas y adaptadas a la zona. Implementación de actividades de educación ambiental, organización y vigilancia ciudadana de los derechos ambientales y de la naturaleza. Estas actividades serán coordinadas con las políticas, programas y proyectos ambientales de todos los demás niveles de gobierno, sobre conservación y uso sustentable de los recursos naturales.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Regionales y Provinciales en coordinación con los consejos de cuencas hidrográficas podrán establecer tasas vinculadas a la obtención de recursos destinados a la conservación de las cuencas hidrográficas y la gestión ambiental. Estos recursos se utilizarán con la participación de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales y las Comunidades Rurales para la conservación y recuperación de los ecosistemas donde se encuentran las fuentes y cursos de agua.

2.2.3 Código Orgánico de Ambiente

En lo que respecta con el Código Orgánico del Ambiente en el capítulo IV. Formaciones Vegetales Naturales, Páramos, Moretales, Manglares y Bosques, presenta varios artículos de interés que deben ser considerados tales como:

Art. 99.- Conservación de páramos, moretales y manglares. Será de interés público la conservación, protección y restauración de los páramos, moretales y ecosistema de manglar. Se prohíbe su afectación, tala y cambio de uso de suelo, de conformidad con la ley.

Las comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos participarán en el cuidado de estos ecosistemas y comunicarán a la autoridad competente, cualquier violación o destrucción de estos.

Art. 100.- Disposiciones sobre el ecosistema páramo. Para la protección, uso sostenible y restauración del ecosistema páramo, se considerarán las características ecosistémicas de regulación hídrica, ecológica, biológica, social, cultural y económica.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales, Metropolitanos o Municipales deberán establecer planes, programas y proyectos que coadyuven a la conservación de dicho ecosistema bajo los criterios de la política nacional emitida por la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 101.- Planes e instrumentos para el ecosistema páramo. La elaboración de los planes e instrumentos de manejo y conservación del ecosistema páramo se realizarán de la siguiente manera:

1.- Si son páramos intervenidos donde existen y se realizan actividades agrarias y con el fin de no afectar otras áreas de páramos aledañas, la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, realizará el instrumento de manejo bajo los lineamientos emitidos por la Autoridad Ambiental Nacional;

2.- Si son páramos no intervenidos le corresponde a la Autoridad Ambiental Nacional en coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales Metropolitanos o Municipales proteger y fomentar la conservación del ecosistema; y,

3. Con la participación de los actores sociales públicos y privados, así como con las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades ubicadas en su entorno. Se fortalecerá la organización y asociatividad de las comunas y comunidades.

Art. 102.- Contenidos de los planes e instrumentos. En la elaboración de los planes e instrumentos de conservación y manejo del páramo se podrán establecer y reconocer áreas voluntarias de conservación comunitaria y privada, así como zonas de amortiguamiento.

Se promoverá el establecimiento de actividades productivas sostenibles, ecoturísticas, de restauración, control, vigilancia y monitoreo.

2.2.4 Plan Nacional “Toda una Vida” 2017 – 2021

El Plan Nacional “Toda una Vida” 2017-2021 permite tener una visión integral para mejorar la calidad de vida de las personas, el cual está estructurado por tres ejes principales. Dentro de esta estructura el objetivo 3 se relaciona con este trabajo de investigación. Con este objetivo garantiza los derechos de la naturaleza y promueve la conservación, protección, y el uso sostenible de los ecosistemas y los recursos naturales.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación geográfica

La microcuenca del río Covertillo se encuentra ubicada en la parroquia Villa La Unión, cantón Colta, provincia de Chimborazo. Forma parte de la subcuenca del río Chambo y de la cuenca del río Pastaza. Dentro del cantón el río Covertillo en conjunto con el río San Lorenzo forman el río Sicalpa, fuera del cantón este último confluye con el río Chimborazo para formar el río Chibunga el cual desemboca en el río Chambo. El río Covertillo está formado por dos afluentes principales: el río Salado y el río Virgen Yacu (Figura 1). Estos a su vez se forman a partir de la escorrentía superficial que se da en el páramo cuando se satura su capacidad de retención, producto de las precipitaciones en la zona.

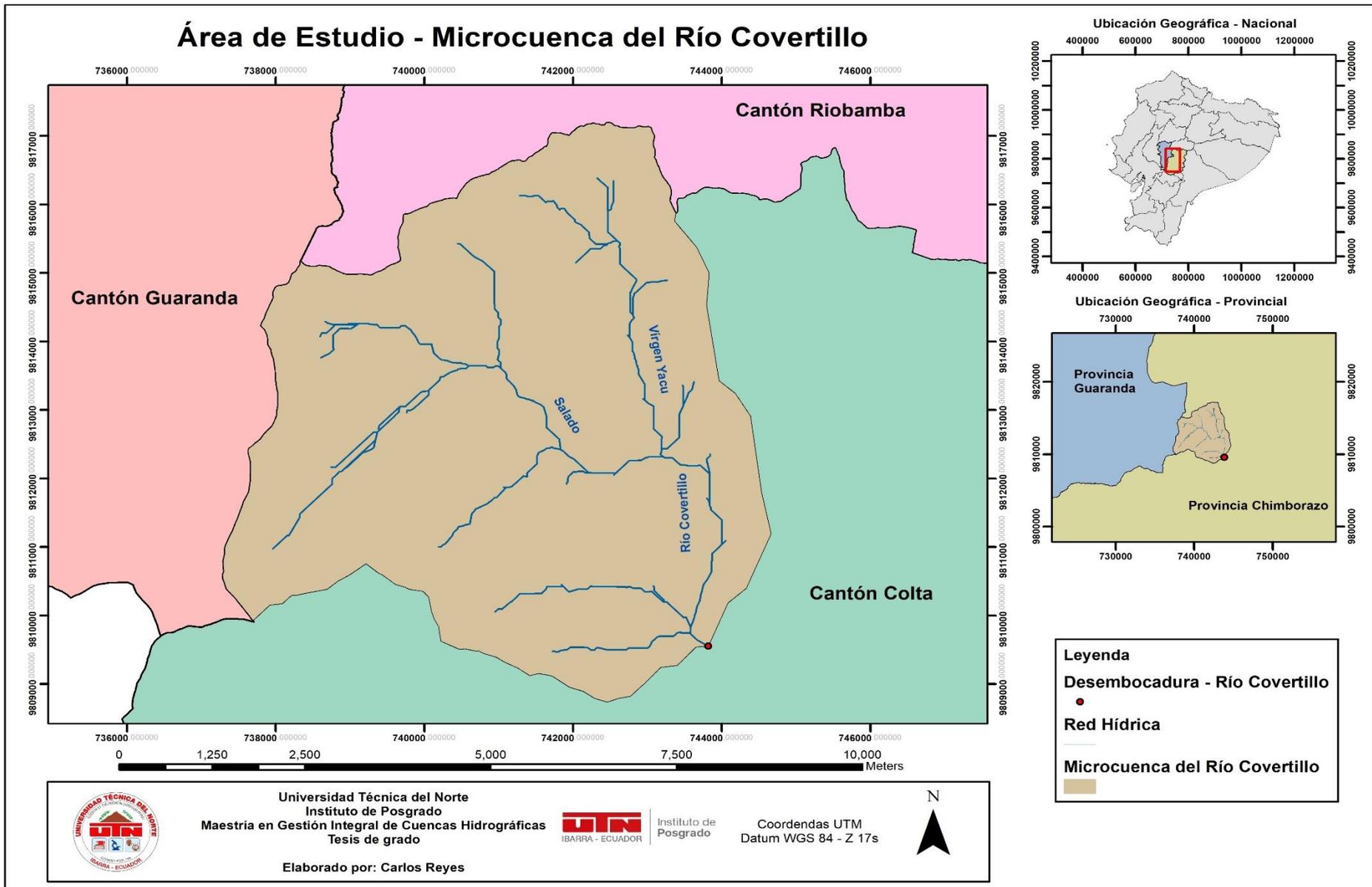


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio, cantón Colta.

3.1.2. Características Climáticas

La microcuenca posee dos tipos de climas bien diferenciados: el clima mesotérmico seco, que se presenta en los flancos de la cordillera de los Andes entre los 1500 y los 3200 msnm, con una temperatura promedio que está en el rango de los 12 °C y 19 °C. El segundo clima presente es el de páramo, este es un clima frío que se desarrolla por la altitud de las montañas que está entre los 3200 y los 4650 msnm, con una temperatura promedio que va de los 2 °C a 8 °C. La presencia de las precipitaciones es irregular, con una intensidad de 500 a 1600 mm anuales (INAMHI, 2015).

3.1.3. Clasificación Ecológica

De acuerdo con el mapa de ecosistema del Ministerio del Ambiente y Agua (2014), la microcuenca del Río Covertillo está conformada por los siguientes ecosistemas: Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo, Herbazal del Páramo, Herbazal húmedo montano alto superior del Páramo (Figura 2):

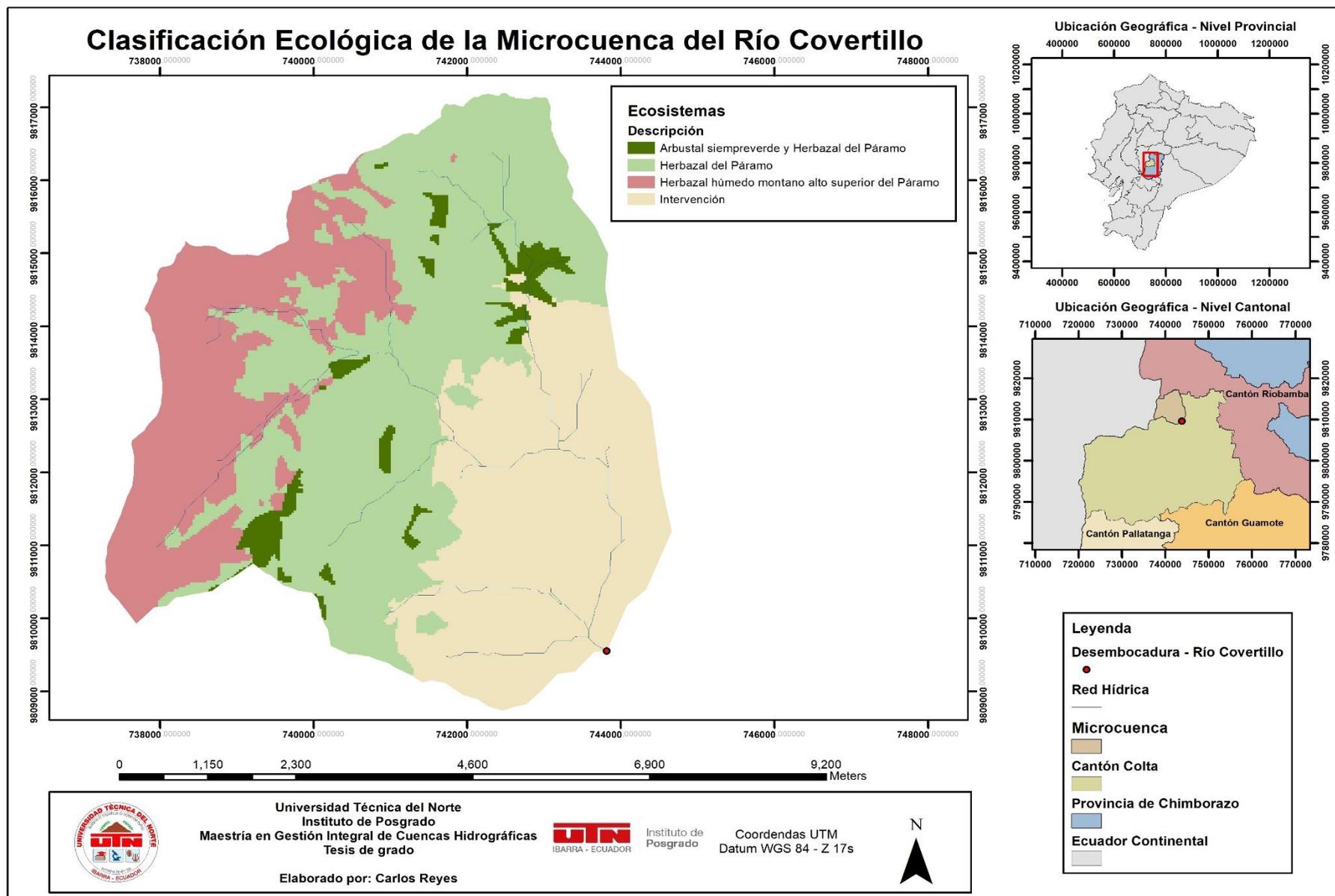


Figura 2. Clasificación ecológica de la microcuenca del Río Covertillo

3.1.5. Características del Suelo

La microcuenca del Río Covertillo se caracteriza por tener un paisaje dominado por relieves montañosos, con pendientes fuertes y suelos conformados por ceniza volcánica. Estos se caracterizan por tener un color negruzco predominante, una textura que va de arenosa a franco-arenosa, con una buena fertilidad y un pH ligeramente ácido (PDOT, 2015).

3.1.5. Actividades Socio Económicas

Información referente a la población que habita dentro de la microcuenca es inexistente, por tal razón en este apartado se tomó como referencia la información existente de la parroquia Sicalpa que es donde se ubica la microcuenca del Río Covertillo. En la actualidad en conjunto con la parroquia Cajabamba forman la cabecera cantonal del cantón Colta denominada Villa La Unión.

3.1.5.1. Demografía

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) la parroquia Sicalpa está conformado por una población de 12621 personas, de las cuales el 81% son indígenas y el 19% restante es mestizo. Del total de la población, 1573 personas se encuentran dentro del perímetro urbano, esto representa solamente el 12% de la población, el restante 88% con 11049 habitantes se ubican en el área rural distribuidos en las distintas comunidades de la parroquia. Por tal razón, los procesos de urbanización y de servicios no se han desarrollado de forma adecuada en la parroquia, esto contrasta con un crecimiento de las actividades agrícolas y ganaderas del sector rural. En lo referente a la distribución por sexo existe un mayor porcentaje de mujeres con un 52%, en el caso de los hombres representan el 48%.

3.1.5.2. Aspectos económicos

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo 2019 elaborada por el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (INEC, 2019) la población económicamente activa debe ser considerada desde los 15 años en adelante. En lo que respecta al nivel de

ocupación de la población, 6241 (98.68%) personas están ocupada y 83 (1.32%) personas están desocupadas o inactivas (PDOT, 2015). Se entiende como ocupada a la población que puede laborar mínimo una hora al día y la población desocupada a las personas que durante una semana no realiza ninguna actividad productiva.

En este contexto y al estar ubicada la población de la parroquia Sicalpa en un mayor porcentaje en la zona rural, la principal actividad económica y en la que participan todos los miembros de la familia es la agricultura. Además de la ganadería, la cual está enfocada en la producción de leche para su industrialización.

3.1.5.3. Actividades productivas

En la tabla 7 se detalla las actividades productivas que se desarrollan en el área de estudio.

Tabla 7.

Actividades productivas en la microcuenca del río Covertillo

Actividad	Descripción
Agricultura	La agricultura es la principal actividad económica que se desarrolla en la parroquia. Una parte de la producción se destina para el consumo interno, mientras que la mayor parte está destinada para la comercialización en los mercados locales. Generalmente la población produce cultivos de ciclo corto como la cebolla, papa, haba, zanahoria, alfalfa, brócoli, quinua entre otros.
Ganadería	Dentro de la parroquia la población se dedica a la producción de ganado vacuno, porcino y aves de corral, de forma intensiva o extensiva. Específicamente es la crianza de ganado vacuno la que más se ha desarrollado, siendo la venta directa de leche y su industrialización las principales actividades. Se debe recalcar que en su mayoría la producción de leche emplea únicamente técnicas tradicionales no tecnificadas, con un sistema de alimentación deficientes y sin los controles sanitarios necesarios.
Turismo	La parroquia cuenta con un amplio potencial turístico debido a su belleza paisajística y cultural, en el primer caso esto se encuentra en la zona alta de páramo. Con lo que respecta a la parte cultural aquí se encuentran las ruinas de la antigua ciudad de Riobamba y restos de culturas prehispánicas. Sin embargo, todas estas características turísticas de la parroquia no han sido explotadas y no se ha aprovechado la continua visita de turistas nacionales y extranjeros.

3.2. Enfoque y tipo de investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se obtendrán datos numéricos a partir del cálculo de las superficies de las coberturas vegetales y los usos de suelo, y el posterior análisis de las transiciones. A partir de esta información se analizó los cambios producidos en los ecosistemas nativos de la microcuenca del río Covertillo ocasionado por las actividades antrópicas.

La presente investigación es de tipo descriptiva – longitudinal. En el primer caso se busca describir a partir del análisis de las transiciones como el avance de la frontera agrícola está disminuyendo el área que conforman los ecosistemas nativos dentro de la microcuenca del Río Covertillo. Y es longitudinal ya que el análisis de los cambios se realizó en un período largo y concreto de tiempo desde el 2011 hasta el 2018.

3.3. Procedimientos

3.3.1. Caracterización física de la microcuenca del río Covertillo

Se enfocó en el análisis de los elementos abióticos de la microcuenca. De los cuales se consideró aquellos componentes necesarios que permitan realizar el análisis multitemporal e identificar las transiciones que se han dado durante el periodo de tiempo establecido. En función a los resultados obtenidos se realizó la propuesta de estrategias de conservación.

3.3.1.1. Delimitación de la microcuenca del río Covertillo.

La delimitación se realizó con el software ArcMap 10.3 con la herramienta Hydrology y los subprocesos que esta contiene. Con la información generada se evaluó la dirección de flujo para cada pixel en función a una matriz de direcciones de flujo. Los pixeles que posean una mayor acumulación de flujo conformaron la red hídrica del río Covertillo (Geraldí et al, 2010). A partir de esta información se generó los parámetros requeridos por la investigación.

3.3.1.1.1. Implementación de la herramienta Hydrology

A partir del shape de curvas de nivel del área de estudio se generó un TIN (red de triangulación irregular). Este se transformó a un archivo tipo raster denominado modelo digital del terreno o DEM (Figura 3).

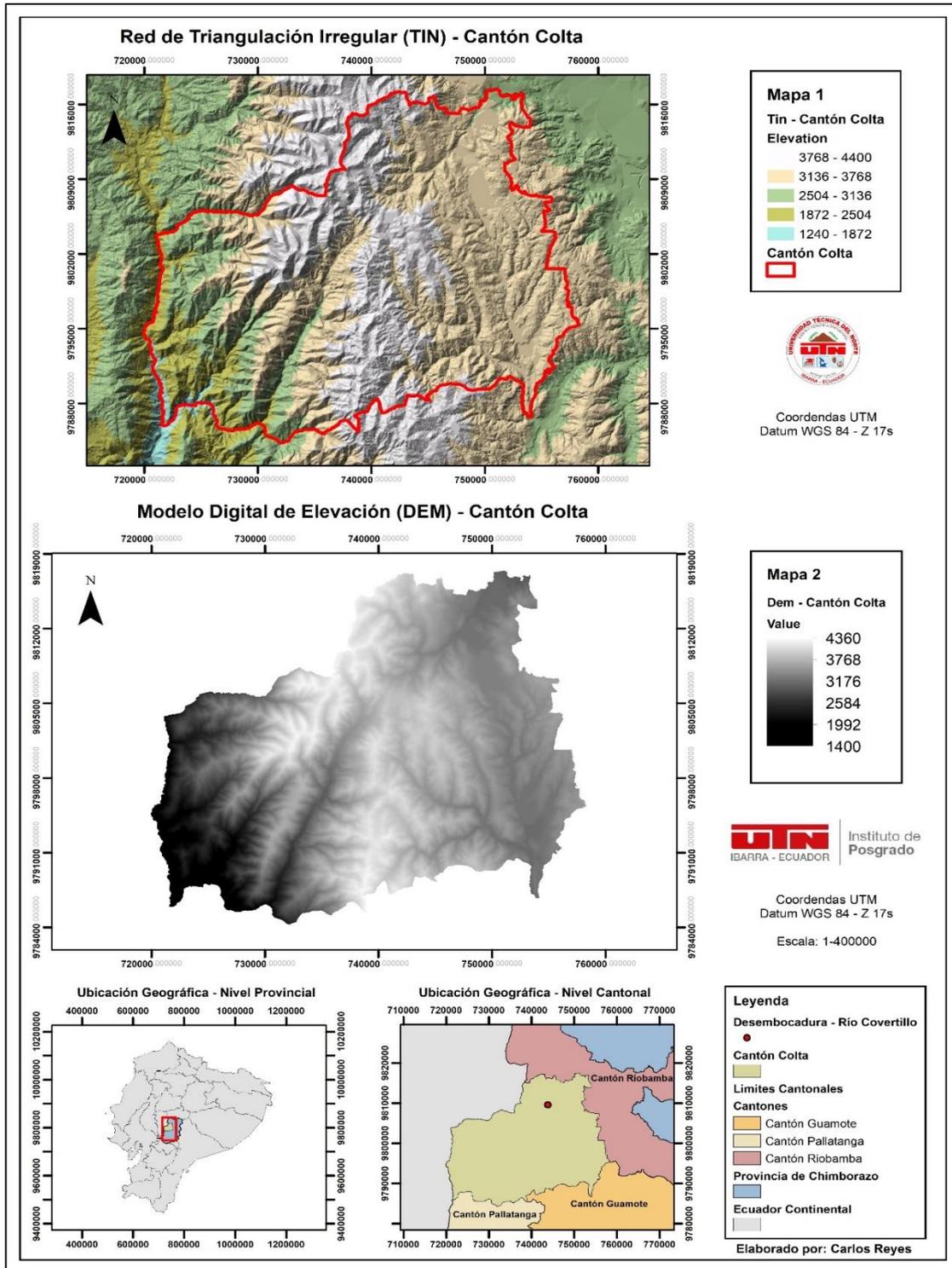


Figura 3. Creación de la red de triangulación y modelo digital de elevación

En el modelo digital de terreno se implementó la herramienta Hydrology. De acuerdo con Lima et al. (2012) la implementación de esta conlleva los siguientes procedimientos (Figura 4):

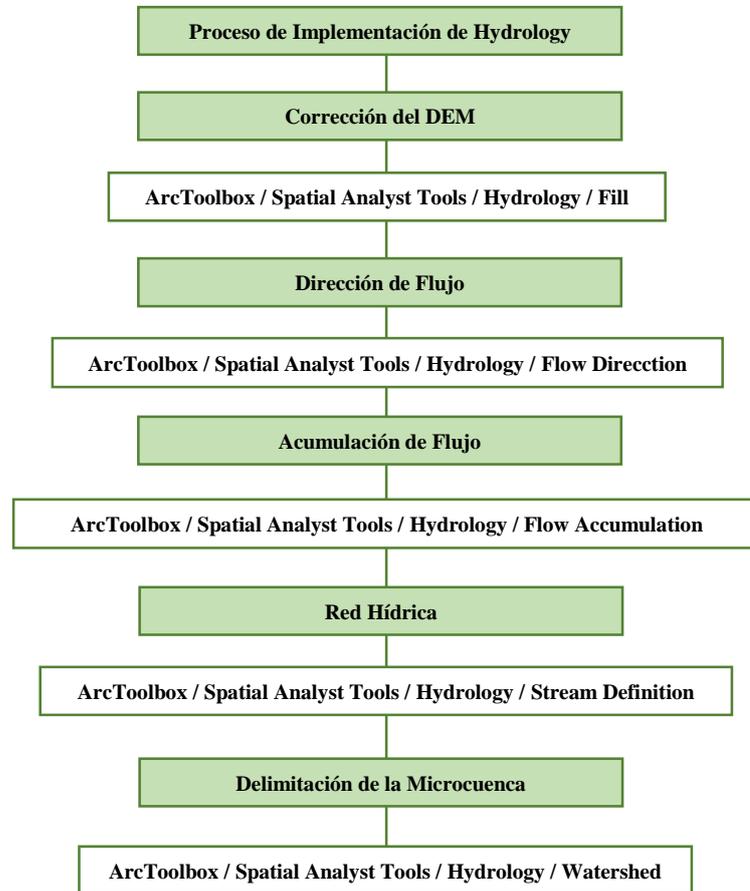


Figura 4. Proceso de implementación de Hydrology

En la figura 5 se muestra el proceso de implementación de la herramienta Hydrology en el software ArcMap 10.3.

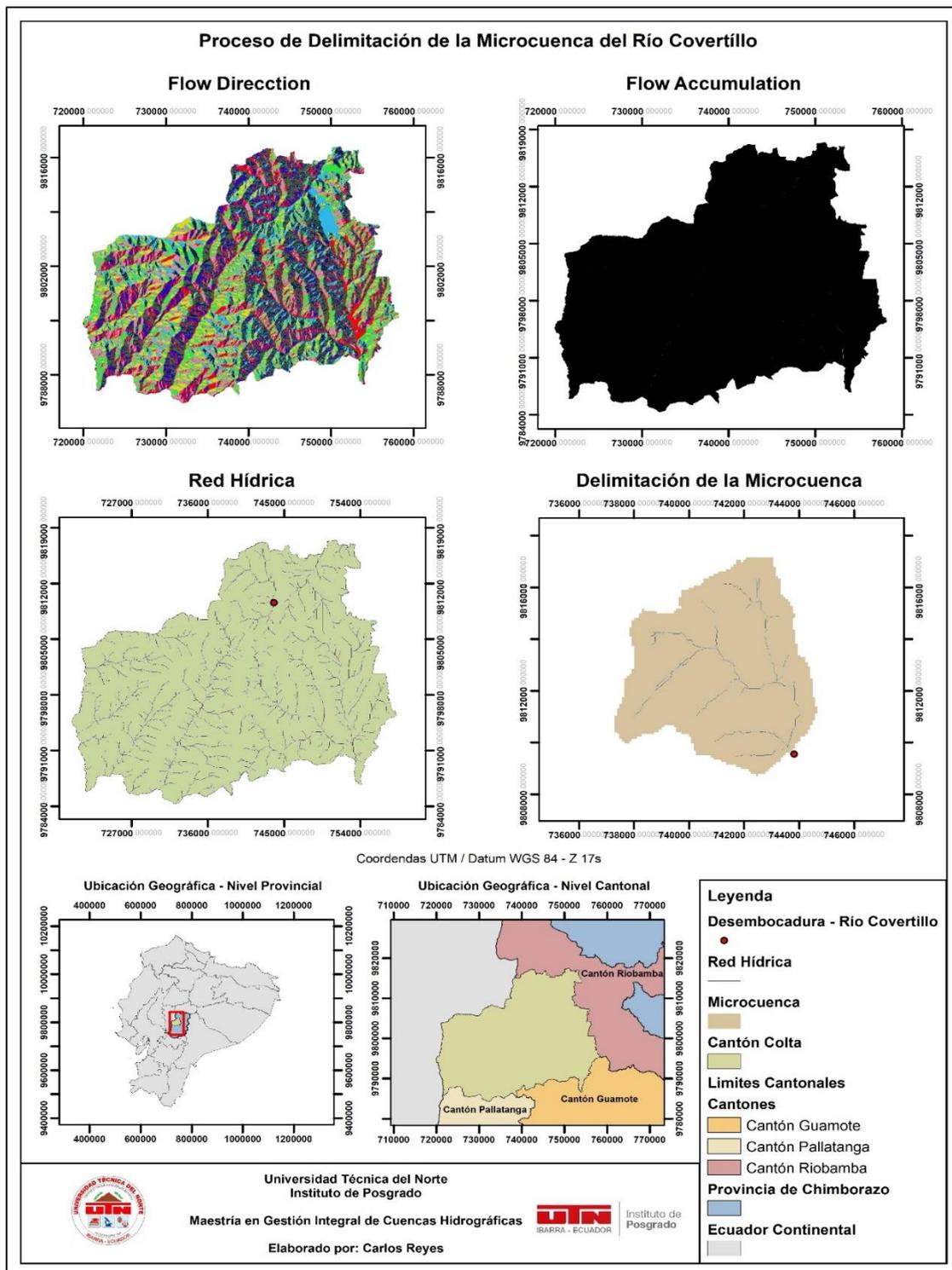


Figura 5. Mapa de proceso de delimitación de la microcuenca

3.3.1.2. Cálculo de parámetros morfométricos

Los parámetros morfométricos permiten describir cómo se encuentra estructurada el área de la microcuenca, comprendida desde el contorno de esta hacia su interior (Cruz et al, 2015). Los parámetros de forma, relieve y drenaje se describen a continuación.

3.3.1.2.1. Parámetros de forma

Área (A) y perímetro (P)

El área es la superficie total que conforma la microcuenca y su red hídrica. Este valor se clasificó en función al tamaño (Tabla 8). El perímetro es el límite del área que abarca la microcuenca (Guerra et al, 2002). Los parámetros se calcularon con la herramienta *Calculate Geometry* de ArcMap 10.3.

Tabla 8.

Superficie de la microcuenca

Superficie (Km ²)	Tipos
12.5 – 35	Muy pequeña
35.5 – 58	Pequeña
58.5 – 81	Mediana
81.5 – 103.5	Grande

Nota: Tomado de Guerra et al. (2002)

Longitud axial (La)

Es la longitud existente en línea recta a partir de la desembocadura de la red hídrica o punto de conexión con otro río, hasta la zona más alejada de la microcuenca (Gaspari et al, 2012). Este valor se calculó con la herramienta *Measure* de ArcMap 10.3.

Ancho promedio (Ap)

Es el resultado de la división del área total para la longitud axial (Gaspari et al, 2012).

$$Ap = \frac{A}{La}$$

(Formula 1)

Donde:

A = Área

La = Longitud axial

Forma

La forma que posee la microcuenca se determinó a partir del factor de forma y el coeficiente de compacidad.

- **Factor de Forma (Ff)**

Se obtuvo de la división del ancho promedio para su longitud axial.

$$Ff = \frac{Ap}{La}$$

(Formula 2)

Donde:

Ap = Ancho promedio

La = Longitud axial

Este factor permite determinar la tendencia que tiene la microcuenca a sufrir crecidas por exceso de lluvia (Tabla 9). Un factor de forma que tiende a 1, indica que la microcuenca es redondeada en consecuencia lluvias intensas y simultáneas ocasionaran crecidas de gran magnitud. Cuando el factor de forma tiende a 0 la microcuenca tendrá una forma alargada, por tanto lluvias intensas y simultaneas no ocasionaran crecidas de gran magnitud (Gaspari et al, 2012).

Tabla 9.

Susceptibilidad de la microcuenca a las crecidas

Rango	Susceptibilidad
0 – 0.25	Baja
0.26 – 0.50	Media
0.51 – 0.75	Alta
> 0.75	Muy Alta

Nota: Tomado de Gaspari et al. (2012)

- **Coefficiente de compacidad (Kc)**

Se obtiene de dividir el perímetro de la microcuenca para el perímetro de un área idéntica a la superficie de la microcuenca.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

(Formula 3)

Donde:

P = Perímetro

A = Perímetro de un área similar

El coeficiente de compacidad indicó el tiempo de concentración. Este se define como el tiempo que le lleva a una gota de lluvia para movilizarse desde la parte más alejada de la microcuenca hasta la desembocadura o punto de conexión con otro río. En dicho momento se da la máxima concentración de agua debido a que todas las gotas de lluvia arribarán desde todos los límites de la microcuenca. En función al valor obtenido para el coeficiente se clasificó la forma de la microcuenca (Tabla 10) (Gaspari et al, 2012)

Tabla 10.

Forma de la microcuenca

Rango	Forma
1 a 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 a 1.50	Oval – redonda a oval – oblonga
1.50 a 1.75	Oval – oblonga a rectangular – oblonga

Nota: Tomado de Gaspari et al. (2012)

3.3.1.2.2. Parámetros de relieve

Curva Hipsométrica

Con la curva se representó la variación de las elevaciones de la superficie de la cuenca (Cruz et al, 2015). Se obtuvo a partir del DEM generado de la microcuenca, el cual se reclasificó con el software ArcMap para obtener los intervalos y las áreas de cada uno de estos. La curva obtenida se interpretó de acuerdo con lo establecido por Strahler (1964) citado por Báez (2018). En la figura 6 se observa que la curva A representa una cuenca con potencial erosivo (fase de juventud), la curva B es un área en equilibrio (fase de madurez). La C indicó una superficie sedimentaria (fase de vejez).

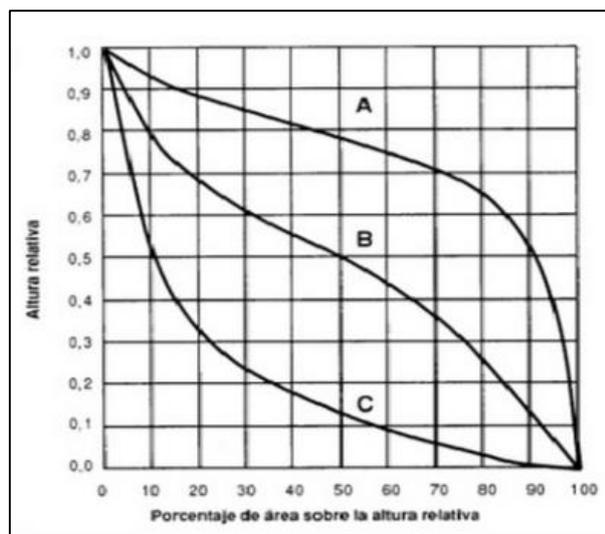


Figura 6. Curvas hipsométricas características de una cuenca hidrográfica

Nota: Tomado de Báez (2018)

Pendiente media

Este valor indicó la susceptibilidad de los suelos a la erosión en función a los distintos grados de pendiente. Se calculó utilizando el raster de pendientes a partir de la siguiente formula, con el software ArcMap 10.3 (Gaspari et al, 2012).

$$PM = 100 \frac{H \times L}{A}$$

(Formula 4)

Donde:

PM= Pendiente Media %

H= Distancia vertical entre curvas medidas (Km)

L= Longitud total de las curvas de nivel (Km)

A= Superficie (Km²)

Pendiente

La pendiente se calculó con el DEM de la microcuenca. Se utilizó la herramienta *Slope* y el resultado se expresó en porcentaje. En función a los rangos propuestos por López (1998) mencionado por Gaspari et al. (2012) las pendientes se reclasificaron con la herramienta *reclass* para su análisis (Tabla 11).

En el caso de obtener pendientes pronunciadas la escorrentía de la cuenca aumenta en velocidad, por tal razón se tiene una respuesta más rápida cuando incrementa la intensidad de las lluvias dando como resultado un fuerte caudal final. Todo lo contrario se da en caso de tener una pendiente plana (González de Matuco, 2004).

Tabla 11.

Tipos de pendiente

Rango	Tipo de Pendiente
0 a 3 %	Plano
3 a 12 %	Presenta lomadas
12 a 20 %	Relieve accidentado
20 a 50 %	Muy fuerte
50 a 75 %	Escarpado
> a 75 %	Muy escarpado

Nota: Tomado de González de Matuco (2004)

3.3.1.2.3. Parámetros de drenaje

Orden de cauce

El orden de cauce se determinó en función a la jerarquización propuesta por Strahler (1957). En la cual un nivel de jerarquía se incrementa en el momento en que dos jerarquías del mismo nivel se unan. Para esto el software asigna un valor específico a cada nivel: 1 en el caso de las nacientes de agua; 2 para cuando se encuentre dos jerarquías de nivel 1 y 3 en el caso de tratarse del nivel 2. Esto se generó con la herramienta *Stream Order* (Salas et al, 2011).

Densidad de drenaje (Dd)

Se estimó la mayor o menor facilidad que tiene la cuenca para evacuar las aguas provenientes de las lluvias. Este valor se obtuvo de la división de la sumatoria de las longitudes de los cauces que conforman la red hídrica para el área total de la microcuenca:

$$Dd = \frac{lx}{A}$$

(Formula 5)

Donde:

Lx = sumatoria de los distintos cauces que conforman la microcuenca (I1+I2 +I3+In)

A = área de la microcuenca

El valor obtenido se clasificó de acuerdo con los siguientes criterios: cuenca pobremente drenada si la $Dd \leq 0.6 \text{ km/km}^2$ o cuenca bien drenada si la $Dd > 3 \text{ km/km}^2$ (Rivas et al, 2013).

3.3.2. Determinación de las transiciones producidas en los cambios de uso de suelo y coberturas vegetales.

Las transiciones se determinaron a partir de la intersección de las clasificaciones supervisadas de dos imágenes satelitales de los años 2011 y 2018. Los resultados obtenidos se analizaron en función a la metodología propuesta por Pontius (2004). Los procesos que se implementaron se describen a continuación.

3.3.2.1. Imágenes satelitales y software utilizado

Las imágenes satelitales que se utilizaron son LandSat con una resolución de píxel de 30 m. Para estas imágenes se implementó un procedimiento llamado *Pan Sharpening* (refinado pancromático) procedimiento en el cual la banda pancromática que forma parte de la imagen se fusiona con el resto de bandas para obtener una resolución por píxel de 15 m (PCIGeomatics, 2015).

Los procesos que se realizaron con las imágenes satelitales se dividen en dos etapas: en la primera se realizó el preprocesamiento de las imágenes y la clasificación supervisada de estas, para esto se utilizó el software ENVI 5.3. En la segunda se implementó los procesos para el análisis multitemporal y el diseño cartográfico, mediante el software ArcMap.

3.3.2.2. Preprocesamiento de las imágenes satelitales

Los procedimientos que se implementaron con las dos imágenes satelitales son los propuestos por Aguilar et al. (2014). Esta metodología describe los procesos y parámetros

de calibración requeridos para transformar la información contenida en las imágenes de niveles digitales a radiancia y posteriormente a reflectancia.

3.3.2.2.1. Proceso de calibración para las imágenes Landsat

Se ingresó el metadato de la imagen satelital en el software Envi, este contiene todas las bandas e información de la imagen. Los valores de radiancia se obtuvieron con la herramienta **Radiometric Calibration**. Los parámetros de calibración radiométrica se muestran en la Tabla 12, la imagen resultante se almacenó en el formato *.dat* de tipo BIL.

Con la imagen en radiancia se realizó la corrección atmosférica para obtener los valores de reflectancia. Esta se cargó en la herramienta *FLAASH* y se ingresó los siguientes valores de calibración: factor de escala – 1, altitud del sensor - 705 km y resolución de píxel - 30 m. En el caso del punto central de la captura, hora y fecha, el software lo configuró de manera automática a partir del metadato.

Tabla 12.

Valores de calibración radiométrica para LandSat

Detalles	Valores
Metadato	Multiespectral
Tipo de calibración	Radiancia
Intervalo de salida	Bil
Tipo de dato de salida	Flotante
Factor de escala	0.10
Directorio de salida	Carpeta de guardado

Nota: Tomado de Aguilar et al. (2014)

3.3.2.3. Proceso de clasificación supervisada

Para determinar las coberturas vegetales y usos de suelo se implementó el proceso de clasificación supervisada. Dicho proceso como lo describe Evangelista et al. (2010) se recomienda cuando se tiene conocimiento del área de estudio. Lo cual facilita al investigador

seleccionar los tipos de coberturas y usos del suelo a ser clasificados de acuerdo con los objetivos planteados.

3.3.2.3.1. Identificación de las coberturas y usos de suelo

Se diferenciaron las principales coberturas vegetales y usos de suelo en función al sistema de clasificación generado por el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Agricultura y Ganadería para la elaboración de información cartográfica (Tabla 13) (MAE-MAGAP, 2015).

Tabla 13.

Sistema de clasificación para usos de suelo y coberturas vegetales

Nivel I	Nivel II
Bosque	Bosque nativo
	Plantación forestal
Tierra Agropecuaria	Cultivo anual
	Cultivo semipermanente
	Cultivo permanente
	Pastizal
	Mosaico agropecuario
Vegetación arbustiva y herbácea	Vegetación arbustiva
	Vegetación herbácea
	Páramo
Cuerpo de Agua	Natural
	Artificial
Zonas antrópicas	Área poblada
	Infraestructura
Otras tierras	Glaciar
	Área sin cobertura vegetal
Sin información	Sin información

Nota: Tomado de MAE-MAGAP, (2015)

Para esto se utilizó las combinaciones de bandas que permiten implementar las imágenes satelitales. Dentro de estas están color original / 4-3-2, áreas pobladas / 7-6-4, coberturas vegetales / 5-4-3, suelo agropecuario / 6-5-2 y recursos hídricos / 5-6-4. Además del historial de imágenes satelitales que posee la plataforma Google Earth (Figura 7).

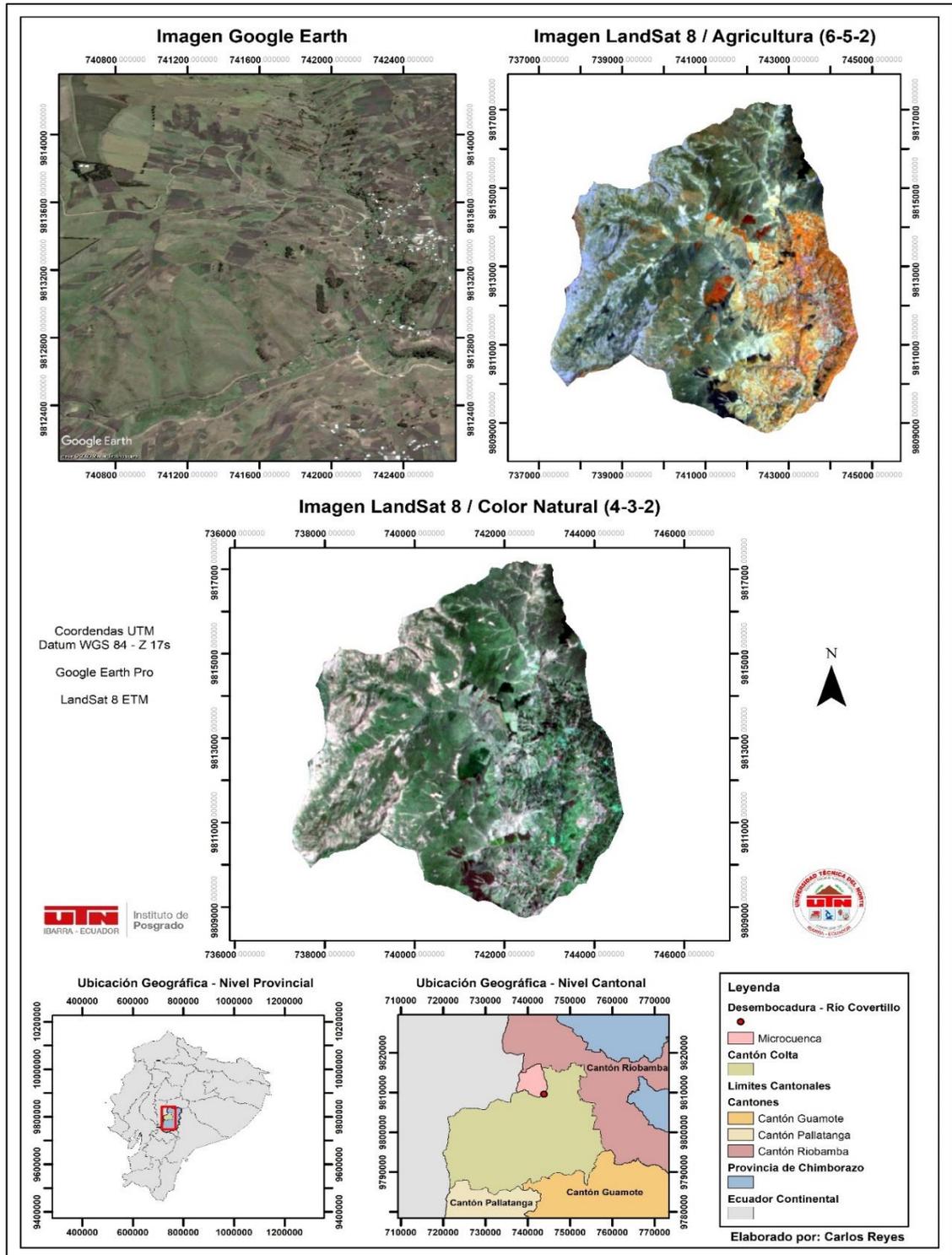


Figura 7. Mapa de identificación de las coberturas y usos de suelo

Una vez que se identificaron las distintas coberturas y usos de suelo dentro del área de la microcuenca, de cada una de estas se crearon al menos cinco áreas de entrenamiento con la herramienta *Region of Interest Tool* del software Envi 5. La unión de áreas de entrenamiento para cada cobertura o uso de suelo se denominó “Clase”. De forma complementaria se evaluó las firmas espectrales de cada clase identificada con la finalidad de verificar que entre cada cobertura y usos de suelo exista una correcta diferenciación.

3.3.2.3.2. Validación de las áreas de entrenamiento generadas por clase

La validación se realizó con el cálculo del coeficiente de variación (CV) (Formula 6). Se comparó los valores de reflectancia de las firmas espectrales de cada una de las áreas de entrenamiento generadas. Los valores se obtuvieron con la herramienta *Compute Statistics from ROI's*, misma que calcula la media y la desviación estándar de los niveles de reflectancia de cada una de las bandas que conforman las imágenes procesadas. Los coeficientes calculados se interpretaron en función a lo descrito por Galindo (2015), donde un conjunto de datos es homogéneo si $CV \leq 1$ y será heterogéneo si $CV > 1.5$.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

(Formula 6)

Donde

σ = Desviación estandar

\bar{x} = media

3.3.2.3.3. Determinación de la separabilidad entre clases

La separabilidad entre clases se calculó a partir de la herramienta *Transformed Divergence*. Se comparó las firmas espectrales promedio de cada una de las clases para determinar el grado de separabilidad espectral existente entre estas. La herramienta generó un reporte en

el cual los valores de separabilidad entre clases fluctúan en un rango de 0 a 2. Cuando se alcanza un valor de 2 se tiene la máxima separabilidad entre clases. Por el contrario si es 0 la separabilidad es inexistente (García y Mas, 2008). Los distintos grados de separabilidad y sus rangos se indican en la tabla 14.

Tabla 14.

Grados de separabilidad entre las áreas de entrenamiento

Valor (DT)	Grado de separabilidad
0 – 1	Separabilidad muy pobre
1 - 1.9	Separabilidad pobre
1.9 – 2	Buena separabilidad

Nota: Tomado de García y Mas, (2008)

3.3.2.3.4. Implementación del algoritmo de clasificación supervisada

Para la clasificación de las distintas clases generadas se utilizó el algoritmo de máxima verosimilitud o llamado también de máxima probabilidad. El mismo se utiliza comúnmente para trabajos investigativos de percepción remota, por no presentar mayores dificultades al momento de su implementación e interpretación. Se lo considera como un método de diferenciación de coberturas vegetales y usos de suelo muy preciso y eficiente (García y Mas, 2008; Altamirano y Lara, 2010; Aguayo et al., 2009). Además, su implementación es recomendada para la zonificación de área urbanas cuando se están expandiendo (Herrera, 2001).

El proceso que el algoritmo implementó se conformó de dos partes: primero el aprendizaje, en el cual el software genera la firma espectral por clase a partir de la varianza y el promedio de las áreas de entrenamiento generados para cada imagen. Con esta información en la segunda parte del proceso cada píxel que forma parte de la imagen es clasificado en función al cálculo probabilístico que determina si cada uno de los píxeles forma parte de las clases generadas, en función a su respuesta espectral. A partir de esto, cada píxel será asignado a la clase en la cual se registre el más alto nivel de probabilidad de pertenencia.

3.3.2.3.5. Validación de la clasificación

La clasificación de las imágenes se validó con la matriz de confusión y el índice o coeficiente Kappa. Estos procedimientos evaluaron los resultados obtenidos en función a la precisión con la que fueron ejecutados, al comparar la clasificación con la imagen original o con las clases generadas (Santós et al., 2007).

La matriz calculó la precisión global de la clasificación al comparar el raster resultante de la clasificación con la imagen inicial o las áreas de entrenamiento. El resultado obtenido debe ser mayor al 80% para que el raster pueda ser utilizado como información cartográfica, mapas temático o resultados para trabajos investigativos (Rullán et al., 2011). El coeficiente kappa se interpretó a partir de los rangos propuestos por Cerda y Villaroel (2008) (Tabla 15).

Tabla 15.

Rango de interpretación del coeficiente de validación Kappa

Rango	Concordancia
0	Nula
0.01 – 0.02	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 - 1	Casi Perfecta

Nota: Tomado de Álvarez et al., (2015)

3.3.3. Análisis multitemporal

3.3.3.1. Obtención de la matriz de transición

Los datos en formato raster de la clasificación supervisada se importaron al software ArcMap 10.3. La matriz se obtuvo de la intersección de los dos raster con la herramienta *raster calculator* donde se implementó la siguiente ecuación (Santana y Salas, 2007):

$$Raster\ dinámico_{2011-2018} = (raster\ 2011 * 1) + (raster\ 2018 * 10)$$

(Formula 7)

El raster generado representó las transiciones que han ocurrido en el periodo de tiempo establecido, el total de estas está en función a las clases generadas. En la tabla 16 se presenta los datos distribuidos en la matriz.

Tabla 16.

Matriz de transición

		2018				
Clases		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
2011	Clase 1	11	21	31	41	51
	Clase 2	12	22	32	42	52
	Clase 3	13	23	33	43	53
	Clase 4	14	24	34	44	54
	Clase 5	15	25	35	45	55

Nota: Tomado de Pontius et al., (2004)

3.3.3.2. Análisis de la matriz de transición

Se identificó las señales de dominancia en los cambios y los indicios de cambio de forma separada, en función a los siguientes parámetros: cambios netos e intercambios. Además, se calculó tanto las ganancias y las pérdidas brutas para saber los cambios totales que se dieron entre las clases.

El análisis de las transiciones se orientó a diferenciar las superficies donde estas fueron sistemáticas y no aleatorias. Para tanto se implementó la metodología propuesta por Pontius et al. (2004) (Tabla 17). En la cual la sumatoria de todos los valores que conforman cada una de las filas (*i*) se denotó como T_{i+} y estableció la proporción de la clase *i* para el año 2011. Por su parte la sumatoria de los valores para cada una de las columnas (*j*) se denotó como T_{+j} y estableció la proporción de la clase *j* en el año 2018.

Los valores que no constituyeron la diagonal principal se denotaron como T_{ij} . Los cuales indicaron el porcentaje de cobertura o uso de suelo donde se ha producido una transición

desde las clases del 2011 hasta las clases del 2018. Por su parte los valores de la diagonal principal se denotaron como P_{jj} . Esta parte de la matriz representó el porcentaje de cobertura y uso de suelo que no ha sufrido cambios.

En el caso de las ganancias que se han dado para el año 2018 se calculó en la última fila de la matriz ($G_j = T_{+j} - T_{jj}$). Por su parte las pérdidas que se han dado para el año 2011 se calculó en la última columna de la matriz ($L_i = T_{i+} - T_{ij}$).

Tabla 17.

Conformación de la matriz de transición en función de las ganancias y las pérdidas

2018								
	Clases	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Tiempo total 1	Pérdida
2011	Clase 1	T_{11}	T_{21}	T_{31}	T_{41}	T_{51}	T_{1+}	$T_{1+} - T_{11}$
	Clase 2	T_{12}	T_{22}	T_{32}	T_{42}	T_{52}	T_{2+}	$T_{2+} - T_{22}$
	Clase 3	T_{13}	T_{23}	T_{33}	T_{43}	T_{53}	T_{3+}	$T_{3+} - T_{33}$
	Clase 4	T_{14}	T_{24}	T_{34}	T_{44}	T_{54}	T_{4+}	$T_{4+} - T_{44}$
	Clase 5	T_{15}	T_{25}	T_{35}	T_{45}	T_{55}	T_{5+}	$T_{5+} - T_{55}$
	Tiempo total 2	T_{+1}	T_{+2}	T_{+3}	T_{+4}	T_{+5}		
	Ganancia	$T_{+1} - T_{11}$	$T_{+2} - T_{22}$	$T_{+3} - T_{33}$	$T_{+4} - T_{44}$	$T_{+5} - T_{55}$		

Nota: Tomado de Pontius et al., (2004)

Con datos generados de la matriz se obtuvieron los indicadores de cambio:

$$D_j = |L_i - G_j| \tag{Formula 8}$$

$$S_j = 2 * \min(T_{i+} - T_{jj}, T_{j+} - T_{jj}) \tag{Formula 9}$$

$$D_{Tj} = L_i + G_j \tag{Formula 10}$$

Se determinó los cambios netos a partir de los índices de persistencia. Los cuales comparan la persistencia que se ha dado en cada una de las clases obtenidas a partir de las ganancias (g_p), pérdidas (l_p) y cambios netos (n_p). Las ecuaciones que se utilizaron son las siguientes:

$$g_p = \frac{\text{ganancia}}{\text{persistencia}}$$

(Formula 11)

$$l_p = \frac{\text{pérdida}}{\text{persistencia}}$$

(Formula 12)

$$n_p = g_p + l_p$$

(Formula 13)

3.3.3.3. Análisis de las transiciones

Para el análisis de las transiciones se consideró los criterios planteados por Pontius et al. (2004). Donde se establece que una transición será sistemática, cuando la transición calculada se diferencie de la transición esperada resultado de un proceso aleatorio. Por tal razón, en el caso de que una clase no tenga una tendencia definida a la ganancia o pérdida del resto de clases, las transiciones calculadas coincidirán con las esperadas como resultado de un proceso aleatorio.

En el caso de que una transición sea sistemática esta será significativa si la diferencia calculada entre el valor observado menos el esperado es mayor o igual al valor absoluto de 0.4 (Santana y Salas, 2007). De tal forma que se dará una mayor relevancia a la extensión de la transición antes que a la magnitud con lo que se da.

3.3.3.3.1. Análisis de las ganancias

Para el análisis de las ganancias se calcularon 4 valores:

- **Porcentaje calculado.** El primer parámetro calculado responde al valor numérico expresado como T_{ij} , que indica el porcentaje de uso de suelo o cobertura vegetal donde se da una transición desde la clase i hasta j .
- **Porcentaje esperado.** El segundo parámetro representó el valor numérico en función a las ganancias que se puede tener para cada clase, si esto se diera de manera aleatoria. Para ello se ocupó la siguiente ecuación:

$$G_{ij} = (T_{+j} - T_{jj}) \left(\frac{T_{i+}}{\sum_{i=1, i \neq j}^J T_{i+}} \right)$$

(Formula 14)

- **Extensión de la transición.** El tercer parámetro se calculó a partir de la diferencia entre el primero y el segundo parámetro: $(P_{ij} - G_{ij})$ e indica el tamaño de la huella reflejado en el paisaje ocasionado por una transición sistemática donde se produjo la pérdida.
- **Intensidad de la transición.** El cuarto parámetro se obtuvo de la división del tercer parámetro con el segundo: $(P_{ij} - G_{ij}) / G_{ij}$, este resultado indicó la fuerza con la que se realiza la transición.

Los resultados obtenidos se interpretaron a partir del signo del tercero y cuarto parámetro. Si son positivos entonces la clase de la columna ganará y remplazará a la clase de la fila. Por el contrario si los signos son negativos entonces la clase en la columna ganará y no remplazará a la clase de la fila.

3.3.3.3.2. Análisis de las pérdidas

Para las pérdidas al igual que las ganancias se calculó cuatro parámetros.

- **Porcentaje calculado.** El primero fue el calculado para T_{ij} que representa el porcentaje de uso de suelo o cobertura vegetal que cambio desde la clase i hasta la j .
- **Porcentaje esperado.** El segundo representó la pérdida que se puede dar para cada clase si ocurriera de manera aleatoria. Lo cual se calculará con la siguiente ecuación:

$$L_{ij} = (T_{i+} - T_{ii}) \left(\frac{T_{+j}}{\sum_{i=1, i \neq j}^J T_{+j}} \right)$$

(Ecuación 15)

El tercer (**Extensión de la transición**) y cuarto parámetro (**Intensidad de la transición**) se calculó de la misma forma como se realizó para las ganancias.

La interpretación de los resultados se realizó en función a los signos registrados para el tercero y cuarto parámetro. Si los dos signos son positivos entonces la clase que conforma parte de la fila pierde y la clase de la columna remplazara a la clase de la fila. En cambio si los signos son negativos entonces la clase en la fila pierde y la clase de la columna no remplaza a la clase en la fila.

3.3.3.4. Análisis de la vulnerabilidad del cambio

Se analizó que clases de usos de suelo y coberturas vegetales son más vulnerables a presentar cambios. En el caso de que los valores gp (ganar) o lp (perder) sean mayores a 1, las clases tendrán una tendencia a la ganancia o pérdida que a persistir en el tiempo (Braimoh, 2006).

3.3.4. Elaboración de cartografía temática

Se generó en su totalidad con el software ArcMap 10.3. Para lo cual los datos en formato raster generados en la clasificación supervisada y el raster dinámico de la intersección se convirtieron a formato shapefile para ser procesados y editados en función a las normas de cartografía convencional.

3.3.5. Estrategias de conservación para la microcuena

Las estrategias de conservación que se establecieron para la microcuena se delinearon a partir de un análisis objetivo de los resultados obtenidos de la caracterización física de la microcuena y el análisis de las transiciones registradas en los cambios de usos de suelo y

coberturas vegetales. Se propondrá resolver las problemáticas del área de estudio fomentando la conservación y protección de los recursos naturales, manteniendo y mejorando la calidad de vida de los pobladores de las comunidades que forman parte de la microcuenca.

Se garantizó el cumplimiento de la normativa ambiental establecida en el país para mantener la biodiversidad de las áreas que no hayan sido afectadas por las actividades antrópicas, principalmente las ejecutadas por el hombre. De esta forma se conservará las fuentes de generación del recurso hídrico y sus redes libres de contaminación.

3.3.6. Esquema de procesos

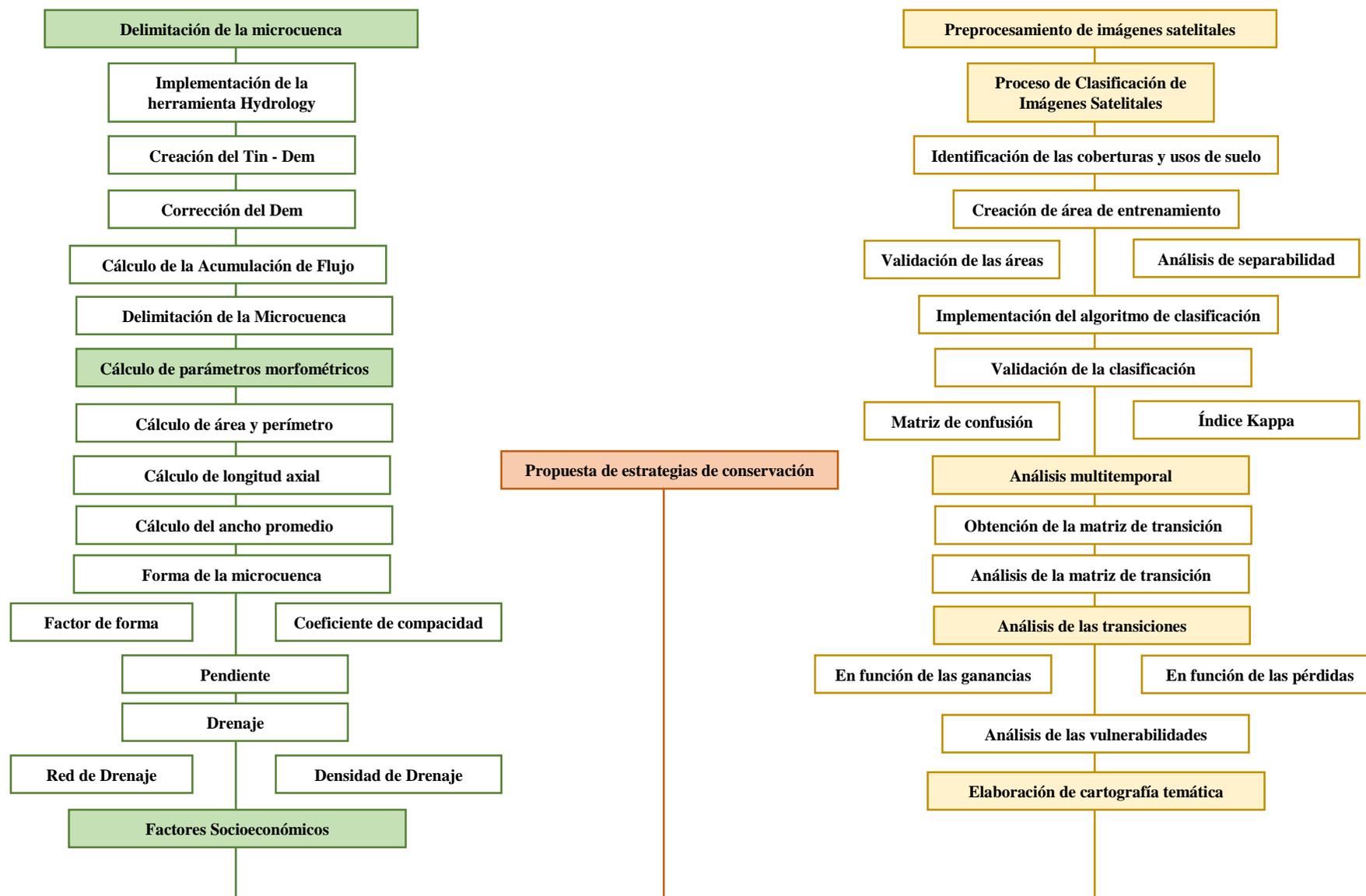


Figura 8. Esquema de procesos

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Microcuenca del Río Covertillo

En la figura 9 (Anexo A) se muestra la microcuenca delimitada y zonificada, con un rango de altura que va desde los 3360 m.s.n.m en la parte más baja hasta los 4360 m.s.n.m en su parte más elevada. La zona baja o de emisión se ubica en el rango de los 3360 - 3736 m.s.n.m, se caracteriza por ser una zona agrícola, donde además se ubican los asentamientos humanos. En la zona media o de captación la presencia de actividad agrícola es menor dando paso principalmente a la presencia del ecosistema de páramo, esta zona se encarga de captar el recurso hídrico proveniente de la zona alta.

La zona alta o de cabecera está conformada por el ecosistema de páramo, la misma constituye la principal área donde se produce el escurrimiento superficial, el cual da origen a las distintas acumulaciones de flujo que posteriormente conformaran la red hídrica de la cuenca. El rango establecido para esta zona es de 3736 m.s.n.m a 4000 m.s.n.m. Además, esta zona se considera como de amortiguamiento o de transición ya que de acuerdo con el Ministerio del Ambiente y Agua a partir de los 3500 m.s.n.m son áreas de protección permanente cuando se trata de ecosistemas nativos como el de páramo.

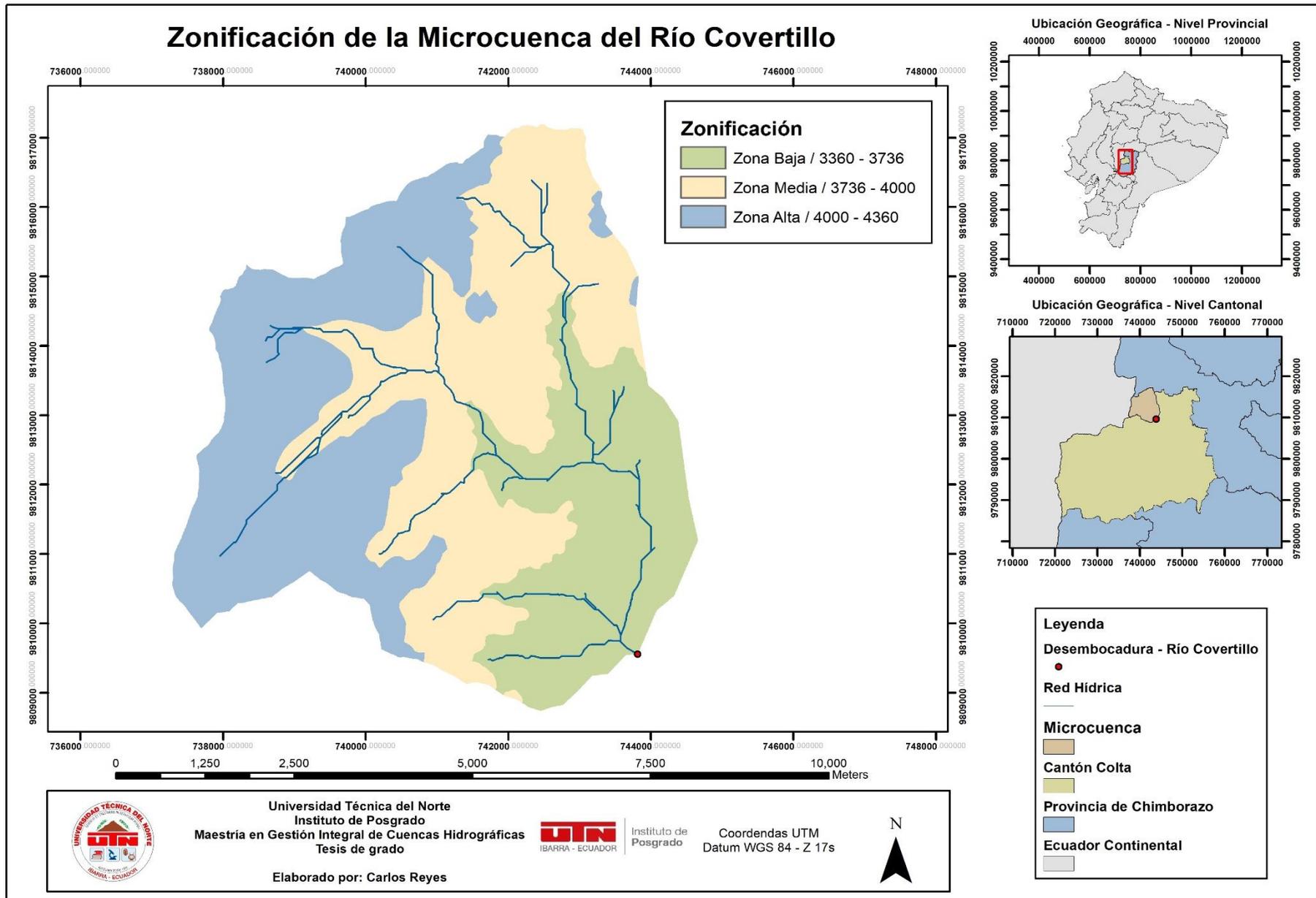


Figura 9. Zonificación de la microcuenca del Río Covertillo

4.1.1. Parámetros morfométricos de la cuenca

4.1.1.1. Parámetros de forma

En la tabla 18 se detallan los parámetros morfométricos calculados para la microcuenca. De acuerdo con el área calculada esta se la considera como pequeña (Guerra et al, 2002). En el caso del factor de forma este tiende a 1, denotando que la microcuenca tiene forma ensanchada asemejándose a una circunferencia (Ordoñez, 2011; Gaspari et al, 2012), por lo que la susceptibilidad para las crecidas es alta. Esto se debe a que en cuencas ensanchadas, las descargas son de mayor volumen, ya que el río principal es más corto que los afluentes secundarios.

Con lo que respecta al coeficiente de compacidad este tiende a uno, lo que indica que la microcuenca tiene una forma redonda a oval redonda (Gaspari et al, 2012), concordando con el valor obtenido para el factor de forma. De acuerdo con Lux, (2013) este valor indica que cuando haya fuertes precipitaciones, las crecientes generadas se producirán con una mayor coincidencia, ya que los tiempos de concentración de todos los afluentes de la cuenca serán similares.

Tabla 18.

Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Covertillo

Parámetros	Valor
Área	40.97 km ²
Perímetro	27.77 km
Longitud Axial	7.84 km
Ancho promedio	5.22 km
Factor de Forma	0.66
Coficiente de compacidad	1.21

4.1.1.2. Parámetros de relieve

4.1.1.2.1. Pendiente media y curva hipsométrica

La pendiente media de la microcuenca es del 31.74 %. De acuerdo con los rangos propuestos por López (1998), la cuenca presenta una pendiente media muy fuerte. Los valores obtenidos para la curva hipsométrica se muestran en la tabla 19.

Tabla 19.

Valores calculados para la curva hipsométrica

Id	Cota Mínima	Cota Máxima	Área (m²)	Promedio (Cotas)	Acumulado (Área)	% Acumulado (Área)
1	3360	3400	238900	3380	40971125	100.00
2	3400	3440	431700	3420	40732225	99.42
3	3440	3480	667475	3460	40300525	98.36
4	3480	3520	715950	3500	39633050	96.73
5	3520	3560	1027900	3540	38917100	94.99
6	3560	3600	1622925	3580	37889200	92.48
7	3600	3640	1438275	3620	36266275	88.52
8	3640	3680	1737450	3660	34828000	85.01
9	3680	3720	1798375	3700	33090550	80.77
10	3720	3760	2146200	3740	31292175	76.38
11	3760	3800	1961750	3780	29145975	71.14
12	3800	3840	2163200	3820	27184225	66.35
13	3840	3880	2169425	3860	25021025	61.07
14	3880	3920	2774550	3900	22851600	55.77
15	3920	3960	2549625	3940	20077050	49.00
16	3960	4000	2651350	3980	17527425	42.78
17	4000	4040	2828075	4020	14876075	36.31
18	4040	4080	2139200	4060	12048000	29.41
19	4080	4120	2339900	4100	9908800	24.18
20	4120	4160	2448425	4140	7568900	18.47
21	4160	4200	2449850	4180	5120475	12.50
22	4200	4240	1999650	4220	2670625	6.52
23	4240	4280	572625	4260	670975	1.64
24	4280	4320	82450	4300	98350	0.24
25	4320	4360	15900	4340	15900	0.04

En la figura 10 se presenta la curva hipsométrica para la microcuenca del Río Covertillo, de acuerdo con Martínez (2018) la tendencia de la curva obtenida corresponde a una que se encuentra en una fase de formación con un gran potencial erosivo.

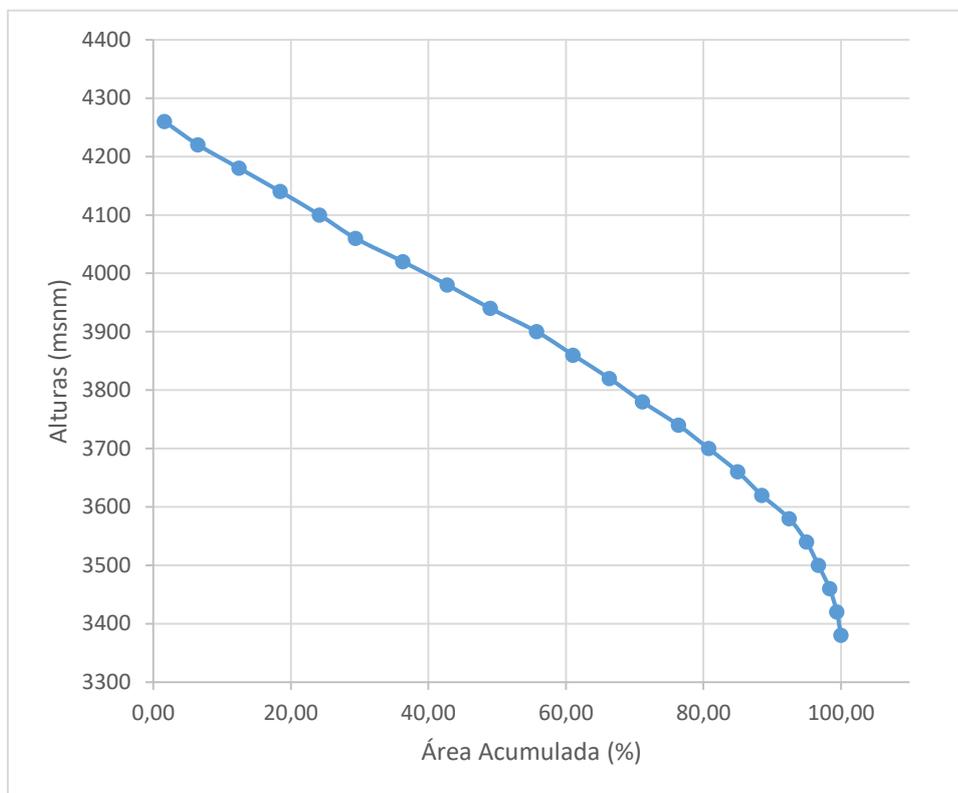


Figura 10. Curva hipsométrica de la microcuenca del Río Covertillo

4.1.1.2.2. Pendiente

La pendiente de tipo *muy fuerte* con un porcentaje de ocupación del 59.66% es la que más territorio abarca, por su parte con un 1.71% la pendiente de tipo *presenta lomadas* es la que menos superficie ocupa. En la tabla 20 se muestran el área y el porcentaje de ocupación de los distintos niveles de pendientes que forman la microcuenca del río Covertillo. El porcentaje de pendiente *muy fuerte* está distribuido por toda la superficie de la cuenca, en el caso de áreas no intervenidas como los ecosistemas de páramo este tipo de pendientes influirían en un mayor escurrimiento superficial con una tendencia a crecientes en momentos de precipitaciones fuertes (Figura 11 - Anexo B).

En el caso de zonas de intervención antrópica ocasionada por la actividad agrícola y ganadera, la pérdida de la cobertura vegetal hace que se potencie los procesos de erosión hídrica. Ocasionando la pérdida de la capa agrícola del suelo producto del arrastre de materiales que se da en la época invernal.

Tabla 20.

Tipos de pendientes dentro de la microcuenca del río Covertillo

Pendiente	Porcentaje de Pendiente	Área	Porcentaje de Ocupación
Plano	0 - 3 %	6.7 km	16.38 %
Presenta Lomas	3 - 12 %	0.7 km	1.71 %
Relieve Accidentado	12 - 20 %	2.7 km	6.60 %
Muy Fuerte	20 - 50 %	24.4 km	59.66 %
Escarpado	50 - 75 %	5.4 km	13.20 %
Muy Escarpado	> 75 %	1 km	2.44 %

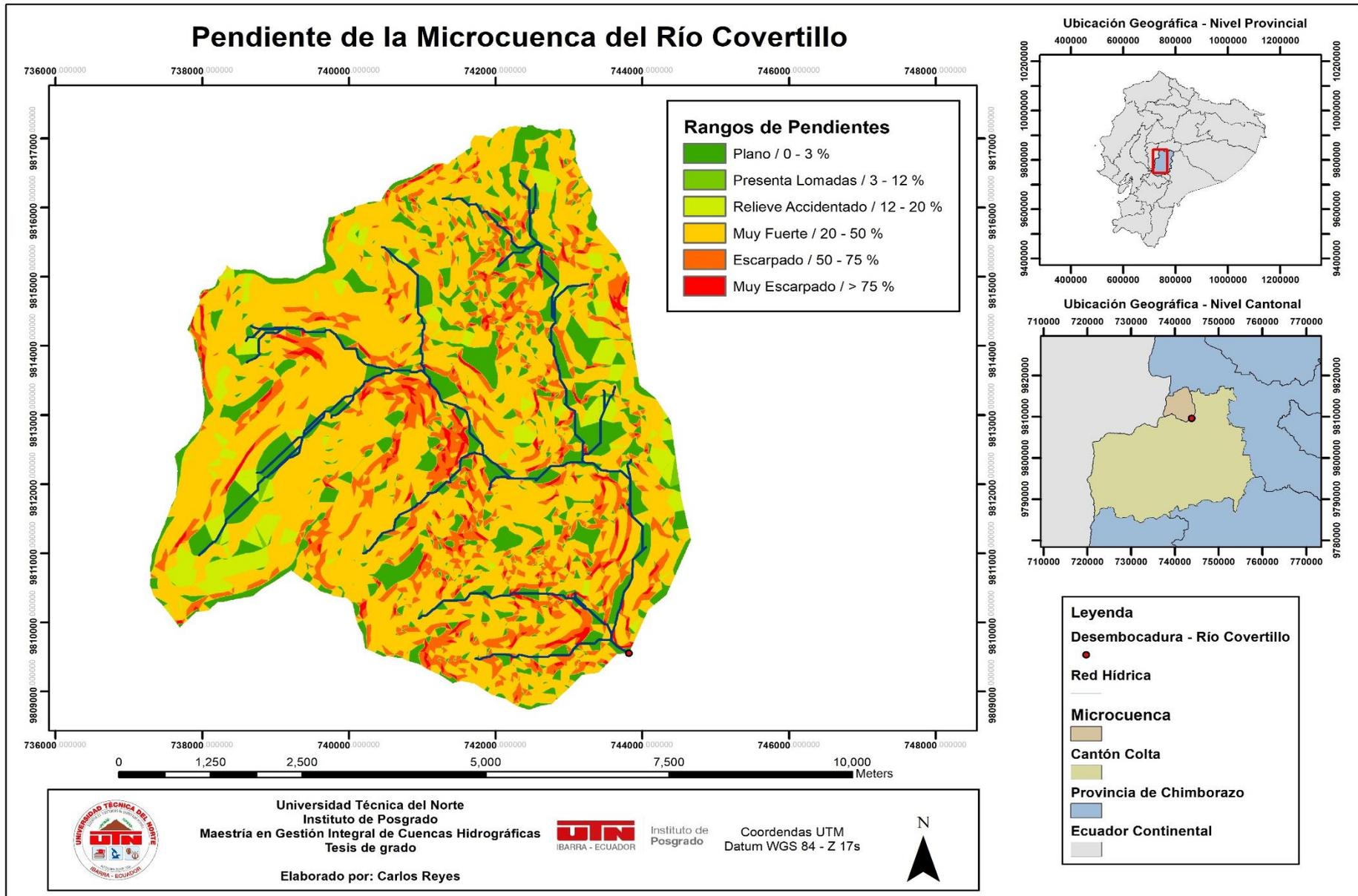


Figura 11. Mapa de pendientes de la microcuenca del Río Covertillo

4.1.1.3. Parámetros de drenaje

4.1.1.3.1. Orden de Cauce y Densidad de Drenaje

La red hídrica del río Covertillo se conformó de 4 jerarquías (Figura 12 - Anexo C), con una relación de bifurcación de 3 y una densidad de drenaje de 0.92. En la tabla 21 se detallan el total de afluentes por cada jerarquía y su distancia total.

Tabla 21.

Orden de cauce de la microcuenca del río Covertillo

Orden de Cauce	Número	Distancia
Orden 1	22	18.9 km
Orden 2	6	8.2 km
Orden 3	2	7.1 km
Orden 4	1	3.5 km

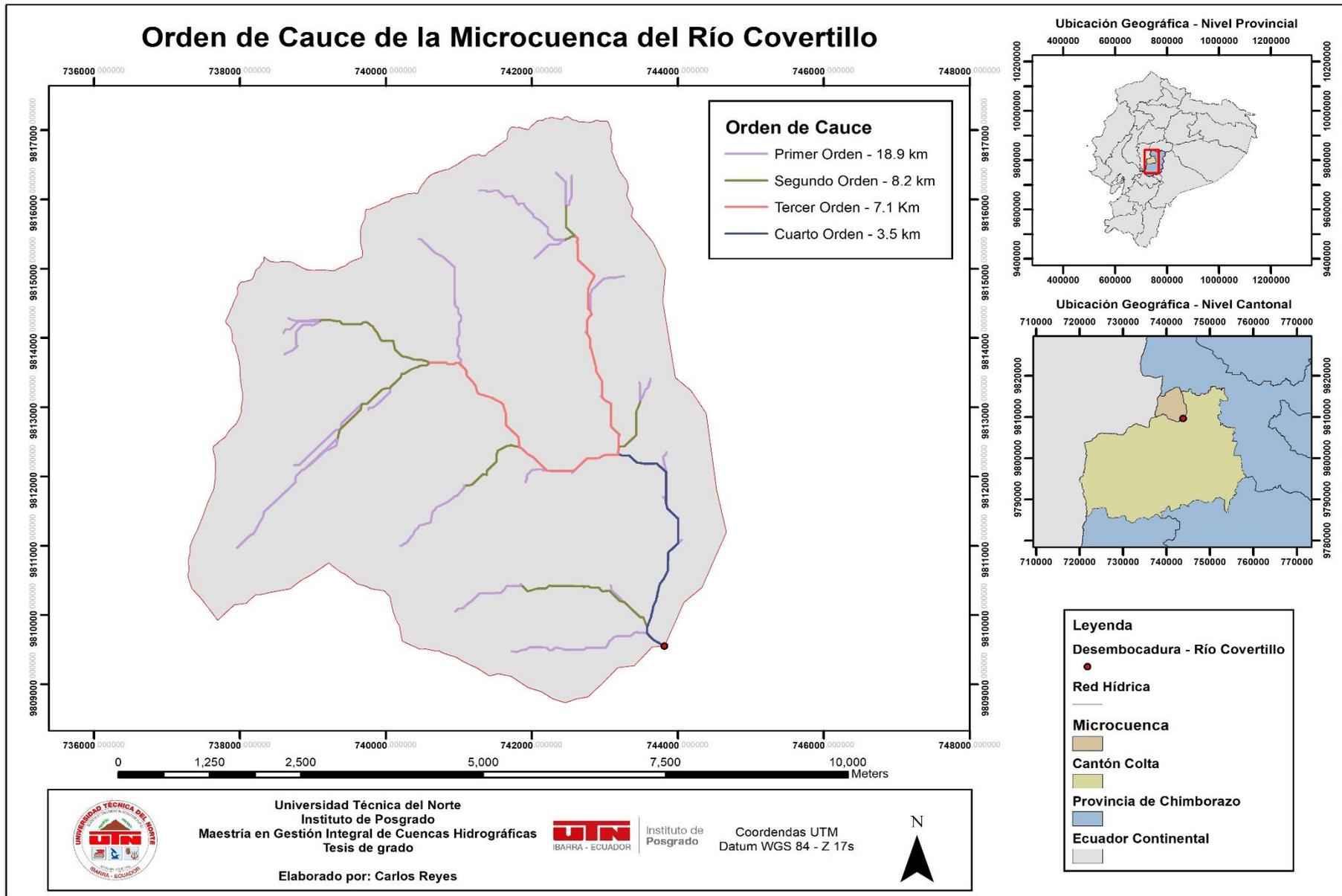


Figura 12. Orden de cauce del Río Covertillo

4.2. Clasificación de imágenes satelitales

4.2.1. Usos de suelo y coberturas vegetales

Dentro de la microcuenca del río Covertillo se determinaron seis clases de usos de suelo y cobertura vegetal, mismas que se describen a continuación:

4.2.1.1. Plantaciones (Pl)

Esta clase está compuesta por las áreas de plantaciones de pino y eucalipto, dentro del área de estudio se pudo identificar superficies amplias y pequeños remanentes (Figura 13).



Figura 13. Plantaciones Forestales en la microcuenca del río Covertillo.

4.2.1.2. Páramo herbáceo (Ph)

Este ecosistema se caracteriza por tener un mayor porcentaje de humedad, lo que se ve reflejado en una mayor predominancia de humedales y almohadillas que permite diferenciarlo claramente del páramo de pajonal (Figura 14).



Figura 14. Páramo herbáceo en la microcuenca del río Covertillo

4.2.1.3. Páramo de pajonal (Ps)

El páramo de pajonal se forma cuando la vegetación predominante es la paja de páramo, este tipo de ecosistema tiende a ser más seco. En este caso la paja opaca a almohadillas, motilón o musgo característico de una mayor presencia de humedad (Figura 15).



Figura 15. Páramo de pajonal en la microcuenca del río Covertillo

4.2.1.4. Suelo de Uso Agropecuario (Su)

Esta superficie se caracteriza por ser un conjunto de lotes de terreno que se encuentran en descanso, debido a que han sido recientemente cosechados (Figura 16).



Figura 16. Suelo de uso agropecuario en la microcuenca del río Covertillo

4.2.1.5. Mosaico Agropecuario (Mo)

Esta superficie se caracteriza por ser un conjunto de lotes de terreno que se encuentran cultivados (Figura 17).



Figura 17. Mosaico agropecuario en la microcuenca del río Covertillo

4.2.1.6. Área Poblada (Ap)

Se conforma por todas las construcciones que se encuentran dentro del área de estudio, estas se encontraban distribuidas de forma dispersa y solo en zonas puntuales se observó un conjunto representativo de viviendas (Figura 18).



Figura 18. Área poblada en la microcuenca del río Covertillo

4.2.2. Clasificación supervisada de las imágenes satelitales.

4.2.2.1. Imagen Landsat 2011

En la tabla 22 se presenta los niveles de reflectancia medios de las áreas de entrenamiento que se generaron para cada una de las clases identificadas en la imagen satelital. El coeficiente de variación (C.V) presentó valores cercanos a cero, de acuerdo con Galindo (2015) estos resultados indican que las áreas de entrenamiento son homogéneas.

Al comparar los C.V de cada área de entrenamiento se puede observar una disparidad entre las bandas. Esto se debe a que dentro de una imagen por más semejantes que sean las áreas elegidas para conformar una clase la información contenida por cada pixel siempre variará. Como lo indica Morales (2015) las imágenes satelitales están conformados por pixeles mezclados, estos se generan por la combinación de dos o más coberturas homogéneas

Tabla 22.

Coeficiente de variación para las áreas de entrenamiento - imagen 2011

Bandas	Media	Desviación estándar	C.V
Plantaciones			
Banda 1	0.0129	0.0036	0.2803
Banda 2	0.0266	0.0030	0.1145
Banda 3	0.0277	0.0028	0.1016
Banda 4	0.2054	0.0082	0.0401
Banda 5	0.0937	0.0046	0.0496
Banda 6	0.0579	0.0037	0.0647
Páramo herbáceo			
Banda 1	0.0672	0.0104	0.1542
Banda 2	0.1080	0.0129	0.1197
Banda 3	0.0957	0.0107	0.1120
Banda 4	0.5175	0.0732	0.1414
Banda 5	0.2411	0.0189	0.0786
Banda 6	0.1380	0.0113	0.0820
Páramo de pajonal			
Banda 1	0.0184	0.0055	0.2981
Banda 2	0.0456	0.0064	0.1407
Banda 3	0.0562	0.0057	0.1020
Banda 4	0.2210	0.0223	0.1010
Banda 5	0.1620	0.0167	0.1031
Banda 6	0.0920	0.0127	0.1381
Suelo de Uso Agropecuario			
Banda 1	0.0076	0.0018	0.2425
Banda 2	0.0178	0.0041	0.2313
Banda 3	0.0289	0.0011	0.0385
Banda 4	0.1319	0.0218	0.1649
Banda 5	0.1647	0.0145	0.0882
Banda 6	0.1604	0.0229	0.1424
Mosaico agropecuario			
Banda 1	0.0347	0.0054	0.1567
Banda 2	0.0602	0.0064	0.1070
Banda 3	0.0623	0.0072	0.1153
Banda 4	0.2444	0.0159	0.0649
Banda 5	0.2133	0.0074	0.0345
Banda 6	0.1521	0.0058	0.0382

Área Poblada			
Banda 1	0.0857	0.0138	0.1614
Banda 2	0.1026	0.0078	0.0762
Banda 3	0.1047	0.0112	0.1073
Banda 4	0.2428	0.0058	0.0238
Banda 5	0.2206	0.0311	0.1411
Banda 6	0.1990	0.0464	0.2331

En la tabla 23 se comparó los niveles de reflectancia entre cada una de las clases, contrario a las áreas de entrenamiento, se busca alcanzar una mayor diferenciación entre cada una de ellas. En este caso los valores obtenidos presentan una tendencia a 1 en la mayoría de sus bandas, al realizar una comparación conjunta se puede decir que las clases generadas son heterogéneas (Galindo, 2015)

Tabla 23.

Coefficiente de variación de las clases de cobertura y usos de suelo - imagen 2011

Clases	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6
Plantaciones	0.013	0.027	0.028	0.205	0.094	0.058
Páramo herbáceo	0.067	0.108	0.096	0.518	0.241	0.138
Páramo de pajonal	0.018	0.046	0.056	0.221	0.162	0.092
Suelo de Uso Agropecuario	0.008	0.018	0.029	0.132	0.165	0.160
Mosaico Agropecuario	0.035	0.060	0.062	0.244	0.213	0.152
Área Poblada	0.086	0.103	0.105	0.243	0.221	0.199
Media	0.038	0.060	0.063	0.261	0.183	0.133
Desviación Estándar	0.029	0.035	0.030	0.121	0.049	0.046
Coefficiente de Variación	0.771	0.577	0.473	0.464	0.269	0.347

La heterogeneidad mencionada en el párrafo anterior se puede percibir de mejor manera al graficar la firma espectral de cada una de las clases. En la figura 18 se observa que la firma espectral de cada clase se diferencia correctamente una de otra, existen casos puntuales como el registrado en la banda 4 entre mosaico agropecuario y área poblada donde se observa un nivel de reflectancia semejante, como en el resto de bandas si existió una correcta diferenciación el resultado final no se vio afectado.

En el caso del comportamiento espectral para cada una de las firmas, este es correcto (Figura 19), con niveles de reflectancia bajos en las bandas 1-2-3, alcanzando un máximo en la banda 4 y disminuyendo en las bandas 5-6. De acuerdo con Ángel (2012) la presencia o no de vegetación dictamina el comportamiento de la firma espectral, en tal contexto las bandas 1-2-3 representan la región del espectro visible. La vegetación se caracteriza por presentar bajos niveles de reflectancia debido a la fuerte absorción de la energía electromagnética por parte de los pigmentos foliares (Araque y Jiménez, 2009).

Al analizar la banda 4 en función a la planteado por Clevers et al. (2002), indica que la transición entre la banda 3 y 4 presenta un fuerte contraste caracterizado por niveles de reflectancia bajos en la banda 3 seguido de un incremento representativo en la banda 4. Esto se debe a que la banda 4 responde a las características estructurales de la vegetación. Por último las bandas 5 y 6 responden al contenido hídrico, el agua al absorber más energía de la que refleja hace que en estas dos bandas los niveles de reflectancia disminuyan.

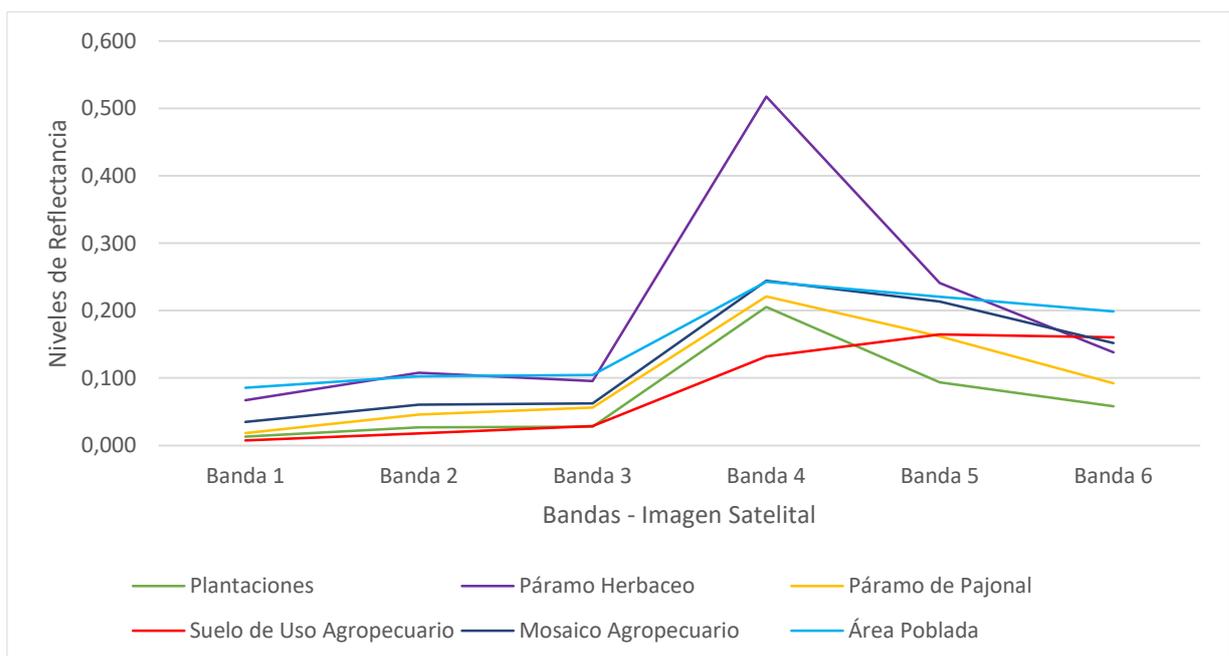


Figura 19. Firmas espectrales de las clases de coberturas y uso de suelo - imagen 2011

En la tabla 24 se muestra el análisis de separabilidad entre las clases. Los valores obtenidos en todas las comparaciones establecidas están en el rango de 1.9 - 2 y en muchos de los casos se alcanzó la máxima separabilidad de 2, esto indicó que entre clases existe una buena separabilidad (Perea, 2019). Con el análisis realizado se ratificó los resultados obtenidos en

la comparación de las clases de cobertura vegetal y usos de suelo y sus firmas espectrales, las cuales indicaron que fueron heterogéneas.

Tabla 24.

Análisis de separabilidad - imagen 2011

Plantaciones	
Páramo herbáceo	(2.00000000 2.00000000)
Páramo de Pajonal	(2.00000000 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	(1.99985097 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Páramo herbáceo	
Plantaciones	(2.00000000 2.00000000)
Páramo de Pajonal	(1.99969661 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(1.99987700 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Páramo de Pajonal	
Plantaciones	(2.00000000 2.00000000)
Páramo herbáceo	(1.99969661 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(1.99998406 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	
Plantaciones	(1.99985097 2.00000000)
Páramo herbáceo	(2.00000000 2.00000000)
Páramo de Pajonal	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	
Plantaciones	(2.00000000 2.00000000)
Páramo herbáceo	(1.99987700 2.00000000)
Páramo de Pajonal	(1.99998406 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Área Poblada	
Plantaciones	(2.00000000 2.00000000)

Páramo herbáceo	(2.00000000 2.00000000)
Páramo Pajonal	(2.00000000 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)

En la figura 20 (Anexo D) se presenta una comparación entre el raster obtenido del proceso de clasificación y la imagen original. En primera instancia se puede observar como las áreas generadas por el software representan los usos de suelo y coberturas vegetales identificadas en el área de estudio.

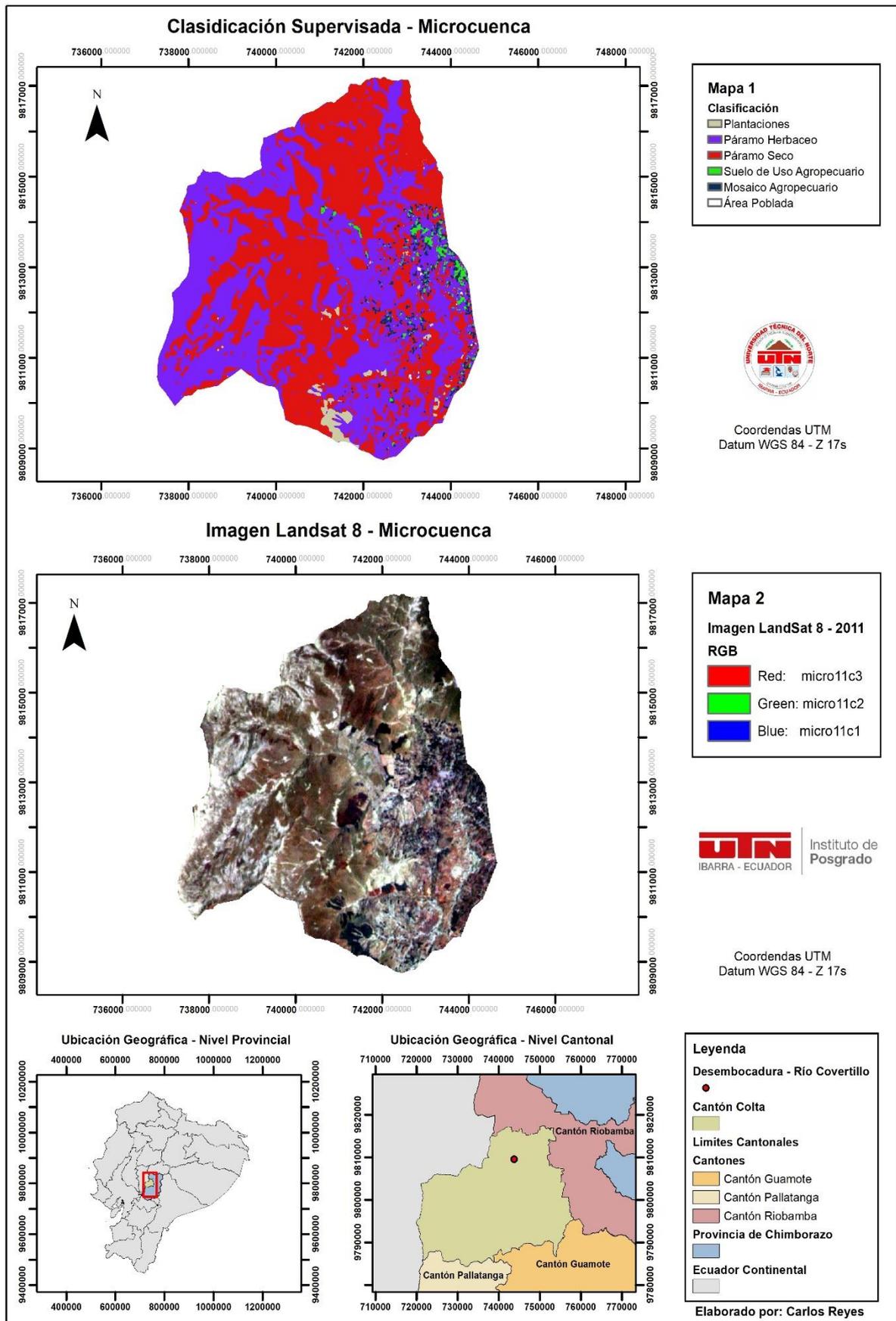


Figura 20. Clasificación supervisada imagen 2011

La matriz de confusión que se generó a partir del raster obtenido indicó que la precisión global de la clasificación es del 100% (550/500) (Tabla 25), con un coeficiente kappa de 1, este valor indicó que la concordancia entre píxeles es *casi perfecta*. Estos valores son el resultado del intensivo análisis que se realizó al momento de generar las áreas de entrenamiento.

Tabla 25.

Matriz de confusión para la clasificación supervisada - imagen 2011

Clases	Plantaciones	Páramo herbáceo	Páramo de pajonal	Suelo de Uso Agropecuario	Mosaico Agropecuario	Área Poblada	Total
No clasificadas	0	0	0	0	0	0	0
Plantaciones	32	0	0	0	0	0	32
Páramo herbáceo	0	166	0	0	0	0	166
Páramo de pajonal	0	0	326	0	0	0	326
Suelo de Uso Agropecuario	0	0	0	7	0	0	7
Mosaico Agropecuario	0	0	0	0	232	0	12
Área Poblada	0	0	0	0	0	12	7
Total	32	166	326	7	232	12	550

Del área total - 4097.3 ha de la microcuenca, la clase que presenta una mayor cobertura es el paramó de pajonal con una superficie de 2001.5 ha que representa el 48.9 %. La segunda cobertura es páramo herbáceo con 1926.1 ha (47 %), la tercera es mosaico agropecuario con 67.7 ha (1.7 %), la cuarta es plantaciones forestales con 51.9 ha (1.3 %), la quinta es suelo de uso agropecuario con 46.9 ha (1.1 %). La clase con menor cobertura es área poblada con 3.1 ha (0.1) (Figura 21).

Los resultados obtenidos indicaron que la microcuenca para el año 2011 se conformó en un 95 % por ecosistemas nativos (páramo de pajonal y paramó herbáceo), la intervención antrópica para ese año era relativamente baja. Esto se debe a que de acuerdo con la delimitación realizada la zona más baja de la microcuenca está a los 3360 msnm, al revisar la imagen más actualizada en la plataforma Google Earth se puede observar que una mayor

presencia de actividades agropecuarias y asentamientos humanos se ubican en la parte baja de la parroquia a partir del límite de la microcuenca.

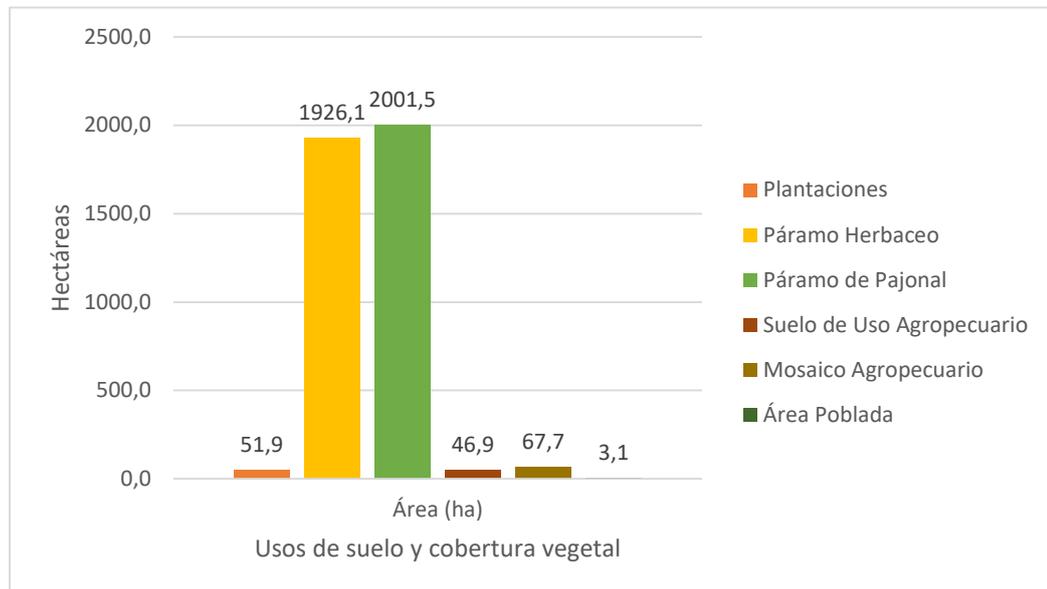


Figura 21. Área de cobertura de los usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2011

En la figura 22 (Anexo E) se presenta los usos de suelo y coberturas vegetales para el año 2011 de la microcuenca del río Covertillo.

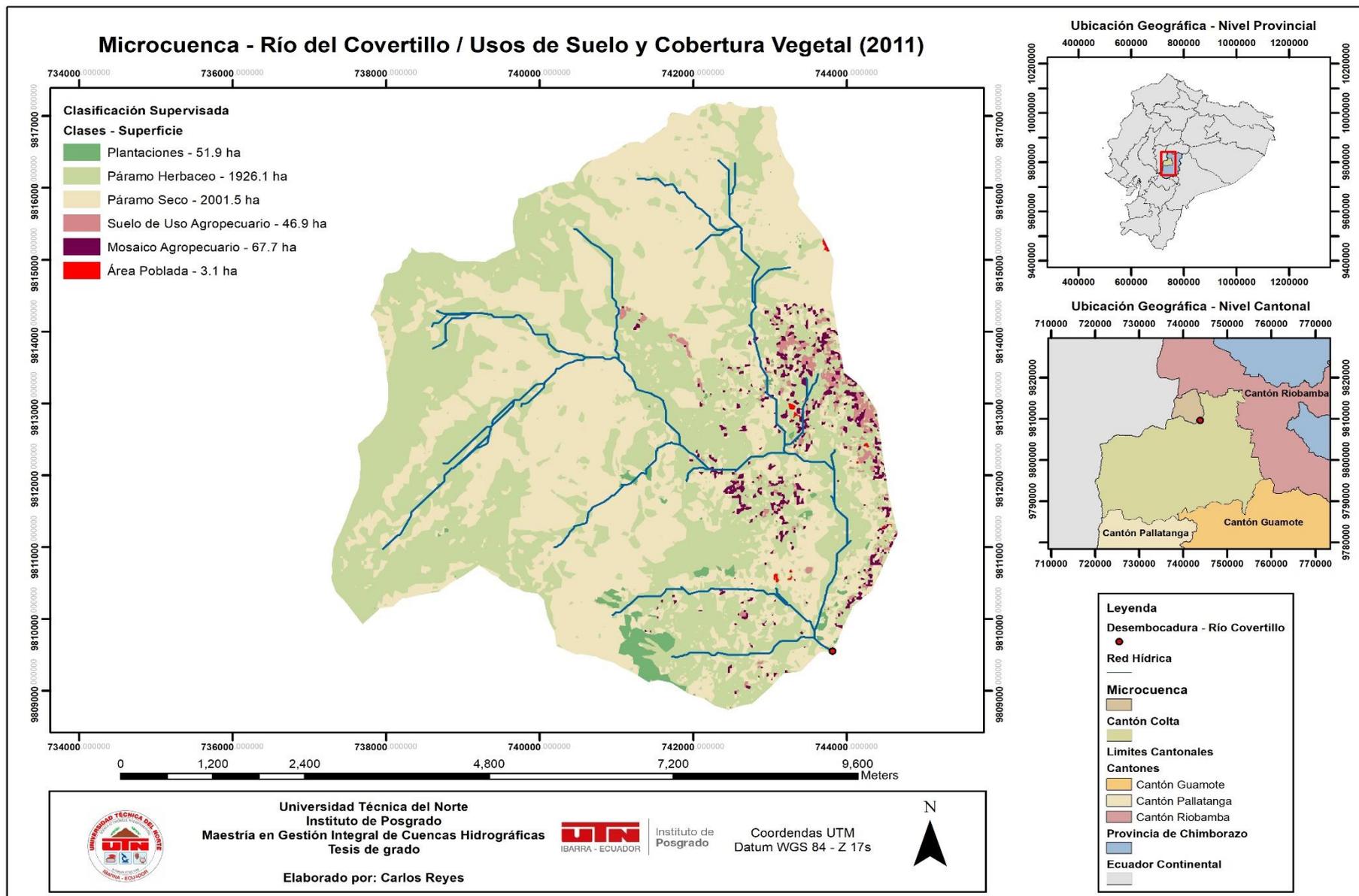


Figura 22. Usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2011

4.2.2.2. Imagen Landsat 2018

El coeficiente de variación que se registró para las áreas de entrenamiento que se generaron para el año 2018 mostró un comportamiento similar a las obtenidas para el año 2011. En general cada una de las bandas de cada clase registraron valores cuya tendencia es a 0, por lo tanto estas áreas son homogéneas entre sí (Galindo, 2015) (Tabla 26).

Tabla 26.

Coeficiente de variación para las áreas de entrenamiento - imagen 2018

Bandas	Media	Desviación estándar	C.V
Plantaciones			
Banda 1	0.0075	0.0023	0.3126
Banda 2	0.0137	0.0022	0.1582
Banda 3	0.0162	0.0023	0.1401
Banda 4	0.1505	0.0127	0.0846
Banda 5	0.0792	0.0078	0.0984
Banda 6	0.0479	0.0051	0.1063
Páramo herbáceo			
Banda 1	0.0255	0.0045	0.1750
Banda 2	0.0752	0.0082	0.1094
Banda 3	0.0663	0.0070	0.1050
Banda 4	0.4981	0.0468	0.0940
Banda 5	0.2050	0.0157	0.0767
Banda 6	0.1034	0.0095	0.0922
Páramo de Pajonal			
Banda 1	0.0085	0.0035	0.4182
Banda 2	0.0339	0.0046	0.1345
Banda 3	0.0432	0.0030	0.0688
Banda 4	0.2127	0.0270	0.1271
Banda 5	0.1480	0.0085	0.0574
Banda 6	0.0812	0.0087	0.1068
Suelo de Uso Agropecuario			
Banda 1	0.0052	0.0031	0.5947
Banda 2	0.0160	0.0052	0.3263
Banda 3	0.0250	0.0044	0.1749
Banda 4	0.1197	0.0226	0.1886

Banda 5	0.1565	0.0217	0.1384
Banda 6	0.1512	0.0178	0.1177
Mosaico agropecuario			
Banda 1	0.0158	0.0030	0.1881
Banda 2	0.0490	0.0064	0.1297
Banda 3	0.0448	0.0062	0.1378
Banda 4	0.2633	0.0500	0.1899
Banda 5	0.1722	0.0134	0.0779
Banda 6	0.1129	0.0096	0.0852
Área Poblada			
Banda 1	0.0782	0.0134	0.1709
Banda 2	0.0947	0.0133	0.1403
Banda 3	0.0948	0.0184	0.1946
Banda 4	0.1975	0.0302	0.1532
Banda 5	0.1516	0.0261	0.1724
Banda 6	0.1580	0.0305	0.1929

En lo referente al coeficiente de variación que se registró entre las clases generadas, los valores obtenidos presentaron una tendencia a 1 a excepción de las bandas 5 y 6 (Tabla 27). Al realizar un análisis individual por bandas se podría derivar en algún tipo de inconveniente al momento de diferenciar cada una de las clases, pero este tipo de procesos recurre a un conjunto, por lo que a nivel general estas son heterogéneas.

Tabla 27.

Coeficiente de variación de las clases de cobertura y usos de suelo - imagen 2018

Clases	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6
Plantaciones	0.007	0.014	0.016	0.150	0.079	0.048
Páramo herbáceo	0.025	0.075	0.066	0.498	0.205	0.103
Páramo de pajonal	0.008	0.034	0.043	0.213	0.148	0.081
Suelo de Uso	0.005	0.016	0.025	0.120	0.156	0.151
Agropecuario						
Mosaico Agropecuario	0.016	0.049	0.045	0.263	0.172	0.113
Área Poblada	0.078	0.095	0.095	0.197	0.152	0.158
Media	0.023	0.047	0.048	0.240	0.152	0.109
Desviación Estándar	0.028	0.033	0.029	0.136	0.041	0.042
Coeficiente de Variación	1.187	0.693	0.592	0.565	0.272	0.383

La heterogeneidad que se determinó a partir del coeficiente de variación se ve reflejada en la figura 23. Las firmas espectrales para cada una de las clases se diferencian una de otra de forma correcta y la tendencia para cada una de las bandas en función a la presencia o no de vegetación es concordante con el análisis expuesto para las firmas registradas en la imagen del 2011. Las mayores semejanzas se registraron en la banda 3 entre mosaico agropecuario y páramo seco y en la banda 5 entre suelo de uso agropecuario y área poblada.

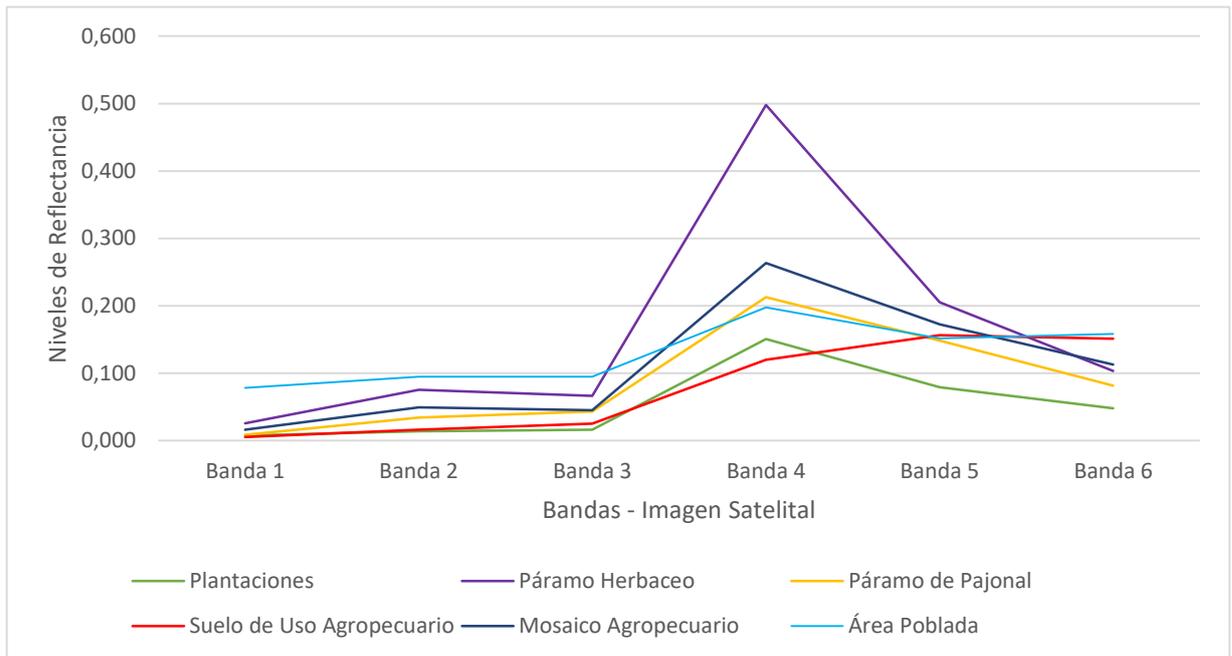


Figura 23. Firmas espectrales de las clases de coberturas y uso de suelo - imagen 2018

El análisis de separabilidad entre clases se presenta en la tabla 28. Los valores registrados en todas las comparaciones realizadas se encuentran en el rango de 1.9 - 2 y 2 - 2, por lo que se alcanzó una *buena separabilidad* (Perea, 2019).

Tabla 28.*Análisis de separabilidad - imagen 2018*

Plantaciones	
Páramo herbáceo	(2.00000000 2.00000000)
Páramo de Pajonal	(2.00000000 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Páramo herbáceo	
Plantaciones	(2.00000000 2.00000000)
Páramo de Pajonal	(1.99957565 1.99999715)
Suelo de Uso Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(1.98380407 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Páramo de Pajonal	
Plantaciones	(2.00000000 2.00000000)
Páramo herbáceo	(1.99957565 1.99999715)
Suelo de Uso Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(1.99055204 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	
Plantaciones	(2.00000000 2.00000000)
Páramo herbáceo	(2.00000000 2.00000000)
Páramo de Pajonal	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	
Plantaciones	(2.00000000 2.00000000)
Páramo herbáceo	(1.98380407 2.00000000)
Páramo de Pajonal	(1.99055204 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Área Poblada	(2.00000000 2.00000000)
Área Poblada	
Plantaciones	(2.00000000 2.00000000)
Páramo herbáceo	(2.00000000 2.00000000)
Páramo de Pajonal	(2.00000000 2.00000000)
Suelo de Uso Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)
Mosaico Agropecuario	(2.00000000 2.00000000)

En la figura 24 (Anexo F) se evidencia el raster obtenido con la imagen original, las áreas de mayor extensión como el páramo pajonal y el páramo herbáceo se pueden diferenciar de manera correcta de igual manera las extensiones pequeñas como las áreas pobladas o las plantaciones son reconocibles. En función a que el análisis visual realizado no presentó errores relevantes se procedió con la implementación de la matriz de confusión y el cálculo del coeficiente kappa.

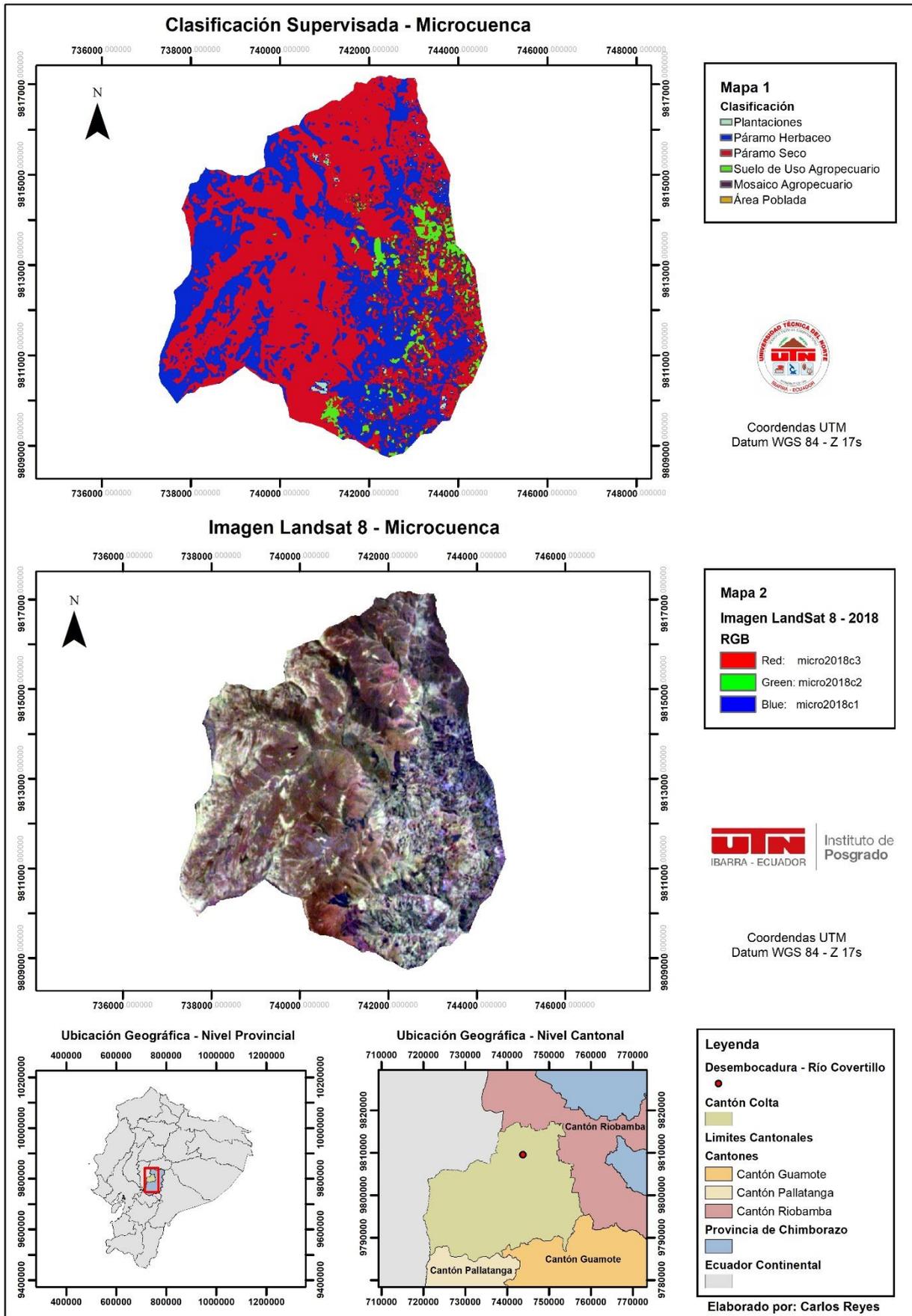


Figura 24. Clasificación supervisada imagen 2018

La matriz de confusión que se generó a partir del raster obtenido indicó que la precisión global de la clasificación es del 98.30% (450/458) (Tabla 29), con un coeficiente kappa de 0.9709, este valor indicó que la concordancia entre píxeles es *casi perfecta*.

Tabla 29.

Matriz de confusión para la clasificación supervisada - imagen 2018

Clases	Plantaciones	Páramo herbáceo	Páramo de pajonal	Suelo de Uso Agropecuario	Mosaico Agropecuario	Área Poblada	Total
No clasificado	0	0	0	0	0	0	0
Plantaciones	22	0	0	0	0	0	22
Páramo herbáceo	0	67	6	0	0	0	67
Páramo de pajonal	0	0	268	0	0	0	274
Suelo de Uso Agropecuario	0	0	0	65	0	0	65
Mosaico Agropecuario	0	0	0	0	20	0	22
Área Poblada	0	0	0	0	0	8	8
Total	22	67	274	65	20	8	458

Del área total - 4097.3 ha de la microcuenca, la clase que presenta una mayor cobertura es el páramo de pajonal con una superficie de 2324.5 ha que representa el 56.7 %. La segunda cobertura es páramo herbáceo con 1439.7 ha (35.1 %), la tercera es mosaico agropecuario con 164 ha (4 %), la cuarta es suelo de uso agropecuario con 151.4 ha (3.7%), la quinta es plantaciones con 12.1 ha (0.3 %). La clase con menor cobertura es área poblada con 5.6 ha (0.1) (Figura 25).

Para el año 2018 los ecosistemas nativos (páramo de pajonal y paramó herbáceo) son los que mayor superficie abarcan con un 91.9%. En el caso de la intervención antrópica ha aumentado dentro de la microcuenca, mientras que las plantaciones se han visto reducidas.

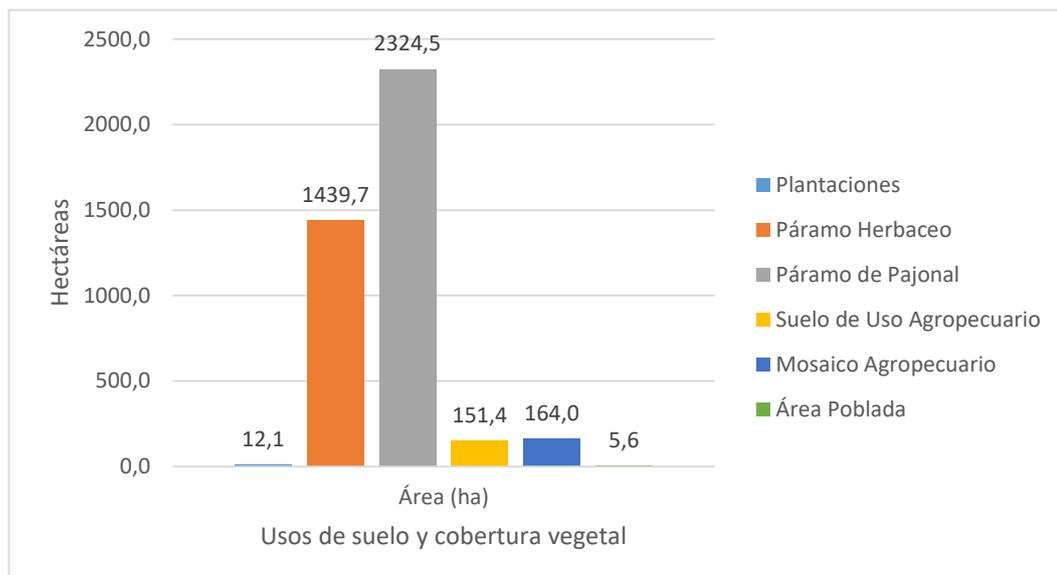


Figura 25. Área de cobertura de los usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2018

En la figura 26 (Anexo G) se presenta los usos de suelo y coberturas vegetales para el año 2018 de la microcuenca del río Covertillo.

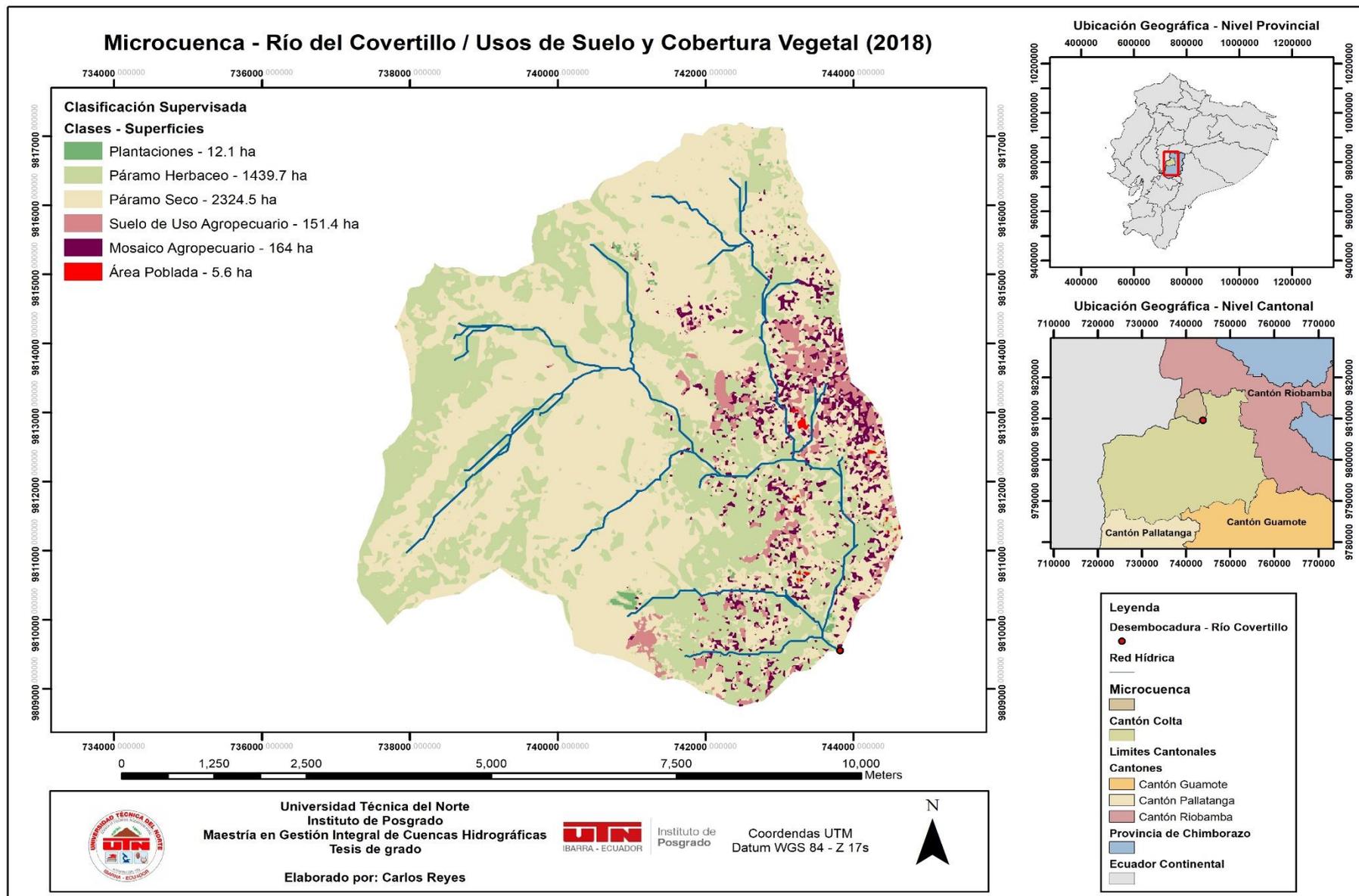


Figura 26. Usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2018

4.3. Análisis de las transiciones

4.3.1. Análisis multitemporal de la microcuenca del río Covertillo

Al comparar las superficies y porcentajes (Tabla 30 – Figura 27) para los dos años en estudio se determinó que dentro de la microcuenca existen dos clases dominantes, en ambos casos se trata de dos ecosistemas nativos. El primero es el páramo de pajonal, para el año 2011 esta clase abarcó 2001.5 ha (48.9%) del total de la superficie de la microcuenca, presentado un incremento de 323 ha (7.8%) alcanzando un total de 2324.5 ha (56.7%). La segunda es el páramo herbáceo, en el año 2011 esta clase ocupó 1926.1 ha (47%), para el año 2018 la superficie disminuyó 486.4 ha (11.9 %) obteniendo una superficie total de 1449 ha (35.1%).

Las clases menos dominantes son las restantes, en el caso del suelo de uso agropecuario para el año 2011 registró una superficie de 46.9 ha (1.1 %), esta se incrementó a las 151.4 ha (3.7 %). El mosaico agropecuario abarcó 67.7 ha (1.7 %) para el 2011 y aumentó hasta las 164 ha (4 %). Plantaciones por su parte perdió superficie, de 51.9 ha (1.3%) a 12.1 ha (0.3%). La última clase es área poblada con 3.1 ha (0.1%), la cual aumentó a las 5.6 ha (0.1%)

Tabla 30.

Porcentajes de cobertura vegetal y usos de suelos para los años 2011 - 2018

Tiempo Clases	2011			2018	
	Área (ha)	Porcentaje	Cambio	Área (ha)	Porcentaje
Plantaciones	51.9	1.3	- 39.8	12.1	0.3
Páramo herbáceo	1926.1	47.0	- 486.4	1439.7	35.1
Páramo de Pajonal	2001.5	48.9	+ 323.0	2324.5	56.7
Suelo de Uso Agropecuario	46.9	1.1	+ 104.5	151.4	3.7
Mosaico Agropecuario	67.7	1.7	+ 96.3	164.0	4.0
Área Poblada	3.1	0.1	+ 2.5	5.6	0.1
Total	4097.2	100.0		4097.3	100.0

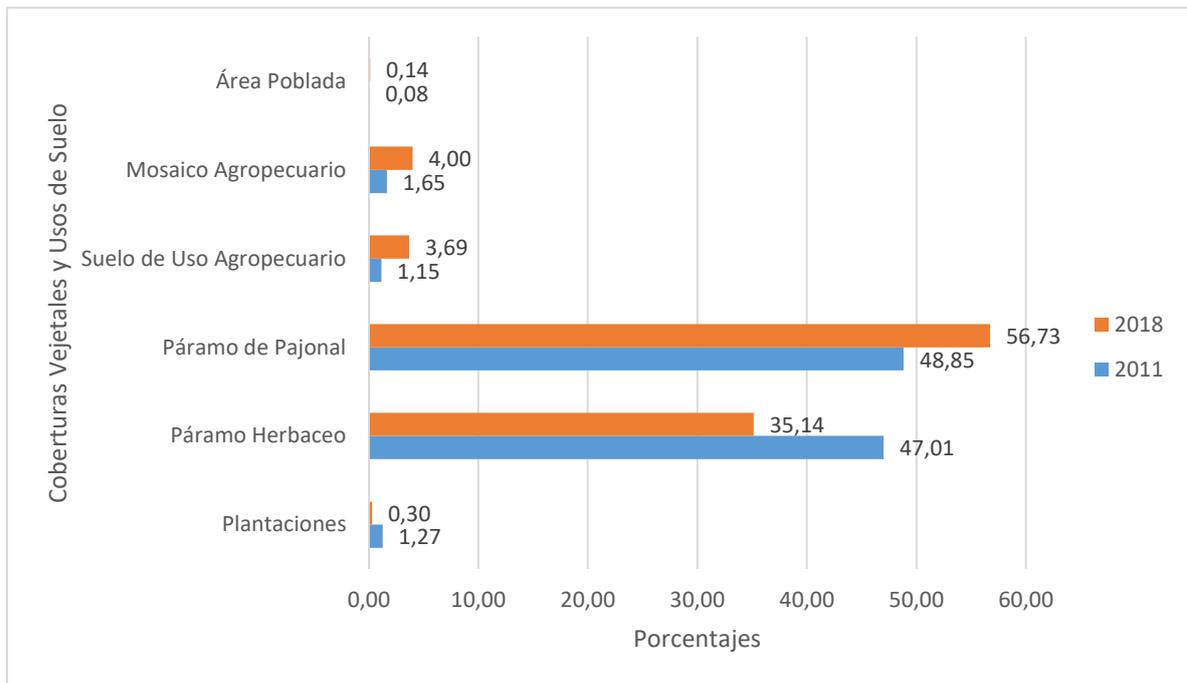


Figura 27. Variación de las coberturas vegetales y usos de suelos para los años 2011 - 2018

4.3.2. Matriz de transición

En la tabla 31 se detalla el área y el porcentaje que representa cada una de las transiciones existentes dentro de la microcuenca del río Covertillo.

Tabla 31.*Transiciones existentes entre los años 2011 – 2018*

Id	Transiciones	Código	Área	Porcentaje
1	Se mantiene plantación forestal	11	5.07	0.12
2	De páramo herbáceo a plantaciones	12	1.18	0.03
3	De páramo de pajonal a plantaciones	13	5.85	0.14
4	De suelo de uso agropecuario a plantaciones	14	0.04	0.00
5	De mosaico agropecuario a plantaciones	15	0.00	0.00
6	De área poblada a plantaciones	16	0.00	0.00
7	De plantaciones a páramo herbáceo	21	16.45	0.40
8	Se mantiene páramo herbáceo	22	1178.38	28.76
9	De páramo pajonal a páramo herbáceo	23	225.66	5.51
10	De suelo de uso agropecuario a páramo herbáceo	24	5.85	0.14
11	De mosaico agropecuario a páramo herbáceo	25	12.64	0.31
12	De área poblada a páramo herbáceo	26	0.92	0.02
13	De plantaciones a páramo de pajonal	31	17.96	0.44
14	De páramo herbáceo a páramo de pajonal	32	598.01	14.60
15	Se mantiene páramo de pajonal	33	1671.49	40.80
16	De suelo de uso agropecuario a páramo de pajonal	34	12.06	0.29
17	De mosaico agropecuario a páramo de pajonal	35	24.18	0.59
18	De área poblada a páramo de pajonal	36	1.02	0.02
19	De plantaciones a suelo de uso agropecuario	41	11.87	0.29
20	De páramo herbáceo a suelo de uso agropecuario	42	71.76	1.75
21	De páramo de pajonal a suelo de uso agropecuario	43	32.49	0.79
22	Se mantiene suelo de uso agropecuario	44	18.77	0.46
23	De mosaico agropecuario a suelo de uso agropecuario	45	15.98	0.39
24	De área poblada a suelo de uso agropecuario	46	0.29	0.01
25	De plantaciones a mosaico agropecuario	51	0.51	0.01
26	De páramo herbáceo a mosaico agropecuario	52	73.36	1.79
27	De páramo seco a mosaico agropecuario	53	65.63	1.60
28	De suelo de uso agropecuario a mosaico agropecuario	54	9.89	0.24
29	Se mantiene mosaico agropecuario	55	14.02	0.34
30	De área poblada a mosaico agropecuario	56	0.10	0.00
31	De plantaciones a área poblada	61	0.00	0.00
32	De páramo herbáceo a área poblada	62	3.26	0.08
33	De páramo de pajonal a área poblada	63	1.10	0.03
34	De suelo de uso agropecuario a área poblada	64	0.05	0.00
35	De mosaico agropecuario a área poblada	65	0.33	0.01
36	Se mantiene área poblada	66	0.77	0.02
Total			4096.94	100.00

En la figura 28 (Anexo H) se plasman las transiciones expuestas en la tabla 31. Cambios evidentes como de páramo herbáceo a páramo de pajonal con código 32 o de páramo de pajonal a páramo herbáceo código 23 son fácilmente reconocibles ya que sus áreas al ser extensas dieron lugar a transiciones que abarcaron de igual manera una mayor superficie. Cambios más pequeños como los que se dan entre mosaico agropecuario y suelo de uso agropecuario son más difíciles de evidenciar en vista que las áreas cultivadas son pequeñas.

A más resolución resulta factible identificar las distintas transiciones que se dan entre las coberturas vegetales y los usos de suelo, a pesar de que puede resultar contraproducente ya que la diferenciación de coberturas puede ser más compleja en el proceso de clasificación. Todo lo contrario ocurre cuando la resolución disminuye, ya que píxeles de mayor tamaño abarcan más superficie por lo que se puede perder superficie de cobertura al momento de realizar la clasificación, sobre todo en las zonas de transición entre clases.

Partiendo de este contexto es factible decir que el uso de las imágenes Landsat 8 fue el correcto, ya que el tamaño de sus píxeles (15 x 15 m) después de implementar el proceso de pansharing permitió diferenciar las clases propuestas sin que se pierda mucha superficie en las clases donde su área de cobertura es muy pequeña. Lo antes expuesto se puede ejemplarizar al analizar el comportamiento del algoritmo clasificador al momento de clasificar la clase de área poblada. Por ejemplo, áreas muy pequeñas de los nuevos asentamientos humanos que hay en la microcuenca comparten el área del píxel con otra clase como mosaico agropecuario, al momento de implementar el algoritmo no necesariamente ese píxel es asignado a la clase que se requiere, sino que es asignado a la clase con la cual más información espectral comparte.

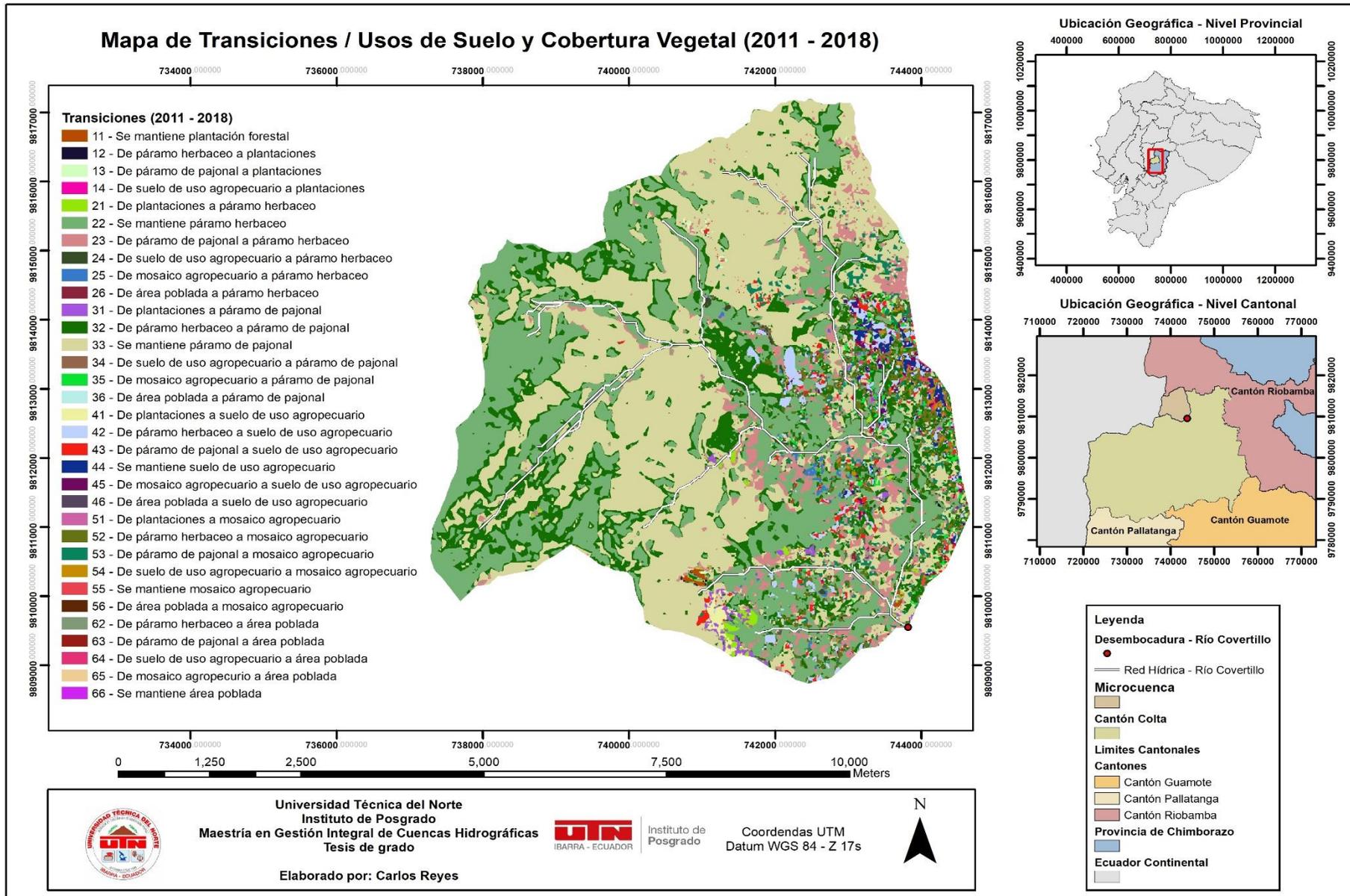


Figura 28. Matriz de transiciones para los años 2011 - 2018

En la tabla 32 se detalla la matriz de transición, al final de cada columna se presenta las ganancias que cada clase ha tenido para el año 2018, mientras que al final de cada fila se presentan las pérdidas que las clases han presentado desde el 2011. La diagonal principal de la matriz representa la superficie que se ha mantenido en el transcurso del tiempo, por su parte las celdas adyacentes indican los cambios producidos entre las clases.

Tabla 32.

Matriz de transición de los años 2011 - 2018

		2018							
2011	Clases	Pl (%)	Ph (%)	Ps (%)	Su (%)	Mo (%)	Ap (%)	Total (%)	Pérdidas (%)
	Pl (%)	0.12	0.40	0.44	0.29	0.01	0.00	1.27	1.14
	Ph (%)	0.03	28.76	14.60	1.75	1.79	0.08	47.01	18.25
	Ps (%)	0.14	5.51	40.80	0.79	1.60	0.03	48.87	8.07
	Su (%)	0.00	0.14	0.29	0.46	0.24	0.00	1.14	0.68
	Mo (%)	0.00	0.31	0.59	0.39	0.34	0.01	1.64	1.30
	Ap (%)	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.08	0.06
	Total (%)	0.30	35.15	56.74	3.69	3.99	0.13	100.00	29.50
	Ganancias (%)	0.17	6.38	15.94	3.23	3.65	0.12	29.50	

Donde:

Pl - Plantaciones

Ph - Páramo herbáceo

Ps - Páramo de pajonal

Su - Suelo de uso agropecuario

Mo - Mosaico agropecuario

Ap - Área poblada

La clase que ha tenido una mayor persistencia en el tiempo es el páramo de pajonal, ha mantenido un 40.8 % para el 2018 de una cobertura inicial del 48.87% en el año 2011, para el 2018 la clase ha perdido un 8.07% y ganado un 15.94%. En el caso de las ganancias, este comportamiento es propio de los páramos andinos cuya cobertura vegetal es sensible a las variaciones climáticas, en épocas secas predominara el pajonal por sobre el páramo herbáceo (Llambí et al., 2012).

Por el contrario en épocas lluviosas el páramo herbáceo será el que predomine por sobre el páramo de pajonal (Llambí et al., 2012). Lo cual se puede evidenciar claramente en el mapa

de transiciones, donde los cambios entre estas clases se producen en los límites que comparten y no en sus áreas internas. En lo que concierne a las pérdidas en las zonas más altas estas se deben al comportamiento antes mencionado, sin embargo en la zona baja las pérdidas se producen por la intervención antrópica.

La segunda clase con mayor persistencia es la de páramo herbáceo con un 28.76%, con pérdidas del 18.25% y ganancias del 6.38%. Al contrario del páramo seco, el páramo herbáceo pierde más de lo que gana, esto puede atribuirse a los siguientes factores: que durante el periodo de tiempo en estudio ha existido una disminución en las precipitaciones de la zona, que para el año 2018 se presentó una sequía prolongada o es producto del avance de la frontera agrícola (Camacho, 2013).

El suelo de uso agropecuario es la siguiente clase cuya superficie ha persistido más en el tiempo con un 0.46%, perdió un 0.68% y ganó un 3.23%. Este comportamiento se evidencia al revisar las variaciones que se han registrado para el mosaico agropecuario. El mismo que tiene una persistencia del 0.34%, con una pérdida del 1.3% y una ganancia del 3.65%. Las transiciones de ganancias y pérdidas de estas dos clases están directamente relacionadas, ya que los terrenos que las representan en el 2011 no se encontraban cultivados, por lo que al cultivarlos en el 2018 significaría una pérdida para el suelo de uso agropecuario y una ganancia para el mosaico agropecuario, mismo principio si se considera que en el 2011 el terreno esta cultivado y para el 2018 ya no lo está. Las otras clases con las que se relaciona principalmente en el sentido de las ganancias son páramo de pajonal y herbáceo, ya que son estas áreas las que son transformadas para cultivos y ganadería.

Con lo que respecta a plantaciones está a persistido un 0,12%, con pérdidas que llegan al 1.14% y ganancias que alcanzan el 0.17%. En lo referente al área perdida esto se debe a que al revisar el historial de imágenes de Google Earth se pudo observar que las plantaciones ya han sido cosechadas para el año 2016. Las ganancias son pequeñas debido a que la única superficie para implementar una plantación forestal son las zonas de páramo, al ser ecosistemas nativos de acuerdo con el Código Orgánico Ambiental vigente en el libro segundo del Patrimonio Natural, Título 1 de la Conservación de la Biodiversidad en el artículo 30 – numeral 2 indica lo siguiente: *“Mantener la estructura, la composición y el funcionamiento de los ecosistemas, de tal manera que se garantice su capacidad de resiliencia y su la posibilidad de generar bienes y servicios ambientales”*.

En lo concerniente a las áreas pobladas esta clase ha persistido un 0.02%, perdido un 0.06% y ganado un 0.12%. Las ganancias registradas se deben al aumento poblacional propio de las sociedades. Por su parte las pérdidas deberían llegar a cero o ser ínfimas, pero debido a que dentro la imagen son superficies demasiado pequeñas y al estar rodeadas de áreas mucho más extensas como el mosaico agropecuario, se puede ocasionar que dichas áreas sean asignadas a las otras clases ocasionando las pérdidas registradas.

4.3.3. Índices de Cambio

A partir de los índices de cambio se estableció que el páramo de pajonal es la clase que más ha interactuado con el resto de clases con un intercambio del 16.15% ya que la diferencia entre la ganancia y pérdida registrada no es alta, por lo tanto presenta un cambio neto bajo a pesar de que el cambio total es alto. Todo lo contrario ocurre con páramo herbáceo, esta clase tiene un cambio total similar a paramó de pajonal pero su cambio neto es mayor (11.86%) debido a que presenta una mayor diferencia entre lo ganado y perdido. Cuando esto ocurre el intercambio tiende a disminuir 12.77% en vista que dicha clase está tendiendo solo a perder.

Lo que ocurre con la clase de plantaciones es similar a páramo herbáceo, difieren los valores porque se trata de una superficie mucho menor pero la tendencia es la misma. Al perder mucho más de lo que gana, el intercambio es bajo. Pero esta clase presenta una particularidad, ya que el cambio neto (0.97%) es mayor al intercambio (0.35%), esto se debe a que la diferencia entre lo que se pierde y se gana es más marcada.

En lo que concierne a las clases de mosaico agropecuario y suelo de uso agropecuario la dinámica de intercambio varía en relación con el cambio neto. Para la primera este es mayor debido a que las ganancias (3.23%) es mucho mayor a lo que pierde (0.68%). En el caso de la segunda el cambio neto (2.35%) es menor al intercambio (2.59%), esto indica que la clase al mismo tiempo que gana superficie de otras clases también las pierde reflejando una mayor dinámica en las transiciones (Tabla 33).

Tabla 33.

Índices de cambio para los años 2011 - 2018

Clases	Ganancias	Pérdida	Cambio Total	Intercambio	Cambio Neto
Plantaciones	0.17	1.14	1.31	0.35	0.97
Páramo herbáceo	6.38	18.25	24.63	12.77	11.86
Páramo Pajonal	15.94	8.07	24.02	16.15	7.87
Suelo de Uso Agropecuario	3.23	0.68	3.91	1.36	2.55
Mosaico Agropecuario	3.65	1.30	4.95	2.59	2.35
Área Poblada	0.12	0.06	0.17	0.11	0.06

4.3.4. Análisis de las transiciones entre las clases de usos de suelo y cobertura vegetal

A partir de los conceptos planteados por Pontius (2004) se identificaron que transiciones son significativas en función a las ganancias y las pérdidas considerando que estas pueden ser aleatorias o sistemáticas. Desde el punto de vista estadístico, las transiciones aleatorias se dan en el momento que una cobertura o uso de suelo sustituye a otro tipo en una proporción igual o similar. A partir del momento que esto deja de suceder se tiene un proceso de transición sistemática, es decir que una cobertura específica está abarcando sistemáticamente la superficie de otras para reemplazarlas.

Poder identificar las transiciones sistemáticas ayuda a ubicar señales más fuertes de cambios en el paisaje, de tal forma se puede vincular patrones de cambios que estén afectando a los ecosistemas frágiles como el de páramo.

4.3.4.1. En función de las ganancias

En la tabla 34 se presentan los resultados obtenidos para el análisis de las transiciones en función a las ganancias. Para cada clase se calculó cuatro valores: Porcentaje calculado (1), Porcentaje esperado (2), Extensión de la transición (3) e Intensidad de la transición (4) Además, las transiciones sistemáticas significativas para las ganancias se presentan de color rojo.

Tabla 34.

Transiciones sistemáticas en función a las ganancias

		Tiempo 2	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Total tiempo 1	
Tiempo 1	Clases	PI	Ph	Ps	Su	Mo	Ap	Sum Pi+	Pérdidas	
Clase 1 (1)	PI	0.12	0.40	0.44	0.29	0.01	0.00	1.27	1.14	
	(2)		0.15	0.39	0.04	0.05	0.00			
	(3)		0.25	0.04	0.25	-0.03	0.00			
	(4)		1.63	0.11	6.00	-0.73	-1.00			
Clase 2	Ph	0.03	28.76	14.60	1.75	1.79	0.08	47.01	18.25	
		0.08		14.66	1.54	1.74	0.05			
		-0.05		-0.06	0.21	0.05	0.03			
		-0.65		0.00	0.14	0.03	0.46			
Clase 3	Ps	0.14	5.51	40.80	0.79	1.60	0.03	48.87	8.07	
		0.09	6.07		1.60	1.81	0.06			
		0.06	-0.56		-0.80	-0.21	-0.03			
		0.67	-0.09		-0.50	-0.12	-0.52			
Clase 4	Su	0.00	0.14	0.29	0.46	0.24	0.00	1.14	0.68	
		0.00	0.14	0.36		0.04	0.00			
		0.00	-0.01	-0.06		0.20	0.00			
		-0.53	-0.07	-0.17		4.71	-0.10			
Clase 5	Mo	0.00	0.31	0.59	0.39	0.34	0.01	1.64	1.30	
		0.00	0.20	0.51	0.05		0.00			
		0.00	0.11	0.08	0.34		0.01			
		-1.00	0.56	0.15	6.28		3.21			
Clase 6	Ap	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.076	0.06	
		0.00	0.01	0.02	0.00	0.00				
		0.00	0.01	0.00	0.00	0.00				
		-1.00	1.47	0.05	1.82	-0.10				
Total tiempo 2	Sum P+j	0.30	35.15	56.74	3.69	3.99	0.13	100.00	29.50	
	Ganancias	0.17	6.38	15.94	3.23	3.65	0.12	29.50		

Donde:

PI - Plantaciones

Ph - Páramo herbáceo

Ps - Páramo de pajonal

Su - Suelo de uso agropecuario

Mo - Mosaico agropecuario

Ap - Área poblada

La interpretación de las transiciones en función a las ganancias de acuerdo con los valores obtenidos en la tabla anterior se muestra en tabla 35.

Tabla 35.

Interpretación de las transiciones en función a las ganancias

Tiempo 2		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6
Tiempo 1	Clases	Pl	Ph	Ps	Su	Mo	Ap
Clase 1	Pl		Ph,G - Ph,r,Pl	Ps,G - Ps,r,Pf	Su,G - Su,r,Pl	Mo,G - Mo,nr,Pl	Sin Cambio
Clase 2	Ph	Pl,G - Pl,nr,Ph		Ps,G - Ps,nr,Ph	Su,G - Su,r,Ph	Mo,G - Mo,r,Ph	Ap,G - Ap,r,Ph
Clase 3	Ps	Pl,G - Pl,r,Ps	Ph,G - Ph,Nr,Ps		Sv,G - Su,nr,Ps	Mo,G - Mo,nr,Ps	Ap,G - Ap,nr,Ps
Clase 4	Su	Sin Cambio	Ph,G - Ph,Nr,Su	Ps,G - Ps,nr,Su		Mo,G - Mo,r,Su	Sin Cambio
Clase 5	Mo	Sin Cambio	Ph,G - Ph,r,Mo	Ps,G - Ps,r,Mo	Su,G - Su,r,Mo		Ap,G - Ap,r,Mo
Clase 6	Ap	Sin Cambio	Ph,G - Ph,r,Ap	Ps,G - Ps,r,Ap	Su,G - Su,r,Ap	Sin Cambio	

Donde:

Pl - Plantaciones

Ph - Páramo herbáceo

Ps - Páramo de pajonal

Su - Suelo de uso agropecuario

Mo - Mosaico agropecuario

Ap - Área poblada

Las transiciones sistemáticas identificadas en función de las ganancias responden a las dinámicas existentes entre el páramo de pajonal, páramo herbáceo, mosaico agropecuario y suelo de uso agropecuario (Tabla 36). En este contexto tenemos que el suelo de usos agropecuario está ganando superficie de forma sistemática sin llegar a remplazar al páramo de pajonal, pero si reemplaza a mosaico agropecuario. En el primer caso, esta es una transición por considerar ya que es un indicativo de que la frontera agrícola está avanzando y que el páramo se está perdiendo, tal vez no de una forma intensiva pero la superficie como tal es representativa. El segundo caso es un resultado esperado, el hecho de que suelo de uso agropecuario gane y reemplace a mosaico agropecuario está relacionado con la variabilidad

propia de las zonas agrícolas donde existen periodos en los cuales los terrenos pueden estar o no cultivados.

Con lo que respecta a que el páramo herbáceo gane pero no remplace a páramo de pajonal, dicha dinámica es propia de los ecosistemas de páramo, donde estas superficies cambian en función a las condiciones climáticas del año en el que se haya capturado la imagen satelital.

Tabla 36.

Análisis de las transiciones en función de las ganancias

Transición Ganancias	Extensión de la transición	Intensidad de la transición	Transición sistemática
Ps a Su	- 0.80	- 0.50	Suelo de uso agropecuario gana suelo de uso agropecuario no reemplaza a páramo de pajonal
Mo a Su	0.34	6.28	Suelo de uso agropecuario gana suelo de uso agropecuario reemplaza a mosaico agropecuario.
Ps a Ph	- 0.56	- 0.09	Páramo herbáceo gana páramo herbáceo no reemplaza a páramo de pajonal

Donde:

Pl - Plantaciones

Ph - Páramo herbáceo

Ps - Páramo de pajonal

Su - Suelo de uso agropecuario

Mo - Mosaico agropecuario

Ap - Área poblada

4.3.4.2. *En función de las pérdidas*

En la tabla 37 se presentan los resultados obtenidos para el análisis de las transiciones en función a las pérdidas. Para cada clase se calculó cuatro valores: Porcentaje calculado (1), Porcentaje esperado (2), Extensión de la transición (3) e Intensidad de la transición (4). Además, de color rojo se presentan las transiciones sistemáticas significativas para las pérdidas.

Tabla 37.

Transiciones sistemáticas en función a las pérdidas

Tiempo 2		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Total tiempo 1	
Tiempo 1	Clases	Pi	Ph	Ps	Su	Mo	Ap	Sum Pi+	Pérdidas
Clase 1 (1) (2) (3) (4)	Pl	0.12	0.40	0.44	0.29	0.01	0.00	1.27	1.14
			0.44	0.45	0.01	0.02	0.00		
			-0.03	-0.01	0.28	0.00	0.00		
			-0.08	-0.03	32.26	-0.25	-1.00		
Clase 2	Ph	0.03	28.76	14.60	1.75	1.79	0.08	47.01	18.25
		0.54		7.42	0.32	0.62	0.03		
		-0.51		7.17	1.43	1.17	0.05		
		-0.95		0.97	4.41	1.89	1.97		
Clase 3	Ps	0.14	5.51	40.80	0.79	1.60	0.03	48.87	8.07
		0.57	16.83		0.34	0.64	0.03		
		-0.42	-11.32		0.46	0.96	0.00		
		-0.75	-0.67		1.36	1.49	-0.03		
Clase 4	Su	0.00	0.14	0.29	0.46	0.24	0.00	1.14	0.68
		0.01	0.39	0.18		0.02	0.00		
		-0.01	-0.25	0.11		0.23	0.00		
		-0.93	-0.64	0.64		15.08	0.82		
Clase 5	Mo	0.00	0.31	0.59	0.39	0.34	0.01	1.64	1.30
		0.02	0.56	0.26	0.01		0.00		
		-0.02	-0.26	0.33	0.38		0.01		
		-1.00	-0.45	1.28	33.57		7.56		
Clase 6	Ap	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.02	0.08	0.06
		0.00	0.03	0.01	0.00	0.00			
		0.00	0.00	0.01	0.01	0.00			
		-1.00	-0.13	1.08	12.39	1.53			
Total tiempo 2	Sum P+j	0.30	35.15	56.74	3.69	3.99	0.13	100.00	29.50
	Ganancias	0.17	6.38	15.94	3.23	3.65	0.12	29.50	

Donde:

- Pl** - Plantaciones
- Ph** - Páramo herbáceo
- Ps** - Páramo de pajonal
- Su** - Suelo de uso agropecuario
- Mo** - Mosaico agropecuario
- Ap** - Área poblada

La interpretación de las transiciones en función de las pérdidas de acuerdo con los valores obtenidos en la tabla anterior se muestra en tabla 38.

Tabla 38.

Interpretación de las transiciones en función a las pérdidas

Tiempo 2		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6
Tiempo 1	Clases	Pl	Ph	Ps	Su	Mo	Ap
Clase 1	Pl		Pl,P - Ph,Nr,Pl	Pl,P - Ps,Nr,Pl	Pl,P - Su,R,Pl	Pl,P - Mo,Nr,Pl	Sin Cambio
Clase 2	Ph	Ph,P - Pl,Nr,Ph		Ph,P - Ps,r,Ph	Ph,P - Su,r,Ph	Ph,P - Mo,r,Ph	Ph,P - Ap,r,Ph
Clase 3	Ps	Ps,P - Pl,Nr,Ps	Ps,P - Ph,Nr,Ps		Ps,P - Su,r,Ps	Ps,P - Mo,r,Ps	Ps,P - Ap,R,Ps
Clase 4	Su	Su,P - Pl,Nr,Su	Su,P - Ph,Nr,Su	Su,P - Ps,r,Su		Su,P - Mo,r,Su	Su,P - Ap,R,Su
Clase 5	Mo	Mo,P - Pl,Nr,Mo	Mo,Nr - Ph,Nr,Mo	Mo,P - Ps,r,Mo	Mo,P - Su,r,Mo		Mo,P - Ap,r,Mo
Clase 6	Ap	Ap,P - Pl,Nr,Ap	Ap,P - Ph,Nr,Ap	Ap,P - Ps,r,Ap	Ap,P - Su,r,Ap	Ap,P - Mo,r,Ap	

Donde:

Pl - Plantaciones

Ph - Páramo herbáceo

Ps - Páramo de pajonal

Su - Suelo de uso agropecuario

Mo - Mosaico agropecuario

Ap - Área poblada

Las transiciones significativas con respecto a las pérdidas se muestran en la tabla 39. Dentro de las transiciones a considerar para este apartado tenemos las siguientes:

En el caso de páramo herbáceo se puede observar que las pérdidas son más significativas a las ganancias que pudieron haber tenido, ya que suelo de uso agropecuario y mosaico agropecuario lo están reemplazando. Estas transiciones son relevantes ya que concuerdan con lo registrado a nivel de ganancias donde a pesar de no reemplazar a los ecosistemas nativos su avance es significativo. En lo que se refiere a la relación existente con páramo seco esta puede estar más orientada a una época seca larga.

Al analizar las iteraciones existentes entre el páramo de pajonal y el resto de clases se presenta una dinámica similar a la registrada con el páramo herbáceo. Tanto el suelo de uso agropecuario como el mosaico agropecuario están reemplazando a esta clase. De acuerdo con lo ya mencionado, los ecosistemas de páramo tanto herbáceo como de pajonal están

perdiendo superficie, las ganancias que estos pudieron reportar responden más a la dinámica natural presente en este tipo de ecosistemas. Por lo que las pérdidas que registran son sistemáticas a favor de las clases antes mencionadas.

Tabla 39.

Análisis de las transiciones en función de las pérdidas

Transición Pérdidas	Extensión de la transición	Intensidad de la transición	Transición sistemática
Ph a Pl	-0.51	-0.95	Páramo herbáceo pierde, plantaciones no lo reemplaza
Ph a Ps	7.17	0.97	Páramo herbáceo pierde, páramo seco lo reemplaza
Ph a Su	1.43	4.41	Páramo herbáceo pierde, suelo de uso agropecuario lo reemplaza
Ph a Mo	1.17	1.89	Páramo herbáceo pierde, mosaico agropecuario lo reemplaza
Ps a Pl	-0.42	-0.75	Páramo pajonal pierde, plantaciones no lo reemplaza
Ps a Ps	-11.32	-0.67	Páramo pajonal pierde, páramo herbáceo no lo reemplaza
Ps a Su	0.46	1.36	Páramo pajonal pierde, suelo de uso agropecuario lo reemplaza
Ps a Mo	0.96	1.49	Páramo pajonal pierde, mosaico agropecuario lo reemplaza
Mo a Su	0.38	33.57	Mosaico agropecuario pierde, suelo de uso agropecuario lo reemplaza

Donde:

Pl - Plantaciones

Ph - Páramo herbáceo

Ps - Páramo de pajonal

Su - Suelo de uso agropecuario

Mo - Mosaico agropecuario

Ap - Área poblada

4.3.5. Vulnerabilidad al cambio

En la tabla 40 se presentan las áreas que poseen una mayor tendencia tanto a ganar y perder que persistir en el tiempo, por lo tanto son más vulnerables a los cambios que se pueden producir en el tiempo. En el caso de suelo de uso agropecuario y de mosaico agropecuario estas son las clases más vulnerables al cambio, en consecuencia al cambio existente en sus áreas, ya sea por el intercambio existente debido a que pueden o no estar cultivados los terrenos y porque como ya se demostró en las transiciones sistemáticas estas están

reemplazando superficies de otras clases. Por tal razón se incluyen dentro de las clases que más vulnerabilidad tienen a perder.

En función a lo antes mencionado se establece porque a pesar de haber ganado y perdido superficie tanto páramo herbáceo como páramo seco no presentan vulnerabilidad al cambio, ya que su superficie inicial pudo persistir en el tiempo sin presentar un cambio representativo. Lo que ocurre con plantaciones también es un claro ejemplo de la vulnerabilidad al cambio, al haber perdido la mayor parte de su superficie el valor obtenido presentando una mayor tendencia a perder.

Tabla 40.

Vulnerabilidad al cambio de las clases de cobertura y usos de suelo

Clases	Ganancias	Pérdida	Persistencia	gp	lp	np
Plantaciones	0.17	1.14	0.12	1.40	9.23	-7.83
Páramo herbáceo	6.38	18.25	28.76	0.22	0.63	-0.41
Páramo de Pajonal	15.94	8.07	40.80	0.39	0.20	0.19
Suelo de Uso Agropecuario	3.23	0.68	0.46	7.05	1.49	5.57
Mosaico Agropecuario	3.65	1.30	0.34	10.66	3.79	6.87
Área Poblada	0.12	0.06	0.02	6.16	3.03	3.13

4.4. Estrategias de conservación para la microcuenca del río Covertillo

El principal problema que se ha registrado dentro de la microcuenca del río Covertillo es el avance la frontera agrícola producto de la transformación de los ecosistemas nativos como el páramo en zonas productivas. Estas áreas han sido habitadas tradicionalmente y en la actualidad por comunidades indígenas y campesinas, en su mayoría las personas son propietarios de pequeñas parcelas destinadas a la agricultura y la ganadería. En algunos casos también alquilan sus predios o su trabajo.

La presencia de los pobladores y el uso que le dan a los recursos naturales ha hecho que muchos de los paisajes de páramo, que anteriormente estaban cubiertos por pajonales o extensos humedales se hayan convertido en paisajes rurales. Estos se caracterizan por ser una mezcla de potreros, cultivos, parches de bosque nativo, pajonales y cuerpos de agua. Las estrategias de conservación son elementos que se deben implementar en el territorio o que

se introducen con el propósito de conservar la biodiversidad y la producción de servicios ecosistémicos, a la vez que mejoran los sistemas productivos y las condiciones de vida de las comunidades.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis multitemporal, los ecosistemas nativos están perdiendo superficie a favor de las actividades antrópicas. Estos indicaron que durante el periodo de estudio en la microcuenca se ha perdido 254.64 ha de páramo herbáceo y páramo de pajonal que representan 36,3 ha por año. De mantenerse esta tendencia en unos 5 años las pérdidas de estos ecosistemas no serían representativas pero si al largo plazo como en unos 50 años, donde ya se estaría hablando de unas 1800 ha. Por lo que estos datos en la actualidad no deberían considerarse como una noticia alentadora o que sea motivo para no tomar acciones en post de la conservación, sino que representan una oportunidad de evitar que estos números se incrementen y se busquen las mejores alternativas para la protección de los ecosistemas nativos.

A continuación se propone las siguientes estrategias de conservación dirigidas principalmente a las comunidades que forman parte de la microcuenca en post de concientizar la importancia de los páramos y mejorar su manejo.

4.4.1. Recuperación y conservación de ecosistemas nativos

Estas prácticas deben ser dirigidas a los lugares que han sido intervenidos y que forman parte de las zonas de transición con los ecosistemas nativos. Poder implementar prácticas de recuperación y conservación dentro de las comunidades es muy importante ya que de esta forma se envía un mensaje de conciencia ambiental a los pobladores que no quisieran adherirse a esta iniciativa o a las comunidades vecinas que se encuentran fuera de la microcuenca. El principal objetivo de implementar este tipo de medidas es impedir que nuevas áreas sean intervenidas así como recuperar áreas degradadas.

4.4.1.1. Áreas de protección municipales

Las áreas protegidas son reconocidas mundialmente como la principal estrategia para la conservación de la diversidad biológica o biodiversidad. Al mismo tiempo, estas contribuyen al bienestar humano y a la reducción de la pobreza, puesto que ayudan a conservar los

recursos naturales y a mantener los servicios ambientales que sustentan la vida de millones de personas. En efecto, no solo contribuyen a conservar ecosistemas, especies y diversidad genética sino que también proporcionan múltiples servicios ambientales para las poblaciones rurales y urbanas, tales como: protección y regulación de recursos hídricos, regulación del clima, protección de los suelos, prevención de desastres naturales, protección de la belleza paisajística y provisión de atractivos naturales y culturales, y conservación de espacios para expresiones religiosas y espirituales.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados y en particular los municipios cumplen un papel fundamental en los procesos de planificación y ordenamiento territorial a nivel local y regional. Un componente importante en dichos procesos es la identificación, delimitación y manejo de los espacios naturales que aseguren la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ambientales que contribuyen al bienestar de las presentes y futuras generaciones. Por lo tanto está dentro de sus deberes buscar los medios necesarios para poder llegar a las comunidades que son dueñas de la superficie que conforma principalmente la parte alta de la microcuenca, con propuestas firmes como proyectos agropecuarios que permitan optimizar la producción de los terrenos que se utilizan en la parte baja y así lograr que entreguen sus terrenos para conformar un área protegida municipal o a su vez se interesen por la conformación de una comunitaria.

En una primera etapa se deberá considerar la zona media de la microcuenca para declarar áreas de protección (Figura 29). Esto debido a que es una superficie de transición entre las áreas productivas y los ecosistemas nativos, así las áreas de protección si irán creando en las zonas donde se tenga una mayor problemática en lo referente al cambio de uso de suelo. Además, se protegerá la zona alta de la microcuenca, para que posteriormente en una segunda etapa estas también puedan ser tomadas en cuenta.

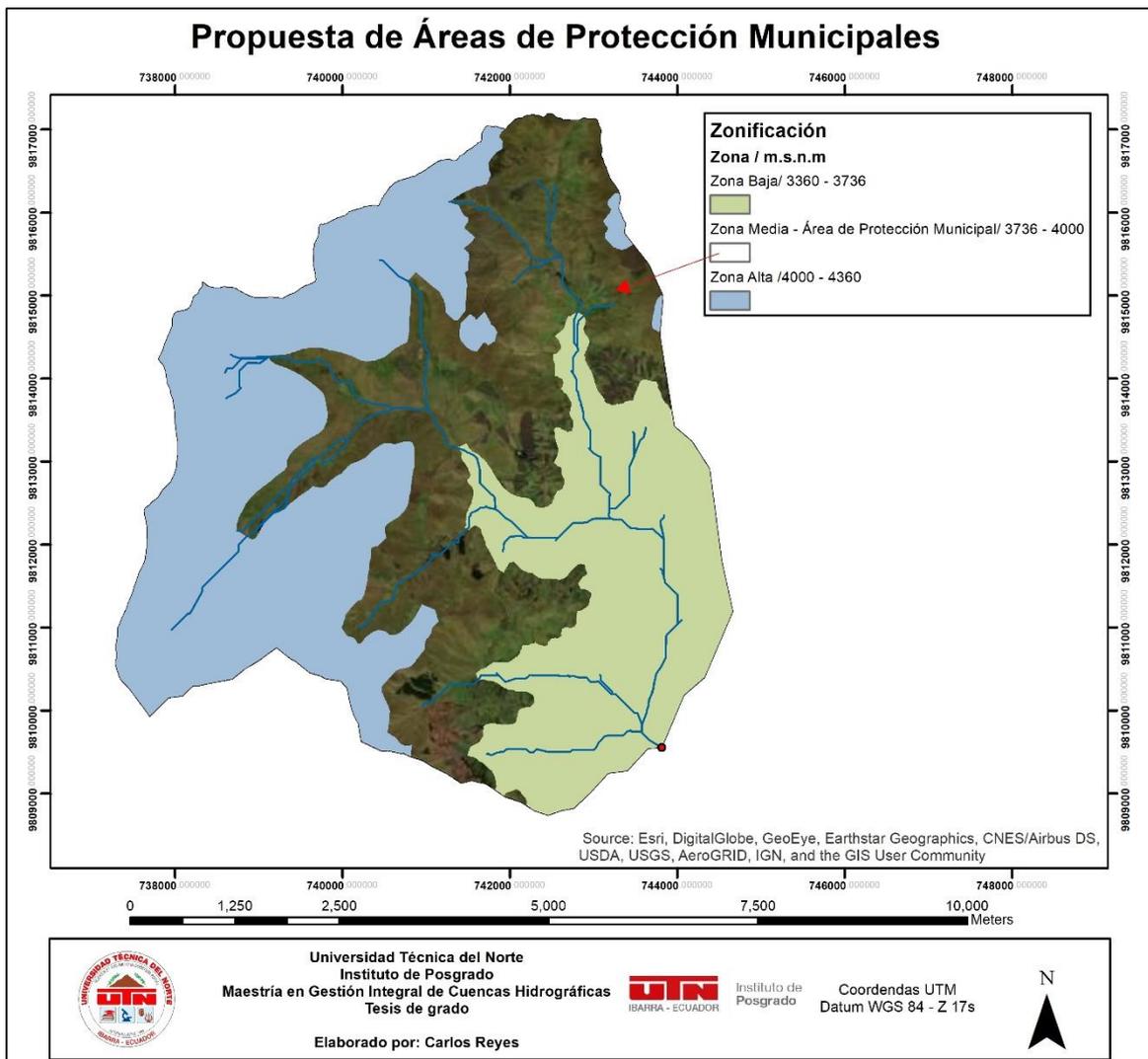


Figura 29. Propuesta para la creación de Área de Protección Municipales

Además, la Constitución del Ecuador y el Plan Estratégico del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) respaldan estas iniciativas estableciendo las pautas necesarias para la conformación de un subsistema autónomo descentralizado de áreas protegidas. Específicamente, el artículo 405 de la Constitución indica que el SNAP debe estar integrado por 4 subsistemas: el estatal, el de Gobiernos Autónomos Descentralizados (consejos provinciales, gobiernos municipales, juntas parroquiales y distritos metropolitanos), el comunitario y el privado. Adicionalmente, el artículo 376 otorga potestad a los municipios para expropiar, reservar y controlar áreas para el desarrollo futuro, de conformidad con la ley.

4.4.1.2. Protección de drenajes y quebradas

Al comparar los mapas de usos de suelo y la red hídrica de la microcuenca se observó que en la parte alta no existen áreas intervenidas cerca de la red. A partir de la zona media y en especial en la zona baja es donde más cambios de uso de suelo se encontraron, principalmente los páramos se transforman en zonas de pasturas y cultivos y están cerca de la red hídrica de la microcuenca.

Para estas zonas la colocación de vegetación nativa en los límites de las quebradas y ríos es una herramienta de manejo esencial, pues favorece la conectividad biológica del territorio. Esto sucede gracias a que los drenajes naturales se distribuyen a lo largo y ancho del paisaje rural, además, debido a las condiciones del terreno que presentan fuertes hondonadas y pendientes es posible mantener esta vegetación protectora.

En las zonas de transición del páramo estas prácticas permiten aislar el paso del ganado hacia las fuentes hídricas y que nuevas áreas de páramo sean intervenidas, el hecho de que las personas puedan visualizar que nuevas áreas están siendo intervenidas les da la idea que ellos también pueden avanzar a pesar de que no tengan la necesidad de hacerlo. Además, es un aporte preventivo, ya que se puede disminuir la posible contaminación producto del pastoreo que se lo realiza hasta el borde de ríos y quebradas.

4.4.1.3. Restauración de áreas degradadas.

La restauración de áreas degradadas puede darse mediante el establecimiento de especies pioneras que permitan la generación de un nuevo bosque o dejando el área sin ningún uso, para permitirle que inicie un proceso de regeneración natural. Para esto se propone las siguientes alternativas:

- Cercar el área que se quiere recuperar para evitar que entre el ganado u otros animales domésticos y facilitar un proceso de regeneración natural sin intervención humana.
- Sembrar o trasplantar árboles o arbustos que permitan la recuperación del suelo y que sirvan de pioneras, capaces de adecuar las condiciones del suelo para el desarrollo de otras especies vegetales características de bosques más maduros.

Caranqui (2017) menciona a las siguientes especies como idóneas para procesos de reforestación en ecosistemas de páramo: *Alnus acuminata* Kunth, *Buddleja incana* Ruíz & Pav, *Podocarpus sprucei* Parl, *Gynoxys hallii* Hieron y *Polylepis reticulata* Hieron.

4.4.2. Educación ambiental

Al ser las actividades agropecuarias la principal causa de la pérdida de los ecosistemas nativos es evidente la necesidad de comenzar un proceso de creación de conciencia ambiental entre los usuarios de los recursos naturales y grupos de interés cuyo accionar es determinante para los procesos de conservación del área. Todo esto con la finalidad de propiciar la participación de diversos actores en los procesos de educación ambiental y crear un sentido de apropiación y de valoración de los recursos naturales.

Para el desarrollo de la actividad educativa se debe abordar las temáticas seleccionadas con un predominio de técnicas participativas que posibiliten el intercambio de conocimiento entre los participantes. Estas deben tener una concepción teórica y práctica para facilitar los procesos de aprendizaje, donde los participantes sean los principales protagonistas. El principal objetivo de la educación ambiental es facilitar la adquisición de conocimientos, aptitudes, actitudes, valores y motivaciones que permitan a las personas participar responsable y eficazmente en la prevención y solución de los problemas ambientales.

Las temáticas que conforman la propuesta deben ser trabajadas de forma dinámica, flexible y creativa, además de ser diseñadas para tener un desarrollo participativo y colaborativo a través de talleres que serán dirigidos no solo a las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca, sino también a todas las que colindan y hacen uso de los recursos naturales.

4.4.2.1. Temáticas para abordar en las charlas de educación ambiental

Las actividades de educación ambiental tienen que estar lideradas en una primera instancia por el GAD Cantonal, ya que este tipo de estrategias no solamente deben estar direccionadas a las comunidades o instituciones educativas que se encuentran dentro de la microcuenca. Si no que se debe direccionar a toda la población, para esto es conveniente generar una sola propuesta de educación ambiental que posteriormente debe ser socializado a los GAD's parroquiales y estos a su vez coordinar con los líderes comunitarios para buscar espacios

donde se pueda impartir las temáticas. En el caso de las instituciones educativas es necesario coordinar con el Ministerio de Educación con la finalidad de solicitar las autorizaciones correspondientes para poder ingresar en las unidades educativas.

A continuación se plantean las temáticas que pueden ser abordadas en las charlas de educación ambiental (Tabla 41):

Tabla 41.

Temáticas para charlas de educación ambiental

Temática	Objetivo
Importancia de la conservación del patrimonio natural	Valorar la importancia del patrimonio natural para la vida en la tierra a través del análisis de láminas que representen sus diferentes usos y proporción en el planeta. De esta forma se fortalecerá la responsabilidad en el cuidado de este recurso natural.
Incendios Forestales causas y consecuencias	Identificar las principales causas y consecuencias que provocan los incendios forestales en los recursos naturales a través de la reflexión grupal. Para esto se puede utilizar un árbol de problemas participativo que permita a todos los participantes aportar con sus ideas.
Legislación ambiental vigente	Capacitar a las comunidades sobre la legislación actual vigente “Código Orgánico Ambiental”, haciendo hincapié en los artículos relacionados al cuidado de los ecosistemas nativos y las sanciones que trae consigo si estas áreas son intervenidas.

4.4.3. Apoyo a actividades de quema controlada

La quema de pajonales por parte de las comunidades es un problema que afecta a toda la sierra centro del país. Las razones son varias una de las principales es la conversión de la cobertura vegetal del páramo en áreas pastoreo, problemas de incendios, también se han registrado en escenarios de disputas de tenencia de la tierra. Sea como fuere el caso la mayor problemática es cuando los incendios se salen de control y abarcan varias hectáreas de superficie, más de lo que en teoría necesita la gente para sus actividades. Esto hace que no solo los interesados lleguen con su ganado si no que gente aledaña también lo haga y con muchas probabilidades que ellos también quieran abarcar más área sea para la implementación de cultivos o para la ganadería.

El escenario ideal consiste en la sustitución gradual del uso del fuego en las prácticas agropecuarias, pero actualmente, existen pocas alternativas económicas y ambientalmente sustentables que sean ampliamente difundidas. Además, el uso del fuego es una práctica cultural e histórica, lo que implica una gran resistencia al empleo de nuevas técnicas. Como una medida a corto plazo, aún es necesario considerar el apoyo a las quemas controladas.

La quema controlada se debe realizar siempre que ésta tenga por fin uno o más de los siguientes objetivos:

- Quema de rastrojos.
- Quema de ramas y materiales leñosos en terrenos aptos para cultivos.
- Requemas para siembras inmediatas.
- Quemas de zarzamora u otra vegetación cuando se trata de construir y limpiar vías de comunicación, canales o cercos divisorios.
- Quemas de especies vegetales consideradas perjudiciales.
- Quemas en terrenos de aptitud preferentemente forestal y con el fin de habilitarlos para cultivos silvoagropecuarios o con fines de manejo silvícola.

4.4.4. El pago por servicios ambientales (PSA) como estrategia de conservación

Dentro de las varias aristas que abarca la problemática presente entre las comunidades y las entidades públicas como GAD cantonales, prefecturas y ministerio como el de ambiente o el de agricultura y ganadería al momento de buscar que el avance de la frontera agrícola disminuya se presenta una pregunta recurrente por las comunidades ¿Si no podemos utilizar nuestro terreno de que vamos a vivir? Alternativas para responder esta premisa las hay, los gobiernos de turno han planteado e implementado varios programas en post de ayudar al campesino para mejorar su producción sea esta agrícola y ganadera, optimizando y potenciando el uso de sus tierras. El inconveniente radica en que por más buenas intenciones que tengan las autoridades dichos programas no llegan a toda la población o su implementación es solo superficial. Por lo que más alternativas son requeridas a la hora de proteger los ecosistemas nativos.

Dentro de este contexto entran los programas de PSA, los cuales buscan que los habitantes del páramo transformen su método de producción a un sistema agroecológico que no genere impacto negativo en los recursos naturales y aporte en la recuperación y conservación de la

diversidad biológica del ecosistema. El pago por servicios ambientales PSA es la estrategia de conservación que ha tomado importancia en las dos últimas décadas, y a raíz de ello los territorios de páramo se han convertido en el foco de los programas que por medio del PSA han promovido cambios en el uso de la tierra como la forestación y la reducción de la quema, el pastoreo de ganado ovino en lugar del bovino, así como una reducción de la actividad agrícola.

4.4.4.1. Programas Socio Bosque

Uno de los programas más representativo de pago por servicios ambientales lo instituyó el gobierno ecuatoriano en 2008, el Programa Socio Bosque es un esfuerzo por incentivar la conservación de los ecosistemas de propiedad privada. El éxito del programa Socio Bosque se debe que tiene un diseño relativamente sencillo, una alta transparencia con la cual pudo comunicar y socializar el programa a la población rural con diferentes niveles de educación.

Los elementos claves del diseño son el carácter voluntario del programa, la duración de los acuerdos de conservación por 20 años después de los cuales son renovables, niveles de incentivos basados en el tamaño del área de conservación, y el establecimiento de prioridades espaciales nacionales sobre la base de la amenaza de la deforestación, la importancia de los servicios de los ecosistemas, el reconocer los niveles de pobreza en las comunidades locales, la voluntad política y el mandato fueron trascendentales para la creación del programa, así como la existencia de experiencias locales en procesos de conservación.

El programa Socio Bosque por todas sus características es una gran opción que deber ser socializada a los miembros de las distintas comunidades que forman parte de la microcuena. Sobre todo en las que se registre un mayor nivel de pobreza, de esta forma a más de cuidar los páramos se podrá ayudar a la gente donde los recursos y otros programas gubernamentales aún no han llegado. Dentro del cantón Colta existen varios socios que forman parte del programa tanto individuales como colectivos, en lo que respecta al caso específico de la parroquia la comunidad Guacona San Isidro con 819 ha forman parte del programa, se debe recalcar que esta área bajo conservación se encuentra colindando con la microcuena. Se debería organizar una reunión de trabajo entre la comunidad Guacona y las comunidades que forman parte de la microcuena con la finalidad de compartir las

experiencias vividas en el programa. De esta forma se puede llegar a un conceso entre las comunidades para poder postular a formar parte del programa, de acuerdo con los técnicos del Programa Socio Bosque de la Zonal Chimborazo cada inicio de año se recepta nuevos postulantes para ser considerados dentro de Socio Bosque.

4.5. Discusión

Williams y Ettore (2005) indican que estudios integrales en cuencas hidrográficas permiten interpretar y entender su comportamiento hidrológico y morfodinámico, además de inferir cuantitativamente su estructura y características. En este contexto la microcuenca del río Covertillo tiene un área total de 40.97 km² y un perímetro de 27.77 km de acuerdo con Guerra et al. (2002) este valor representa una microcuenca de tamaño pequeño. El factor de forma obtenido es de 0.66, Cerignoni y Rodrigues (2015) indican que este valor representa una forma ensanchada con una tendencia media a las crecidas, debido a que el río principal es más pequeño que sus afluentes secundarios.

Lo antes mencionado está en concordancia con el coeficiente de compacidad calculado - 1.21, valor característico de una microcuenca con forma oval donde las crecientes generadas se producirán con una mayor coincidencia, debido a que las acumulaciones de flujo de todos los afluentes de la cuenca serán similares (Cardona, 2012). En lo referente a la susceptibilidad de la microcuenca a generar crecidas, se revisó las zonas de deyección de estas con la imagen satelital del año 2018 y se determinó que no existen áreas pobladas circundantes a estas que puedan verse afectadas por las posibles crecientes que se producirán en la época invernal.

Los parámetros de relieve generados permitieron evaluar el relieve de la microcuenca desde la cota más elevada aguas arriba y la cota más baja aguas abajo (Rodrigues et al., 2013). El análisis de valores como la curva hipsométrica y la pendiente media en conjunto con el cálculo de la pendiente permiten describir como la superficie de la microcuenca responderá a la acción del agua. Mientras el relieve sea más desigual o abrupto la superficie será susceptible a los procesos de erosión (Meza et al., 2014).

La pendiente media para la microcuenca es de 31.74% la cual se desarrolla entre los 3360 msnm y 4360 msnm. Según Zhicay (2020) este porcentaje representa una pendiente “*Muy Fuerte*”, lo que ocasiona una disminución en la duración de los tiempos de concentración de

la escorrentía en la red hídrica, favoreciendo a la escorrentía superficial. En el caso de la curva hipsométrica la forma obtenida indica que la microcuenca se encuentra en una etapa geológicamente joven (Meza y Martínez, 2010). Además, en el caso de Guerra y González (2002), los autores indican que la superficie de esta son zonas en las cuales predominan la producción de sedimentos y agua. Esto se ve reflejado en una mayor susceptibilidad al desplazamiento de las capas del suelo, zonas con una mayor superficie compuesta de pendientes altas presentan procesos erosivos continuos (MinAmbiente, 2014).

La pendiente como tal no se considera como un parámetro morfométrico pero su generación permite tener una idea clara de cómo se distribuye el relieve en la superficie de la microcuenca. Esta se caracterizó por tener una superficie amplia formada por pendientes *muy fuertes*, abarca un 59.66% del total. En este caso las pendientes fuertes (escarpado y muy escarpado) representan 645 ha, mientras que los suelos agrícolas (suelo de uso y mosaico agropecuario) tienen una superficie de 315 ha. Al realizar una intersección entre estas áreas se determinó que 45 ha de suelo agrícola se encuentra en superficies con pendientes fuertes.

Estas áreas se presentan producto de las actividades que realizan las comunidades que habitan en la zona, generalmente transforman grandes áreas de páramo para la implementación de cultivos y ganadería (Daza et al., 2014). Por ejemplo, durante el periodo de transición para el siguiente cultivo estas zonas quedan desprovistas de una cobertura vegetal, por lo que, si este periodo de tiempo coincide con las temporadas de lluvia o vientos fuertes, dará lugar a una aceleración en la pérdida de la capa productiva de los suelos.

En lo referente a la estructura de la red hídrica los parámetros de drenaje permiten describir cómo se constituye el cauce principal y sus afluentes, la forman en la cual se encuentran conectados influyen en la respuesta de la microcuenca a las precipitaciones (Camino et al., 2018). Esta se encuentra conformada por cuatro niveles de jerarquía con una distribución dendrítica (Leonardo, 2014). La relación de bifurcación de la cuenca es de 3, de acuerdo con Summerfield (1991) citado por Camino, et al. (2018) la red hídrica es homogénea, y se presenta en zonas montañosas (Campo et al., 2012).

La densidad de drenaje obtenida fue de 0.92. Este valor se encuentra dentro del rango establecido en el apartado metodológico que es de $\leq 0.6 \text{ km/km}^2$ a $Dd > 3 \text{ km/km}^2$, acercándose a 0.6 por lo que se considera que la cuenca posee un drenaje deficiente en momentos de fuertes precipitaciones (Rivas et al, 2013). Esto concuerda con lo establecido

por Junco (2004) quien indica que una cuenca posee una densidad de drenaje baja cuando el valor calculado se encuentra en el rango de 0.1 a 1.8.

Los parámetros morfométricos calculados en conjunto con el análisis de las transiciones de la microcuenca del río Covertillo para los años 2011 y 2018, permitieron identificar el comportamiento de las coberturas vegetales y usos de suelo a través del tiempo, tanto de manera individual como las interacciones que se pueden producir entre estas. Pinos (2016) indica que este tipo de estudios permiten determinar las consecuencias generadas por el agotamiento de la biodiversidad producto de las actividades antrópicas.

Llegar a determinar las transiciones dentro de la microcuenca requirió que varios procesos sean llevados a cabo de forma correcta, para evitar obtener datos erróneos que no reflejen la realidad del área de estudio. Fonseca y Gómez (2012) mencionan que diferentes investigaciones han sido realizadas a partir de imágenes satelitales con el objetivo de implementar un análisis multitemporal, esto les permitió evidenciar los cambios de cobertura vegetal y usos de suelo sin importar que sean una consecuencia de los fenómenos naturales o de las actividades antrópicas.

El primer proceso implementado fue el de clasificación supervisada con el cual se identificó las coberturas vegetales y usos de suelo en las imágenes satelitales (Willington et al., 2013). Para esto primero se generó y analizó las áreas de entrenamiento creadas. Se alcanzó un alto nivel de semejanza para las áreas generadas de cada una de las clases identificadas, el coeficiente de variación calculado para los años 2011 y 2018 fue cercano a 0, de acuerdo con Galindo (2015) estas áreas son homogéneas. Esta homogeneidad alcanzada en cada una de las clases se debe a que cada área identifica presentó una respuesta espectral similar (Ramarius, 2017).

El análisis antes mencionado permitió que al momento que se realice la comparación entre clases se pueda alcanzar valores cercanos a 1 al momento de calcular su coeficiente de variación, en este caso las clases son heterogéneas tanto para la imagen 2011 y 2018 (Galindo, 2015). El valor obtenido se ratificó con el análisis de separabilidad de las clases, el cual indicó que para la imagen del 2011 y 2018 se alcanzó una buena separabilidad con valores que están en el rango de 1.9 – 2. Los valores obtenidos para la matriz confusión son mayores al 80% para los raster generados, por lo tanto y en función a lo dicho por Chuvieco (2002) citado por Rullán et al. (2011), esta información pueda ser utilizada en el análisis multitemporal y para la edición de cartografía temática.

Todos los procesos antes mencionados permitieron que al momento de implementar el algoritmo de clasificación se pueda alcanzar resultados satisfactorios, diferenciando de forma correcta las coberturas vegetales y usos de suelo identificados en la microcuenca. Lo antes mencionado concuerda con lo expuesto por Chica-Olmo y Ruiz (2004), quien menciona que un correcto análisis de las clases en función a los parámetros radiométricos de los píxeles que conforman las áreas de entrenamiento se reflejara en los resultados obtenidos por el algoritmo clasificador.

El algoritmo de máxima verosimilitud fue seleccionado para finalizar el proceso de clasificación, esta selección se vio sustentada en lo dicho por Gutiérrez (2010). El autor menciona que dicho algoritmo permite obtener resultados con valores “*muy buenos*” de precisión. De la misma forma Nolasco et al. (2014) indican que el algoritmo es idóneo para clasificar coberturas vegetales y usos de suelo, alcanzando índices muy buenos de precisión. Los resultados obtenidos ratifican los antes mencionados, en el caso de la imagen del 2011 se alcanzó una exactitud del 100% y el coeficiente kappa indicó que la clasificación es “*casi perfecta*” con un valor de 1. Para la imagen del año 2018, la matriz de confusión presentó una exactitud del 99% y un coeficiente kappa de 0.9 para un nivel de clasificación de “*casi perfecta*”. Este nivel de exactitud permitió determinar de una manera más precisa los cambios que se han producido en el periodo de tiempo en estudio.

La matriz de transición que se obtuvo a partir del cruce de las clases de cobertura vegetal y uso de suelo obtenido de las imágenes satelitales de los años 2011 - 2018 arrojó resultados coherentes y lógicos. Como lo expone Osuna et al. (2015) el uso correcto de las herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite evidenciar los cambios existentes en el territorio, además de comprender por qué ocurren estos. Transiciones amplias como el cambio existente entre el páramo de pajonal y el páramo herbáceo se pudieron identificar de forma clara, así como cambios más pequeños que ocurren con las plantaciones, las cuales fueron aprovechadas para el año 2018. Las transiciones que representa el avance de la frontera agrícola como el cambio de páramo herbáceo o de pajonal a mosaico agropecuario o suelo de uso agrícola de igual forma se pudieron distinguir dentro el mapa obtenido. Condori et al. (2018) exponen que este tipo de cambios es factible identificarlos a partir de un análisis multitemporal.

Un caso especial se registró dentro del proceso de clasificación y posterior cruce de información de los raster obtenidos con áreas pobladas. Dentro del área de estudio y al

realizar un primer análisis a partir de la información cartográfica que posee la plataforma Google Earth se pudo observar que estas áreas representan una pequeña extensión dentro del territorio y una distribución dispersa. En imágenes de alta resolución como las de la plataforma es más factible poder distinguir el cambio existente en un periodo de tiempo determinado, esto no ocurre con las imágenes Landsat que a pesar del proceso de panshering (pixel 15 x 15 m) implementado no fue posible distinguir todas las construcciones nuevas que se han dado en el área de estudio. Lo que ocurrió con esta clase coincide con lo expuesto por Mendoza y Sánchez (2015), quienes indican que para discriminar área urbanas dispersas se requiere superar varios inconvenientes derivados de las limitaciones en la resolución temporal y espacial de las imágenes satelitales.

Lo antes mencionado ocurre debido a que cada píxel tiene un área de cobertura de 225 m² que puede abarcar o no la presencia de nuevas construcciones, por lo que para esta clase se optó por ser más específicos al momento de seleccionar las áreas de entrenamiento con la finalidad de evitar que el software presente confusiones al momento de diferenciar cada uno de los pixeles que conforman la imagen. Sobre todo, pixeles que compartan información espectral tanto del área poblada como del mosaico agropecuario o las clases que son colindantes. Toro y Lizarazo (2012) mencionó en su trabajo investigativo que las coberturas vegetales presentaron problemas de mezcla espectral con las áreas urbanas, por lo que no se clasificaron en su totalidad, ya que se presentó confusión con las construcciones.

Esta particularidad se reflejó en el total del área que se registró para esta clase que fue baja, además, de forma visual se pudo evidenciar que las superficies más pequeñas no fueron registradas. Se aceptaron los resultados ya que estos problemas no son aislados de los procesos de clasificación, como lo indican Conde et al. (2009) dentro las metodologías de caracterización de un paisaje se puede tener errores producto de la resolución espacial, de la extensión del paisaje y/o de la identificación de las categorías de clasificación. Esto se subsanó con los procedimientos implementados previo al proceso de clasificación, tanto la matriz de confusión como el coeficiente kappa indicaron que los pixeles se encontraron bien diferenciados. Además, entre los dos años se pudo observar un incremento de la superficie de esta clase, este fue un indicativo que para el año 2018 se pudo registrar nuevas construcciones.

El análisis de las transiciones en función de las ganancias y las pérdidas reflejaron un problema latente en la región interandina “*el avance de la frontera agrícola y la pérdida de*

los ecosistemas nativos” el cual se registró en la parte baja de la microcuenca. Lo antes mencionado concuerda con lo expuesto por Peralvo y Cesta (2014) quienes manifiestan que en la mayor parte de los casos, las superficies transformadas de páramo se ubican en la zona baja de estos. Dentro de la microcuenca este avance no representó una superficie muy extensa si consideramos cuanto ha ganado tanto mosaico agropecuario como suelo de uso agropecuario. Un primer análisis indicaría que dentro del área de estudio este no es un problema relevante o de consideración, si solo se considera los resultados obtenidos en la matriz de transición, que es hasta donde llegan muchos trabajos investigativos. Esto se encuentra en la línea de lo expuesto por Versace et al. (2008) quien indica que al momento de calcular solo la superficie y ubicación de los distintos tipos de suelo se pasa por alto las transiciones aleatorias y sistemáticas que pueden influenciar las condiciones y la dinámica del área en estudio. Este es un punto de inflexión al momento de presentar las conclusiones a las que se ha llegado, ya que estas podrían llegar o no a reflejar la realidad de un área en específico.

Esta incertidumbre se reduce considerablemente al momento realizar un análisis más minucioso en los resultados obtenidos, metodologías como la propuesta por Pontius (2004) permiten alcanzar una mayor profundidad al momento de analizar los cambios de cobertura vegetal y usos de suelo. A partir del análisis de las transiciones propuestas por el autor tanto para las ganancias como las pérdidas, se pudo determinar que páramo herbáceo y paramó de pajonal están perdiendo su superficie y está siendo remplazada por mosaico agropecuario y suelo de uso agrícola.

Al ser estas transiciones sistemáticas y significativas se puede concluir a partir de datos más específicos que a pesar de que este avance no es muy notorio en términos de superficies netas, si representa ya un problema a ser considerado y que requiere de medidas para evitar que este continúe, ya que se trata de ecosistemas nativos y sobre todo son zonas de recarga hídrica que dan lugar al río Covertillo. Esta afirmación va en concordancia a lo expuesto por Manandhar et al. (2010) quien manifiesta que la determinación de las transiciones sistemáticas ayuda al investigador a poner más atención en los procesos de cambio que tienen una mayor intensidad en la superficie.

CONCLUSIONES

- En la microcuenca del río Covertillo, el cambio de uso de suelo aún no se ha convertido en un problema relevante debido a que los páramos que la conforman no han disminuido su porcentaje de cobertura de forma considerable. Para el año 2011 el suelo de uso agropecuario y el mosaico agropecuario representaron el 1.1% y el 1.7% del total de la superficie, estos se incrementaron al 3.7% y 4.0% respectivamente en el 2018.
- La microcuenca del río Covertillo está conformada por una superficie pequeña (40.97 km²), su forma es ensanchada propensa a las crecidas, debido a que el cauce principal es más pequeño que sus afluentes secundarios. Las crecientes generadas se producirán con una mayor coincidencia, ya que los tiempos de concentración de todos los afluentes de la cuenca serán similares. De acuerdo con la imagen del 2018 no existen áreas pobladas en las zonas de deyección que puedan verse afectadas por las posibles crecientes.
- El proceso implementado de clasificación supervisada se realizó de forma correcta. Se obtuvo una precisión del 100% y un índice kappa de 1 (casi perfecta) en el año 2011, para el 2018 estos valores fueron de 98.30% y 0.9709 (casi perfecta). Los porcentajes alcanzados permiten usar la información cartográfica generada como un insumo en la gestión ambiental.
- Las transiciones en función de las ganancias y las pérdidas reflejaron que existe una disminución de los ecosistemas nativos, el cual se registró en la parte baja de la microcuenca. A pesar de que las transiciones son sistemáticas y significativas este avance no es muy notorio en términos de superficies netas, pero si representa un problema a ser considerado, ya que se trata de zonas de recargar hídrica.
- Las estrategias de conservación propuestas para la microcuenca del río Covertillo son las siguientes: Recuperación y conservación de ecosistemas nativos (área de protección municipales, protección de drenajes y quebradas, restauración de área degradadas), educación ambiental, apoyo a actividades de quema controlada y el pago por servicios ambientales (programa socio bosque)

RECOMENDACIONES

- Ampliar el estudio realizado a todo el cantón Colta, ya que el mismo está conformado por extensas zonas de recarga hídrica. Con la metodología implementada es posible saber de forma más exacta donde la pérdida de los ecosistemas nativos es significativa, y de esta forma poder focalizar las estrategias de conservación en los lugares que así lo requieran.
- La información cartográfica generada puede ser usada como base para futuras investigaciones que complementen el trabajo realizado. Mediante el uso de redes neuronales artificiales empleando el módulo Land Change Modeler es posible realizar una proyección para el año 2030 o 2040 de como cambiaran los usos del suelo y las coberturas vegetales. De esta forma se puede tener una idea más clara sobre la gestión del territorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural*, 361-374.
- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2014). 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*, 39-59.
- Altamirano, A., & Lara, A. (2010). Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. *Bosque*, 53-64.
- Ángel, Y. (2012). *Metodología para identificar cultivos de coca mediante análisis de parámetros red edge y espectroscopia de imágenes*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://bdigital.unal.edu.co/7566/1/7795080.2012.pdf>
- Arango, M., Branch, J., & Boreto Verónica. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: "LandSat - ETM+". *Revista de la Facultad Nacional Agraria*, .2611-2634.
- Araque, L., & Jiménez, A. (2009). Caracterización de firma espectral a partir de sensores remotos para el manejo de sanidad vegetal en el cultivo de palma de aceite. *Palmas*.
- Aspinall, R. (2006). *Journal of Land Use Science*. 1-4.
- Baez, C. (2018). *Análisis geomorfológico y tectónico para la determinación de los factores condicionantes en la producción de sedimentos de la subcuenca hidrográfica del río salado*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19058>
- Bautista, C., Etchevers, B., Del Castillo, R., & Gutieérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *En Revista Científica y Técnica de Ecología y Medioambiente*.
- Braimoh, A. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1-4.

- Camacho, M. (2013). Los Páramos Ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Anales de la Universidad Central del Ecuador*, 89-90.
- Camino, M., Bo, M., Cionchi, J., Del Río, J., López de Armentia, A., & De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 1852-4265.
- Campo, A., Aldaur, N., & Fernández, S. (2012). Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina. *Investigaciones geográficas*, 7-17.
- Cantu, M., Becker, A., Bedano, J., & Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencias del suelo*, 173-178.
- Cardona, B. (2012). *Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas*. Obtenido de Universidad de San Carlos de Guatemala: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Castillo, O. (2012). *Aplicación espectral y topológica en el procesamiento de imágenes satelitales*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://bdigital.unal.edu.co/9255/1/8309501.2012.pdf>
- Centeno, I. (2009). *Simulación hidrológica con sistemas de información geográfica de la cuenca del río Alseseca, municipio de Puebla*. Obtenido de Instituto Politécnico Nacional.
- Cerignoni, F., & Rodrigues, V. (2015). Análisis morfométrico de la microcuenca "C" núcleo Cunha, Sao Paulo, Brasil. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 355-366.
- Cervantes, E. (2014). *Clasificación de imágenes satelitales mediante el uso de Memorias Asociativas*. Obtenido de Instituto Politécnico Nacional: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17898/Clasificacion%20de%20imágenes%20satelitales%20mediante%20el%20uso%20de%20memorias%20asociativas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chica-Olmo, M., & Ruiz, J. (2004). Análisis geoestadístico de las áreas de entrenamiento en la clasificación digital de imágenes de satélite. *Revista de Teledetección*, 85-88.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. España: Ariel S.A.

- Chuvieco, E., Salas, F., Aguado, I., Cocero, D., & Riaño, D. (2001). Estimación del estado hídrico de la vegetación a partir de sensores de alta y baja resolución. *Revista internacional de ciencia y tecnología de la información geográfica*, 1-16.
- Chuvieco, S. (2006). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra*. Barcelona: Ariel.
- Conde, M., Perelman, S., & Cerezo, A. (2009). Efecto de diferentes métodos de clasificación de imágenes satelitales sobre índices de paisaje. *Revista de Teledetección*, 5-13.
- Condori, I., Loza, M., Mamani, F., & Soliz, H. (2018). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la subcuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 – 2014. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 25 - 26.
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (Cuarta ed.). Madrid: Mundi-Prensa Libros S.A.
- Coronado, L. (2002). *Comprobación de técnicas de procesamiento de imágenes del sensor remoto ETM+ de Landsat 7, en la identificación de Bosques Secundarios en la Región Huetar Norte de Costa Rica*. Obtenido de Instituto Tecnológico de Costa Rica: <https://core.ac.uk/download/pdf/60988725.pdf>
- Cruz, B., Gaspari, F., Rodríguez, A., Carrillo, F., & López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26-27.
- Daza, M., Hernández, F., & Alba, F. (2014). Efectos del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz- Colombia. *Facultad Nacional Agraria de Medellín*, 7189-7200.
- Domínguez, M. (2005). *Evaluación de la calidad de los suelos de laderas de Nandaime, a través de la identificación y uso de indicadores técnicos y locales*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria: <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp33d671.pdf>
- Duarte, F. (2014). *Diagnóstico de la microcuenca los Amates, Cuenca grande de Zacapa*. Obtenido de Universidad Rafael Landívar: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/03/Duarte-Favio.pdf>

- Duque, J. (2008). *Modelación cartográfica hidrológica de la cuenca hidrográfica del río la chimba para determinar la potencialidad del aprovechamiento del recurso agua mediante herramienta SIG en la cuenca y en el área de influencia del proyecto de riego Cayambe - Tabacundo*. Obtenido de Escuela Politécnica del Ejercito.
- EXELIS. (2014). *Radiance and scale factors background*. Obtenido de Harris Geospatial Solutions: <http://www.exelisvis.com/docs/BackgroundRadianceScaleFactors.html>
- Falcón, O. (2014). *Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, en una región del estado de quintana Roo, México*. Obtenido de Universidad Autónoma de México: <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0707773/0707773.pdf>
- FAO. (2002). *Agricultura mundial hacia los años 2015/2030*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s00.htm>
- Faustino, J., Jiménez, F., Velásquez, S., Francisco, F., Alpízar, F., & Prins, C. (2006). *Gestión integral de cuencas hidrográficas*. Obtenido de Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza: https://www.academia.edu/10270717/GESTI%C3%93N_INTEGRAL_DE_CUENCAS_HIDROGR%C3%81FICAS_CALI_COLOMBIA_17_AL_20_DE_OCTUBRE_DEL_2006_DOCUMENTO_DEL_CURSO_ELABORADO_POR
- Fonseca, J., & Gómez, S. (2012). *Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat caso de estudio: cambio de área laderas de la ciénaga de tumaradó parque natural los katíos*. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: <https://core.ac.uk/download/pdf/143448063.pdf>
- Galicia, L., García, A., Gómez, L., & Ramírez, M. (2007). El Cambio de uso del suelo como factor de degradación ambiental: una perspectiva geográfica. *Ciencia*, 50-59.
- Gamarra, S. (2017). *Análisis de la cobertura y usis de la tierra utilizando imágenes de resolución espacial media para el distrito de San Ramón*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria La Molina: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3292>
- García, J., & Mas, J. (2008). Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas*, 7-19.

- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 143 - 158.
- Geist, H., & Lambin, E. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience.*, 143-150.
- Geraldi, A., Piccolo, C., & Perillo, G. (2010). Delimitación Y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Investigaciones geográficas*, 215 - 225.
- González de Matuco, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E.N - N.º 38*, 311 - 329.
- González, J. (2009). *Evaluación de la calidad del suelo en la comuna de Buin mediante análisis de indicadores morfológicos y químicos en el marco de la expansión urbana de la ciudad compacta de Santiago*. Obtenido de Universidad de Chile: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-gonzalez_ju/pdfAmont/aq-gonzalez_ju.pdf
- Guerra, F., & González, J. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada la bermeja, San Cristóbal, estado de Táchira, Venezuela. *Geo enseñanza*, 88 - 108.
- Herrera, V. (2001). Estudio del crecimiento urbano de la ciudad de Valdivia (Chile) a través del uso integrado de imágenes de satélite, SIG y equipos de GPS. *Revista de Teledetección*, 1-9.
- INAMHI. (2015). *Generación de geo información para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000 "Cantón Colta"*. Obtenido de Sistema Nacional de información:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjU46X_qOnsAhWcIbkGHfMgADEQFjACegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fapp.sni.gob.ec%2Fsni-link%2Fsni%2FPDOT%2FZONA3%2FNIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL%2FC HIMBORAZO%2FCOLTA%2FIEE%2FMEMORIAS
- INEC. (2019). *Ecuador en cifras*. Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2019/Septiembre/201909_Mercado_Laboral.pdf

- INEM. (2005). *Funciones de la cuenca hidrográfica*. Obtenido de Instituto Nacional de Ecología Mexicano: <http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/conceptos.html>
- Jansen, L., & Di Gregorio, A. (2002). Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 89-100.
- Junco, F. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro*. Obtenido de Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas.: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2009/02/morfometria_pico_tancitaro.pdf
- Larson, W., & Pierci, F. (1994). The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. *En Soil Science Society of America N° 677*.
- Leonardo, A. (2014). *Caracterización de los sistemas y patrones de drenaje*. Obtenido de Caja de Herramientas de Hidrología para Pomcas: <https://sites.google.com/site/hydrotoolbox/fase-de-dianostico/hidrografia/caractericacion-de-los-sistemas-y-patrones-de-drenaje>
- Lima, M., Escobar, J., Massone, H., & Martínez, D. (2012). Modelación geoespacial exploratoria en cuencas de llanura: caso de aplicación en la cuenca del Arroyo Dulce, Buenos Aires, Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 51 - 65.
- Llambí, L., Soto, A., Rolando, C., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). Ecología, hidrología y suelos de páramos. *Proyecto Páramo Andino*, 21-22.
- López, E. (2006). *Patrones de cambio de uso del terreno en la Cuenca del Lago de Cuitzeo*. Obtenido de Universidad Autónoma de México.
- López, E., Bocco, G., Mendoza, M., & Duahu, E. (2001). Predicting Land-Cover and Land Use Change in the urban fringe A case in Morelia City, México. *Landscape and Urban Planning*, 271-283.
- Lux, B. (2013). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de Universidad de San Carlos de Guatemala: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/58750302/Conceptos_basicos_de_Morfometria_de_Cuencas_Hidrograficas_1.pdf?response-content-

disposition=inline%3B%20filename%3DConceptos_basicos_de_Morfometria_de_Cuen.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Am

Luzio, W., & Casanova, P. (2006). *Avances en el conocimiento de los suelos de Chile*. Chile: Servicio Agrícola y Ganadero.

MAE-MAGAP. (2015). *Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso del atierra del ecuador continental 2013-14*. Obtenido de Ministerio del Ambiente: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/USO%20DE%20LA%20TIERRA/01-METODOLOGIA_MAPA_COBERTURA_USO.pdf

Manandhar, R., Odeh, I., & Pontius Jr, R. (2010). Analysis of twenty years of categorical land transitions in the Lower Hunterof New South Wales, Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 336–346.

Martínez, C. (2018). *Caracterización hidrológica de la subcuenca del río Quirimán, en el cantón de Nicoya*. Obtenido de Instituto Tecnológico de Costa: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9884/caracterizacion_hidrologica_subcuenca_rio_quiriman_canton_nicoya.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mendoza, C., & Sánchez, E. (2015). Crecimiento urbano disperso en la frontera norte de México. Organización espacial y eficiencia de los patrones de crecimiento urbano en ciudad Juárez, Chihuahua. *STCTV Barcelona*, 107 - 108.

Mendoza, J. (2008). *Plan de Manejo y gestión de la subcuenca del río San Francisco*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria: <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp10z24.pdf>

Meza, D., & Martinez, L. (2010). *Análisis morfométrico de las cuencas de la red Mexlter: Estudio de diez cuencas a nivel nacional en México*. Obtenido de Universidad de Guadalajara: https://www.researchgate.net/publication/320334086_ANALISIS_MORFOMETRICO_DE_LAS_CUENCAS_DE_LA_RED_MEXLTER_ESTUDIO_DE_DIEZ_CUENCAS_A_NIVEL_NACIONAL_EN_MEXICO

MinAmbiente. (2014). *Planes de ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográfica*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca:

https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria.pdf

- Morales, J. (2015). *Obtención y clasificación de píxeles mezclados generados por regiones de transición en imágenes satelitales*. Obtenido de Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica: <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/236/1/MoralesCrJ.pdf>
- Nolasco, M., Willington, E., & Bocco, M. (2014). Clasificación del uso de suelo en agricultura a partir de series temporales de imágenes LANDSAT. *Congreso Argentino de Agro Informática*, 64-65.
- Ordoñez, J. (2011). *Cuenca Hidrológica*. Obtenido de Global Water Partnership: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Osuna, A., Díaz, J., Sánchez, J., Villegas Edgardo, Gallardo, J., & Davila, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Ambiente y Agua*, 351 - 352.
- PCIGeomatics. (2015). *Pan Sharpening en Geomática*. Obtenido de Geo Soluciones: <http://www.geosoluciones.cl/documentos/PCI-Geomatica/pdf/Pansharpening.pdf>
- PDOT. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Colta*. Obtenido de Sistema Nacional de Información: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660000520001_PDOT_COLTA_2014_15-03-2015_19-11-32.pdf
- Peralvo, M., & Cuesta, F. (2014). Conversión de ecosistemas altoandinos: vínculos entre patrones y procesos a múltiples escalas. En C. p. Andina, *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*.
- Perea, M., Oviedo, F., & Leal, J. (2019). Cartografía de bosques de manglar mediante imágenes de sensores remotos: estudio de caso Buenaventura, Colombia. *Revista de teledetección*, 77-78.

- Pierzinsky, G., Sims, J., & Vance, G. (2005). *Soil and Environmental Quality*. United States: Lewis publishers.
- Pineda, O. (2011). *Centro de Investigación en Geografía y Geomática*. Obtenido de Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago:
<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda%20Pastrana%2C%20Oliva-Maestra%20en%20Geom%C3%A1tica.pdf>
- Pineda de Carías, M., Flores, G., Castro, M., Jiménez, P., Reyes, G., López, E. (2015) Cambios importantes en la cobertura de la tierra y análisis de transiciones sistemáticas en un sector del occidente de Honduras. *Revista Ciencias Espaciales*, 8 (2), pp. 469-492.
- Pinos, N. (2016). Prospectiva del uso de suelos y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenca. *Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación Universidad de Cuenca*, 8 - 10.
- Pontius, R., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 251-268.
- Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo, O., & Méndez, M. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*, 83-91.
- Ramarius, S. (2017). *Análisis del impacto geo ambiental de pasivos ambientales aplicando sensoramiento remoto y firmas espectrales utilizando ENVI, provincia de Hualgayoc, Cajamarca*. Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca: <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1419/AN%c3%81LISIS%20DEL%20IMPACTO%20GEOAMBIENTAL%20DE%20PASIVOS%20AMBIENTALES%20APLICANDO%20SENSORAMIENTO%20REMOTO%20Y%20FIRMAS2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivas, D., Somarriba, M., Acuña, E., Umaña, E., & Noguera, Á. (mayo de 2013). *Estudio de caracterización biofísica y socioeconómica en cinco microcuencas del Municipio de Macuelizo, Nueva Segovia*. Obtenido de Researchgate:

https://www.researchgate.net/profile/Domingo_Rivas/publication/237010358_CARACTERIZACION_Y_DIAGNOSTICO_DE_MICROCUENCAS_MACUELIZOULTIMA_VERSION040413/links/0046351ae34c66d20e000000.pdf?origin=publication_list

- Rodrigues, V., Cardoso, L., Pollo, R., Ré, D., Pissarra, T., & Valle, R. (2013). Análise morfométrica da microbacia do Ribeirao dos Aratas. *Revista Científica Electronica de Engenharia Florestal*, 25-37.
- Rullán, C., Gama, L., Galindo, A., & Olthoff, A. (2011). Clasificación no supervisada de la cobertura de suelo de la región Sierra de Tabasco mediante imágenes LANDSAT ETM+. *Univercidad y ciencia*, 33-41.
- Salas, L. (2013). *Causas directas del cambio en las cubiertas del suelo en la región mariposa monarca: análisis multiescalar*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0707322/0707322.pdf>
- Salas, V., Pinedo, C., Viramontes, O., Báez, A., & Quintana, R. (2011). Morfometría de la cuenca del río Nazas-Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial. *Tecnociencia Chihuahua*, 34 - 42.
- Santana, L., & Salas, J. (2007). Análisis de cambios en la ocupación del suelo ocurridos en sabanas de Colombia entre 1987 y 2001, usando imágenes Landsat. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 287-288.
- Santibañez, F., & Santibañez, P. (2005). *Aplicación del modelo presión - estado - impacto al estudio de la degradación de los suelos*. Obtenido de X Congreso nacional de la ciencia del suelo, boletín N° 21.
- Santós, J., Oliveira, J., Vieira, L., Siqueira, S., & Daleles, C. (2007). Seleção de atributos usando algoritmos genéticos para classificação de regiões. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 6143-6150.
- Stocking, M., & Murnaghan, N. (2003). *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra*. Madrid: Ediciones Mundi.
- Toro, G., & Lizarazo, I. (2012). Evaluación de las Redes Neuronales Artificiales Perceptron Multicapa y Fuzzy-Artmap en la Clasificación de Imágenes Satelitales. *Ingeniería*, 61-72.

- Turner , B., & Lambin, E. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *The National Academy of Sciences of the USA*.
- Verdugo, M. (2017). *Análisis morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el bosque y vegetación protectora Aguarongo (BVPA), influencia en el comportamiento hidrológico*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14381/1/UPS-CT007051.pdf>
- Versace, V., Ierodionou, D., Stagnitti, F., & Hamilton , A. (2008). ppraisal of random and systematic land cover transitions for regional water balance and revegetation strategies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 328-336.
- williams, M., & Ettore, M. (2005). Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 29-55.
- Willington, E., Nolasco, M., & Bocco, M. (2013). Clasificación supervisada de suelos de uso agrícola en la zona central de Córdoba (Argentina): comparación de distintos algoritmos sobre imágenes Landsat . *Congreso argentino de agro informática*, 207-216.
- Zhicay, J. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>
- Juan M.G. Racca, J. (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. *Boletín del Instituto de fisiografía y geología*. 77(1-2), pp. 31-38.
- Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E., Mortimore, M., Ramakrishnan, P., Richards, J., Xu, J. (2001). Las causas del cambio de uso y cobertura del suelo: más allá de los mitos. *Cambio ambiental global*, 11 (4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Veldkamp, A. y E. Lambin. 2001. Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85:1-6.

ANEXOS

Anexo A. Zonificación del río Covertillo

Anexo B. Mapas de pendientes de la microcuenca del río Covertillo

Anexo C. Orden de cauce de la microcuenca del río Covertillo

Anexo D. Clasificación supervisada imagen 2011

Anexo E. Usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2011

Anexo F. Clasificación supervisada imagen 2018

Anexo G. Usos de suelo y cobertura vegetal - imagen 2018

Anexo H. Matriz de transiciones para los años 2011 – 2018