



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL
SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO
BLANCO, CARCHI.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORAS:

**BALLESTEROS SÁNCHEZ THALÍA AMPARITO
ÑACATO PINCAY VERÓNICA FERNANDA**

DIRECTOR:

ING. OSCAR ROSALES, MSc.

Ibarra – Ecuador

2020



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 :	1727439919	
NOMBRES Y APELLIDOS:	Verónica Fernanda Ñacato Pincay	
DIRECCIÓN:	Imbabura-Otavalo-Ciudadela Rumifñahui	
EMAIL:	verofer248@gmail.com	
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	2926104	0961398453

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA:	1004966907	
NOMBRES Y APELLIDOS:	Thalia Amparito Ballesteros Sánchez	
DIRECCIÓN:	Imbabura-Otavalo-Lotización unidad y progreso	
EMAIL:	ballesterossthalia117@gmail.com	
TELEFONO FIJO Y MOVIL:		0990875926

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCH.
AUTOR:	BALLESTEROS SÁNCHEZ THALÍA AMPARITO ÑACATO PINCAY VERÓNICA FERNANDA
FECHA:	16 de septiembre del 2020
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PRESGRADO <input type="checkbox"/> POSGRAD
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR_	ING. OSCAR ROSALES, MSc.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 16 días del mes de septiembre de 2020

LAS AUTORAS:

Firma: Verónica Ñacato

Srta. Verónica Ñacato
vnacatop@utn.edu.ec
 CC: 1727439919
 Telf: 0961398453

Firma: Thalia Ballesteros

Srta. Thalia Ballesteros
tballesteross@utn.edu.ec
 CC: 1004966907
 Telf: 0990875926



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

CERTIFICACIÓN

Ing. Oscar Rosales MSc., director del Trabajo de Titulación desarrollado por las señoritas estudiantes Thalía Amparito Ballesteros Sánchez y Verónica Fernanda Ñacato Pincay

CERTIFICA

Que, el Proyecto de Tesis de grado titulado **“ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI.”**, ha sido realizado en su totalidad por las señoritas estudiantes **Thalía Amparito Ballesteros Sánchez** y **Verónica Fernanda Ñacato Pincay** bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingeniera en Recursos Naturales Renovables. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, autorizada su presentación y defensa para que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente.

Ing. Oscar Rosales

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

AGRADECIMIENTO

A Jehová Dios quien ha forjado nuestro camino y nos ha dirigido por el sendero correcto, llenándonos de salud, sabiduría y fortaleza durante todo nuestro periodo académico

A la Universidad Técnica del Norte por abrirnos sus puertas y permitirnos formar parte de su institución durante estos años de vida universitaria, por haber sido un segundo hogar para nosotras y por brindarnos el conocimiento valioso que nos permite ser excelentes profesionales y por los valores y enseñanzas que nos han impartidos nuestros docentes para ser serviciales y buenos seres humanos.

A nuestro director Ing. Oscar Rosales MSc quien ha sabido guiarnos y por brindarnos sus conocimientos para formarnos como profesionales, por la paciencia y su apoyo constante que nos ha brindado para poder desarrollar y culminar esta investigación.

A nuestro asesor Ing. Paul Arias MSc por su constante apoyo, por brindarnos cada día nuevos conocimientos, por sus consejos y enseñanzas que nos servirá en nuestra vida profesional. A nuestra asesora Ing. Melissa Layana por su apoyo y paciencia y por su guía en esta investigación. A la ingeniera Fernanda Herrera, por su apoyo incondicional, su amistad y su guía. A las personas que permitieron el desarrollo de esta investigación el Ing. Francisco de la comunidad Espejo 1, al señor Arturo de la comunidad Las Juntas y al señor José de la comunidad El Carmen.

Y el agradecimiento más especial va para nuestros padres, quienes han sido un pilar fundamental en nuestras vidas, por sus cuidados y confianza por su apoyo incondicional para poder llegar a esta meta tan anhelada y a nuestros grandes amigos Viviana, Nixon, Erika, de todo corazón gracias por todo su apoyo incondicional.

Thalía Ballesteros
Verónica Ñacato

DEDICATORIA

A Dios por haber sido mi pilar fundamental en esta experiencia, por sus bendiciones, porque a pesar de que ha sido un camino difícil de seguir el jamás me ha abandonado y siempre ha estado junto a mí.

A mi padre Jorge Ballesteros, la persona que más amo en el mundo mi ejemplo, mi guía, mi soporte y mi mejor amigo, quién ha sabido guiarme con sus consejos, sus enseñanzas, su amor y por nunca dejar que me rinda, por sus palabras de aliento y porque todo lo que soy es gracias a él.

A mi madre Amparito Sánchez y a mi hermana Fernanda Ballesteros quienes han sabido apoyarme siempre, por su amor incondicional, sus regaños y sus consejos.

A mis grandes amigos Nixon, Verónica, Viviana, Erika, Roberth y José quienes estuvieron conmigo en los buenos y malos momentos, por su amistad incondicional y por haber hecho que mi vida universitaria sea hermosa con grandes anécdotas y experiencias.

A mis docentes MSc. Oscar Rosales, MSc. Paúl Arias y MSc. Melissa Layana por su apoyo incondicional durante el proceso de la elaboración de este trabajo de grado y por las grandes enseñanzas como docentes y amigos.

Thalía Ballesteros Sánchez

DEDICATORIA

Llena de satisfacción, amor y esperanza, dedico este proyecto, a Jehová Dios antes que nadie por darme la fuerza, sabiduría entendimiento lo cual me ha permitido alcanzar una meta más en mi vida.

A mis padres Manuel Ñacato y María Pincay por apoyarme siempre en los buenos y malos momentos, por enseñarme a nunca rendirme a pesar de las circunstancias, son mi principal motivación, razón de vivir y mi orgullo de ser lo que seré.

A mis hermanos, Yessenia, Rodrigo y Cinthya por ser un gran apoyo en este proceso de formación académica, gracias a ellos por confiar siempre en mí; a mis sobrinos Sofía y Nicolás por formar parte de mi vida.

A Ricardo por ser parte de mi vida y estar junto a mí creyendo en mis capacidades, apoyándome y motivándome en los momentos más difíciles, por ser la razón de querer ser una mejor persona cada día.

A mis docentes de la casona universitaria en especial a mi director de tesis Ing. Óscar Rosales MSc; asesores Ing. Melissa Layana MSc e Ing. Paul Arias MSc por ser parte fundamental en mi desarrollo académico y en la elaboración del presente trabajo de titulación.

A mis amigas/os Thalía, Viviana, Erika, Anita y Nixon que me han acompañado durante los mejores momentos de mi vida universitaria.

Verónica Fernanda Ñacato Pincay

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Revisión de Antecedentes o Estado del Arte	14
1.2. Problema de investigación y justificación.....	16
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Pregunta(s) directriz (ces) de la investigación o hipótesis	18
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	19
2.1 Marco teórico referencial	19
2.2 Marco legal.....	22
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador	22
2.2.2 Tratados Internacionales.....	22
2.2.3 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	23
2.2.4 Código Orgánico del Ambiente (COA).....	23
2.2.5 Ordenanzas	23
2.2.6 Plan Nacional de Desarrollo.....	23
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	25
3.1 Descripción del área de estudio.....	25
3.1.1. Tipo de suelos.....	26
3.1.2. Pendientes del terreno	27
3.1.3. Ecosistemas	27
3.1.4. Zonas de vida.....	28
3.2 Métodos	30
3.2.1 Evaluación de la variación de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Blanco en el periodo 1996-2018	30
3.2.1.1 Análisis multitemporal	30
3.2.1.2 Obtención de imágenes de satélite	31
3.2.1.3 Pre-procesamiento de imágenes	31

3.2.1.4	Procesamiento de imágenes.....	32
3.2.2.1	Modelo RUSLE.....	36
3.2.2.2	Esquema metodológico de RUSLE.....	46
3.2.3.1	Método de clavos de erosión.....	47
3.2.3.1	Estimación de sedimentos.....	49
3.2.3.2	Arrastre de sedimentos de fondo.....	51
3.2.4	Coeficiente de correlación Rho Spearman.....	53
3.3	Materiales y equipos.....	55
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		56
4.1	Evaluación de la variación de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Blanco en el periodo 1996-2018.....	56
4.1.1	Validación del análisis multitemporal mediante la matriz de contingencia y el índice Kappa.....	56
4.1.2	Clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat, para los periodos 1996-2007 y 2007-2018 de la microcuenca del río Blanco.....	58
4.1.3	Matriz de transición.....	60
4.2	Estimación de la tasa de erosión hídrica en la microcuenca en el año 2018....	64
4.2.1	Modelo RUSLE.....	64
4.3	Análisis de la relación entre la pérdida de cobertura vegetal y la erosión hídrica del suelo.....	67
4.4	Análisis Estadístico mediante el coeficiente de correlación Rho Spearman...71	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		74
5.1	Conclusiones.....	74
5.2	Recomendaciones.....	75
REFERENCIAS.....		76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de la microcuenca del río Blanco	26
Tabla 2. Clases y subclases de suelos en la microcuenca del río Blanco.....	26
Tabla 3. Tipo de pendientes de la microcuenca del río Blanco	27
Tabla 4. Ecosistemas en la microcuenca del río Blanco.	28
Tabla 5. Zonas de vida según la clasificación de Holdridge en la microcuenca del río Blanco	29
Tabla 6. Bandas del satélite LANDSAT	32
Tabla 7. Uso de cada banda para Landsat 8	33
Tabla 8. Categoría de concordancias de validación para el coeficiente Kappa ...	34
Tabla 9. Estaciones meteorológicas, coordenadas UTM WGS 1984 Zona 17 Sur	37
Tabla 10. Valores del subfactor m	41
Tabla 11. Clasificación de rangos de erosión.....	47
Tabla 12. Cálculo de erosión hídrica del suelo de cada ensayo a ton/ha/año	49
Tabla 13. Datos de precipitación mensual registrada en los pluviómetros de cada ensayo.....	50
Tabla 14. Correlación de pastos y cultivos 1996-2018.....	54
Tabla 15. Materiales y equipos	55
Tabla 16. Matriz de contingencia de la clasificación supervisada de la imagen Sentinel de 2018.....	58
Tabla 17. Cambios de la cobertura vegetal del río Blanco en el período 1996 -2018 obtenidos mediante clasificación supervisada.	60
Tabla 18. Matriz de transición de cambio de uso del suelo entre 1996-2018 (% de hectáreas).....	61
Tabla 19. Pérdida de suelo para la microcuenca del río Blanco año 2018.....	65
Tabla 20. Valores de erosión hídrica del periodo enero 2019 – diciembre 2019, mediante la Técnica de Clavos de Erosión.	69
Tabla 21. Caudal sólido por mes en la salida de la microcuenca del río Blanco.	70
Tabla 22. Correlación Rho Spearman coberturas vegetales vs erosión	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río Blanco	25
Figura 2. Factor R para la microcuenca del río Blanco	38
Figura 3. Factor K para la microcuenca del río Blanco	40
Figura 4. Factor LS para la microcuenca del río Blanco	42
Figura 5. Factor C para la microcuenca del río Blanco	45
Figura 6. Factor C para la microcuenca del río Blanco	46
Figura 7. Ubicación de ensayos en la microcuenca del río Blanco.....	48
Figura 8. Ubicación de puntos de control en la microcuenca.	57
Figura 9. A) Cambio de uso de suelo año 1996; B) Cambio de uso de suelo año 2007; C) Cambio de uso de suelo año 2018 de la microcuenca del río Blanco....	59
Figura 10. Pérdidas y ganancias en las superficies de coberturas y uso de suelo en el periodo 1996-2007. (Elaboración propia, 2019)	61
Figura 11. Pérdidas y ganancias en las superficies de coberturas y uso de suelo en el periodo 1996-2007	62
Figura 12. Modelo RUSLE de la microcuenca del río Blanco	65
Figura 13. Modelo RUSLE de la microcuenca del río Blanco	68
Figura 14. Perdida de suelo por erosión hídrica, ensayo 2 (Espejo 1).....	68
Figura 15. Perdida de suelo por erosión hídrica, ensayo 3 (Las Juntas).....	69

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tamaño muestral	35
Ecuación 2. Erosión hídrica	36
Ecuación 3. Índice Modificado de Fournier.....	38
Ecuación 4. Factor K erodabilidad.....	39
Ecuación 5. Factor LS	40
Ecuación 6. Factor S	41
Ecuación 7. Factor C	42
Ecuación 8. Índice de vegetación avanzada.....	43
Ecuación 9. Índice de suelo desnudo	43
Ecuación 10. Subfactor de humedad del suelo.....	44
Ecuación 11. Prácticas de manejo del suelo en la tasa de erosión	44
Ecuación 14. Volumen promedio anual erosionado	52
Ecuación 15. Coeficiente de temperatura.....	52
Ecuación 16. Coeficiente de erosión.....	52
Ecuación 17. Coeficiente R.....	53

RESUMEN

Los bosques son áreas de gran importancia para el desarrollo de los seres vivos, ya que son el hábitat de un gran número de especies flora y fauna. A nivel mundial la pérdida de ecosistemas forestales va en aumento, debido al cambio de uso de suelo, siendo la deforestación unas de las principales causas además de las actividades agrícolas y ganaderas, aumentando las áreas sin cobertura vegetal, lo cual causa alteración en el balance hídrico natural, erosión hídrica del suelo y el arrastre de sedimentos hacia el cauce principal. Es por ello que el presente estudio permitió conocer la dinámica hídrica por medio de la evaluación de la variación de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Blanco en el periodo 1996-2018, aplicando un análisis multitemporal con el uso de imágenes satelitales Landsat del portal USGS (United States Geological Survey) empleando softwares especializados para la elaboración de cartografía digital como ArcGIS 10.5, además se estimó la tasa de erosión hídrica con la técnica clavos de erosión en tres ensayos y con el método RUSLE, también se evaluó la generación de sedimentos para el año 2019 mediante análisis de agua obtenidos en el punto de aforo y con la medición de tres parámetros y finalmente se analizó la relación entre pérdida de cobertura vegetal con la erosión hídrica del suelo y la producción de sedimentos, mediante el coeficiente de correlación de Spearman. Los resultados muestran que hay un cambio constante de cobertura boscosa, además que las tasas de erosión hídrica en varias partes de la microcuenca van de 10 a 200 ton/ha/año y de acuerdo con la correlación realizada se determinó que la pérdida de cobertura boscosa está directamente relacionada con la pérdida de suelo.

Palabras claves: Cuenca hidrográfica, análisis multitemporal, RUSLE, cobertura vegetal, pérdida de suelo.

ABSTRACT

Forests are areas of great importance for the development of living beings as it is the habitat of many species of flora and fauna. Globally, the loss of forest ecosystems is increasing, due to the change in land use, deforestation is one of the main causes in addition to agricultural and livestock activities, that are increasing in areas without vegetation cover, which causes alteration in the balance of natural water, soil water erosion and the drag of sediments towards the main channel, for this reason the present study allowed to know the water dynamics of the watershed by the variation of the vegetal cover of the Blanco river watershed was evaluated in the period 1996-2018, by means of a multitemporal analysis with the use of images from Landsat satellites from the USGS portal (United States Geological Survey) by implementing software for the at elaboration of digital cartography such as ArcGIS 10.5. The rate of water erosion was also estimated with the tree test of the erosion nails technique and with the RUSLE, the generation of sediments for the year 2019 was also evaluated, through the analysis of the water obtained from the gauging point and the measurement tree parameters and finally the relationship between loss vegetation cover due to water erosion of the soil and de production of sediments has been analyzed, using the Spearman correlation coefficient. The results show that change in forest cover, is constant and the rates of water erosion in different parts of the watershed goes from 10 to 200 ton/ha/year and, according to the correlation, it was determined that the loss of cover forested is directly allied to the loss of soil.

Key words: Hydrographic basin, multitemporal analysis, RUSLE, vegetation cover, soil loss.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de Antecedentes o Estado del Arte

Los bosques son áreas de gran importancia para el desarrollo de los seres vivos ya que proveen de servicios como mantenimiento del ciclo hidrológico, captura de carbono y reducción de los gases de efecto invernadero (GEI) y son el hábitat de un gran número de especies flora y fauna (Sabattini, Sione, Ledesma, Sabattini, y Wilson, 2016). Además de bienes que proveen a la sociedad como alimentos, insumos, medicinas, lugares de resguardo y recreación al mismo tiempo son fuente de ingreso y empleo (García, 2014). A nivel mundial la pérdida de ecosistemas forestales va en aumento, debido al cambio de uso de suelo, siendo la deforestación una de las principales causas (Ávalos y López, 2009).

En un metaanálisis realizado de 283 artículos relacionados con la deforestación en Latino América en el periodo 1990-2012, se determinó que la tasa de pérdida de cobertura a nivel de la región fue de -1.54%. Sin embargo, para el mismo periodo no solo se registró datos de pérdida de cobertura, sino también de ganancia lo cual permitió comprobar la existencia de una alta variabilidad por país. Además, la mayor tasa de cambio se registró en bosques secos y montanos (Armenteras y Rodríguez, 2014). A nivel de Latino América y Centroamérica la causa principal de pérdida de cobertura boscosa se debe al avance de la frontera agrícola y ganadera causando fragilidad ecológica en los bosques nativos (Pineda, 2009; Armenteras y Rodríguez, 2014)

Según López (2012) la deforestación ocasiona perturbaciones a los ecosistemas causando la pérdida de biodiversidad, degradación de suelo, alteración al ciclo hidrológico y amenaza a la integridad cultural y a las formas de vida. La pérdida anual de cobertura boscosa para México en el periodo 1990-2000 fue del 0.5% y se redujo a 0.4% para el periodo 2000-2005, la disminución de las tasas de deforestación para México y Centroamérica se debe a la geología de ciertos sitios

que son de difícil acceso y poco aptos para la agricultura, suelos con poca materia orgánica y abundante lluvia, lo que ha ocasionado erosión de suelos y arrastre de sedimentos.

En un estudio realizado en el estado de Tlaxcala mediante la aplicación de métodos de la FAO, índices de erosión de suelo y la ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE), se muestra que la erosión tiene una variación de 1 ton/ha/año hasta 650 ton/ha/año, siendo predominante la segunda, lo cual demuestra la susceptibilidad del área de estudio a la erosión. Predominan los suelos arcillosos ubicados en pendientes de más de 40% y sin cobertura vegetal debido a las deforestaciones, esto facilita el transporte de sedimentos a fuentes hídricas cercanas y además la cantidad de precipitación influye en la dinámica de una cuenca (Cardona, Robles y Almegua, 2007).

Según la FAO (2016), los países tropicales han sido los que mayor pérdida de bosque ha registrado en el periodo 2000-2010, con 7 millones de hectáreas anuales, propiciando nuevas áreas para la actividad agrícola. La agricultura comercial ha representado la principal causa de la deforestación de bosques en Sudamérica ya que por ejemplo para finales de los años 90 Ecuador registró la tasa de deforestación más alta (FAO, 2000), generando daños al ecosistema, el problema surge debido al aumento poblacional, las necesidades de la población hacen que se dé un uso inadecuado a los recursos naturales ocasionando graves problemas ambientales.

Las tierras forestales como parte de un proceso de desarrollo económico a nivel mundial se han destinado para realizar actividades agrícolas y agropecuarias (FAO, 2016). Lo que ha ocasionado que las personas ocupen estas áreas para la agricultura y ganadería ya que estas tierras son fértiles para la obtención de productos maderables y no maderables (FAO, 2008 y FAO, 2016), haciendo un uso irracional del recurso suelo. Así, la rápida degradación de los bosques ha causado alteraciones en el balance hídrico y modificaciones en los patrones hidrológicos, erosión de suelo, generación de sedimentos, reducción de la capacidad productiva del suelo en los sistemas hidrográficos (Endara, 2018).

Poveda y Mesa (1995) afirman que la deforestación de los bosques ha incrementado, lo que ha ocasionado perturbaciones a los ecosistemas y alteración del ciclo hidrológico. Ecuador es considerado como el tercer país a nivel de Sudamérica en tener la tasa de deforestación más alta por año, teniendo desde 1.7% a 2.4% (Aveiga, 2018). Para el periodo 1990-2000 se reportó una tasa de deforestación del -1.47%, lo cual representa 198.092 ha/año y para el año 2017 se registró una tasa de 0.66% es decir 77.647% ha/año, a pesar de que hubo una variación, se evidenció una reducción, sin embargo es probable que si la tendencia de aumento se mantiene los bosques Pre Montanos disminuyan en menor tiempo, lo que afectaría a los servicios ecosistémicos presentes (Carrasco, 2016; Mogrojo, 2017; Aveiga, 2018).

Las tasas de deforestación en las provincias de Carchi e Imbabura alcanzan valores de 92 y 1240 ha/año respectivamente (MAE, 2012). Estos bosques presentan una alta fertilidad, con pendientes altas montañosas lo que hace difícil el acceso a estas áreas, sin embargo, en los últimos años han sido destruidos debido a las actividades agrícolas, ganaderas y mineras (Tobón, 2009). Esto ha generado pérdida de suelo por erosión hídrica, alteración a la calidad de las fuentes hídricas y a los servicios ecosistémicos generando vulnerabilidad e impactos negativos en las zonas donde se realizan estas actividades, lo que afectará en los cultivos y la seguridad alimentaria (Endara, 2018).

1.2. Problema de investigación y justificación

En las últimas décadas el aumento acelerado de la población ha influido en el uso de los servicios ecosistémicos que se encuentran presentes en estas áreas, tales como servicios de regulación, de provisión, culturales y de soporte, generando un desequilibrio en la dinámica del entorno, ya que a pesar de su importancia económica, social y cultural se ha propiciado el uso inadecuado de los recursos naturales (FAO, 2016). La modificación de los ecosistemas por el cambio de uso de suelo para producir bienes y servicios ha constituido uno de los factores para la pérdida de bosques debido a la deforestación (Gonzales y López, 2015).

La deforestación por uso agrícola y ganadero ha generado cambios en las características físicas y químicas del suelo, como la pérdida de nutrientes y carbono orgánico, permitiendo el aumento en la escorrentía superficial, lo cual ha ocasionado la erosión de suelo y aumento en el aporte de sedimentos al cauce principal, debido a esto se reduce de la disponibilidad de agua para usos consuntivos y no consuntivos. Es importante tener una visión correcta de la capacidad que posee la tierra y el uso que se le da a la misma, siendo imprescindible tener una relación equilibrada naturaleza-sociedad (Hernández, Gonzales, Farfán y López, 2016).

La pérdida acelerada de cobertura vegetal causa la erosión del suelo la alteración en el balance hídrico, esto ha favorecido en la disminución de la vocación hídrica de las cuencas hidrográficas y otros factores que han originado el aumento en la fragmentación de la cobertura boscosa, generando alteración de los corredores biológicos de fauna silvestre, y la pérdida de biodiversidad nativa del lugar (PDOT, 2011).

Debido a la alta tasa de deforestación que se presentan en la microcuenca del río Blanco, en la que el aumento poblacional es una de las causas, ya que los habitantes realizan la tala de los bosques, para desarrollar actividades agrícolas y ganaderas, lo cual genera el aumento de las áreas sin cobertura vegetal expuestas a erosión. Por lo tanto, de acuerdo con lo estipulado en la normativa del Plan Nacional de desarrollo 2017-2021, en el objetivo 3 donde se garantizará los derechos de la naturaleza con una visión de desarrollo sostenible, la cual tiene como meta reducir el 15% de la deforestación hasta el año 2021.

En consecuencia, debido a lo antes mencionado el presente estudio permitirá conocer los cambios de la cobertura vegetal en la microcuenca del río Blanco durante el periodo 1996-2018, las tasa de erosión hídrica y el aporte de sedimento al río Mira, además saber las causas principales de la pérdida de cobertura boscosa, con el fin de proponer estrategias para conservar el bosque húmedo pre-montano y el recurso suelo.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar la influencia de la deforestación en la erosión hídrica del suelo y sedimentación de la microcuenca del río Blanco.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la variación de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Blanco en el periodo 1996-2018.
- Estimar la tasa de erosión hídrica en la microcuenca en el año 2018.
- Analizar la relación entre el cambio de cobertura vegetal y la erosión hídrica del suelo.

1.4.Pregunta directriz de la investigación

¿Cuál es la relación de la deforestación del bosque pre-montano con la tasa de erosión hídrica del suelo y la generación de sedimentos en la microcuenca del río Blanco?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico referencial

La dinámica de los bosques está directamente relacionada con una serie de actividades antrópicas de origen económico, social y cultural, que han hecho al ser humano beneficiario de los recursos naturales, en diversas escalas temporales (Ramos y Hernández, 2016). Actividades como la deforestación, agricultura y ganadería, han ocasionado procesos de cambio de uso de suelo, alteración del ciclo hidrológico y pérdida de la biodiversidad (Restrepo, 2015).

En la actualidad la deforestación es uno de los temas de prioridad en agendas nacionales e internacionales. La deforestación es el proceso de eliminación de masa forestal, que se reemplaza por otras formas de ocupación no forestal, es decir se produce un cambio de usos de suelo (Regil, et al., 2014). Causado principalmente por actividades antrópicas debido a la demanda de materia prima del bosque. Según FAO (2016) las actividades agrícolas son uno de los factores más significativos en la deforestación a nivel mundial, ya que tan solo en el periodo del 2000 - 2010 se registró una pérdida de 7 millones de hectáreas anuales a nivel de Latino América.

Hoy en día existen varias técnicas que permiten analizar la deforestación y determinar el cambio de uso de suelo que se ha generado; entre estas técnicas se tiene la matriz de cambios, análisis multitemporales, algebra de mapas y la matriz de transición, todo esto mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales (Lambin y Meyfroidt, 2010). El análisis multitemporal es una técnica que permite detectar los cambios ocurridos entre diferentes fechas de interés, cuando se conoce las repercusiones de la acción del ser humano sobre ese medio (Condori, Loza-Murguía, Mamani y Solíz, 2018). La matriz de transición es otra técnica que permite cuantificar los cambios de usos de suelo, a partir de la sobreposición y algebra de mapas (Aguayo, Pauchard, Azócar y Parra, 2009).

Las cuencas hidrográficas proveen recursos vitales para la flora, fauna y el ser humano, dichos recursos se encuentran delimitados por áreas más altas denominadas divisorias de agua naturales, las cuales permiten la agrupación de las aguas lluvia para que estas drenen hacia los cauces inferiores formando ríos, arroyos, lagos y humedales, su caudal o dirección están regulados por la presencia o ausencia de vegetación y del tipo de suelo. Por lo que es importante comprender que las medidas que se aplican al manejo de las cuencas hidrográficas influyen de gran manera en la conservación del suelo y caudales de la misma (Martínez, 2006).

El ciclo hidrológico a partir de la lluvia, escurrimiento y generación de caudales, permite el movimiento de toda el agua precipitada en un tiempo determinado y fluye por la superficie del suelo hacia los ríos o mares (Martínez y Custodio, 2016), esto influye en la ocurrencia de las crecidas periódicas de los ríos, a su vez se originan los sistemas de drenajes ya que los ríos pequeños confluyen en ríos grandes, esto conlleva a un aumento de caudales en estos sistemas dinámicos (Quiñones, 2011). La precipitación produce escurrimiento, la cual es importante para el desarrollo del ser humano, ya que es utilizada para consumo humano, riego para cultivos, actividades de grandes empresas, como relleno de embalses que generan energía eléctrica, entre otras. En el Ecuador no se dispone de equipos necesarios para determinar los caudales de las diferentes cuencas, complicando el estudio dinámico del ciclo hidrológico, ya que es necesario conocer el volumen del caudal de los ríos, para realizar una distribución de acuerdo con el orden de prelación establecida en la Constitución del 2008 (Erazo y Ortiz, 2014).

El suelo es uno de los recursos más importantes, sirve de soporte para el desarrollo de la vida humana y todos los seres vivos en general, y por ende en gran parte se considera un recurso no renovable ya que se encuentra bajo grandes presiones causadas por la explotación agropecuaria y forestal (Vega y Febles, 2005). Cada vez se tiene mayor conocimiento de los problemas que afectan al suelo, considerado como el más grave la erosión hídrica.

Se entiende por erosión hídrica a la remoción causada por diferentes agentes del medio físico, tales como el viento y el agua que permiten que el suelo y las diferentes partículas rocosas sean arrastradas por la fuerza de la gravedad; a nivel mundial la erosión es considerada como uno de los principales problemas ambientales; en diversos estudios se ha demostrado que el 80% de la superficie del planeta se encuentra afectado por dicho fenómeno, debido las diferentes actividades que realiza el ser humano para la extracción de materia prima, lo cual ha generado una erosión acelerada del suelo (Hudson, 1995; Cardona, Robles y Almegua, 2007).

Una variedad de metodologías se ha desarrollado con el fin de predecir la erosión hídrica del suelo, ya sea para una cuenca o una parcela. Algunas basadas en observación directa, que miden en campo los valores de erosión como la técnica de clavos de erosión. Los métodos indirectos son los modelos matemáticos que se desarrollan en bases estadísticas y estiman las pérdidas de suelo a través de variables meteorológicas y características de los tipos de suelo. Unos de los modelos más usados para determinar la erosión hídrica es la ecuación de pérdida de suelo RUSLE, a pesar de que el modelo no de una simulación real de los datos permite obtener resultados aproximados a la realidad (Vega y Febles, 2005).

La técnica de clavos de erosión es usada para cuantificar la erosión hídrica y la sedimentación que se produce en un sector determinado de estudio. Permite establecer estimaciones reales de pérdida de suelo en el área de estudio (Pizarro y Cuitiño, 1999). El modelo matemático RUSLE es ampliamente usado en cuencas hidrográficas porque contiene variables conocidas para el cálculo de la erosión hídrica, es un modelo de los más utilizados, presenta varios factores para el cálculo mediante herramientas SIG, tales como factor de erosividad de lluvias (R), factor de erodabilidad del suelo (K), factor topográfico (LS), factores de cobertura (C) y prácticas de manejo de conservación (P), los cuales permiten estimar la pérdida de suelo por unidad de superficie (Belmonte y Núñez, 2006).

La sedimentación hídrica es causada por actividades antrópicas y naturales, que ocasionan la erosión por acción del recurso hídrico. El proceso de sedimentación

inicia con el transporte de partículas grandes de suelo por acción del agua, desde las partes altas de los sistemas hidrográficos, durante el trayecto las partículas reducen su tamaño (sólidos totales suspendidos) y finalmente se depositan en el fondo de los cuerpos de agua como (sólidos totales disueltos), teniendo en cuenta que si la velocidad de flujo es mayor aumenta la sedimentación (Zambrano, 2015).

2.2 Marco legal

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

Se sustenta la parte legal en los siguientes reglamentos del país, tal y como se estipula en el artículo 425 de la Constitución de la República del Ecuador del 2008. El Estado garantizará que la ciudadanía viva en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado por lo cual se debe respetar los recursos agua, suelo y bosque por lo que en el marco de la Constitución de la República del Ecuador, los artículos 318 y 411 establecen que el Estado garantizará la cantidad y calidad del agua mediante la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos. Uno de los recursos más importantes e imprescindibles para la subsistencia de todos los seres vivos es el suelo, mismo que en los artículos 409 y 410 el Estado garantiza el cuidado, desarrollo sostenible y conservación de la capa fértil para el desarrollo de prácticas agrícolas que protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

2.2.2 Tratados Internacionales

La convención Internacional de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África la cual se suscribió el 19 de enero de 1995 y su fecha de ratificación 06 de septiembre de 1995 y entro en vigor el año 1996, este es el único acuerdo internacional firmado por 33 países el cual relaciona al medio ambiente y el desarrollo con el manejo sostenible de los suelos, como plantea la parte 1, artículo 1 los efectos de la presente convención hace referencia a la desertificación y a la degradación de tierras a causa

de las variaciones climáticas, aumento poblacional, cambio de uso de suelo y por actividades antrópicas.

2.2.3 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD)

De acuerdo con el capítulo 1, (Regiones). En lo que a territorio se refiere, es importante que haya un equilibrio entre regiones, y también es importante que cada parte del territorio posea sus propias competencias y para ello los artículos 15 y 32 garantizan el equilibrio interregional, la complementariedad ecológica y el manejo integrado de las cuencas hidrográficas, y la gestión de las mismas propiciando la creación de consejos de cuencas de acuerdo con la ley.

2.2.4 Código Orgánico del Ambiente (COA)

Los bosques cumplen funciones importantes, como los servicios ecosistémicos, pero el principal uso que se le da es la extracción de madera, por tal motivo estos se están perdiendo por lo que el Código Orgánico Ambiental, en el título sexto (Régimen forestal nacional), capítulo uno (Patrimonio forestal), afirma que los artículos 90 y 91 garantizan la conservación y el uso del mismo, además de los servicios ecosistémicos que genera.

2.2.5 Ordenanzas

El artículo 3, política 1 y 3, Con respecto a garantizar el manejo y la gestión sustentable tanto de las cuencas hidrográficas como la prevención y control de la pérdida de bosques establece las políticas ambientales del Gobierno Provincial del Carchi.

2.2.6 Plan Nacional de Desarrollo

En la investigación realizada hace énfasis en los objetivos, políticas, ejes y lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, el objetivo 3 garantizará

los derechos de la naturaleza con una visión de desarrollo sostenible, en cual tiene como meta reducir el 15% de la deforestación hasta el 2021.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

La microcuenca del río Blanco es un afluente de la cuenca del río Mira, se extiende en las provincias del Carchi e Imbabura. El área estudio se centra en los cantones Mira y Espejo, en las parroquias Jijón y Caamaño y el Goaltal, la microcuenca del río Blanco tiene una extensión total de 15 847 hectáreas. Los tres ensayos de medición de erosión hídrica tienen un área total de 300 m² y se ubican en los sectores de Las Juntas, Espejo 1 y El Carmen que corresponde a la parte alta, media y baja de la microcuenca (Figura 1).

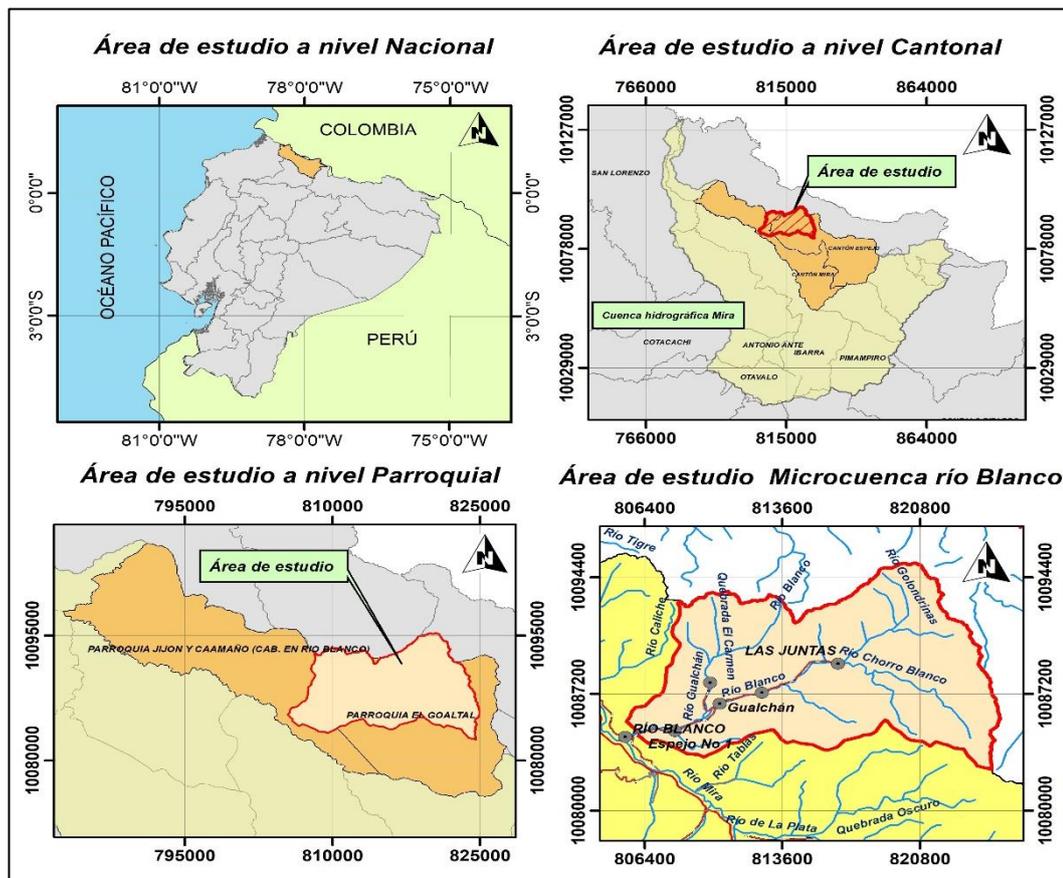


Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río Blanco. (Elaboración propia, 2019)

La parroquia Jijón y Caamaño se ubica al noroccidente del cantón Mira, limitando al norte con la parroquia El Chical; al noroccidente con la parroquia Tobar Donoso; al este con la parroquia El Goaltal del cantón Espejo; al sureste con la parroquia La Concepción y al sur con las parroquias La Carolina y Lita pertenecientes al cantón Ibarra, provincia de Imbabura. Las coordenadas UTM se indican en la siguiente (Tabla 1) (PDOT, 2011).

Tabla 1. Coordenadas UTM de la microcuenca del río Blanco

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud msnm
Norte	820801	10095234	3000
Sur	824511	10082575	3500
Este	805320	10084542	1000
Oeste	808658	10094299	2000

Elaboración propia, 2019

Según el PDOT (2011-2021) la parroquia Jijón y Caamaño tiene tres tipos de climas de acuerdo con la clasificación climática de Pourrut (1995), tales como el clima Mesotérmico Semihúmedo, Ecuatorial Mesotérmico Seco y en la zona más baja Tropical Megatérmico Húmedo. Presenta una precipitación media anual de 500-2500 mm, los meses más lluviosos son de abril a noviembre, por las condiciones de posición en las estribaciones occidentales de la cordillera de los Andes, los valles interandinos y el relieve montañoso y muy montañoso. La altitud se encuentra en el rango de 1000 – 3500 m s.n.m. Las temperaturas medias mensuales están en el rango 8-22 °C y la temperatura media anual no presenta variaciones mayores a 0,5 °C (PDOT, 2011).

3.1.1. Tipo de suelos

De acuerdo con la taxonomía de suelos del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2014) en el área de estudio predominan tres órdenes de suelos que son: Alfisoles, Andisoles y Molisoles (Tabla 2) (PDOT, 2011).

Tabla 2. Clases y subclases de suelos en la microcuenca del río Blanco

CLASE	COLOR	DESCRIPCIÓN
Alfisoles	Suelos grises	Tienen buena textura, drenaje moderado, pH medianamente ácido y una fertilidad mediana, bajo contenido de materia orgánica, por lo general son suelos no aptos para prácticas agrícolas.
Andisoles	Suelos negros de formación volcánica	Suelos con materia orgánica constituida principalmente por ceniza, muy porosos y con la capacidad de retención de agua y nutrientes.
Molisoles	Suelos negros	Suelos con altos porcentajes de materia orgánica, por lo cual son altamente fértiles, tienen buen drenaje.

Fuente: Obtenido de PDOT, 2011, pp. 23-24

3.1.2. Pendientes del terreno

El área de estudio presenta terrenos irregulares con pendientes superiores a 40%, se describen los 7 rangos de pendientes (Tabla 3) (PDOT, 2011).

Tabla 3. Tipo de pendientes de la microcuenca del río Blanco

RANGO	PENDIENTE
0 – 5 %	Terreno plano
5 – 12 %	Ligeramente ondulado
12 – 25 %	Ondulado
25 – 40 %	Montañoso
40 – 70 %	Muy montañoso
70 – 100 %	Escarpado
>100%	Abrupto

Fuente: PDOT, 2011, pp. 17

3.1.3. Ecosistemas

Según Iglesias, Santiana y Chinchero (2013), en el área de estudio se presentan tres tipos de ecosistemas, caracterizados por su diferente cobertura vegetal y altitud (Tabla 4).

Tabla 4.Ecosistemas en la microcuenca del río Blanco.

ECOSISTEMAS	CARACTERÍSTICAS	ALTITUD
Bosque siempreverde montano bajo de la Cordillera Occidental de los Andes	Se desarrolla sobre la cordillera Occidental presentando un dosel entre 25 a 30m de altura, se caracteriza por la presencia de árboles grandes, y abundantes epifitas, la vegetación abusiva es escasa, esta formación vegetal se distribuye en el piso altitudinal Pre Montano.	1500 a 2000 m s.n.m. Este tipo de ecosistemas se encuentra presente en la parroquia el Goaltal, sector las Juntas.
Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes	Se caracteriza por la dominancia de especies arbóreas, palmas, orquídeas, bromelias y helechos; la presencia de epifitas lo hace importante ya que es un gran captador de humedad, el dosel puede alcanzar hasta los 30 m en el piso altitudinal Montano	3000 a 3500 m s.n.m. Este tipo de ecosistemas se encuentra presente en la parroquia el Goaltal, sector las Juntas.
Bosque y Arbustal semideciduo del norte de los Valles	Se presenta en los valles interandinos secos y en relieves de colinas con laderas de suelos pedregosos, esta formación vegetal está conformada por arboles pequeños que alcanzan los 12 m de altura. Las especies predominantes son <i>Caesalpinia spinosa</i> y <i>Acacia macracantha</i> , además existe la presencia de especies suculentas y cactáceas, estos bosques de arbustos se encuentran en los pisos altitudinales Pre Montano y Montano Bajo	1200 a 2600 m s.n.m. Este tipo de ecosistemas se encuentra presente en la parroquia el Goaltal, sector las Juntas.

Fuente: Iglesias, 2013, pp. 49-50

3.1.4. Zonas de vida según la clasificación de Holdridge

Según el PDOT (2011-2021) en el área de estudio se identifican cuatro zonas de vida que se describen continuación (Tabla 5).

Tabla 5. Zonas de vida según la clasificación de Holdridge en la microcuenca del río Blanco

ZONAS DE VIDA	CARACTERÍSTICAS	TIPO DE VEGETACIÓN
Bosque Seco Pre Montano (bs-PM)	Se caracteriza principalmente por tener una topografía irregular y suelos poco fértiles.)	La vegetación nativa característica en esta área está conformada por Faique (<i>Acacia macracantha</i>), Guarango (<i>Caesalpinia spinosa</i>), Chinchín (<i>Cassia canescens</i>), Chamano (<i>Dodonaea viscosa</i>) y Mosquera (<i>Croton elegans</i>). Este tipo de ecosistemas se encuentra presente en el sector de San Juan de Lachas.
Bosque Húmedo PreMontano (bh-PM)	Presenta suelos volcánicos fértiles aptos para la agricultura, se encuentra a una altitud de 1000 a 2000 m s.n.m. Con precipitación media anual de 1000 – 2000 mm y temperaturas que fluctúan entre 14 y 18 °C.	La vegetación permanece siempre verde y con hojas pequeñas siendo las más representativa el Cordoncillo (<i>Cordia alliodora</i>) y Flormorado (<i>Tabebuia sp</i>). Este tipo de ecosistemas se encuentra presente en el sector La Primavera.
Bosque Muy Húmedo Pre Montano (bmh-PM):	Se caracteriza por ser una franja montañosa, esta zona registra precipitaciones anuales entre 2000 a 4000 mm y una temperatura promedio de 20 °C, se encuentra en el piso altitudinal de 900 a 2000 m s.n.m.	La vegetación característica de esta zona de vida es exuberante y está representada por Helechos (<i>Pteridium aguilinum</i>), Arecaceas (<i>Iriartea deltoidea</i>) y Rubiaceas (<i>Elaegia uxpanapensis</i>). Este tipo de ecosistemas se encuentra presente en el sector de San Patricio.
Bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB):	Presenta los suelos fértiles, las precipitaciones anuales varían de 1000 a 2000 mm, con temperaturas medias anuales de 12 a 18 °C y se encuentra en altitudes de 2000 a 3000 m s.n.m.	La vegetación dominante está representada por árboles de Aliso (<i>Alnus acuminata</i>), Cedro (<i>Cedrela montana</i>) y Manzano (<i>Clethra fimbriata</i>). Este tipo de ecosistemas se encuentra presente en el sector El Carmen.

Fuente: PDOT, 2011, pp. 33-34

3.1.4 Caracterización socioeconómica.

En la microcuenca del río Blanco existen alrededor de 3 122 habitantes, sus principales actividades económicas son, la agricultura, ganadería y piscicultura, en general las amas de casa se dedican al cuidado de la familia y a criar animales de granja como vacas, gallinas, ovejas y a la distribución de leche, queso, huevos y demás productos. Los hombres adultos y jóvenes se dedican a la agricultura y ganadería, por lo general rentan terrenos con pastos en las partes altas de la microcuenca (PDOT, 2011).

3.2 Métodos

A continuación, se describe detalladamente las técnicas, métodos y procedimientos que se utilizaron en el presente estudio.

3.2.1 Evaluación de la variación de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Blanco en el periodo 1996-2018

3.2.1.1 Análisis multitemporal

El análisis multitemporal permitió comparar los cambios que han ocurrido en la microcuenca en diferentes periodos de tiempo, la clasificación de las imágenes satelitales Landsat y Sentinel fue la principal herramienta usada con los software ENVI ® 5.3 y ArcGIS ® 10.5 para la generación de información cartográfica multitemporal de vegetación y uso del suelo (Muñoz, Montenegro y Hernández, 2009; Ruiz, Savé y Herrera, 2013; Condori, Mamani y Solís, 2018). En el presente estudio se determinó el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal, mediante la clasificación y comparación de imágenes satelitales Landsat, de los sensores TM, ETM, y OLI, correspondientes a los periodos 1996 - 2007 y 2007 – 2018.

3.2.1.2 Obtención de imágenes de satélite

Las imágenes Landsat y Sentinel fueron obtenidas del Geoportal del USGS (United States Geological Survey), seleccionando un porcentaje de nubosidad menor a 30%; la descarga de imágenes se realizó mediante el Path Row 10/60 en formato Geotif, con todas las bandas multispectrales (Alvear y Endara, 2018).

3.2.1.3 Pre-procesamiento de imágenes

El pre-procesamiento de las imágenes descargadas consistió en tres tipos de correcciones que son: Corrección geométrica, corrección radiométrica y corrección topográfica. El pre procesamiento se realizó empleando los softwares ArcGIS ® con la herramienta *Image Analyst* y ENVI ® 5.3 con la herramienta *Radiometric Correction* (Roa, 2007).

- **Corrección geométrica.** – Proceso de geo-referenciación, en el cual se corrigió los píxeles de las imágenes satelitales (Hantson et al., 2011). El proceso consistió en la proyección de las imágenes satelitales en el sistema de coordenadas WGS1984_DATUM_UTM_Z17S, con la finalidad de eliminar distorsiones geométricas en las imágenes obtenidas en el Geoportal del USGS.
- **Corrección atmosférica.** – Se utilizó para eliminar interferencias de la atmósfera, tales como partículas de polvo y vapor de agua (Brizuela, Aguirre y Velasco, 2007). Se realizó aplicando la herramienta *Atmospheric correction* del software ENVI ® 5.3.
- **Corrección topográfica.** – Se usó para mejorar el efecto de la iluminación difusa de los relieves y sombras topográficas en la imagen satelital (Riaño, Salas y Chuvieco, 2000). La corrección se realizó empleando los softwares ArcGIS ® con la herramienta *Image analyst* y ENVI ® 5.3 con la herramienta *Radiometric Correction*.

3.2.1.4 Procesamiento de imágenes

Consistió en la combinación de bandas en el espectro visible y en el espectro infrarrojo, recorte de imágenes con el límite de la microcuenca, clasificación supervisada y validación de la clasificación supervisada (Roa, 2007).

- **Espectro visible.** – Forma una pequeña fracción del espectro electromagnético, es visible al ojo humano, este responde a longitudes de onda que van desde los 0.4 a 0.7 μm , en el espectro visible se distinguen tres bandas de colores, mismos que están relacionados con los colores primarios que solo el ojo humano percibe a esa longitud de onda, estos son rojo, verde y azul (Tabla 6) (Chuvienco, 2006).

Tabla 6. Bandas del satélite LANDSAT

BANDA	LONGITUD DE ONDA	ZONA DEL ESPECTRO
1	0.45 – 0.52 μm	Luz visible azul
2	0.52 – 0.60 μm	Luz visible, verde
3	0.63 – 0.69 μm	Luz visible, rojo
4	0.76 – 0.90 μm	Infrarrojo cercano
5	1.55 – 1.75 μm	Infrarrojo medio
6	10.4 – 12.5 μm	Infrarrojo térmico
7	2.08 – 2.35 μm	Infrarrojo medio

Fuente: Aguilar, 2014, pp.38

- **Espectro infrarrojo.** _ Se utilizaron tres tipos de infrarrojo como son : Infrarrojo cercano (IRC: 0.7 – 1.3 μm), infrarrojo medio (IRM: 1.3 – 8 μm), infrarrojo lejano (IRT: 8 - 14 μm). A continuación se describe la aplicación de cada una de las bandas espectrales que usa Landsat 8 (Tabla 7).

Tabla 7. Uso de cada banda para Landsat 8

Banda en Landsat 8	Aplicación principal /Descripción
Banda 1 Coastal	Para mapeo de costas y estudios de aerosol.
Banda 2 Azul	Útil para mapeo batimétrico, delimitar costas, diferenciar suelo de vegetación, diferenciar coníferas de latifoliadas, determinación de rasgos urbanos, vías y construcciones.
Banda 3 Verde	Empleada para discriminar sedimentos en suspensión, evaluar vigor de las plantas por la alta reflectancia de la vegetación verde y sana, delinear agua poco profunda, rasgos urbanos y de infraestructura
Banda 4 Roja	Permite un mayor contraste de áreas con y sin vegetación, discriminar gradientes de vegetación, delimitar áreas urbanas y áreas agrícolas
Banda 5 NIR Infrarrojo cercano	Útil para el cálculo de biomasa de vegetación, delimitar costas, para diferenciación suelo -cultivos y suelo-agua, para geomorfología, suelos y geología.
Banda 6 SWR 2	Se alcanzan a penetrar nubes delgadas. Es útil para discriminar contenido de humedad entre los suelos y la vegetación, diferenciar entre nubes, nieve y hielo
Banda 7 SWR 2	Útil para discriminar tipos de rocas, para estudios de suelo y mejora la determinación de contenidos de humedad en suelos y vegetación
Banda 9 Pancromática	Es una imagen sensible a todo el espectro visible y más afinada en tanto su resolución es 15 m
Banda 8 Cirrus	Ofrece una mejora en la determinación de nubes cirrus,
Banda 10 TIRS 1 Térmica	Mapeo termal mejorado y estimado de humedad del suelo
Banda 11 TIRS 2 Térmica	Mapeo termal mejorado y estimado de humedad del suelo

Fuente: Obtenido de Franco, 2017, pp.12

- **Clasificación supervisada.** – Es una técnica que permite la clasificación de los objetos de la imagen por medio del agrupamiento de píxeles que tienen valores similares de reflectancia (Gutiérrez, 2005; Cartaya, Zurita y Rodríguez, 2015). A partir de la clasificación supervisada se elaboró cartografía temática de cobertura vegetal y de uso de suelo a escala 1:50 000, teniendo en cuenta las áreas de entrenamiento asignadas según cada tipo de cobertura: bosque, vegetación arbustiva, pastos y cultivos, mediante

la agrupación de píxeles se obtuvieron los polígonos digitalizados sobre la imagen satelital para los tres tipos de cobertura.

- **Validación de la clasificación supervisada: Matriz de contingencia.** - Toda clasificación deberá ser evaluada según el grado de exactitud para que sea válida, ya que ninguna técnica o método es confiable al 100%. Por lo tanto la matriz de contingencia o error es un instrumento utilizado para evaluar la exactitud de una clasificación, es bidimensional y muestra la relación $n \times n$ en la cual las filas representan las clases de referencia (terreno) y las columnas las áreas de entrenamiento (mapa temático), y de manera diagonal se representa los puntos de control donde coinciden los valores de la matriz, en la cual la relación se ajusta más a la realidad del uso de suelo y expresa fiabilidad en los resultados finales del mapa temático (Hernández, González, Molina y López, 2016). Las medidas de exactitud se basan en resultados arbitrarios de la matriz, por lo cual no se usan todos los datos, es por ello que para conseguir exactitud se usan índices estadísticos, tal es el caso del índice o coeficiente Kappa (k), el mismo que expresa la diferencia o similitud entre la realidad (terreno) y el mapa (cartografía), según los valores de concordancia, estos pueden ser aceptados o rechazados, si el valor obtenido es 0.80 se considera una fuerte concordancia y el sí valor k es menor a 0.4 es una concordancia pobre (Tabla 8) (Cerde y Villarroel, 2008).

Tabla 8. Categoría de concordancias de validación para el coeficiente 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 - 1.00	Perfecta

Fuente: Obtenido de Cerda y Villarroel, 2008, pp.57

Para la obtención de los puntos de control se aplicó la siguiente fórmula de tamaño muestral (Aguilar, 2005).

Ecuación 1. Tamaño muestral

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{NE^2 + Z^2 p \cdot q}$$

Donde:

Z= Nivel de confianza

N= Población-Censo

p= Probabilidad a favor

q= Probabilidad en contra

e= Error de estimación

n= Tamaño de la muestra

- **Evaluación del cambio de uso de suelo mediante la matriz de transición**

También denominada matriz de tabulación cruzada del tiempo, resultó de la intersección de dos mapas de diferentes periodos (1996-2007 y 2007-2018) de la microcuenca del río Blanco, elaborados en el software ArcGIS®, lo que permitió obtener patrones de cambio mediante la matriz, las filas y las columnas representan el tiempo inicial y final respectivamente de los periodos, es decir se determinó la pérdida, ganancia y persistencia (diagonal principal) de cada una de las coberturas analizadas (en porcentajes) (Osuna, Díaz, Anda, Villegas, Gallardo y Dávila, 2015).

3.2.2 Estimación de la tasa de erosión hídrica en la microcuenca en el año 2018

3.2.2.1 Modelo RUSLE

Se aplicó el modelo RUSLE (Ecuación Revisada Universal de Pérdida de Suelo) para calcular la pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca del río Blanco, es un modelo ampliamente usado en todo el mundo debido a la integración con herramientas SIG (Campaña, 2015). Los procesos del modelo cartográfico se ejecutaron mediante el software ArcGIS ® 10.5 con licencia académica de laboratorio de Geomática de la Universidad Técnica del Norte. El modelo RUSLE se expresa mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Erosión hídrica

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Donde:

A = Pérdida de suelo por unidad de superficie, se obtiene del producto del resto de los factores (t/ha/año).

R = Capacidad erosiva de las lluvias (MJ.mm/ha.h).

K = Erosionabilidad de los suelos (t.ha.h/ha.MJ.mm).

L = Factor que mide el efecto de la longitud de pendiente (adimensional).

S = Factor que mide el efecto de la inclinación de la pendiente (adimensional).

C = Factor que mide el efecto de la cobertura o clase de cultivo y su manejo (adimensional).

P = Prácticas de conservación de suelos (Adimensional)

Factor R (Erosividad de la precipitación)

Para el cálculo del factor “R” se empleó información de precipitación media anual del periodo (1996-2007-2018) obtenida de las diferentes estaciones meteorológicas

y pluviométricas del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) que se encuentran dentro y fuera del área de estudio y del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Colombia) (Tabla 9) (Figura 2).

Tabla 9. Estaciones meteorológicas, coordenadas UTM WGS 1984 Zona 17 Sur

CÓDIGO	ESTACIÓN	X	Y	ALTITUD m s.n.m.
M003	Izobamba	772702	9959435	3058
M0103	San Gabriel	854465	10066399	2860
M0317	Cotacachi	804038	10033750	2410
M0305	Julio Andrade	865608	10071900	2890
M0324	San Francisco de Sigsipamba	843868	10032987	2230
M0308	Tufiño	850208	10088627	3418
M0310	Mariano Acosta	836069	10033389	2980
52050130	Chiles	851202	10089825	3100
52050110	Cumbal	858200	10099595	3092
35030260	Aeropuerto San Luis	869957	10094838	2961
51025090	Granja El Mira	755908	10171460	16
M025	Concordia	681248	9997358	397
M0358	Calacali	776884	10000154	2810
M105	Otavalo	806122	10025820	2550
M102	Angel	878464	10068483	3000
M0326	Selva Alegre	769704	10027258	1800
M0154	Cayapas	728054	10095363	55

Elaboración propia, 2019

Para el cálculo del factor R se realizó el siguiente proceso:

- Modelación de la precipitación mensual y anual mediante la interpolación de datos que se obtuvieron de las estaciones del INAMHI e IDEAM, utilizando interpoladores geo-estadísticos con el software ArcGIS ® 10.6.
- Mediante la herramienta *Model Builder* se obtuvo la capa temática de erosividad de las precipitaciones, aplicando la siguiente fórmula del Índice Modificado de Fournier.

Ecuación 3. Índice Modificado de Fournier

$$R = \sum_{i=1}^{i=12} pi^2 / P$$

Donde:

R: Erosividad de las lluvias

pi²: Precipitación promedio mensual

P: Precipitación anual

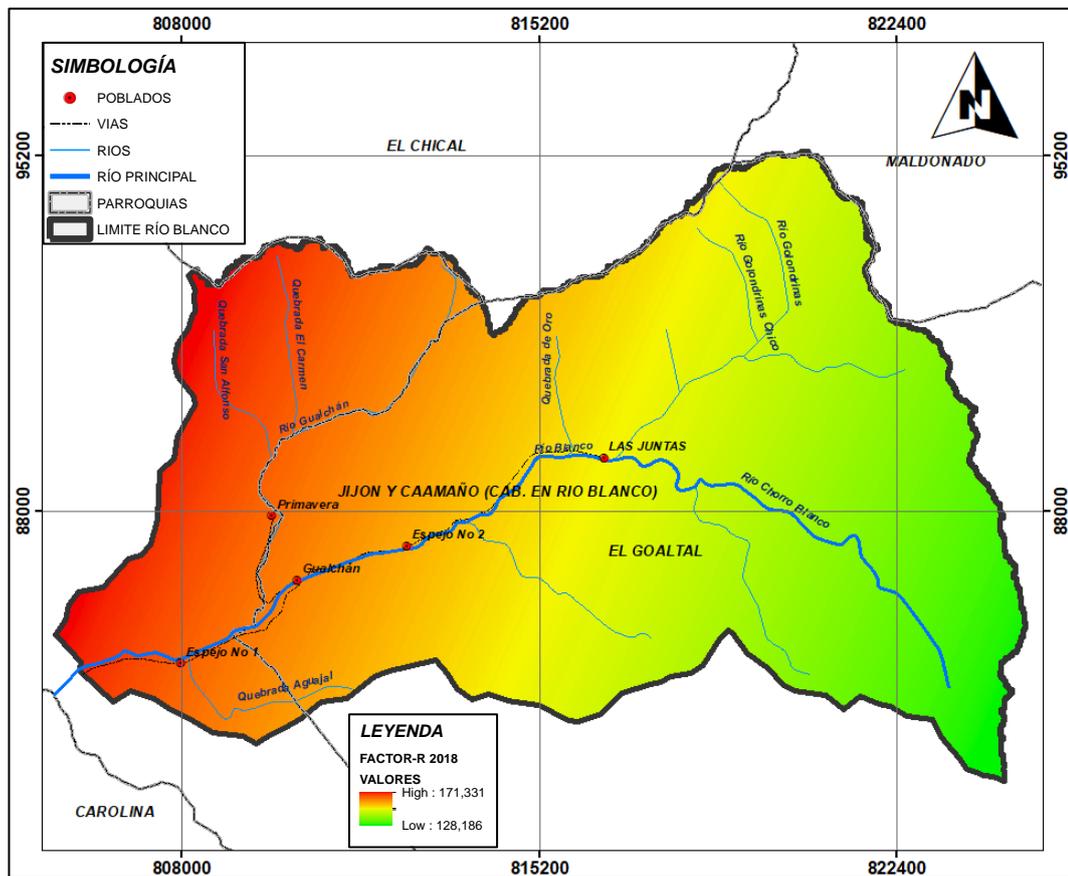


Figura 2. Factor R para la microcuenca del río Blanco. (Elaboración propia, 2019)

Factor K (Erosionabilidad de los suelos)

Representa la susceptibilidad del suelo frente a la erosión hídrica, el factor K se calculó empleando la cartografía de suelos del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE,

2018), donde se generó información sobre textura y contenido de materia orgánica a escala 1:25 000. En la figura 3 se presenta los factores de erodabilidad del suelo (Campaña, 2015; Ganasri y Ramesh, 2016).

Ecuación 4. Factor K erodabilidad

$$K = 27.66xm^{1.14} x 10^{-8}x (12 - a) + (0.0043 x (b - 2)) \\ + (0.0033 x(c - 3))$$

Donde:

m= (% de Limo + % de arena muy fina x (100 - % de arcilla)

a= % de materia orgánica

b= código de estructura en el que (1) es muy estructurado o particulado, (2) es bastante estructurado, (3) esta ligeramente estructurado y (4) es sólido.

c= código de perfil de permeabilidad en el que (1) es rápido, (2) es moderado a rápido, (3) es moderado, (4) es moderado a lento, (5) es lento, y (6) muy lento.

Determinación de la textura del suelo en campo

La textura es la proporción en porcentaje de peso de las partículas > 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) las cuales se encuentran en los horizontes del suelo. Para determinar la textura en campo se usó el método de textura mediante el tacto, la muestra fue humedecida y amasada entre los dedos hasta formar una pasta homogénea, posteriormente se presionó entre los dedos índice y pulgar, y se observó la presencia de brillo, si la cinta es lisa o escamosa o si es áspero al tacto (Brady y Weil, 2009). La microcuenca del río Blanco cuenta con dos clases de textura: arenosa y arcillosa.

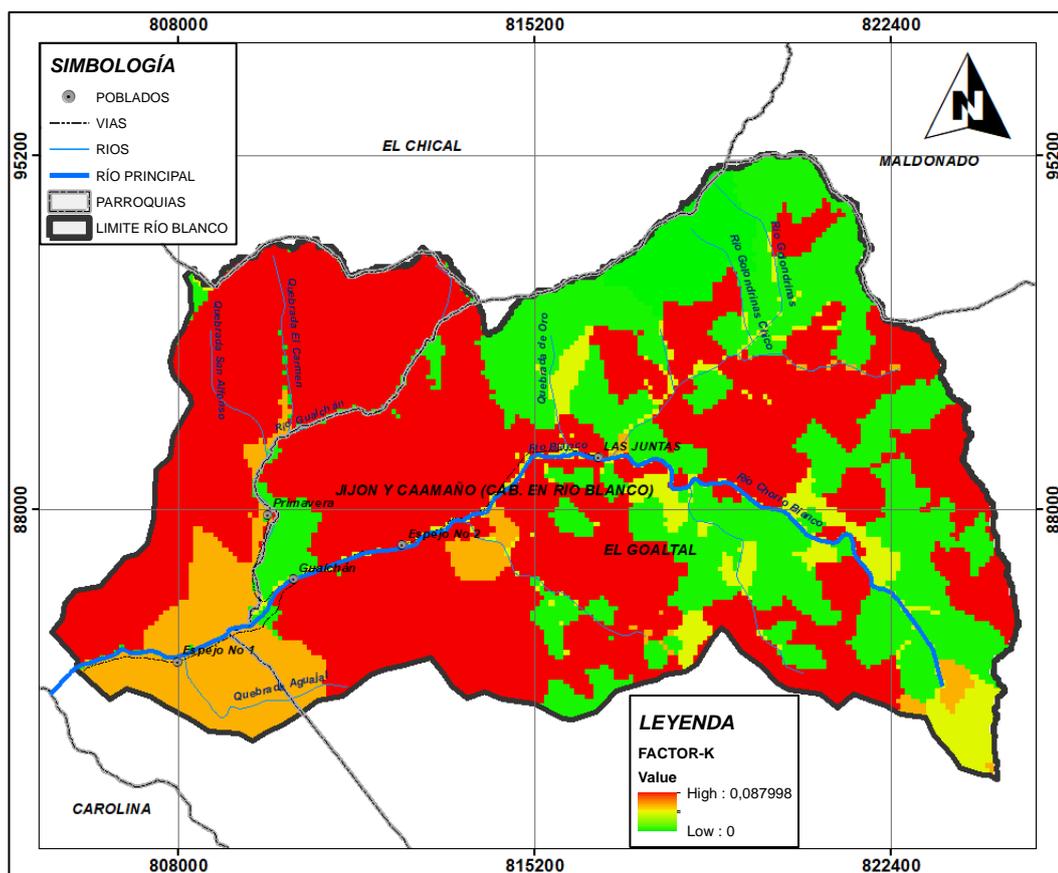


Figura 3. Factor K para la microcuenca del río Blanco. (Elaboración propia, 2019)

Factor LS (Topográficos)

Factor L de longitud de la pendiente, representa el efecto en la erosión hídrica del suelo (adimensional).

Ecuación 5. Factor LS

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m$$

Donde:

L = Factor longitud pendiente

λ = Longitud de la pendiente (m), correspondiendo a la proyección horizontal de la pendiente, no debiéndose confundir con la distancia paralela a la superficie del suelo.

22.1 = Longitud (m) de la parcela estándar de la RUSLE.

m = Exponente que depende del grado de la pendiente, los valores del subfactor m se describen a continuación (Tabla 10).

Tabla 10. Valores del subfactor m

Pendiente %	Valores de exponente m
<1	0.20
1 – 3	0.30
3 – 5	0.40
>5	0.50

Fuente: Obtenido de Campaña, 2015, pp.38

Factor S es el grado de inclinación de la pendiente, representa los efectos de la inclinación en la erosión hídrica del suelo.

Ecuación 6. Factor S

$$S = 0.065 + 0.045s + 0.0065s^{29}$$

Donde:

S= Factor de gradiente de la pendiente

s= Gradiente de la pendiente (%).

El factor L y S son usados en conjunto, se los denomina factor topográfico, representan el efecto que tiene el relieve sobre la pérdida del suelo. Se usaron herramientas tales como *Spatial analyst*, *Slope*, *Hidrology tools*, *raster calculator*, en el software ArcMap ®, y además se empleó el DEM (Modelo Digital de Elevación) de 30 m de la microcuenca del río Blanco, con el fin de obtener el mapa de pendientes para el cálculo del factor LS (Figura 4). (Campaña, 2015).

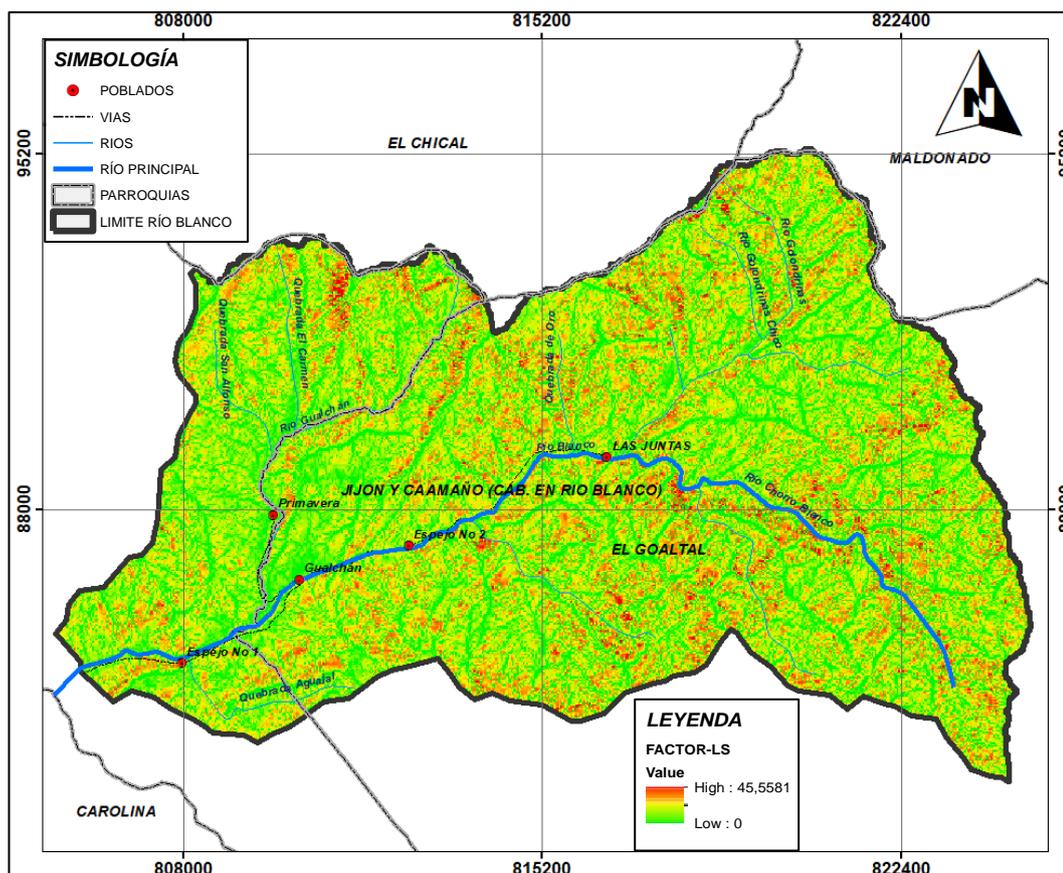


Figura 4. Factor LS para la microcuenca del río Blanco. (Elaboración propia, 2019)

Factor “C”

Este factor representa uno de los más significativos en la erosión del suelo, se debe a las alteraciones del suelo, causado por actividades agrícolas. Los valores varían de 0 a 1, donde 0 indica que no hay cobertura vegetal, suelo erosionado, mientras que 1 indica protección de suelo por la cobertura vegetal (Pham, Degener, y Kappas, 2017; Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015). De acuerdo con el método, este factor se calcula utilizando 5 sub-factores como:

Ecuación 7. Factor C

$$SLP= PLU* VD*SR*SM$$

PLU= Uso de suelo prioritario
VD = Densidad de vegetación
SR = Superficie de Rugosidad
SM = Humedad del suelo

Para el cálculo de la densidad de la vegetación, se utilizó el índice de vegetación avanzada (AVI) y el índice de suelo desnudo (BI), donde la aplicación de estos índices ayuda a tener mejor resultados de acuerdo a la cobertura vegetal; para el cálculo se ocupó la siguiente ecuación para la imagen Sentinel 2A (Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015).

Ecuación 8. Índice de vegetación avanzada

$$AVI = [(B8 + 1) * (256 - B4) * (B8 - B4)]^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 9. Índice de suelo desnudo

$$BI = \frac{(B11 + B4) - (B8 - B2)}{B11 + B4 + B8 - B2} * 100 + 100$$

La densidad de vegetación (VD), se obtuvo multiplicando el AVI y el BI, los valores varían entre 0 y 1, donde la erosión disminuye a medida que aumenta los valores. El valor de VD debe estar en los mismos valores que SM y PLU, para lo cual VD se resta 1 y se obtiene el índice VD (Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015). El uso de suelo prioritario (PLU) indica los efectos de la labranza que se realiza en las zonas agrícolas, para lo cual el valor de 1 equivale para condiciones de labranza reciente, mientras que el valor de 0.45 para áreas donde no se realiza ninguna práctica de labranza en el suelo durante siete años o algún periodo. Para determinar este factor se realizaron 7 entrevistas a entes claves, con la finalidad de conocer el tiempo labranza que se realiza en las áreas de cultivo de la microcuenca del río Blanco, lo que proporcionó una confiabilidad del 90%.

El subfactor de humedad del suelo es importante en la erosión del suelo, por lo que se debe aplicar con precaución, tomando en cuenta si en el área de estudio presenta

un exceso de infiltración (Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015). Por lo anteriormente mencionado se aplicó la Ecuación 10, propuesta por Thornthwaite and Mather (1995), para determinar si en la microcuenca del río Blanco la precipitación es mayor que la evapotranspiración, obteniendo que la precipitación es mayor que la evapotranspiración, por lo que existe exceso infiltración en la microcuenca, en ese contexto SM obtuvo un valor de 1 (Tabari y Talae, 2013; Tanyas, Kolat, y Suzen, 2015).

Ecuación 10. Subfactor de humedad del suelo

$$MI = \left(1 - \frac{PET}{P}\right) P > PET$$

Donde:

P= Precipitación

EP= Evapotranspiración

El sub factor de rugosidad de la superficie (SR), se determinó empleado el índice de rugosidad (TRI), sin embargo, en el área de estudio no se tomó en consideración, debido a que los valores indicaron que el área de estudio presenta una superficie lisa, en mayor parte de la cuenca.

Es uno de los factores que se usa para reflejar las prácticas de manejo del suelo en la tasa de erosión, es decir representa los diferentes comportamientos del suelo frente a la erosión (Figura 5) (Ganasri y Ramesh, 2016). El factor se calculó mediante la obtención del NDVI, con la siguiente ecuación:

Ecuación 11. Prácticas de manejo del suelo en la tasa de erosión

$$C = \exp\left(-\alpha \frac{NDVI}{\beta} - NDVI\right)$$

Donde:

α y β = Factores de escala

α = 2

β = 1

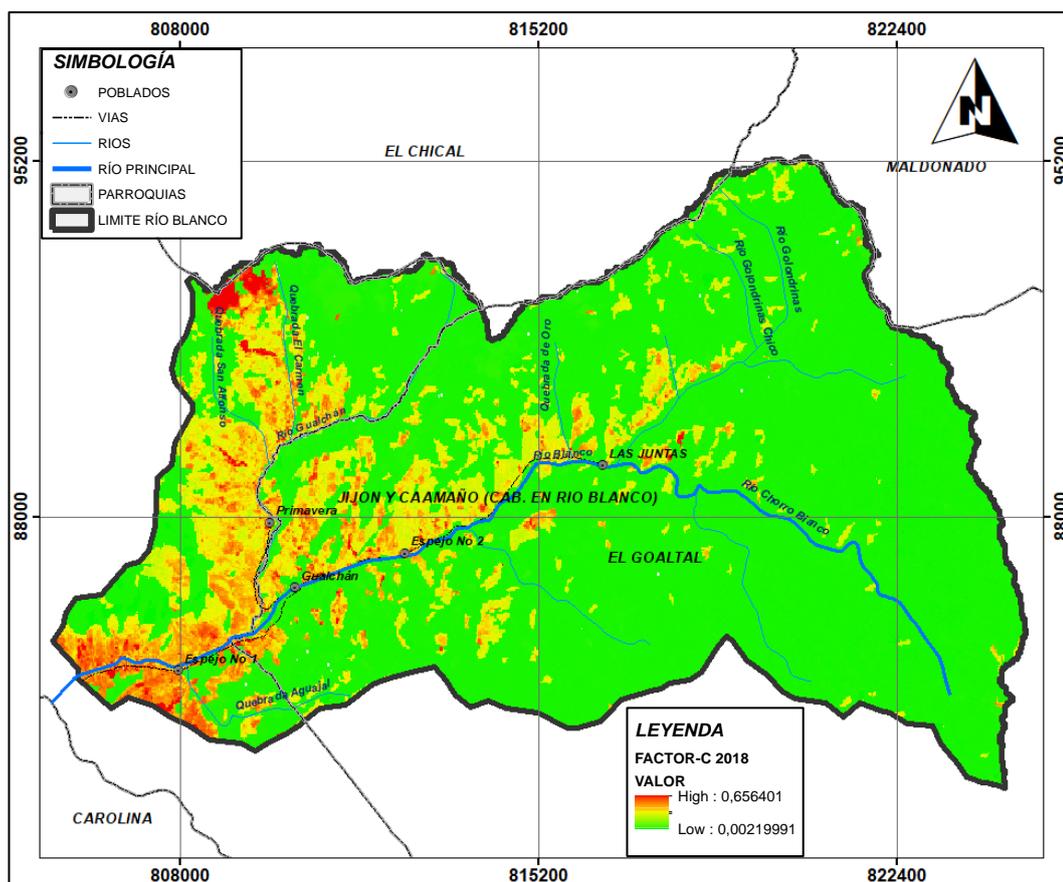


Figura 5. Factor C para la microcuenca del río Blanco. (Elaboración propia, 2019)

Factor “P”

Es el factor de prácticas de conservación del suelo, controla el escurrimiento superficial para que la erosión hídrica en terrenos con pendiente disminuya. El valor de P depende de la inclinación de la pendiente del terreno, su valor se encuentra en el rango de 0 a 1, en caso de no existir prácticas de manejo de suelo $P = 1$. Mediante reconocimientos de campo en la microcuenca de río Blanco no se detectaron prácticas de conservación de suelos, por tanto, el valor de P se asume como valor de 1 (Ganasri y Ramesh, 2016).

3.2.2.2 Esquema metodológico de RUSLE

El esquema metodológico nos muestra un resumen del modelo Rusle y sus factores, el cual fue aplicado mediante Software ArcGIS y la técnica de clavos de erosión en campo, los cuales fueron usados para estimar la erosión hídrica (Figura 6) (Campaña, 2015).

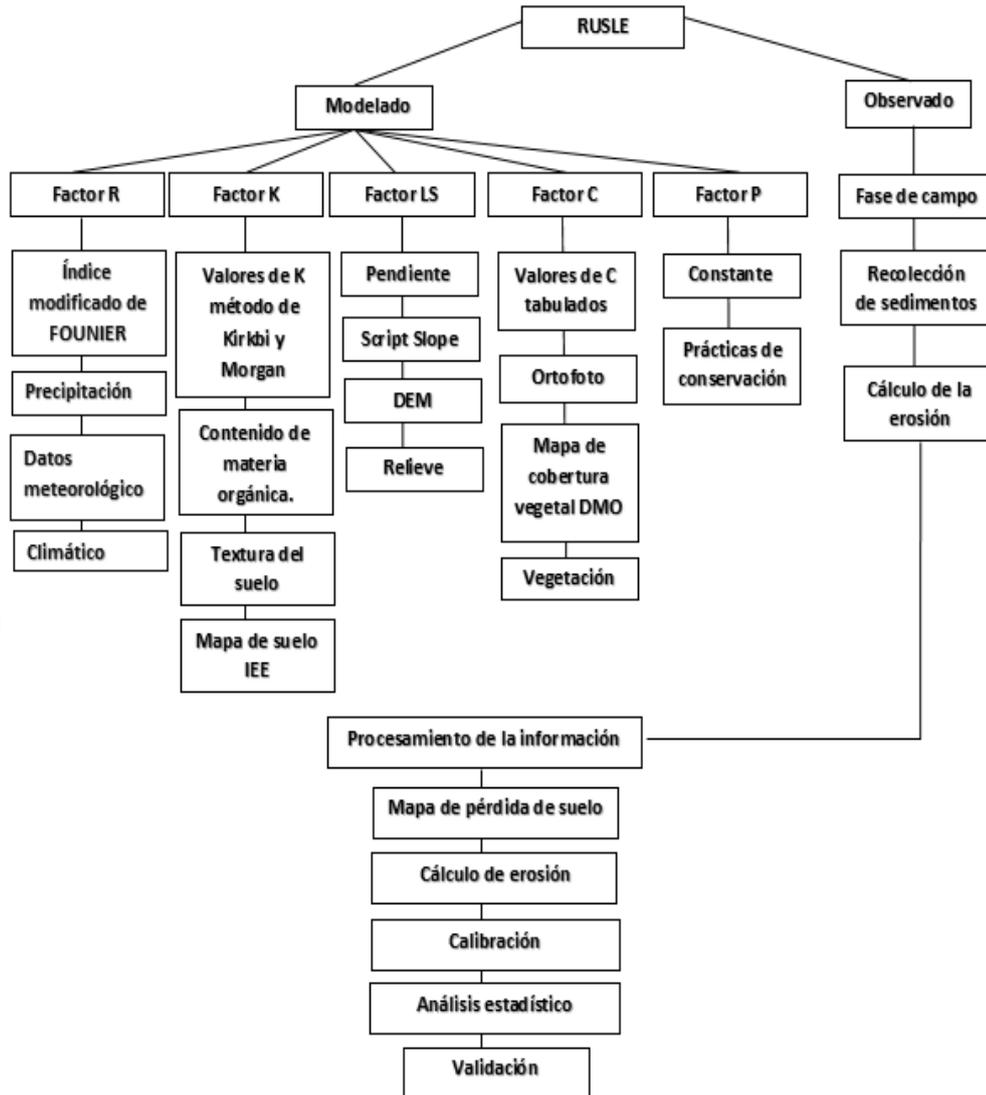


Figura 6. Esquema metodológico de Rusle (Elaboración propia, 2019)

Para clasificar los rangos de erosión hídrica en la microcuenca obtenidos con el método RUSLE se empleó la tabla 11.

Tabla 11. Clasificación de rangos de erosión

EROSIÓN	RANGO (ton/ha/año)
Bajo	0 – 10
Ligero	10 – 50
Fuerte	50 – 200
Severa	>200

Fuente: Obtenido de FAO, 2018, pp.28

3.2.3 Análisis de la relación entre la pérdida de cobertura vegetal y la erosión hídrica del suelo

3.2.3.1 Método de clavos de erosión

Se aplicó la metodología de Pizarro (1999) para la instalación de tres cuadrantes de 10 x 10 m, ubicados en la parte alta (sector Las Juntas), parte media (sector El Carmen) y parte baja (sector Espejo 1), de la microcuenca del río Blanco (Figura 7), cada uno de los ensayos fueron delimitados con piola *nylon* de color rojo y cuatro estacas de 0,80 cm de altura colocadas en las esquinas; los cuadrantes fueron geo-referenciados empleando un navegador GPS GARMIN 60CSX, se colocaron 36 clavos de 6 pulgadas con arandelas metálicas en la base, en cada uno de los ensayos, dando un total de 108 clavos para todo el estudio, finalmente se colocaron estacas de 1m de alto de color rojo en cada clavo para facilidad de identificación en la toma de datos con calibrador digital.

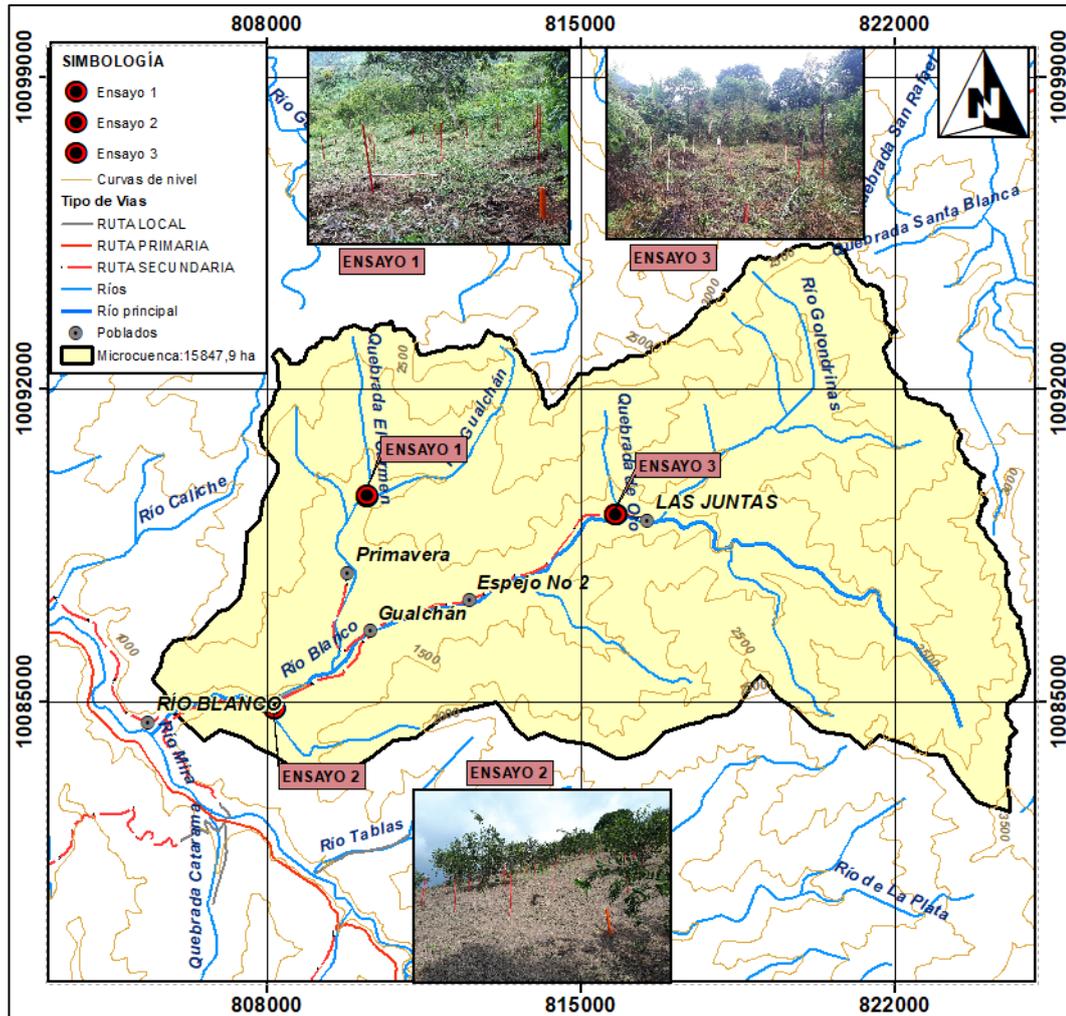


Figura 7. Ubicación de ensayos en la microcuenca del río Blanco. (Elaboración propia, 2019)

El proceso de medición se realizó empleando un calibrador electrónico y consistió en la lectura en mm de la capa pérdida de suelo en cada clavo, los resultados obtenidos fueron acorde a los diferentes factores climáticos y topográficos que influyeron en cada uno de los ensayos, se obtuvo una medida de suelo perdido y/o suelo sedimentado, el muestreo tuvo una duración de 12 meses iniciando desde el mes de enero del 2019 hasta el mes de diciembre del 2019, es decir en época seca y lluviosa (Pizarro y Cuitiño, 1999).

Para obtener los datos de pérdida de suelo por erosión hídrica se obtuvo el promedio de los datos registrados en (mm), para proceder a transformarlos a ton/ha/año de

todas las mediciones realizadas durante el tiempo de muestreo, de igual forma se obtuvo valores negativos que representan la sedimentación (Tabla 12) (Dalzell, 1991).

Tabla 12. Cálculo de erosión hídrica del suelo de cada ensayo a ton/ha/año

MESES	mm	cm	cm ³	Masa (da) G	Masa (da) kg	Masa (da) ton/ha/mes
ene-19	1.02	0.102	102000.0	135150	135.15	0.135
feb-19	3.02	0.200	200000.0	265000	265.00	0.265
mar-19	3.55	0.053	53000.0	70225	70.23	0.070
abr-19	7.14	0.359	359000.0	475675	475.68	0.476
may-19	8.17	0.103	103000.0	136475	136.48	0.136
jun-19	11.3	0.313	313000.0	414725	414.725	0.415
jul-19	10.89	-0.041	-41000.0	-54325	-54.325	-0.054
ago-19	9.45	-0.144	-144000.0	-190800	-190.80	-0.191
sep-19	12.78	0.333	333000.0	441225	441.23	0.441
oct-19	18.46	0.568	568000.0	752600	752.60	0.753
nov-19	24.95	0.649	649000.0	859925	859.925	0.860
dic-19	21.78	-0.317	-317000.0	-420025	-420.025	-0.420
Suma						2.89
ton/ha/año						

Elaboración propia, 2019

3.2.3.1 Estimación de sedimentos

Para relacionar la pérdida de cobertura vegetal con la erosión hídrica del suelo y generación de sedimentos se instalaron tres pluviómetros para la obtención de datos de precipitación mensual en la parte alta, media y baja de la microcuenca (Tabla 13). En la validación de sedimentación se usaron los datos de erosión simulados en el modelo RUSLE con los datos obtenidos en los reportes de resultados de sólidos disueltos y sólidos totales.

La estimación de la generación de sedimentos se realizó mediante el análisis de tres parámetros físicos del agua muestreada en el punto de aforo de la microcuenca, los parámetros analizados fueron:

- **Turbidez (NTU):** Es la falta de transparencia en el agua, por el contenido de sólidos suspendidos, materias coloidales, mineras y orgánicas, además está directamente relacionado con la conductividad (Marco, Azario, Metzler y Garcia, 2004).
- **Sólidos disueltos totales (mg/l):** Son aquellas partículas que se encuentran suspendidas en el agua (Simanca, Álvarez y Paternina, 2009).
- **Sólidos totales suspendidos (mg/l):** Están compuestos por moléculas orgánicas e inorgánicas con iones en disolución del agua (Simanca, Álvarez y Paternina, 2009).

Tabla 13. Datos de precipitación mensual registrada en los pluviómetros de cada ensayo

es	ENSAYO 1(mm) El Carmen	ENSAYO 2 (mm) Espejo 1	ENSAYO 3 (mm) Las Juntas
ene-19	297	145	281
feb-19	473	107.2	509
mar-19	401.2	312	601.2
abr-19	657	284	518
may-19	202.2	180	479.8
jun-19	240.6	185	298
jul-19	118	110	365
ago-19	40	45	36.93
sep-19	250	145	200
oct-19	487	358	600
nov-19	598	295	570
dic-19	474	259	425

Elaboración propia, 2019

Para la evaluación de la cantidad de sedimentos que se produce en la microcuenca del río Blanco, se usó los datos estimados en el modelo RUSLE, debido a que este permite evaluar la pérdida de suelo por erosión, la misma que está directamente relacionada con la sedimentación (Tapia, 2012).

3.2.3.2 Arrastre de sedimentos de fondo

La sedimentación en cuerpos de agua superficiales reduce la capacidad hidrológica, teniendo como consecuencias máximas crecidas y desbordes frecuentes dependiendo de la topografía del lugar, por lo tanto, una parte del material que se erosiona de la microcuenca es captado por la cobertura vegetal y otra parte del flujo es arrastrado, el cual se deposita en zonas de la parte baja de la microcuenca, hasta que se suscite un nuevo arrastre debido a las precipitaciones.

A través de la estación hidrométrica Blanco AJ Mira (H013) del INAMHI se obtuvieron los registros de caudales medidos mensuales. Se realizó un muestreo puntual de caudales sólidos mediante la recolección de muestras mensuales que fueron enviadas al laboratorio de la EMAPA-I para el respectivo análisis de los parámetros de turbidez, sólidos disueltos totales y sólidos totales suspendidos, y con esto estimar el transporte de sedimentos (Martínez, 2017).

Para medir el grado de erosión hídrica existen varios métodos indirectos, teóricos y modelos experimentales como el modelo de escurrimiento y el de clavos de erosión, la diferencia de estos modelos es que el uno requiere de altas tecnologías y el precio para realizar es altamente costoso, mientras que el otro modelo es sencillo, preciso y menos costoso (Pizarro y Martínez, 1999).

Los procesos erosivos de una microcuenca aportan con sedimentos en los causes de agua; existen varias metodologías para estimar el aporte de sedimentos, una de ellas es la propuesta Gavrilovic (1972) el cual considera el volumen de los sedimentos “G” (en m^3 / año) producido por erosión y transportado a las partes baja de la cuenca, como el producto de la producción media anual de sedimento por erosión superficial “W” y el coeficiente de retención de sedimentos “R”. Para determinar el volumen promedio anual erosionado de sedimento se empleó la siguiente ecuación (Andreazzini, Degiovanni, Spalletti y Irigoyen, 2014).

Ecuación 12. Volumen promedio anual erosionado

$$W = T \cdot h \cdot \pi \cdot \frac{Z^3}{2} \cdot F \text{ (m}^3\text{/año)}$$

Dónde:

T = coeficiente de temperatura, el cual se obtiene de:

Ecuación 13. Coeficiente de temperatura

$$T = \frac{\left[\left(\frac{t}{10}\right) + 0.1\right]1}{2}$$

Dónde:

t = Es la temperatura promedio anual (°C)

h = Es la precipitación media anual (mm/año)

F = la superficie de la cuenca (km²)

Z = es el coeficiente de erosión, el cual se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 14. Coeficiente de erosión

$$Z = X \cdot Y \cdot \frac{(\phi + I)1}{2}$$

Dónde:

X = (entre 0.1 y 1),

Y = (entre 0.2 y 2)

φ = (entre 0.1 y 1)

I = Es el gradiente de la pendiente superficial en %

Los valores de los coeficientes fueron propuestos por el autor representado respectivamente el grado de protección del suelo por la vegetación y la intervención antrópica, el grado de resistencia a la erosión del suelo teniendo en cuenta sus características geolitológicas y finalmente el estado erosivo de la cuenca hidrográfica.

El coeficiente R indica la relación entre el volumen de sedimento que es transportado a la parte baja de la cuenca y el volumen total de material producido

por erosión superficial en la parte alta. La ecuación para el cálculo del coeficiente R según Zemljic (1971) es la siguiente:

Ecuación 15. Coeficiente R

$$R = O \cdot \frac{D1}{2} \cdot \frac{L + Li}{L + 10} \cdot F$$

Dónde:

O = Es el perímetro de la cuenca (km)

D = Es la diferencia de nivel media en la cuenca (cota media menos cota mínima, en km)

Li = Es la longitud total de los afluentes fluviales laterales (km)

L = Es la longitud de la cuenca por el talweg del cauce principal (km)

F = Es la superficie de la cuenca (km²).

3.2.4 Coeficiente de correlación Rho Spearman

Es una medida de la correlación no paramétrica, que mide la asociación o interdependencia entre dos variables aleatorias (Restrepo y González, 2007).

Hipótesis

H₀= No existe correlación entre los datos

H_a= Existe correlación entre los datos

H_a: $\rho > 0 \rightarrow$ H₀: $\rho \leq 0$

Para comprobar la significación estadística del índice de correlación se consulta en la tabla correspondiente el valor crítico de r_s para n pares de datos, para $p=0.05$ o inferior y para el número de colas acorde con la hipótesis. Si $r_{s\text{ cal}} \geq r_{s\text{ crít}}$, se rechaza H₀, es decir valores a menos 0.05 se aceptan la hipótesis alternativa.

3.2.4.1 Procesamiento de datos

Los datos procesados fueron obtenidos en la investigación y tabulados mediante el programa informático Microsoft Excel, y el programa IBM SPSS versión 2.1 (Statistical Package for the Social Sciences). El primer paso para seguir fue el planteamiento de las hipótesis, H_0 = No existe correlación entre los datos y H_a = Existe correlación entre los datos, después se procedió a ingresar los datos tabulados de Excel a IBM SPSS (Tabla 14) (Castañeda, 2010).

Tabla 14. Correlación de pastos y cultivos 1996-2018

Correlaciones				
			Pastos y Cultivos	Rusle
Rho de Spearman	Pastos y Cultivos	Coeficiente	1,000	-,161
		de correlación		
		Sig. (bilateral)	.	,372
		N	33	33
	Rusle	Coeficiente	-,161	1,000
		de correlación		
Sig. (bilateral)		,372	.	
	N	33	33	

Elaboración propia, 2019

3.3 Materiales y equipos

A continuación se describe cada uno de los materiales y equipos que se usaron durante el tiempo de estudio (Tabla 15).

Tabla 15. Materiales y equipos

Materiales de campo	Materiales de oficina
Clavos de 2 y 6 pulgadas	Laptop Lenovo
Arandelas metálicas	Ortofoto Mira y Espejo
Pirola nylon roja	Software ArcGis 10.6
Estacas de madera de 1m y 0,80 cm	Resma de papel
Martillos	Impresora
Pintura roja	Viáticos
GPS GARMIN 60CSX	Transporte
Pluviómetros	Alimentos
Cámara semiprofesional	
Calibrador electrónico	
Flexómetro	
Libreta de campo	

Elaboración propia, 2019

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación de la variación de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Blanco en el periodo 1996-2018

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en el análisis multitemporal, para la cuantificación de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal de la microcuenca del río Blanco.

4.1.1 Validación del análisis multitemporal mediante la matriz de contingencia y el índice Kappa

Para validar la clasificación supervisada se colectaron 50 puntos de control en campo con navegador GPS para las tres categorías de coberturas y uso del suelo en el área de estudio: bosque (10 puntos), vegetación arbustiva (10 puntos) y pastos y cultivos (30 puntos) (Figura 8).

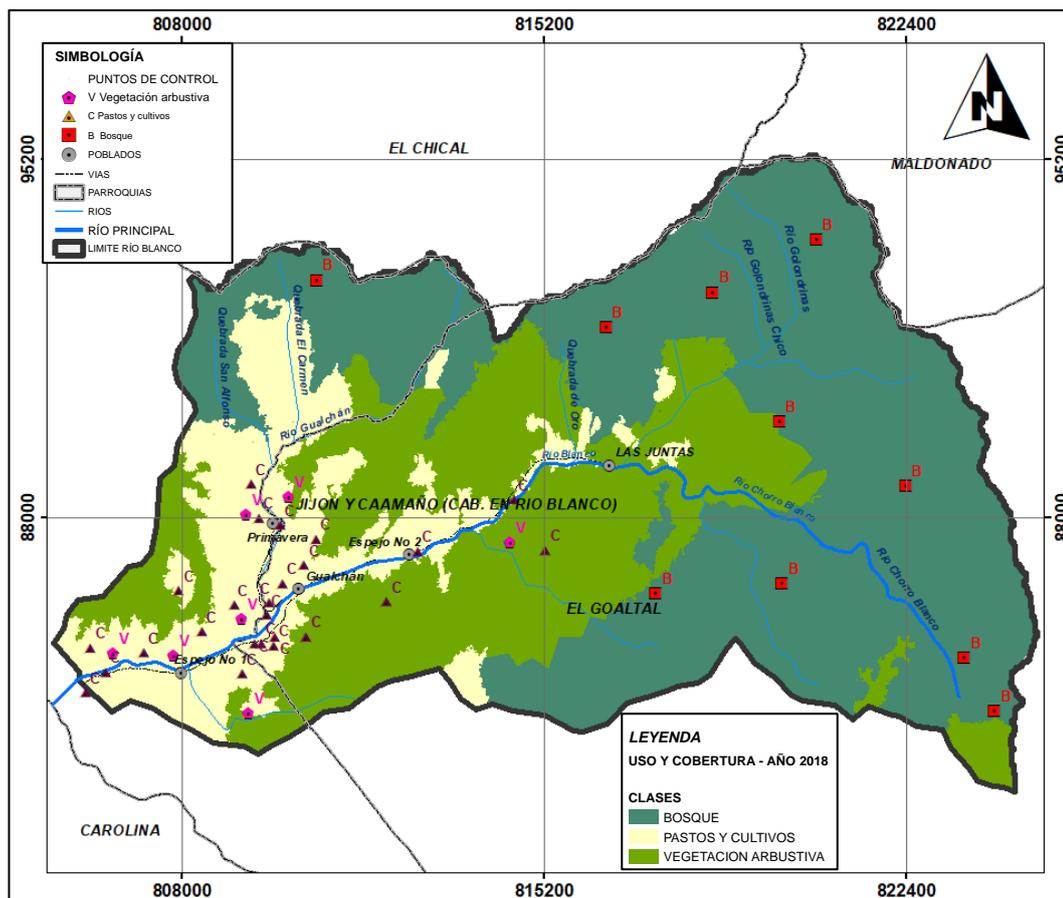


Figura 8. Ubicación de puntos de control en la microcuenca. (Elaboración propia, 2019)

Los valores ingresados en la matriz de contingencia para la categoría de uso de suelo y cobertura vegetal fueron: 1 (bosque) de 10 en usuario y 10 en predicción; en la categoría 2 (vegetación arbustiva) un valor de 6 en usuario y 10 en la predicción y finalmente en la categoría 3 (pastos y cultivos) 33 en usuario y 29 en predicción, lo que indica una concordancia considerable entre los datos obtenidos mediante la clasificación supervisada en la imagen Sentinel de 2018 y los datos obtenidos en campo (puntos de control) en el mismo año, ya que se obtuvo una precisión de 79.59% y un valor para el índice Kappa de 0.62 (Tabla 16).

Tabla 16. Matriz de contingencia de la clasificación supervisada de la imagen Sentinel de 2018

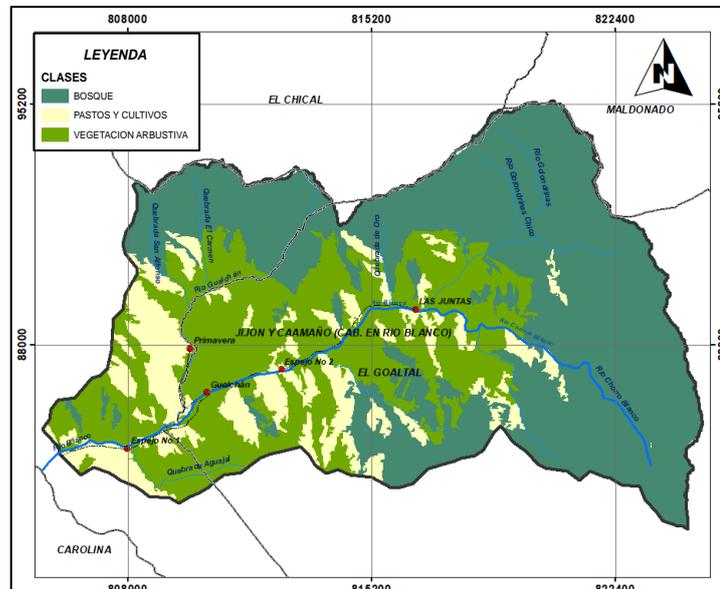
USUARIO	Bosque (1)	Vegetación arbustiva (2)	Pastos y cultivos (3)	TOTAL	Precisión de la predicción
Bosque (1)	10	0	0	10	100%
Vegetación arbustiva (2)	0	3	3	6	50%
Pastos y cultivos (3)	0	7	26	33	78.79%
TOTAL	10	10	29	49	
Precisión de usuario	100%	30%	89.66%		

Elaboración propia, 2019

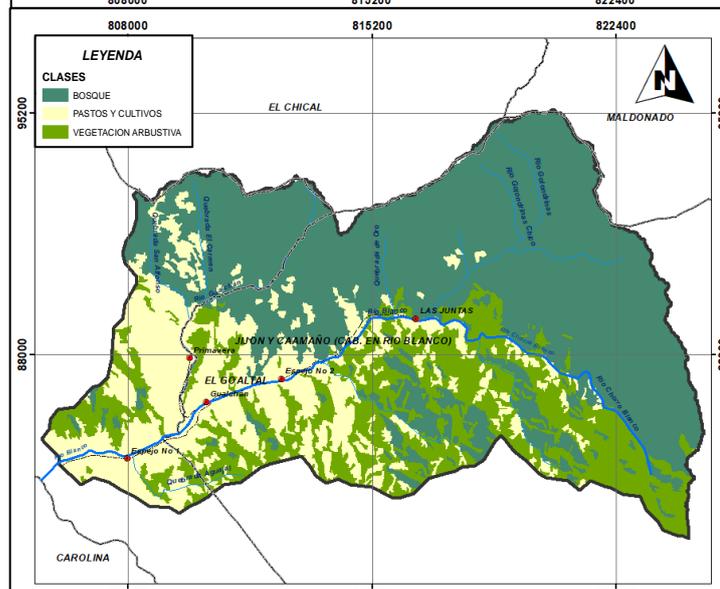
4.1.2 Clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat, para los periodos 1996-2007 y 2007-2018 de la microcuenca del río Blanco.

Según los resultados obtenidos en la clasificación supervisada las variaciones en los cambios de cobertura vegetal durante los últimos años, se evidenció aumentos y disminuciones en cada tipo de cobertura (Figura 9).

A



B



C

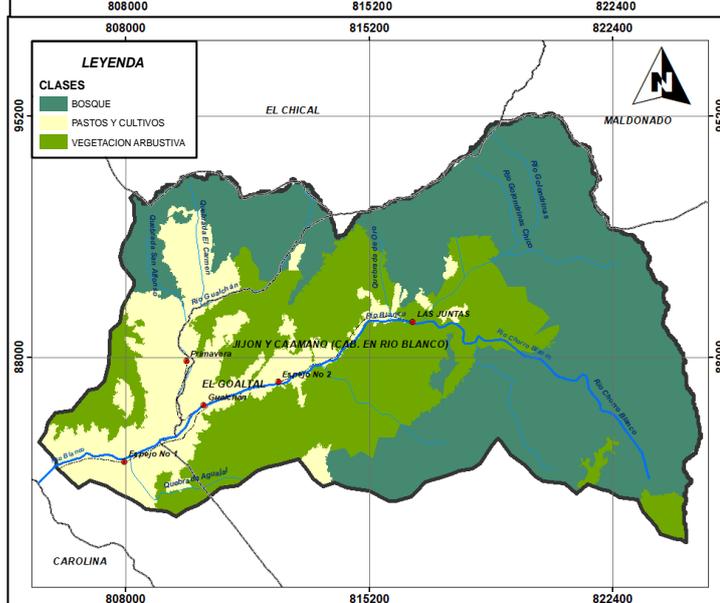


Figura 9. A) Cambio de uso de suelo año 1996; B) Cambio de uso de suelo año 2007; C) Cambio de uso de suelo año 2018 de la microcuenca del río Blanco. (Elaboración propia, 2019)

En el periodo 1996 -2018 existió una disminución de 1.33% en la cobertura de bosque, para la cobertura vegetal en el mismo periodo se registró un aumento de 3.36%, mientras que para pastos y cultivos se redujo en 2.02% (Tabla 17).

Tabla 17. Cambios de la cobertura vegetal del río Blanco en el período 1996 -2018 obtenidos mediante clasificación supervisada.

CÓD	TIPO DE COBERTUR	1996		2007		2018	
		ha	%	ha	%	ha	%
A							
1	Bosque	8614.07	54.08	8642.45	54.55	8358.97	52.75
2	Veg. arbustiva	2175.89	13.84	3613.05	22.81	2725.31	17.19
3	Pastos y cultivos	5052.99	32.08	3587.33	22.64	4762.17	30.05
TOTAL		15842.96	100	15842.83	100	15846.17	100

Elaboración propia, 2019

4.1.3 Matriz de transición

En la matriz de transición se utilizó tres categorías de uso de suelo y cobertura vegetal: Bosque (1), Vegetación Arbustiva (2), Pastos y cultivos (3). En el periodo de estudio (1996-2018) se identificó un cambio en las coberturas y uso de suelo, existiendo una transición representativa de bosque a vegetación arbustiva de 6.93%, lo que se interpreta como pérdida de cobertura boscosa (Tabla 18).

Tabla 18. Matriz de transición de cambio de uso del suelo entre 1996-2018 (% de hectáreas)

2018					
Periodos	Bosque	Vegetación arbustiva	Cultivos y pastos	Total 1996-2018	Pérdida
1996					
Bosque	46.28	6.93	1.14	54.35	8.07
Vegetación arbustiva	4.01	18.19	9.71	31.91	13.72
Cultivos y Pastos	2.44	4.94	6.36	13.74	7.38
Total 2017	52.73	30.06	17.20	100	29.17
Ganancia	6.45	11.87	10.85	29.17	

El análisis de la matriz se realizó por periodos 1996-2007 y 2007-2018 para evaluar los cambios producidos, En los resultados obtenidos de clasificación supervisada se determinó que el área de estudio presentó aumentos y disminuciones con respecto a los usos y coberturas analizadas. En el periodo 1996-2007 se obtuvo una disminución de la cobertura boscosa de 4.29 %, para vegetación arbustiva presentó un aumento de 10.2%, mientras que para los pastos y cultivos existió una disminución de 6.38% (Figura 10).

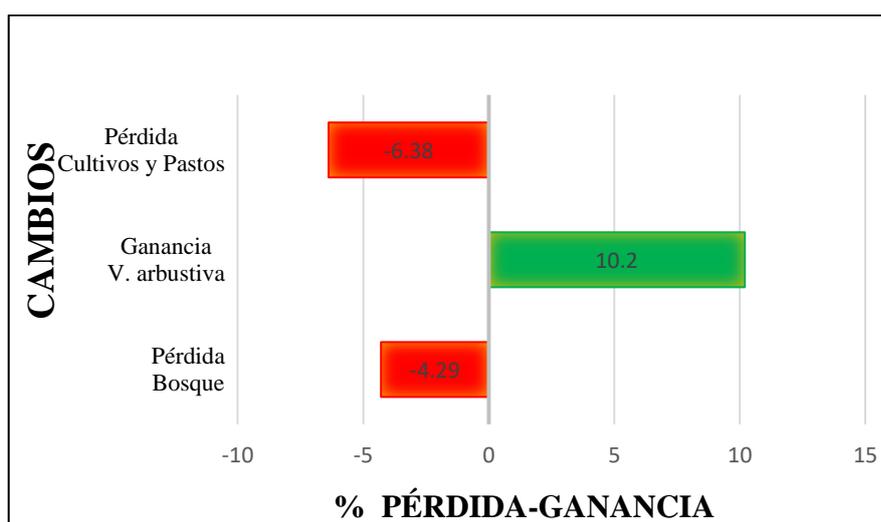


Figura 10. Pérdidas y ganancias en las superficies de coberturas y uso de suelo en el periodo 1996-2007. (Elaboración propia, 2019)

En el periodo 2007-2018 se registró una disminución de la cobertura boscosa en un 1.82 %, para la vegetación arbustiva existió una pérdida de 7.43 %, mientras que para cultivos y pastos existió una ganancia de 5.6 % (Figura 11).

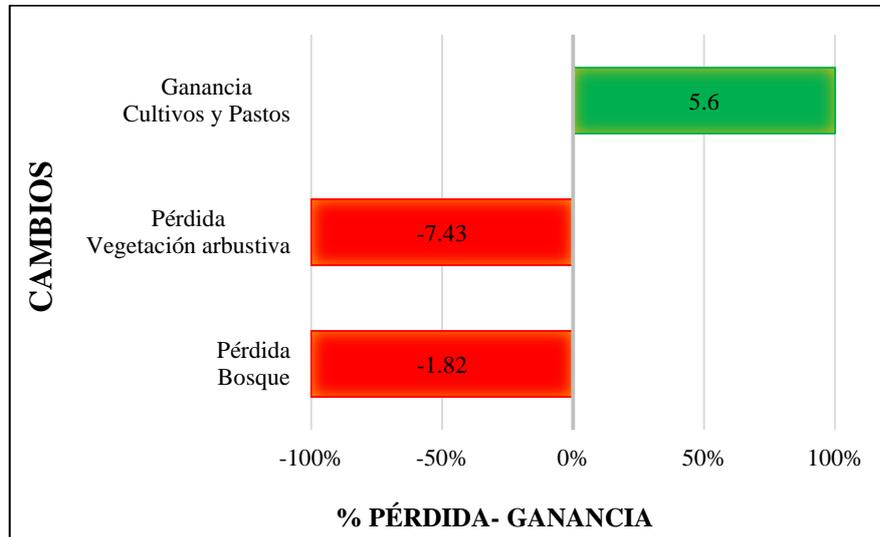


Figura 11. Pérdidas y ganancias en las superficies de coberturas y uso de suelo en el periodo 1996-2007. (Elaboración propia, 2019)

La microcuenca del río Blanco con una extensión de 15 847 ha, en el estudio multitemporal de cambio de uso de suelo, en el periodo 1996-2018 registró una pérdida de 1.33% de bosque, lo que representa 255.10 has; los pastos y cultivos tuvieron una disminución de 2.02 % que equivale a 290.82 ha, mientras que para la vegetación arbustiva se evidenció un aumento de 3.36% que significa una superficie de 549.14 ha. En un estudio similar realizado por Muños *et al.* (2009) en la microcuenca Las Minas con una extensión de 376.52 ha, para el periodo 1989-2008 reportó una disminución de bosque de 15.54% lo que equivale a 58.51 ha de la microcuenca, el autor indica que las causas de la pérdida de bosque se deben a la presión de las comunidades que se encuentran dentro y fuera de la microcuenca. El aumento de pastos tuvo un promedio de 12.86 ha, que corresponde a 48.43 ha; los cultivos aumentaron en 5.5% que equivale a 20.72 ha.

La microcuenca Las Minas tiene una pequeña extensión, sin embargo registró mayor disminución de bosque en comparación con la microcuenca del río Blanco,

la misma que tiene una mayor superficie pero presentó menor pérdida de bosque, debido principalmente a la presencia del bosque protector Las Golondrinas, y además la intervención de instituciones públicas como los GAD'S parroquiales, y los Ministerios de Ambiente y Agricultura y Ganadería, que mediante la ejecución de los programas y proyectos de reforestación y forestación han incidido en que la población ejerza baja presión antrópica, especialmente en las partes media y alta de la microcuenca.

En la microcuenca del río Blanco del presente estudio para el año 1996 tuvo una cobertura de bosque de 54.08%, la vegetación arbustiva representó el 13.83% y los pastos y cultivos el 32.07%. Sin embargo, para el año 2007 se evidenció una disminución en los pastos y cultivos, ocupando el 22.64%, la cobertura boscosa y la vegetación arbustiva aumentaron en 4.55% y 22.80% respectivamente; mediante los reconocimientos de campo del 2019 se comprobó que estas variaciones se produjeron por regeneración natural en el crecimiento de la vegetación arbustiva hasta constituir la vegetación boscosa. Sin embargo, en el análisis realizado en la microcuenca del río Cristal-Ecuador por Valero (2015), en el periodo de 1983-2000 se indica que los cambios significativos de las coberturas de suelo han aumentado en los últimos años, esto debido en mayor parte por las actividades antrópicas. En el periodo de estudio para el año 1983 se identificó dominancia de bosque con una cobertura del 31% de la superficie, los pastizales ocuparon el 20%, la vegetación arbustiva y herbácea el 16%; mientras que para el año 2000 la cobertura con mayor superficie fueron los pastizales con el 33%, seguido del bosque con un 32%, la vegetación arbustiva y herbácea junto a los cultivos permanentes y anuales con el 11%.

En la microcuenca del río Blanco para el periodo 1996-2018 presentó pérdidas en la cobertura boscosa y vegetación arbustiva en 8.07% y 13.72% respectivamente, mientras que para pastos y cultivos existió un aumento del 10.85%. Las pérdidas de vegetación natural y las ganancias de áreas intervenidas fueron causadas por intervención antrópica, coincidiendo con los resultados obtenidos por Osuna et al. (2015), en el estudio realizado en la cuenca del río Tecolutla en el periodo 1994-

2010. Las actividades agrícolas incidieron mayormente en la disminución de cobertura vegetal, por lo tanto se mostró una tendencia de incremento en las superficies destinadas para actividades humanas como agricultura y uso urbano. En el periodo de estudio existieron porcentajes de cambio de bosque sub tropical a vegetación intervenida con un 8%, se detectó transiciones de coberturas naturales en un 24.9% a suelos agrícolas y 14.7% a pastizales, causado por el incremento de actividades antrópicas.

4.2 Estimación de la tasa de erosión hídrica en la microcuenca en el año 2018

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de erosión hídrica mediante la aplicación del modelo RUSLE.

4.2.1 Modelo RUSLE

En la estimación de la tasa de pérdida de suelo en la microcuenca del río Blanco se obtuvieron los siguientes resultados de los factores del modelo RUSLE, obteniendo la erosión hídrica como pérdida de suelo en toneladas por año. (Figura 12).

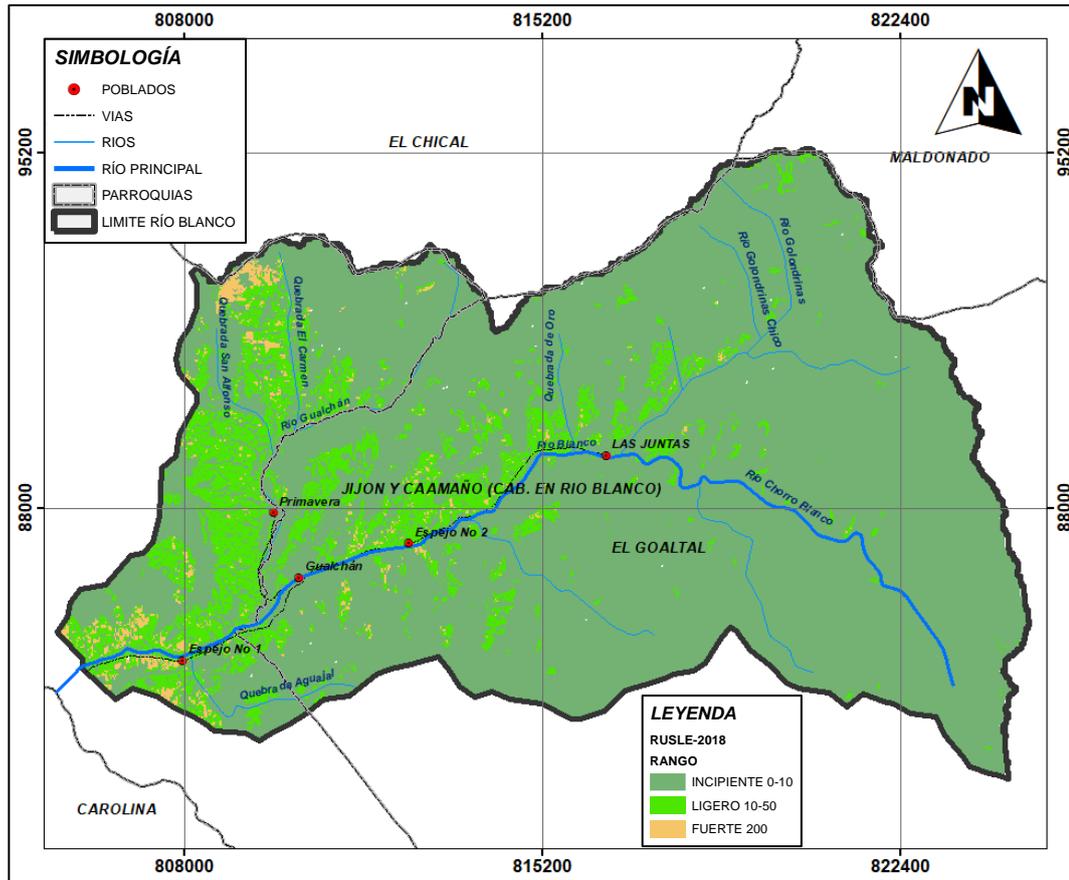


Figura 12. Modelo *RUSLE* de la microcuenca del río Blanco. (Elaboración propia, 2019)

La mayor parte de la microcuenca del río Blanco muestra una erosión hídrica incipiente (0-10 Ton/ha/año), presente en zonas con pendientes planas, seguido de pendientes ligeras (10-50 Ton/ha/año), se encuentra presente en pendientes mayores al 70% con relieves escarpados y muy montañosos en suelos sin cobertura vegetal (Tabla 19).

Tabla 19. Pérdida de suelo para la microcuenca del río Blanco año 2018

EROSION	ÁREA ha	PORCENTAJE %	EROSIÓN ton/ha/año
INCIPIENTE	13119.48	85.5485	0-10
LIGERO	1989.323	12.97183	10-50
FUERTE	226.5179	1.477061	200

Elaboración propia, 2019

En la microcuenca del presente estudio el valor más bajo obtenido está en el rango de 0-10 ton/ha/año que representa una erosión incipiente, seguido de 10-50 ton/ha/año que es erosión ligera por último el valor más alto fue de 200 ton/ha/año, por efecto de la pendiente y precipitación altas en sitios de cobertura boscosa y en lugares de suelos cultivados respectivamente. De igual manera Jaramillo (2015) en el estudio realizado en la subcuenca del río Portoviejo encontró niveles de erosión bajos y muy bajos entre 5 y 10 ton/ha/año, y rangos de erosión alta entre 50 y 200 ton/ha/año, el autor menciona que en el área de estudio incidieron las pendientes y precipitaciones junto con actividades agrícolas y forestales para la pérdida del suelo por erosión hídrica.

La microcuenca del río Blanco presentó una tasa de erosión alta mayor a 200 ton/ha/año, las coberturas boscosa y arbustiva tuvieron función en la protección del recurso suelo, estas coberturas representan el 46.28% y 18.19% respectivamente, sin embargo la tasa de erosión es alta, debido a que en el área de estudio se presenta altas precipitaciones en los meses de marzo, abril y noviembre, especialmente cuando las lluvias son de tipo orográfico en pendientes montañosas, muy montañosas y escarpadas. En concordancia con Peralta (2015) en el estudio realizado en la microcuenca del río Cubi registró una pérdida menor a 10 ton/ha/año, lo que determina que el área de estudio tiene una erosión hídrica leve, debido a que la cobertura vegetal de la microcuenca provee protección contra los efectos erosivos de la lluvia a pesar de que existen pendientes pronunciadas; siendo la cobertura boscosa la más importante para evitar la pérdida de suelo, sin embargo los sitios que mayor pérdida de suelo presentaron, fueron los que se ubicaron en lugares con pendientes pronunciadas y en suelos agrícolas expuestos al factor erosivo de la precipitación.

Endara (2018) en el estudio realizado en la cuenca del río Mira determinó que es una zona afectada por la deforestación, lo que ha ocasionado la pérdida de cobertura vegetal, causando una susceptibilidad a la erosión hídrica y a la disminución de caudales. La microcuenca del río Blanco tiene las mismas características geomorfológicas e hidrológicas, ya que es un afluente del río Mira. Sin embargo

gracias a varios programas y proyectos locales de reforestación y forestación impulsado por los GAD'S, ministerios gubernamentales y/o organismos no gubernamentales se ha logrado la conservación de la microcuenca.

4.3 Análisis de la relación entre la pérdida de cobertura vegetal y la erosión hídrica del suelo

A continuación, se presenta los resultados de los ensayos instalados en la parte alta (Las Juntas, figura 14), parte media (El Carmen, figura 15) y parte baja (Espejo 1, figura 1) de la microcuenca, correspondiente al periodo 2018-2019; los valores medidos de erosión hídrica corresponden al periodo enero 2019 – diciembre 2019. Los datos de densidad real y aparente de los suelos hacen referencia al documento del XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, donde la densidad aparente promedio tiene un valor de 1.325 g/cm^3 para suelos agrícolas; mientras que para los suelos no agrícolas la densidad promedio de partículas tiene un valor de densidad real de 2.65 g/cm^3 . Los datos mensuales de medición fueron expresados en milímetros de espesor de suelo, luego con los datos de densidad aparente y real se calcularon los valores de erosión hídrica en ton/ha, obteniendo los siguientes datos:

En el ensayo 1 (El Carmen), el mes con mayor pérdida fue noviembre con 0.860 ton/ha/mes), considerando la precipitación que en el mes fue de 598 mm registrados en la medición del pluviómetro instalado (Figura 13).

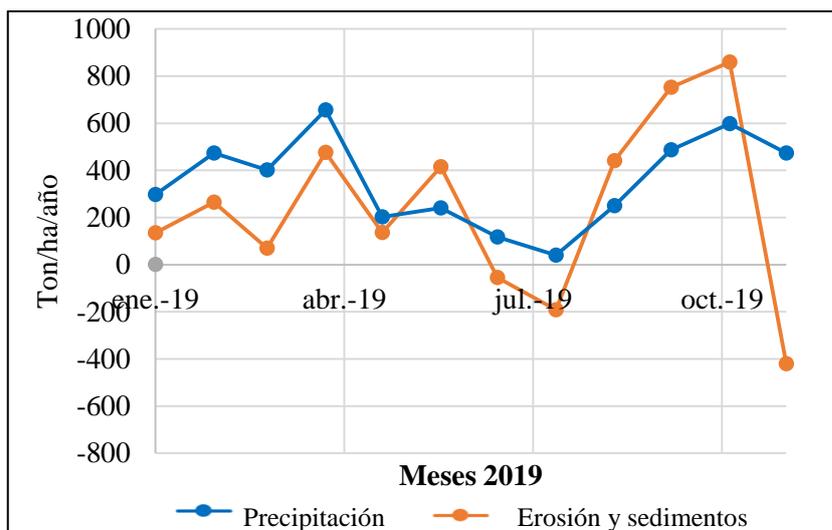


Figura 13. Pérdida de suelo por erosión hídrica, ensayo 1(El Carmen). (Elaboración propia, 2019)

En los datos obtenidos en el ensayo 2 (Espejo 1), el mes con mayor pérdida fue octubre, con 0.660 ton/ha/mes, registró una precipitación de 358 mm en el mismo mes (Figura 14).

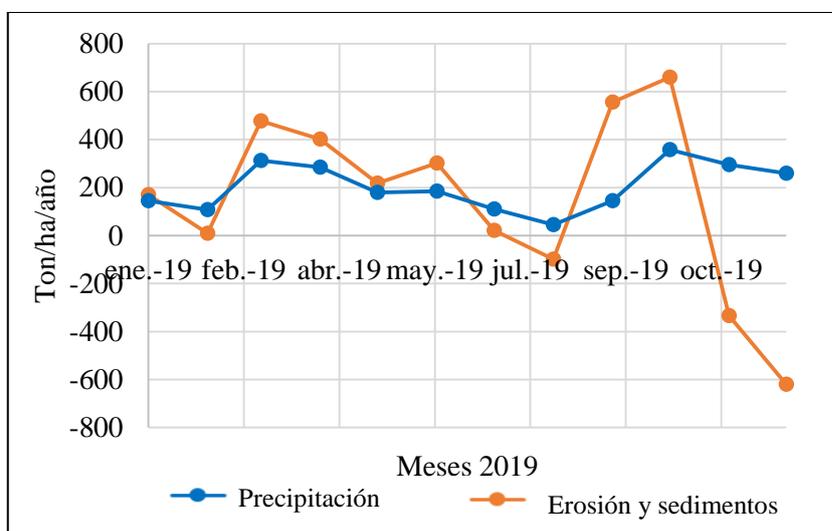


Figura 14. Pérdida de suelo por erosión hídrica, ensayo 2 (Espejo 1). (Elaboración propia, 2019)

Finalmente, en el ensayo 3 (Las Juntas) el mes con mayor pérdida fue octubre con 0.730 ton/ha/mes, presentó una precipitación de 600 mm lo cual indica la proporcionalidad de la erosión vs la precipitación (Figura 15).

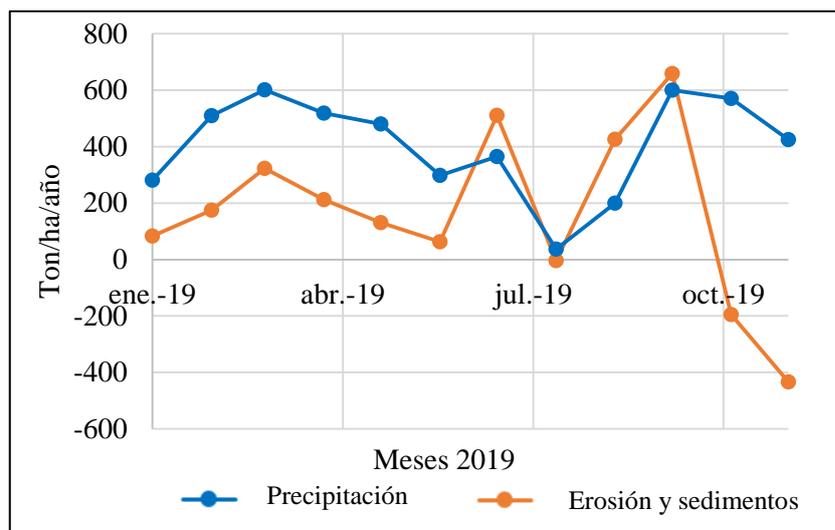


Figura 15. Pérdida de suelo por erosión hídrica, ensayo 3 (Las Juntas). (Elaboración propia, 2019)

Con los datos obtenidos en campo durante el periodo de estudio (Tabla 20), se realizó la sumatoria para obtener los datos de erosión hídrica de los meses en estudio, los resultados obtenidos de erosión aparente para cada ensayo fueron: En la parte alta (Las Juntas, 1.95 ton/ha año), parte media (El Carmen, 2.89 ton/ha año) y parte baja (Espejo 1.76 ton/ha año).

Tabla 20. Valores de erosión hídrica del periodo enero 2019 – diciembre 2019, mediante la Técnica de Clavos de Erosión.

EROSIÓN APARENTE (ton/ha/año)			
Meses	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
ene-19	0.135	0.170	0.083
feb-19	0.265	0.009	0.175
mar-19	0.070	0.477	0.323
abr-19	0.476	0.401	0.212
may-19	0.136	0.219	0.131
jun-19	0.415	0.302	0.062
jul-19	-0.054	0.021	0.510
ago-19	-0.191	-0.098	-0.004
sep-19	0.441	0.557	0.425
oct-19	0.753	0.660	0.730
nov-19	0.860	-0.334	-0.266
dic-19	-0.420	-0.620	-0.433
SUMA	2.89	1.76	1.95

Elaboración propia, 2019

Los datos promedios obtenidos mediante los análisis del laboratorio de la EMAPA-I para los parámetros Turbidez, Sólidos totales disueltos y Sólidos totales suspendidos fueron de: 3.31 NTU; 40.75 mg/l y 5.51 mg/l respectivamente. El caudal sólido medio anual obtenido en la salida de la cuenca, en función del área total de la microcuenca y el caudal promedio fue de 3.37 ton/ha/año (Tabla 21).

Tabla 21. Caudal sólido por mes en la salida de la microcuenca del río Blanco.

MESES	TURBIDEZ NTU	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/l)	SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/l)	Q l/s	CAUDAL SOLIDO ton/ha/mes
ene-19	1.74	41	2.8	18700	0.13
feb-19	1.52	38	1.7	14650	0.06
mar-19	7.75	31	9.1	20700	0.47
abr-19	8.27	38	10.2	19960	0.51
may-19	7.19	34	6.7	17610	0.30
jun-19	1.92	44	2.2	5870	0.03
jul-19	0.95	51	1.9	5210	0.02
ago-19	0.5	52	0.7	4950	0.01
sep-19	1.92	48	9.9	12980	0.32
oct-19	4.48	34	6.2	26270	0.41
nov-19	2.54	36	10.8	21980	0.59
dic-19	6.15	32	7.9	25840	0.51
PROMEDIO	3.74	39.92	5.84	16226.67	3.37

Elaboración propia, 2019

En la microcuenca del río Blanco se registró una precipitación media anual de 1500 a 4700 mm/año. Por consiguiente los resultados obtenidos de erosión hídrica para cada ensayo fueron 1.95 ton/ha/año en la parte alta (Las Juntas), parte media (El Carmen, 2.89 ton/ha año) y parte baja (Espejo 1, 1.76 ton/ha año). La presión antrópica aumenta la pérdida de erosión hídrica que produce la precipitación, especialmente en las laderas de colinas y montañas de la parte media y alta de la microcuenca. Sin embargo Vásquez (2011), en el estudio realizado en 22 microcuencas de la sierra altoandina peruana, registro una tasa promedio de erosión hídrica de 45.04 ton/ha/año en las laderas, dicha región presenta precipitaciones promedio anual que varía entre 350-1200 mm/año, determinando que la precipitación y la erosión son directamente proporcionales, al igual que en el presente estudio, además el autor coincide en que altos índices de pobreza en la

población generan mayor presión antrópica, lo cual implicó el aumento de la tasa de erosión hídrica.

En la microcuenca del río Blanco para el año de estudio el ensayo 2 (Espejo 1) presentó menor valor de erosión hídrica de 1.76 ton/ha/año, con precipitación de 2 425 mm/año, a pesar de la presencia de pendientes mayores a 70% y la ausencia de vegetación fue la que menor erosión hídrica presentó debido a que la precipitación fue la menor en el área de estudio, por lo que se generó menor arrastre de sedimentos hacia el cauce principal; en el ensayo 1 (Las Juntas) se registró 1.95 ton/ha/año con una precipitación de 4 238 mm/año, el terreno presenta pendientes planas y áreas aledañas con pendientes montañosas y cobertura vegetal densa, finalmente en el ensayo 2 (El Carmen) se registró 2.89 ton/ha/año con precipitaciones de 4 884 mm/año, este sitio presentó mayor erosión a pesar de la presencia de vegetación densa y pendientes planas del terreno. Pizarro et al. (2002) en el estudio aplicado en dos ensayos en los sectores de Picazo y Panguilemo (Chile) se obtuvieron los promedios de erosión hídrica en cada ensayo, siendo 31.2 ton/ha, para los 7 meses de estudio con precipitación de 1477 mm/año; en el ensayo 2 el promedio de erosión hídrica fue de 26.4 ton/ha en los 6 meses de estudio, y la precipitación fue de 372.2 mm. Los autores mencionan que la variación de altitudes medias en los ensayos incide en los resultados, es decir que la erosión es directamente proporcional a la altitud y precipitación.

4.4 Análisis Estadístico mediante el coeficiente de correlación Rho Spearman

Según el nivel de significancia obtenido para la cobertura de bosque vs erosión para el periodo 2007-2018, con un nivel de significancia de 0.001 si existe correlación, para los periodos de 1996-2007; 2007-2018 y 1996-2018 de las siguientes coberturas: bosque, vegetación arbustiva, pastos y cultivos según el nivel de significancia que es mayor a 0.05 no existen ninguna correlación (Tabla 22).

Tabla 22. Correlación Rho Spearman coberturas vegetales vs erosión

PERIODO	COBERTURAS ANALIZADAS	RHO SPEARMAN	NIVEL DE SIGNIFICANCIA	CORRELACIÓN
1996-2007	Bosque vs Erosión	0.30	0.869	Ninguna
1996-2007	Vegetación A vs Erosión	-0.103	0.570	Ninguna
1996-2007	Pastos y Cultivos vs Erosión	0.030	0.869	Ninguna
2007-2018	Bosque vs Erosión	-0.565	0.001	Existe
2007-2018	Vegetación A vs Erosión	-0.439	0.011	Ninguna
2007-2018	Pastos y Cultivos vs Erosión	-0.010	0.955	Ninguna
1996-2018	Bosque vs Erosión	-0.269	0.131	Ninguna
1996-2018	Vegetación A vs Erosión	0.313	0.076	Ninguna
1996-2018	Pastos y Cultivos vs Erosión	-0.161	0.372	Ninguna

Elaboración propia, 2019

De acuerdo al análisis estadístico de correlación de Spearman realizado para la microcuenca del río Blanco, se obtuvo que para los periodos analizados 1996 -2018 para las tres coberturas a) bosque b) vegetación arbustiva y c) pastos y cultivos, existe una relación entre la pérdida de suelo con la pérdida de la cobertura boscosa y en el periodo 2007-2018 se evidenció que en este hubo pérdida de bosque, mientras que para las otras coberturas se demostró estadísticamente que en el presente estudio no hay relación con la erosión hídrica. El área de estudio presenta pendientes pronunciadas, altas precipitaciones y una textura arenosa - arcillosa, siendo estas las condiciones ideales para que se acelere el proceso de erosión.

La microcuenca del río Blanco presenta pendientes mayores al 40%, precipitaciones mensuales mayores a 300 mm y textura arenosa y arcillosa, presenta aumento de zonas de agricultura, niveles altos en la tasa de erosión, así como crecimiento poblacional siendo estos los factores que hace que aumente la pérdida de cobertura boscosa y la erosión del suelo. Según Alvarado et al. (2007) en un estudio realizado en el estado de Tlaxcala las pendientes, la textura y la precipitación son condiciones que aceleran el proceso de erosión, ya que de acuerdo la investigación previa Tlaxcala se encuentra en un estado severo de erosión hídrica esto se debe a la intensa agricultura, ganadería extensiva, la tala inmoderada y el crecimiento urbano. La pérdida de cobertura vegetal y el aumento de la agricultura repercuten en la capa fértil de suelo y esto da lugar a que el transporte de sedimentos se acelere y se deposite en los principales sistemas acuáticos.

Según el análisis estadístico aplicado para la microcuenca del río Blanco en el periodo 2007-2018 existió relación de la pérdida de suelo con la pérdida de cobertura boscosa, esto debido a que se presentó un alto nivel de deforestación lo que tiene relación directa con los problemas que se suscitan, además la transición de bosque a zonas agrícolas ha sido notable en los últimos años. Lo cual se sustenta según Figueroa et al. (2011) en un estudio realizado en la cuenca de San Cristóbal de las Casas en varias zonas tropicales, la superficie forestal ha sido reducido casi a la mitad por eso el estudio analiza el cambio de uso de suelo en los periodos de 1975-2000-2009 observando los cambios ocurridos en ese lapso. En el periodo de 1975 a 2000 pasó de un grado de erosión ligera a una erosión alta debido a la reducción de la superficie boscosa. Para el siguiente periodo analizado 2000-2009 se evidenció disminución debido al cambio de actividades de la población, hubo reducción de la superficie agrícola y la regeneración de bosque.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para el periodo 1996- 2018 se registró una pérdida del 4.29% en la cobertura boscosa, la intervención antrópica fue la principal causa para la pérdida de dicha cobertura causando el aumento de áreas de pastos y cultivos.

La tasa de erosión hídrica para la microcuenca del río Blanco es menor a 200 ton/ha/año, según la FAO los valores mayores a 200 ton/ha/año representan niveles de erosión muy fuertes.

La microcuenca del río Blanco presenta relieves escarpados y muy montañosos, en los ensayos realizados mediante la técnica clavos de erosión se determinó que la precipitación y la erosión son directamente proporcionales, siendo los rangos de erosión de 1.76 a 2.88 ton/ha/año, con precipitaciones de 358 mm a 600 mm, presenta un nivel leve de pérdida de suelo ya que gran parte está constituida por bosque natural en buen estado de conservación, el bosque protector las Golondrinas y además por la implementación de programas y proyectos por parte de las instituciones públicas y privadas.

La cobertura vegetal especialmente el bosque constituye un ecosistema significativo en la microcuenca, debido a que cumple funciones de regulación hídrica permitiendo el mantenimiento estable de caudales. Por lo tanto, para el periodo 2007-2018 en la microcuenca del río Blanco la relación de la deforestación está directamente relacionada con la erosión hídrica del suelo y la generación de sedimentos, ya que de acuerdo con la correlación dió como resultado un Rho Spearman de -0.565 y un nivel de significancia de 0.001 por lo tanto se demuestra que existe relación.

5.2 Recomendaciones

Implementar prácticas de conservación de suelo, tales como barreras vivas, terrazas, abonos verdes en la parte baja de la microcuenca, ya que en los suelos agrícolas de estos sitios tienen pendientes más pronunciadas y escasa cobertura vegetal herbácea.

Aplicar el modelo RUSLE y el método de clavos de erosión en otras microcuencas de similares características geomorfológicas e hidrológicas, que permita conocer la pérdida de suelo por erosión hídrica y el aporte de sedimentos.

Los resultados del presente estudio pueden ser aplicados en las actualizaciones de los Programas de Ordenamiento Territorial de la mancomunidad del río Mira.

REFERENCIAS

- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338.
- Aguilar, C. (2014). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y Aster para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador. *La Plata*.
- Aguayo, M., Azócar, G. y 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*, 82(3), 361-374.
- Alvarado, C., Colmero, J. y Valderrábano M. (2007). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el Estado de Tlaxcala, México. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 317-326.
- Alvear, N. (2018). *Estudio multitemporal de cambio de uso del suelo, en la microcuenca del río escudillas* (Tesis Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Andreazzini, M., Degiovanni, S., Spalletti, P. e Irigoyen, M. (2014). Producción de sedimentos en una cuenca de Sierras Pampeanas, Córdoba, Argentina: Estimación para distintos escenarios. *Aqua-LAC*, 6(1), 38-49
- Armenteras, D. y Rodríguez, N. (2014). Dinámicas y causas de deforestación en bosques de latino américa: una revisión desde 1990. *Colombia forestal*, 17(2), 233-246.
- Aveiga, P. (2018). *La deforestación y su incidencia en la capacidad hídrica de las fuentes de agua de la parroquia Convento, Jipijapa-Manabí*. (Tesis de Pregrado). Universidad Estatal del Sur de Manabí. Manabí, Ecuador.

- Ávalos, H. C. y López, R. L. (2008). Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos? *Boletín del Archivo Histórico del agua*. (pp. 16-21). Querétaro, México.
- Belmonte, S., y Núñez, V. (2006). DESARROLLO DE MODELOS HIDROLÓGICOS CON HERRAMIENTAS SIG. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. (6), 15-27.
- Brady, N. y Weil, R. (2009). *The nature and properties soil*. New York: Bookman Editora.
- Brizuela, A. B. Aguirre, C. A. y Velasco, I. (2007). Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. *Teledetección-Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. Ed. Martin (pp.207-214).
- Caicedo, A. (2017). *Actualización de inventario turístico del bosque protector las golondrinas en el cantón Espejo, provincia del Carchi* (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Campaña, Z., y Montufar, C (2015). *Aplicación del modelo rusle para el cálculo de erosión hídrica en la microcuenca del río Perlaví* (Tesis Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Cardona, M., Robles, J. y Almegua, M (2007). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el Estado de Tlaxcala, México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14(3), 317-326.
- Carrasco, J. (2016). *Deforestación y pérdida de hábitat en bosques de montaña en la cuenca alta del río Zamora en Loja, Ecuador* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

- Cartaya, S., Zurita, S., y Rodríguez, E. (2015). Clasificación supervisada para la selección de zonas de muestreo de especies cinegéticas en el Refugio de Vida Silvestre, Marino y Costero Pacoche, provincia de Manabí, Ecuador. *Revista de Investigación*, 39(85), 52-62. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376143541004.pdf>
- Cascante, M., y Estrada, A. C. (2001). Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49(1), 213-225. Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442001000100020
- Castañeda, M. (2010). *Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS: Un libro práctico para investigadores y administradores educativos*. Edipucrs.
- Cerda, J., y Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 54-58. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&%20pid=S0370-41062008000100008&lng=es
- Chuvieco E. (2006). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Edt. Ariel: Barcelona.
- Condori, L., Loza, M., Mamani P. y Solíz, 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*, 9(1), 25-44.

- Cortés, W., Murillo, J. y Medina, A. (2009). Análisis florístico y estructural de los bosques premontanos en el municipio de Amalfi (Antioquia, Colombia). *Colombia forestal*, (12), 81-102.
- Dalzell, H. W. (1991). *Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*. Roma. Italia: FAO
- Endara, R. (2018). *Efectos de la deforestación en la producción de caudales en la cuenca media alta del río Mira para el período 2000-2014*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Erazo, W., y Ortiz, E. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Ciencia Unemi*. 7(12), 100-110
- Fabiola, I. (2018). *Análisis de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el área de influencia del canal Azúcar-Río Verde mediante teledetección* (Tesis Pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Figueroa, L., Ibáñez A., Arteaga, R., Arellano, L., y Vázquez, M. (2011). Cambio de uso de suelo en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, México. *Agrociencia* 45, 531-544
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2000). Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación 2000: *Informe principal*. Roma, Italia: FAO
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2008). *Forest and water*. Roma, Italia: FAO
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma, Italia. FAO

- Fundación Altropico. (2006). Plan de Manejo del Bosque Protector Golondrinas. Quito: Fundación Altropico.
- Ganasri, B., y Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953-961.
- García, E. G. (2003). Bosques de Costa Rica: mucho más que árboles (No. 2). Editorial Universidad de Costa Rica.
- García, H. (2014). Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas. *Fedesarrollo*. Bogotá-Colombia *Recuperado de* <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/337>
- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J. y García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de teledetección*, 8(1), 1-10.
- Gonzales, C. y López, R. (2015). Evaluación de los efectos de la deforestación en la hidrología y pérdida lateral de carbono orgánico del suelo de la cuenca del Alto Mayo. Reporte técnico. Proyecto BioCuencas, Conservación internacional.
- Gutiérrez, M. A. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas Vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(1), 2611-2634.
- Hantson, S., Chuvieco, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., Moré, G. y Tejeiro, J. A. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*, 36, 51-61.
- Hernández, F., y Cobián, V. (2013). Estimación del hidrograma de crecientes con modelación determinística y precipitación derivada de radar. *Agrociencia*, 47(8), 739-752.

- Hernández, J., González, C., Farfán-Molina, L, y López, V. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 7-16.
- Hudson, N. (1995). *Soil Conservation*. London, United Kingdom: B.T. Batsford.
- Iglesias, J., Santiana, J., y Chinchero, M. (2013). Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Quito, Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012, 86-88.
- Jaramillo, J. (2015). *Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo USLE mediante herramientas SIG aplicando en la subcuenca río Portoviejo, provincia de Manabí* (Tesis de Maestría). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Lambin, E. y Meyfroidt, P. (2010). Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *ScienceDirect*. 27(2), 108-118.
- López, A. (2012). Deforestación en México: Un análisis preliminar. Centro de Investigación y Docencia Económicas, AC México, DF, México, 527, 46.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2008). *Forest and water*. Roma, Italia: FAO.
- Lozano, P., Castro, M., Sierra, R., Calva, O., Camacho, J. y López, F. (2013). Zonas de Procesos Homogéneos de Deforestación del Ecuador. Factores promotores y tendencias al 2020. Programa GESOREN-GIZ y Ministerio de Ambiente del Ecuador, Quito, 2013.
- Marco, L., Azario, R., Metzler, C., y García, M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales.

- Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay entre Ríos, Argentina. *Higiene y Sanidad Ambiental*. (4) 72-82.
- Martínez Duarte, J. A. (2006). Enfoque Sistémico en la Investigación de Cuencas Hidrográficas. *Revista Científica de la facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional Misiones*. 5(1), 2-13.
- Martínez, G, y Vázquez Solís, V. (2017). Evaluación de recursos naturales y culturales para la creación de un corredor turístico en el altiplano de San Luis Potosí, México. *SciELO*, (94), 1-15.
- Martínez, S. y Custodio, E. (2016). Estimación de la escorrentía superficial para el cálculo de la recarga a los acuíferos del macizo kárstico de los Ports de Beseit (Tarragona, España) combinando balance de agua en el suelo y análisis de hidrogramas de caudales. *Estudios geológicos*, 72(1), 1-20.
- Maya, Y. (2011). Diagnóstico ambiental de suelos erosionados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2). 169-179.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (2012a). Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2012b). Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental. Quito-Ecuador.
- Mogrovejo, P. R. (2017). *Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático* (Tesis Pregrado). Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, Ecuador.

- Monge, R. Q. (2007). Los Bosques de Costa Rica. Centro de investigación integración. Recuperado de <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/RupertoQuesada.pdf>
- Muñoz, D., Montenegro, M., y Hernández, M. (2009). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(1), 11-24. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104161>
- Muñoz, P. (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales. 13p. Recuperado de <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n,%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1>
- Nash, J. y Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models, part 1-A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10(3), 282-290.
- Osuna A., Díaz J., De Anda J., Villegas E., Valdez, J. y Dávila, 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-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 10(2), 350-362.
- Palmberg C., Ball, J. y Forestal, J. (1998). El estado actual de las plantaciones forestales en América Latina y el Caribe y examen de las actividades relacionadas con el mejoramiento genético. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO/FAO, Valdivia, Chile.
- Pham Gia, T., Degener, J. y Kappas, M. (2017). Integrated Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for Soil Erosion

- Measurement in basin of Asap river, Central Vietnam. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 19, p. 7516).
- PDOT (2011). Actualización del Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial de la Parroquia Jacinto Jijón y Caamaño 2011-2031.
- Peralta, Á. (2015). *Aplicación del modelo rusle para el cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca río Cubí* (Tesis de Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Pérez, M., Fernández, C. y Sayer, J. (2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Revista Ecosistemas*, 16(3).
- Pineda, B., Bosque, J., Gómez, M. y Plata, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, (69), 33-52.
- Pizarro, T. y Cuitiño, H. (1999). Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la Pre-Cordillera Andina y Valle Central de la VII Región. VI Jornadas del CONAPHI. Chile.
- Ponce Suarez, C. Y. (2017). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del valle interandino del chota e identificación de zonas de restauración ecológica* (Tesis Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Poveda, G. y Mesa, O. (1995). Efectos hidrológicos de la deforestación. *Energética*, 16(1), 91-102.
- Quiñones, F. (2010). Disponibilidad, condición y manejo de los recursos de agua de Puerto Rico. Ponencia ante el 4to Congreso de Ecurbanismo Enrique Martí Coll: Gota a gota hacia la conservación o el despilfarro. San Juan, Puerto Rico.

- Ramos, H. y Hernández, G. (2016). Deforestación, género y estrategias familiares de vida en la comunidad de San Miguel Pomacuarán, Michoacán. *Revista de Geografía Agrícola*, (56), 55-63.
- Regil G, H., Franco M., Ordóñez D, J., Bernal, N., Eufemio, G. y Mallén Rivera, C. (2014). Procesos de deforestación y reducción de densidad del arbolado del parque nacional nevado de Toluca. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(23), 42-63.
- Restrepo, J. (2015). El impacto de la deforestación en la erosión de la cuenca del río Magdalena (1980-2010). *Academia Colombiana de Ciencia*. 39(151), 250-267.
- Restrepo, L. F., y González, J. (2007). From pearson to Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 183-192.
- Riaño, D., Salas, J. y Chuvieco, E. (2000). Corrección atmosférica y topográfica, información multitemporal y auxiliar aplicada a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes Landsat-TM. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*, 222-239.
- Roa, J. G. (2007). Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 48(2).
- Ruiz, V., Savé, R. y Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011.
- Sabattini, R., Sione, S., Ledesma, S., Sabattini, J., y Wilson, M. (2016). Estimación de la pérdida de superficie de bosques nativos y tasa de deforestación en la cuenca del arroyo Estacas (Entre Ríos, Argentina). *Revista Científica Agropecuaria*, 20(1-2), 45-56.

- SENPLADES. (2017). Plan Nacional de Desarrollo. Ecuador. Obtenido de http://www.planificacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Simanca, M., Álvarez, B. y Paternina, R. (2010). Calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería. *Temas Agrarios* (pp. 71-83). Bogotá, Colombia.
- Tabari, H. y Talaei, P. (2011). Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. *Journal of Hydrology*, 396(3-4), 313-320.
- Tanyaş, H., Kolat, Ç. y Süzen, M. (2015). A new approach to estimate cover-management factor of RUSLE and validation of RUSLE model in the watershed of Kartalkaya Dam. *Journal of Hydrology*, 528, 584-598.
- Tobón, C. y Arroyave, F. 2008. Hidrología de los bosques altoandinos. pp. 227-260. En: León J.D. (ed.). *Ecología de bosques andinos: Experiencias de investigación*. La Carreta Editores, Medellín
- Trujillo N. (2000). *Plantación Forestal: Planeación para el Éxito*. El semillero
- Valero, L. (2015). Estudio multitemporal y análisis prospectivo del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del río Cristal mediante el uso de autómatas celulares. (Tesis de Pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Quito, Ecuador.
- Vásquez, A., & Tapia, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Revista Ingeniería UC*, 18(3), 42-50.
- Vega, C. y Febles, G. (2005). La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico. *Minería y Geología*, 21(2), 1-18.

Zambrano, N. (2015). *Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG*. (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.

ANEXOS

ANEXO 1. Análisis físicos de laboratorio de los 12 meses de muestreo


LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO DE AGUA POTABLE Y/O CRUDA	FMC2305-01
Informe de Ensayo Nro: IECE19-001	Pág. 1 de 1

Cliente: Verónica Rascato
Dirección: Otavalo, César Guerra y Víctor Gabriel Garcés

Fecha de recepción: 02 de Enero del 2019
Identificación muestra: Río Blanco 1
Tipo de muestra: Cruda
Cod. Lab: MEC19-001

Fecha de realización de ensayos: 02-04/01/2019 **Fecha de emisión Informe:** 07 de Enero del 2019

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS	Unidades	MUESTRA	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Turbiedad**	NTU	1,00	5	SM 2130B
Sólidos suspendidos totales**	mg/l	3,94		SM 2540 D
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	42	-	SM 2510B

***Observaciones:**

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación
 Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación
 Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.
 Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.
¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos. Quinta versión


Jefa de Laboratorio



Revisado R.T. 



INFORME DE ENSAYO DE AGUA POTABLE Y/O CRUDA		FMC2305-01
Informe de Ensayo Nro: IECE19-175		Pág. 1 de 1
Cliente: Verónica Racato		
Dirección: Otavalo, César Guerra y Victor Gabriel Garces		
Fecha de recepción: 25 de Febrero del 2019		
Identificación muestra: Río Blanco		
Tipo de muestra: Cruda		
Cod. Lab: MEC19-037		
Fecha de realización de ensayos: 25/02/2019	Fecha de emisión informe:	01 de Marzo del 2019

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS	Unidades	MUESTRA	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Turbiedad**	NTU	1,52	5	SM 2130B
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	38	-	SM 2510B
Sólidos suspendidos totales**	mg/l	1,7	-	SM 2540 D

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos. Quinta versión


Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T. 



INFORME DE ENSAYO DE AGUA POTABLE Y/O CRUDA

FMC2305-01

Informe de Ensayo Nro: IECE19-255

Pág. 1 de 1

Cliente: Verónica Nacato

Dirección: Otavalo, César Guerra y Victor Gabriel Garces

Fecha de recepción: 01 de Abril del 2019

Identificación muestra: Río Blanco 4

Tipo de muestra: Cruda

Cod. Lab: MEC19-056

Fecha de realización de ensayos: 01-02/04/2019

Fecha de emisión

04 de Abril del 2019

Informe:

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS	Unidades	MUESTRA	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Turbiedad**	NTU	7,75	5	SM 2130B
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	31	-	SM 2510B
Sólidos suspendidos totales**	mg/l	9,1	-	SM 2540 D

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos. Quinta versión



Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T. 



INFORME DE ENSAYO DE AGUA POTABLE Y/O CRUDA		FMC2305-01
Informe de Ensayo Nro: IECE19-293		Pág. 1 de 1
Cliente: Verónica Racato		
Dirección: Otavalo, César Guerra y Víctor Gabriel Garces		
Fecha de recepción: 29 de Abril del 2019		
Identificación muestra: Río Blanco 5		
Tipo de muestra: Cruda		
Cod. Lab: MEC19-066		
Fecha de realización de ensayos: 29-30/04/2019	Fecha de emisión	06 de Mayo del 2019
	Informe:	

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS	Unidades	MUESTRA	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Turbiedad**	NTU	8,27	5	SM 2130B
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	38	-	SM 2510B
Sólidos suspendidos totales**	mg/l	10,2	-	SM 2540 D

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos. Quinta versión



Bo. Camilo Valarezo
JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T. 



INFORME DE ENSAYO DE AGUA POTABLE Y/O CRUDA		FMC2305-01
Informe de Ensayo Nro: IECE19-406		Hoja 1 de 1
Cliente: Verónica Nacato		
Dirección: Otavalo, César Guerra y Victor Gabriel Garces		
Fecha de recepción: 01 de Julio del 2019		
Identificación muestra: Río Blanco 6		
Tipo de muestra: Cruda		
Cod. Lab: MEC19-077		
Fecha de realización de ensayos: 03-04/07/2019		Fecha de emisión Informe: 04 de julio de 2019

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS	Unidades	MUESTRA	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Turbiedad**	NTU	1,92	5	SM 2130B
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	44	-	SM 2510B
Sólidos suspendidos totales**	mg/l	2,2	-	SM 2540 D

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos. Quinta versión


 Bg. Carla Valarezo
 JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T.	
---------------	---------------------------------------------------------------------------------------

INFORME DE ENSAYO

 FIR 7.8-01
 Revisión 01

Informe de Ensayo Nro: IECE19-063

Pág. 1 de 2

Cliente: Verónica Ñacato

Dirección: Otavalo, César Dávila y Víctor Gabriel Garces

Fecha de recepción: 02 de Septiembre 2019

Toma de muestra realizada por: El Cliente

Identificación muestra cliente: Muestra tomada Río Blanco

Tipo de muestra: Cruda

Código de Laboratorio: MEC19-010

Lugar de análisis: Laboratorio Emapa-I

Fecha de realización de ensayos: 02-03/09/2019

Fecha de emisión informe: 05 de Septiembre 2019

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	incertidumbre expandida con K=2	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MEC19-010		
Turbiedad (*)	Standard Methods 2130B	NTU	0,5	N/A	5
Sólidos Suspendedos Totales	Standard Methods 2540D	mg/l	0,7	N/A	-
Sólidos Totales disueltos (*)	Standard Methods 2510B	mg/l	52	N/A	-

Condiciones Ambientales de Análisis				
Área	Temperatura (°C)		Humedad (%)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Físicos	24,3	24,3	39	39
Químicos	-	-	-	-
Microbiológicos	-	-	-	-

INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS

La incertidumbre expandida de los resultados se ha estimado con un factor de cobertura K=2 que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

OBSERVACIONES:

N/A: No aplica

INFORME DE ENSAYO

 FIR 7.8-01
 Revisión 01

Informe de Ensayo Nro: IECE19-174

Pág. 1 de 2

Cliente: Verónica Racato

Dirección: Otavalo, César Dávila y Víctor Gabriel Garces

Fecha de recepción: 30 de Septiembre 2019

Toma de muestra realizada por: El Laboratorio

Identificación muestra cliente: Muestra tomada Rio Blanco

Tipo de muestra: Cruda

Código de Laboratorio: MEC19-017

Lugar de análisis: Laboratorio Emapa-I

Fecha de realización de ensayos: 30/09/2019 01/10/2019

Fecha de emisión informe: 08 de Octubre 2019

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	Incertidumbre expandida con K=2	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MEC19-017		
Turbiedad (*)	Standard Methods 2130B	NTU	1,92	N/A	5
Sólidos Suspensos Totales	Standard Methods 2540D	mg/l	9,9	N/A	-
Sólidos Totales disueltos (*)	Standard Methods 2510B	mg/l	48	N/A	-

Condiciones Ambientales de Análisis

Área	Temperatura (°C)		Humedad (%)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Físicos	24,8	25,6	51	59
Químicos	-	-	-	-
Microbiológicos	-	-	-	-

INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS

La incertidumbre expandida de los resultados se ha estimado con un factor de cobertura K=2 que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

 OBSERVACIONES:
 N/A: No aplica

INFORME DE ENSAYO

 FIR 7.8-01
 Revisión 01

Informe de Ensayo Nro: IECE19-174

Pág. 1 de 2

Cliente: Verónica Rucato

Dirección: Otavalo, César Dávila y Victor Gabriel Garces

Fecha de recepción: 30 de Septiembre 2019

Toma de muestra realizada por: El Laboratorio

Identificación muestra cliente: Muestra tomada Rio Blanco

Tipo de muestra: Cruda

Código de Laboratorio: MEC19-017

Lugar de análisis: Laboratorio Emapa-I

Fecha de realización de ensayos: 30/09/2019 01/10/2019

Fecha de emisión informe: 08 de Octubre 2019

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	Incertidumbre expandida con K=2	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MEC19-017		
Turbiedad (*)	Standard Methods 2130B	NTU	1,92	N/A	5
Sólidos Suspendedos Totales	Standard Methods 2540D	mg/l	9,9	N/A	-
Sólidos Totales disueltos (*)	Standard Methods 2510B	mg/l	48	N/A	-

Condiciones Ambientales de Análisis				
Área	Temperatura (°C)		Humedad (%)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Físicos	24,8	25,6	51	59
Químicos	-	-	-	-
Microbiológicos	-	-	-	-

INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS

La incertidumbre expandida de los resultados se ha estimado con un factor de cobertura K=2 que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

OBSERVACIONES:

N/A: No aplica

INFORME DE ENSAYO		FIR 7.8-01 Revisión 01
Informe de Ensayo Nro: IECE19-282		Pág. 1 de 2
Cliente: Verónica Ñacato Dirección: Otavalo, César Dávila y Victor Gabriel Garces		
Fecha de recepción: 02 de Diciembre de 2019	Toma de muestra realizada por: El Cliente	
Identificación muestra cliente: Muestra tomada Rio Blanco		
Tipo de muestra: Cruda		
Código de Laboratorio: MEC19-032	Lugar de análisis: Laboratorio Emapa-I	
Fecha de realización de ensayos:	Fecha de emisión informe: 05 de diciembre de 2019	

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS	incertidumbre expandida con K=2	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
			MEC19-032		
Turbiedad (*)	Standard Methods 2130B	NTU	2,54	N/A	5
Sólidos Suspendedos Totales	Standard Methods 2540D	mg/l	10,8	N/A	-
Sólidos Totales disueltos (*)	Standard Methods 2510B	mg/l	36	N/A	-

Condiciones Ambientales de Análisis				
Área	Temperatura (C°)		Humedad (%)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Físicos	-	-	-	-
Químicos	-	-	-	-
Microbiológicos	-	-	-	-

INCERTIDUMBRE DE LOS RESULTADOS

La incertidumbre expandida de los resultados se ha estimado con un factor de cobertura K=2 que corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente 95%

ANEXO 2. Registro fotográfico



Fotografía 1. Punto de aforo de la microcuenca del río Blanco



Fotografía 2. Bosque protector las golondrinas, parte alta de la microcuenca del río Blanco



Fotografía 3. Ensayo 1 “El Carmen”, parte alta de la microcuenca del río Blanco



Fotografía 4. Ensayo 2 “Espejo 1”, parte baja de la microcuenca del río Blanco



Fotografía 5. Ensayo 3 “Las Juntas”, parte media de la microcuenca del río Blanco



Fotografía 6. Medición mensual de clavos de erosión con calibrador electrónico



Fotografía 7. Registro de datos mensuales



Fotografía 8. Instalación de pluviómetros cada ensayo



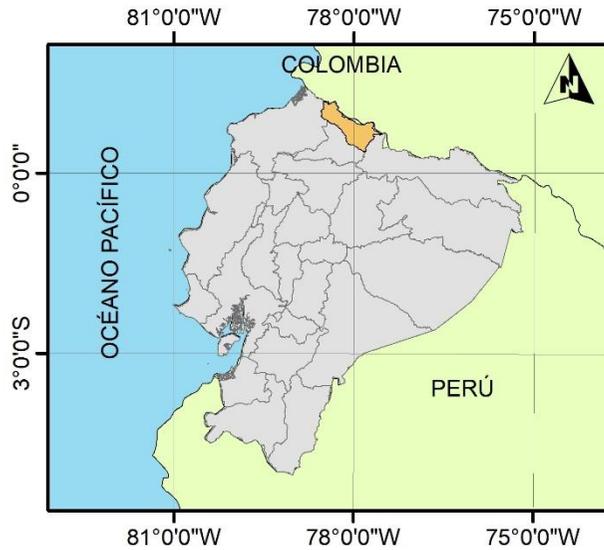
Fotografía 9. Registro de datos de precipitación mensual de cada ensayo



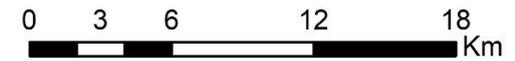
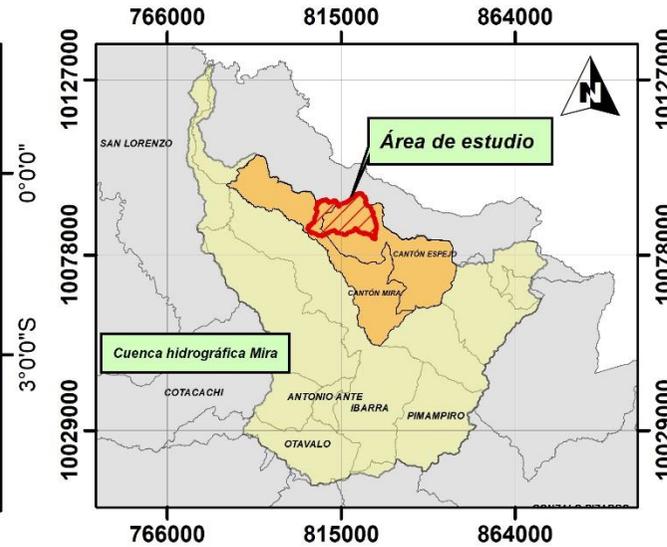
Fotografía 10. Recolección de la muestra en el punto de aforo de la microcuenca

MAPAS

Área de estudio a nivel Nacional

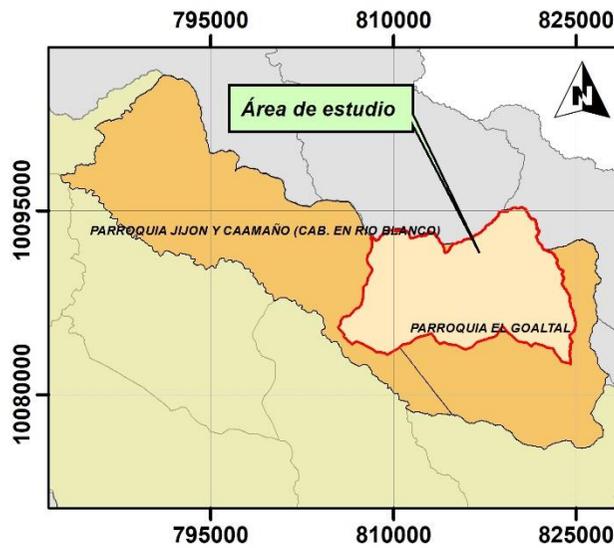


Área de estudio a nivel Cantonal

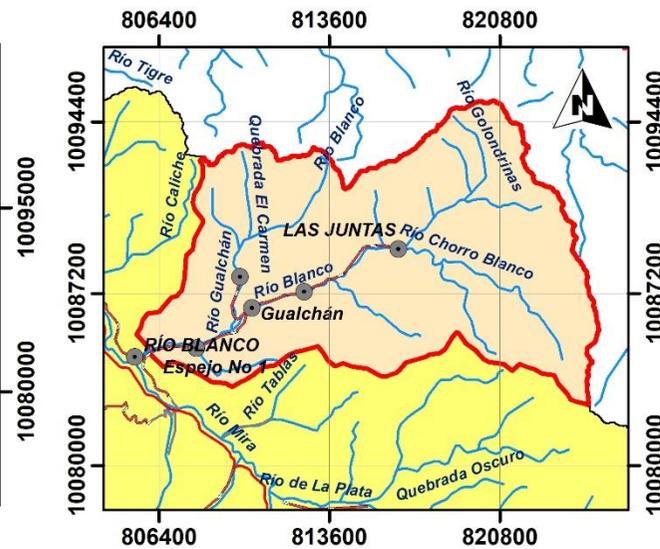


PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

Área de estudio a nivel Parroquial



Área de estudio Microcuenca río Blanco



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

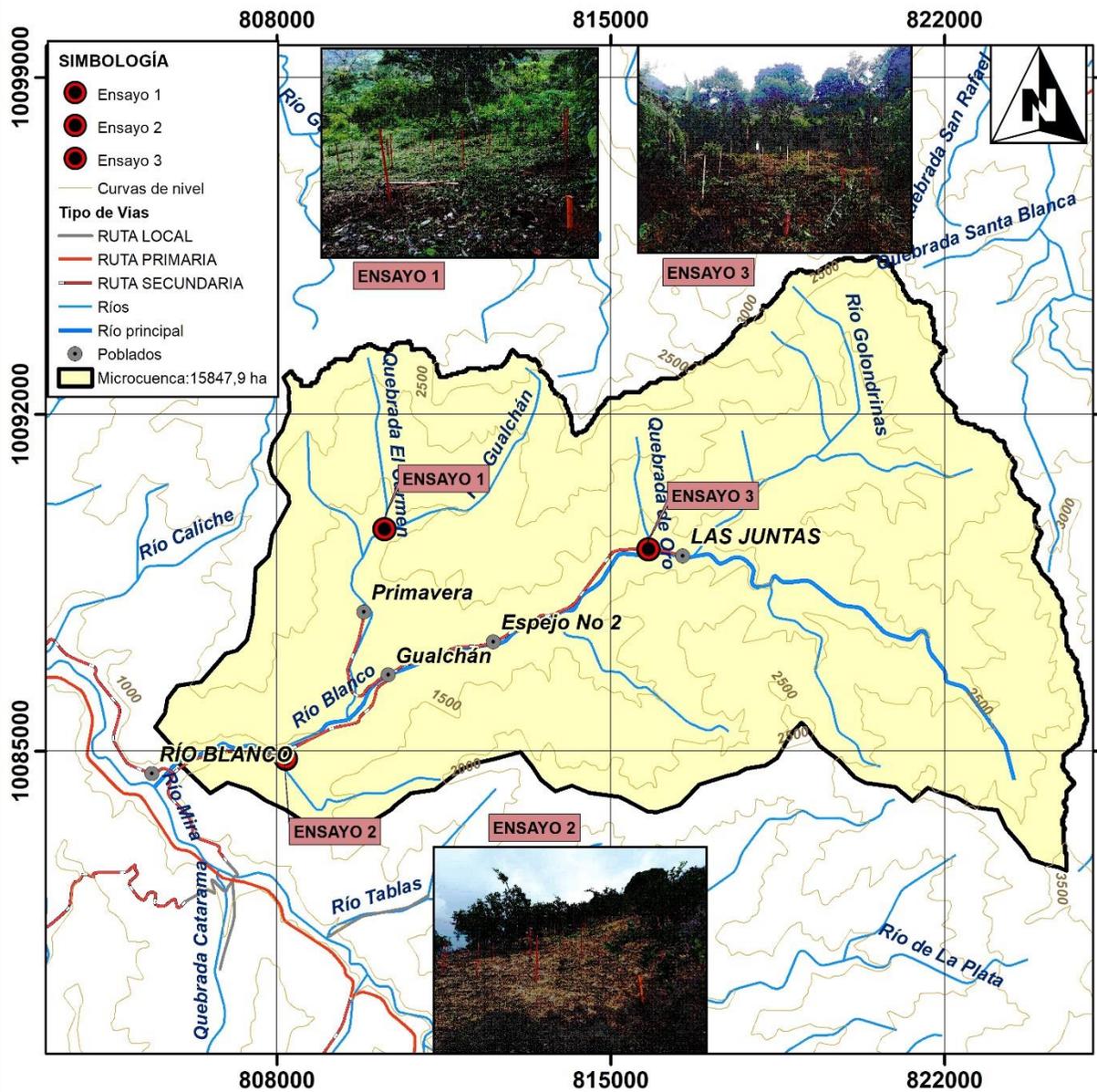
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MAPA DE UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO BLANCO

ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	1 DE 19

MAPA BASE DE LA MICROCUENCA DEL RÍO BLANCO



- SIMBOLOGÍA**
- ENSAYO 1
 - ENSAYO 2
 - ENSAYO 3
 - Curvas de nivel
- Tipo de Vías**
- RUTA LOCAL
 - RUTA PRIMARIA
 - RUTA SECUNDARIA
 - Ríos
 - Río principal
 - Poblados
 - Microcuenca: 15847,9 ha



ENSAYO 1



ENSAYO 3



ENSAYO 2



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



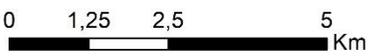
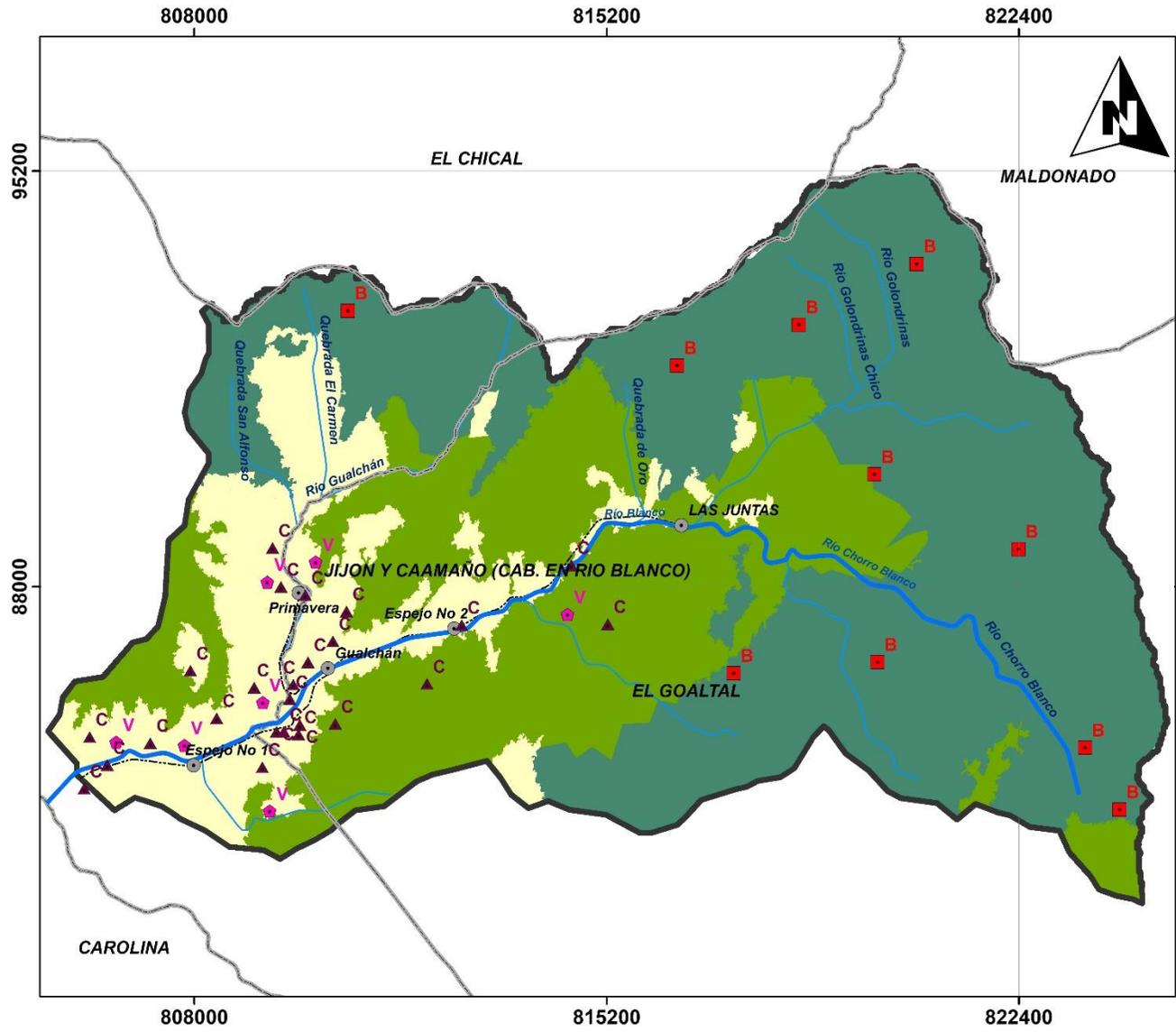
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MAPA BASE DE LA MICROCUENCA DEL RÍO BLANCO

ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	2 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRNSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



LEYENDA
USO Y COBERTURA - AÑO 2018

CLASES

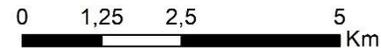
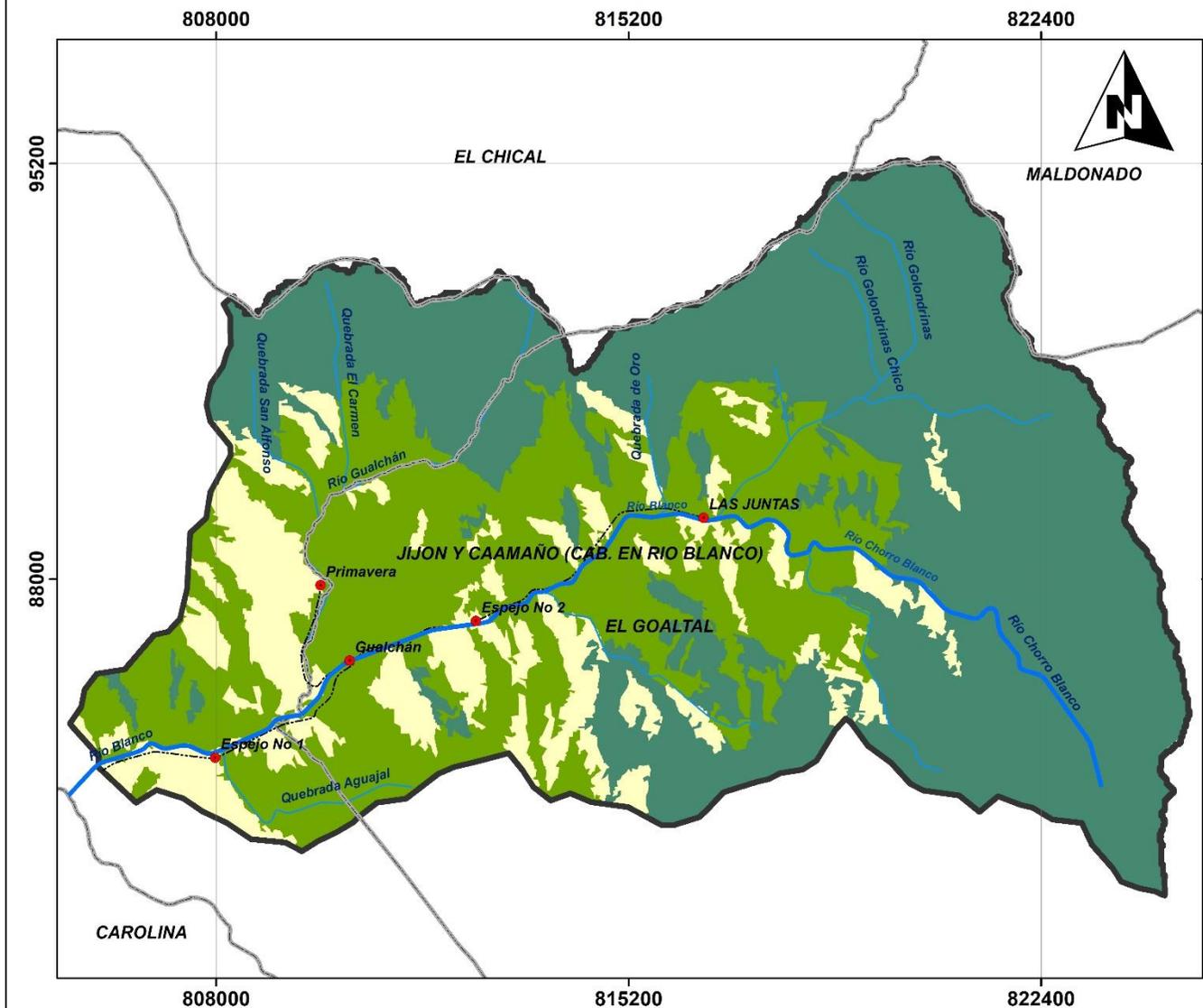
- BOSQUE
- PASTOS Y CULTIVOS
- VEGETACION ARBUSTIVA

SIMBOLOGÍA

- PUNTOS DE CONTROL
- V Vegetación arbustiva
- C Pastos y cultivos
- B Bosque
- POBLADOS
- VIAS
- PARROQUIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- LIMITE RIO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
PUNTOS DE CONTROL DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	3 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRNSVERSA DE MERCATOR
DATUM VGS 84, ZONA 17 SUR



SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RIO BLANCO

LEYENDA

USO Y COBERTURA - AÑO 1996

CLASES

- BOSQUE
- PASTOS Y CULTIVOS
- VEGETACION ARBUSTIVA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

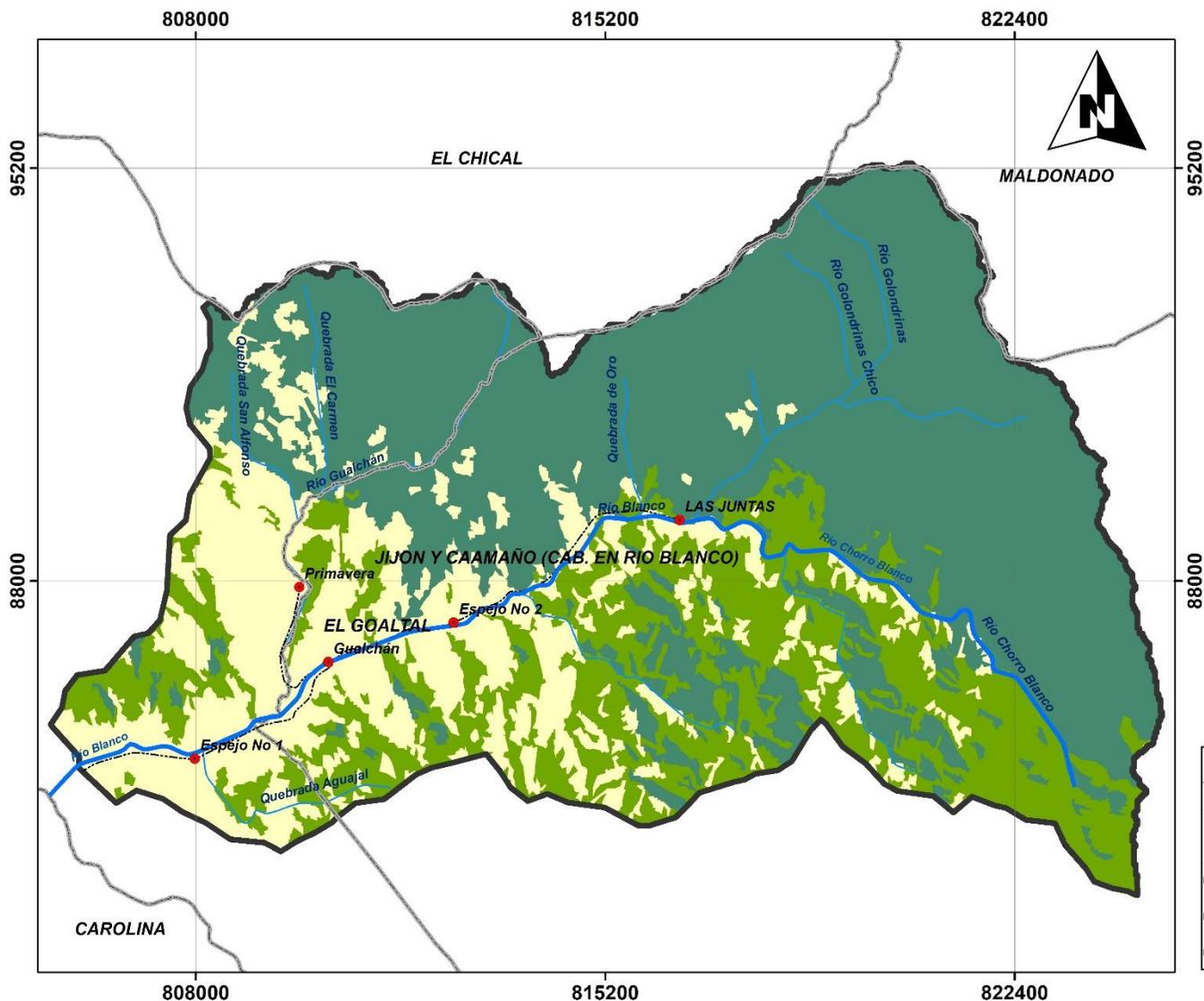
MAPA DE USO Y COBERTURA VEGETAL DEL AÑO 1996

ELABORACIÓN: AUTORAS FUENTE: USGS, SNI, AUTORAS

ESCALA DE ELABORACIÓN: 50.000 ESCALA DE IMPRESIÓN: 1/75.000

FECHA: 20/9/2019 MAPA: 4 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RÍO BLANCO

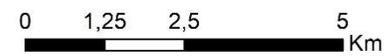
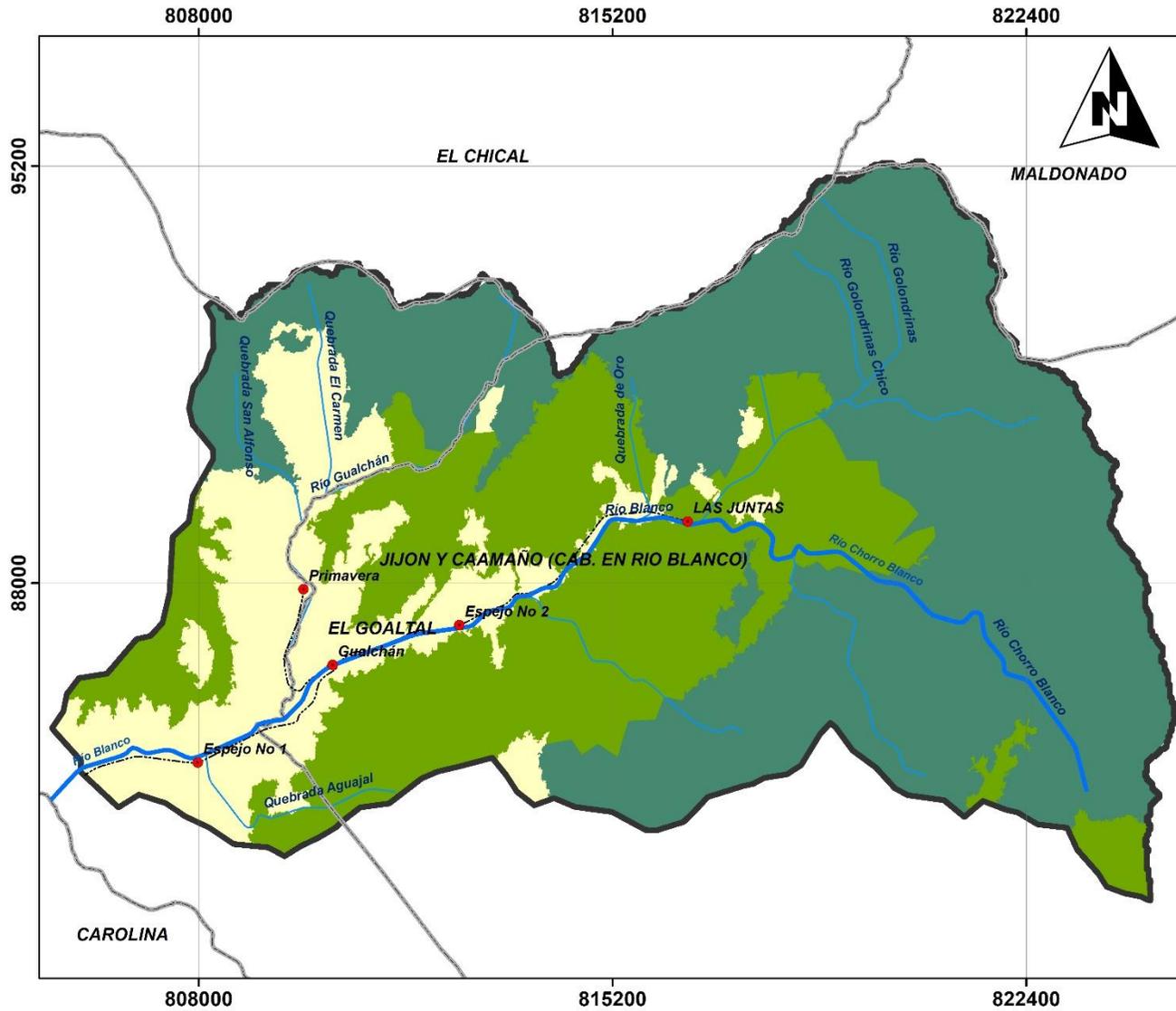
LEYENDA
USO Y COBERTURA - AÑO 2007

CLASES

- BOSQUE
- CULTIVOS Y PASTOS
- VEGETACIÓN ARBUSTIVA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
MAPA DE USO Y COBERTURA VEGETAL DEL AÑO 2007			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	5 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RIO BLANCO

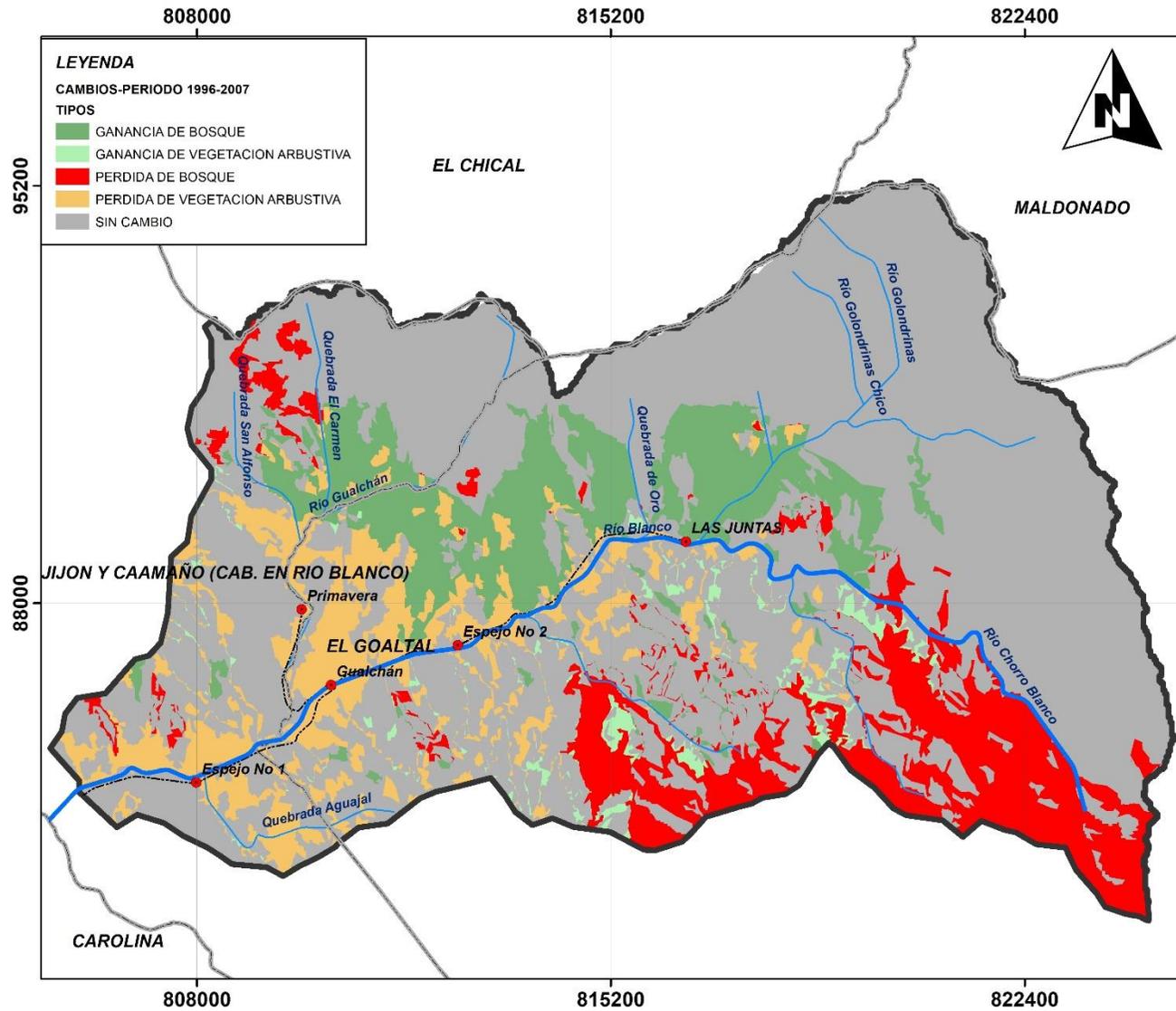
LEYENDA
USO Y COBERTURA - AÑO 2018

CLASES

- BOSQUE
- PASTOS Y CULTIVOS
- VEGETACIÓN ARBUSTIVA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
MAPA DE USO Y COBERTURA VEGETAL DEL AÑO 2018			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	6 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI

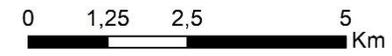


LEYENDA

CAMBIOS-PERÍODO 1996-2007

TIPOS

- GANANCIA DE BOSQUE
- GANANCIA DE VEGETACION ARBUSTIVA
- PERDIDA DE BOSQUE
- PERDIDA DE VEGETACION ARBUSTIVA
- SIN CAMBIO



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RIO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

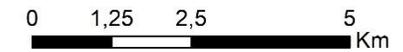
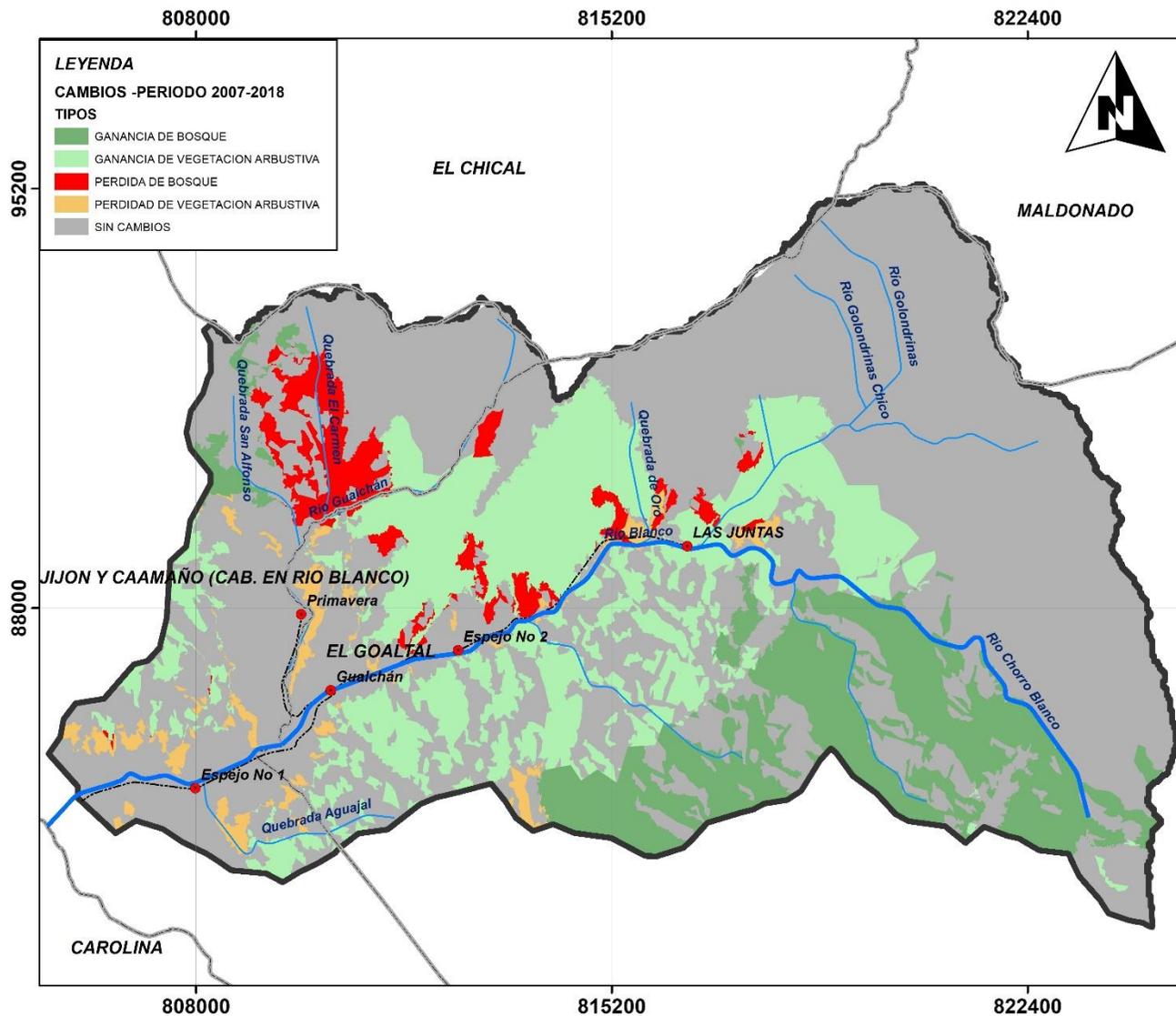
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CAMBIOS EN LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, PERÍODO 1996-2007

ELABORACIÓN:	AUTORAS:	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	7 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRNSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

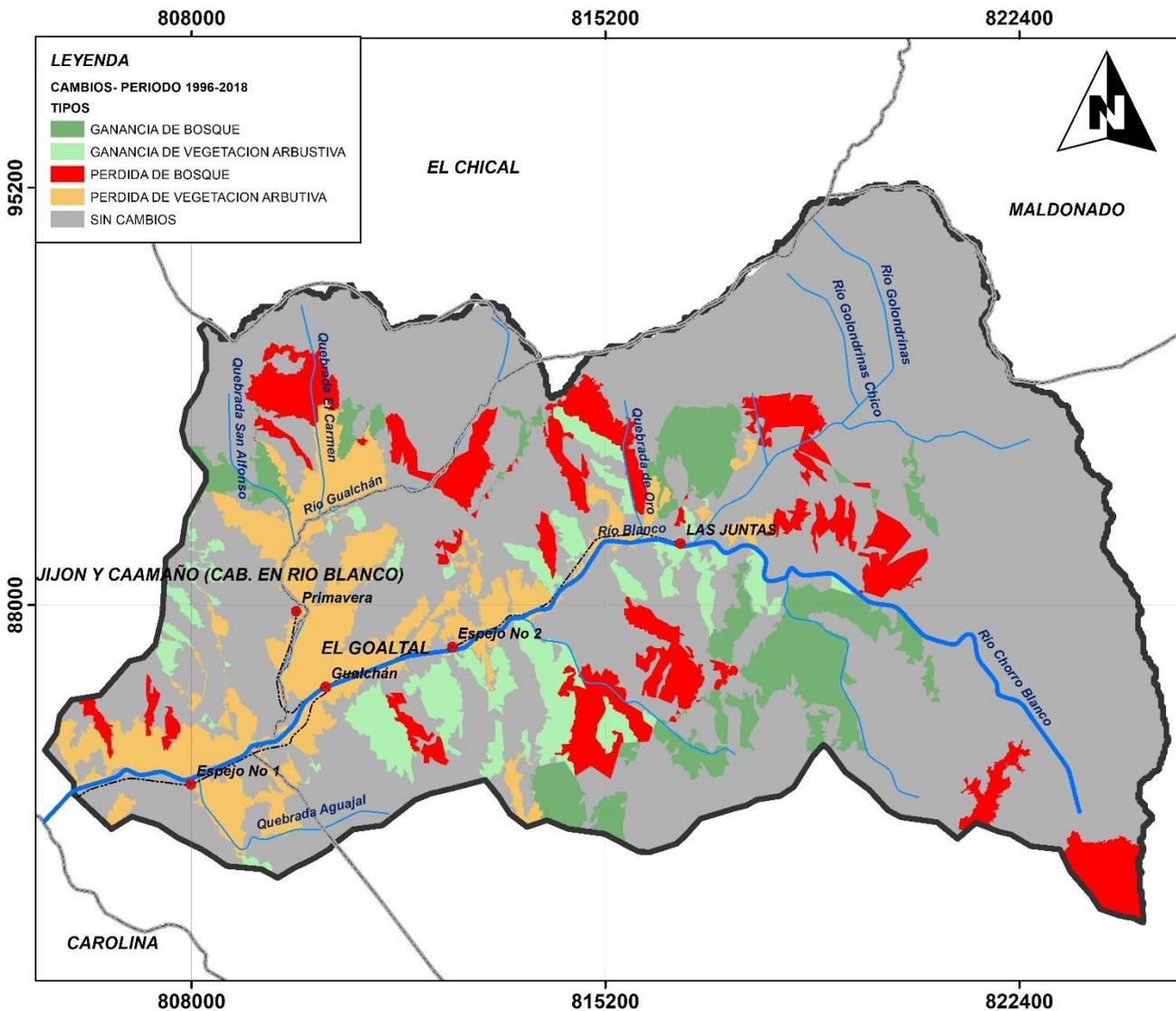


SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RÍO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
CAMBIOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BLANCO, PERIODO 2007-2018			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	8 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

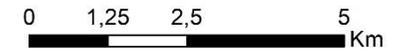
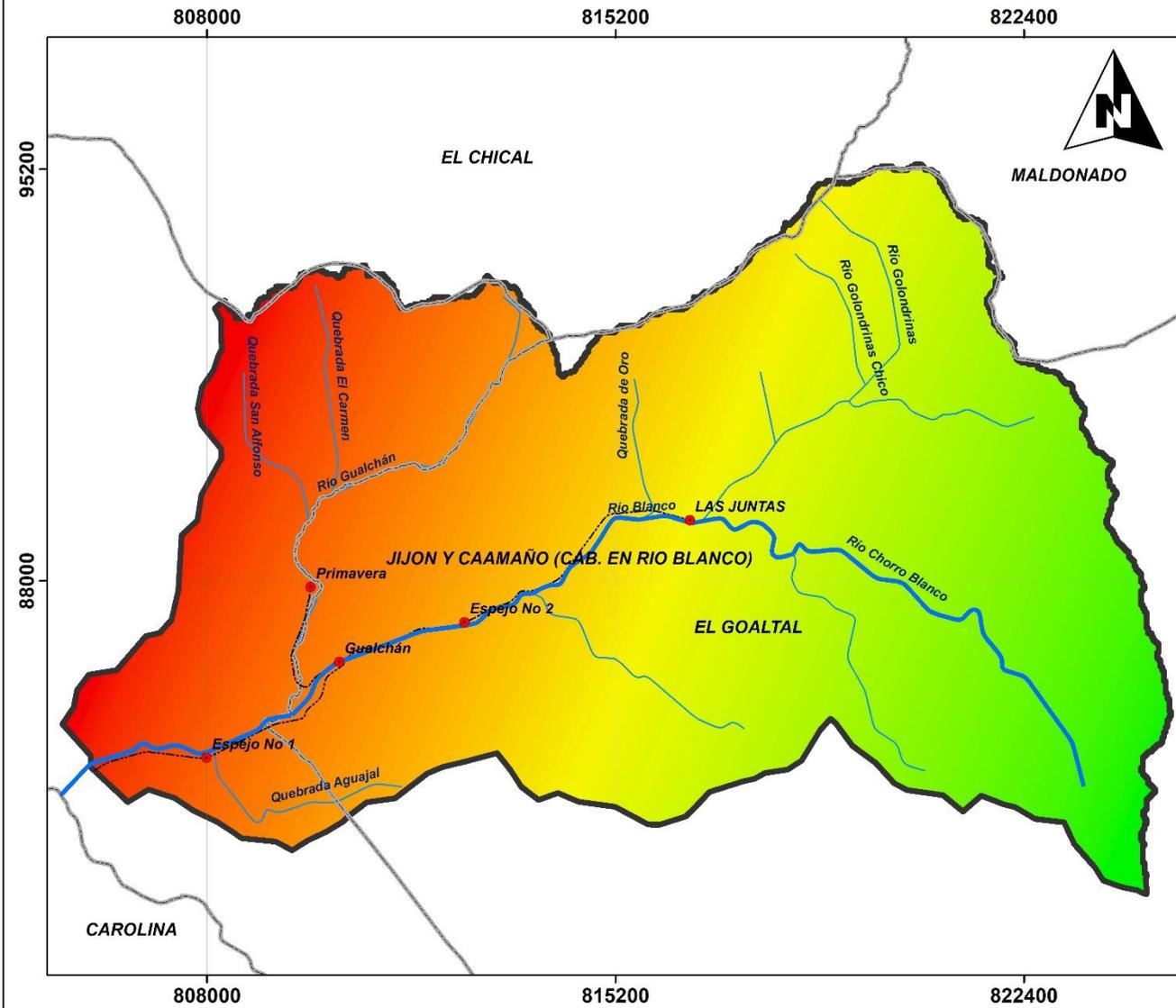


SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RÍOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RÍO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
CAMBIOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BLANCO, PERIODO 1996-2018			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50 000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75 000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	9 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRNSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



LEYENDA

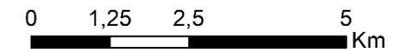
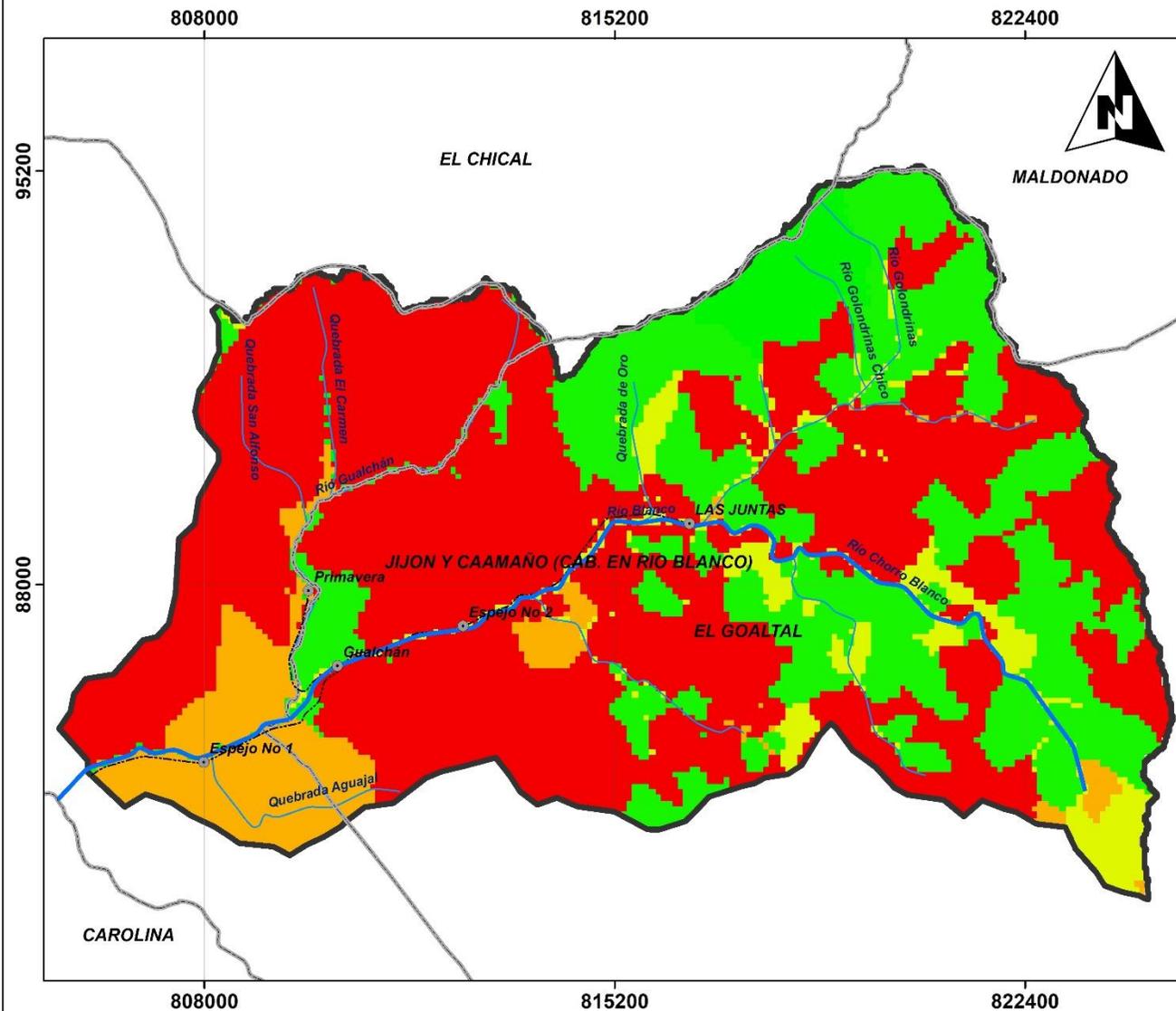
FACTOR-R 2018
VALORES
High : 171,331
Low : 128,186

SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RIO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RIO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
FACTOR - R 2018 (EROSIVIDAD DE LA PRECIPITACIÓN)			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	10 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



LEYENDA
FACTOR-K
Value
High : 0,087998
Low : 0

SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RIO BLANCO

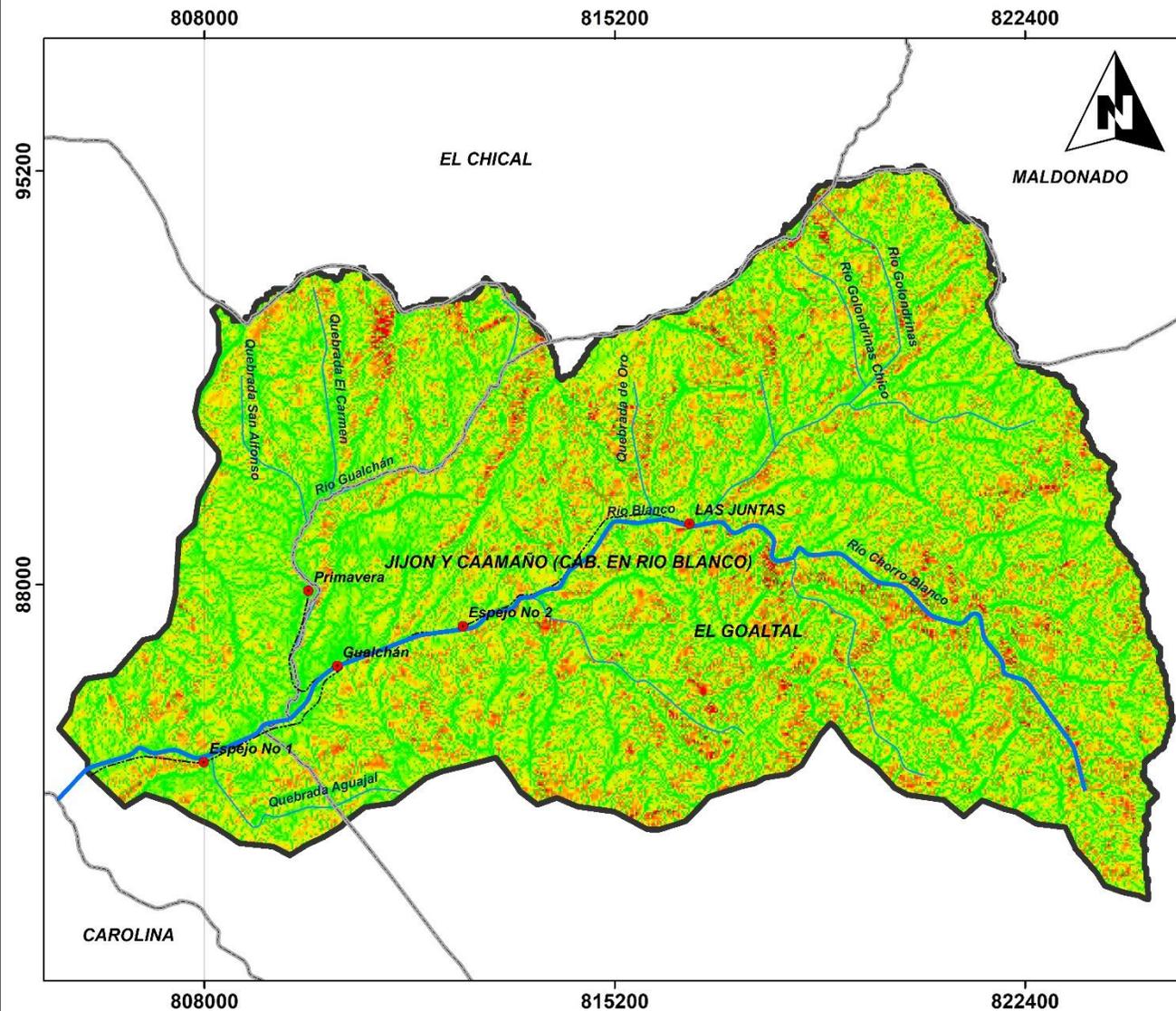
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

FACTOR - K (EROSIONABILIDAD DEL SUELO)

ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	11 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRNSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



LEYENDA

FACTOR-LS

Value

High : 45,5581

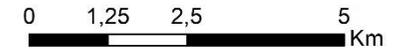
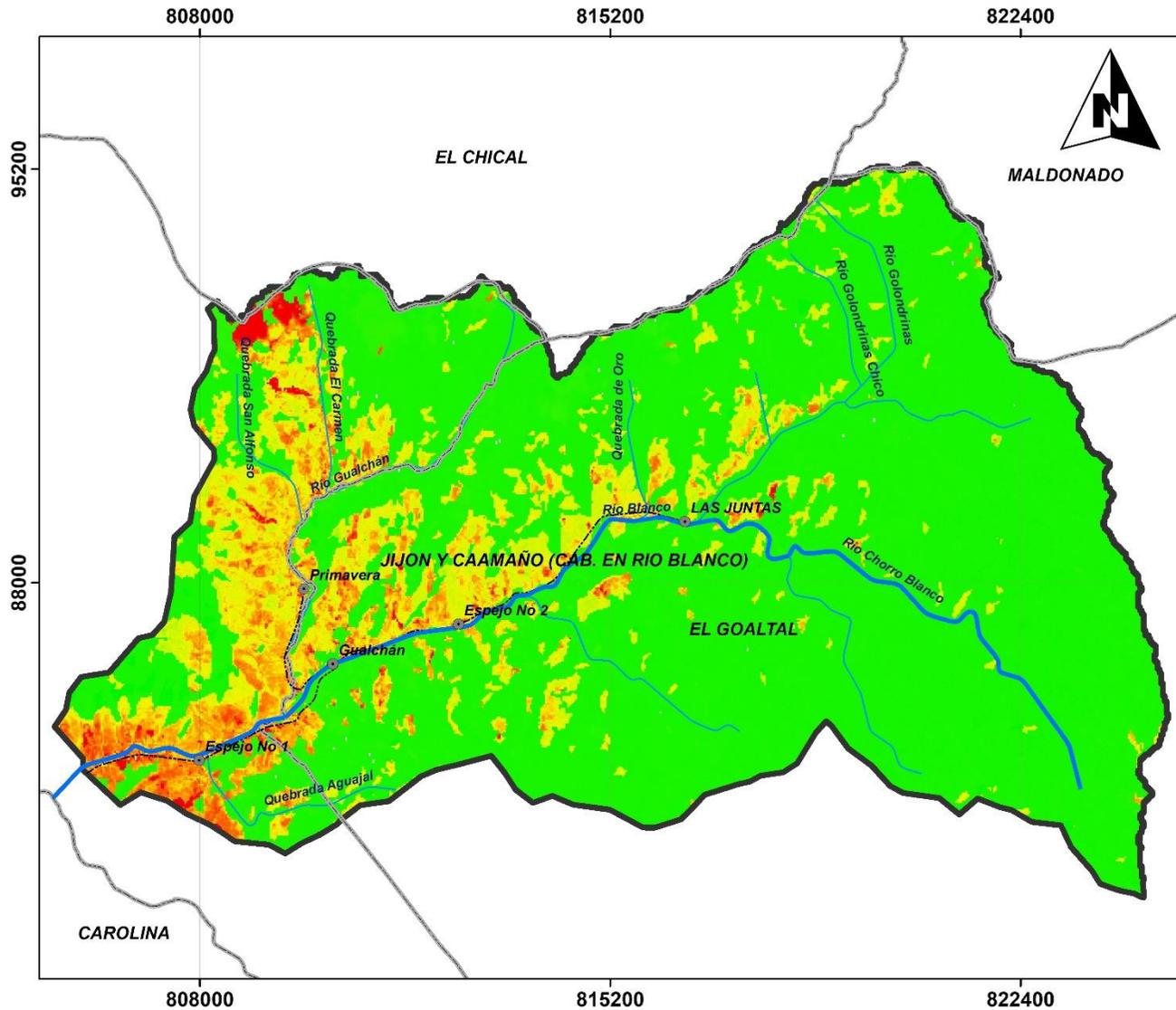
Low : 0

SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RIO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
FACTOR - LS (TOPOGRÁFICO)			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	12 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRNSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



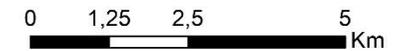
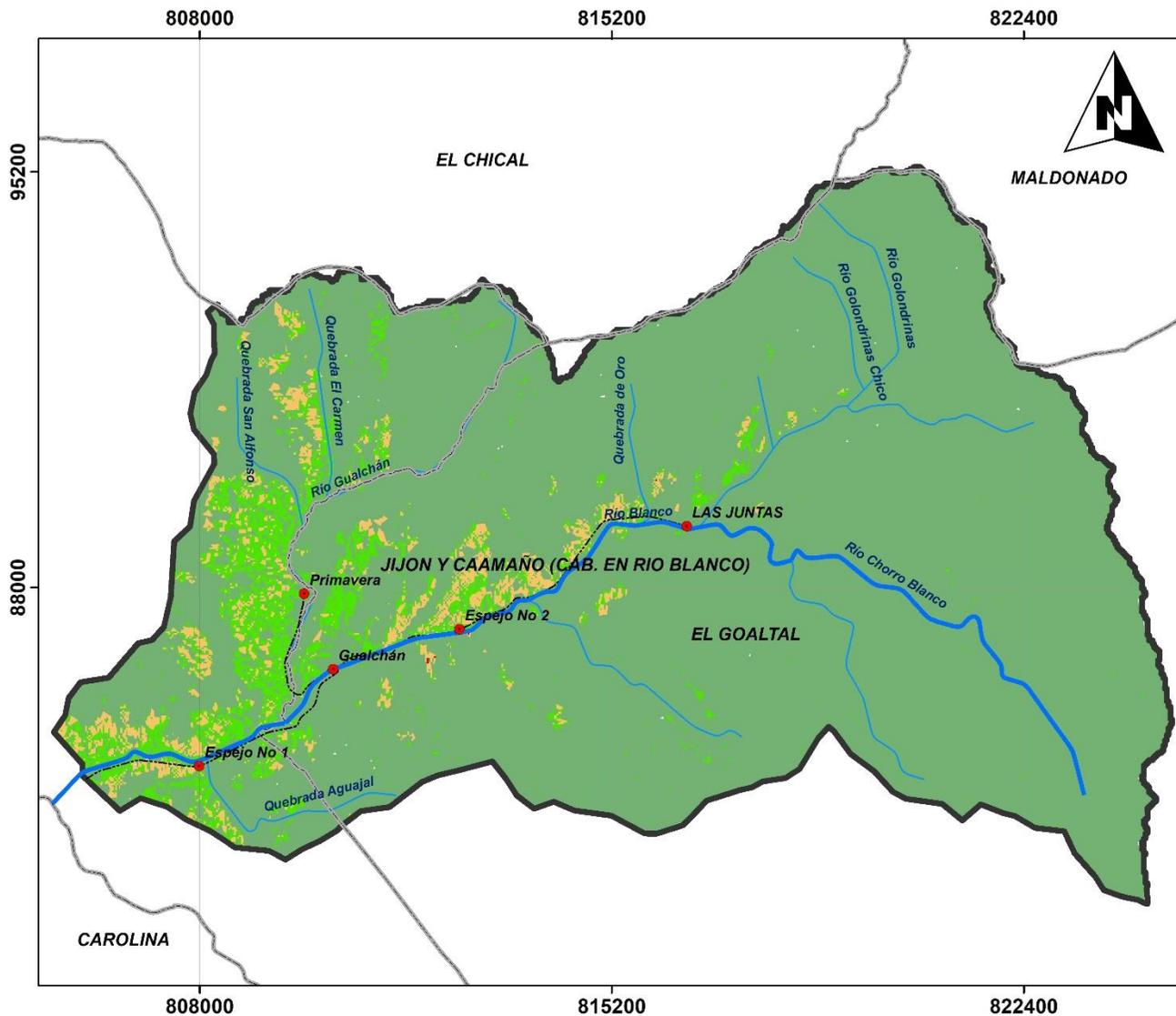
LEYENDA
FACTOR-C 2018
VALOR
High : 0,656401
Low : 0,00219991

SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RIO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
FACTOR - C 2018 (COBERTURA VEGETAL)			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	13 DE 19

**ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y
SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI**



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRNSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



LEYENDA

- RUSLE-1996
RANGO
- INCIPIENTE 0-10
 - LIGERO 10-50
 - FUERTE 50-200
 - SEVERO >200

SIMBOLOGÍA

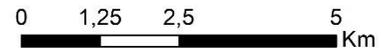
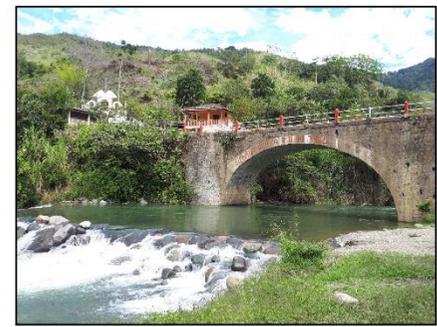
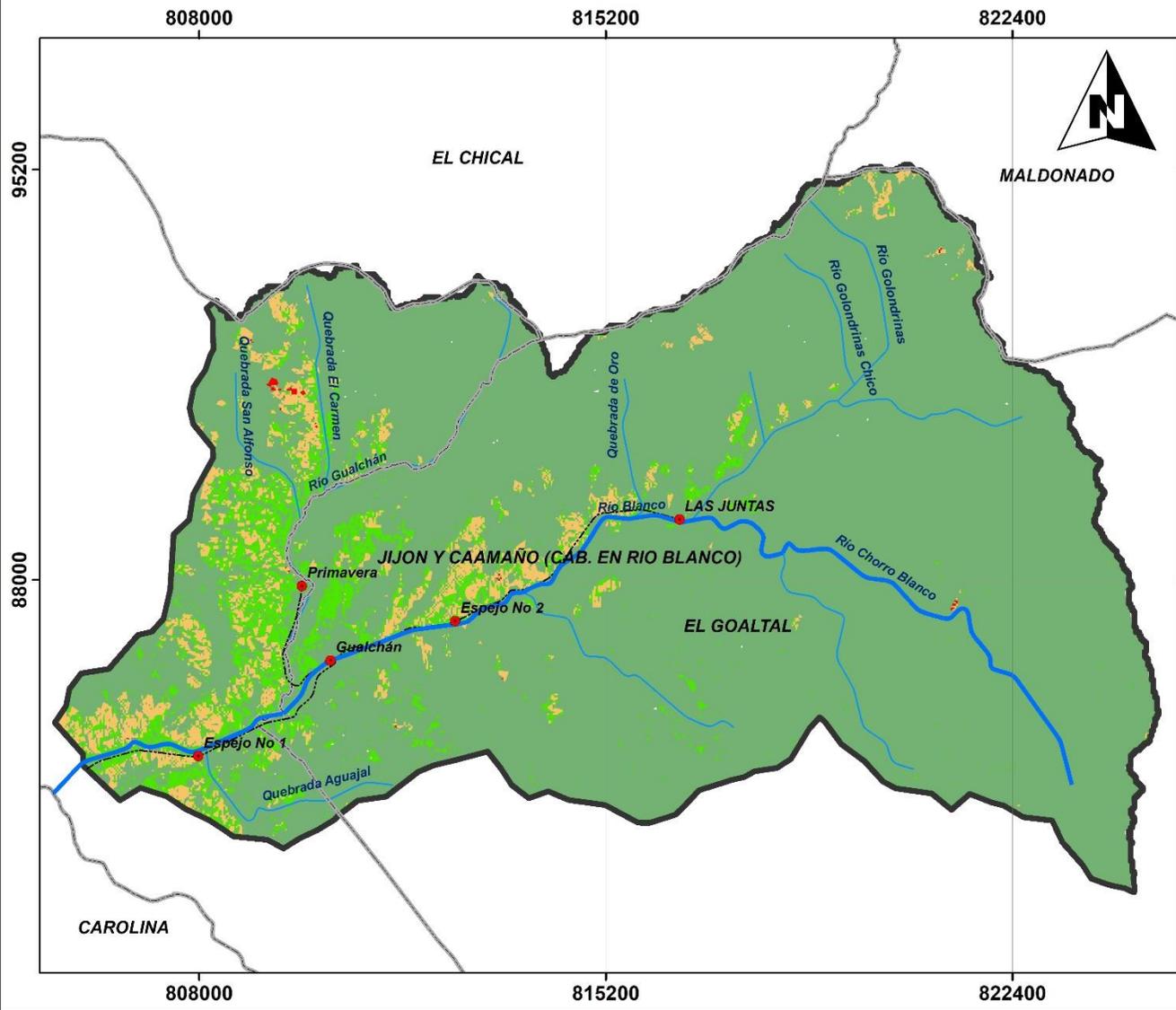
- POBLADOS
- VIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- ▭ PARROQUIAS
- ▭ LIMITE RIO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
RUSLE 1996 (Ecuación Revisada Universal de Pérdida de Suelo)

ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	14 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRNSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



LEYENDA

RUSLE-2007 RANGO

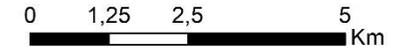
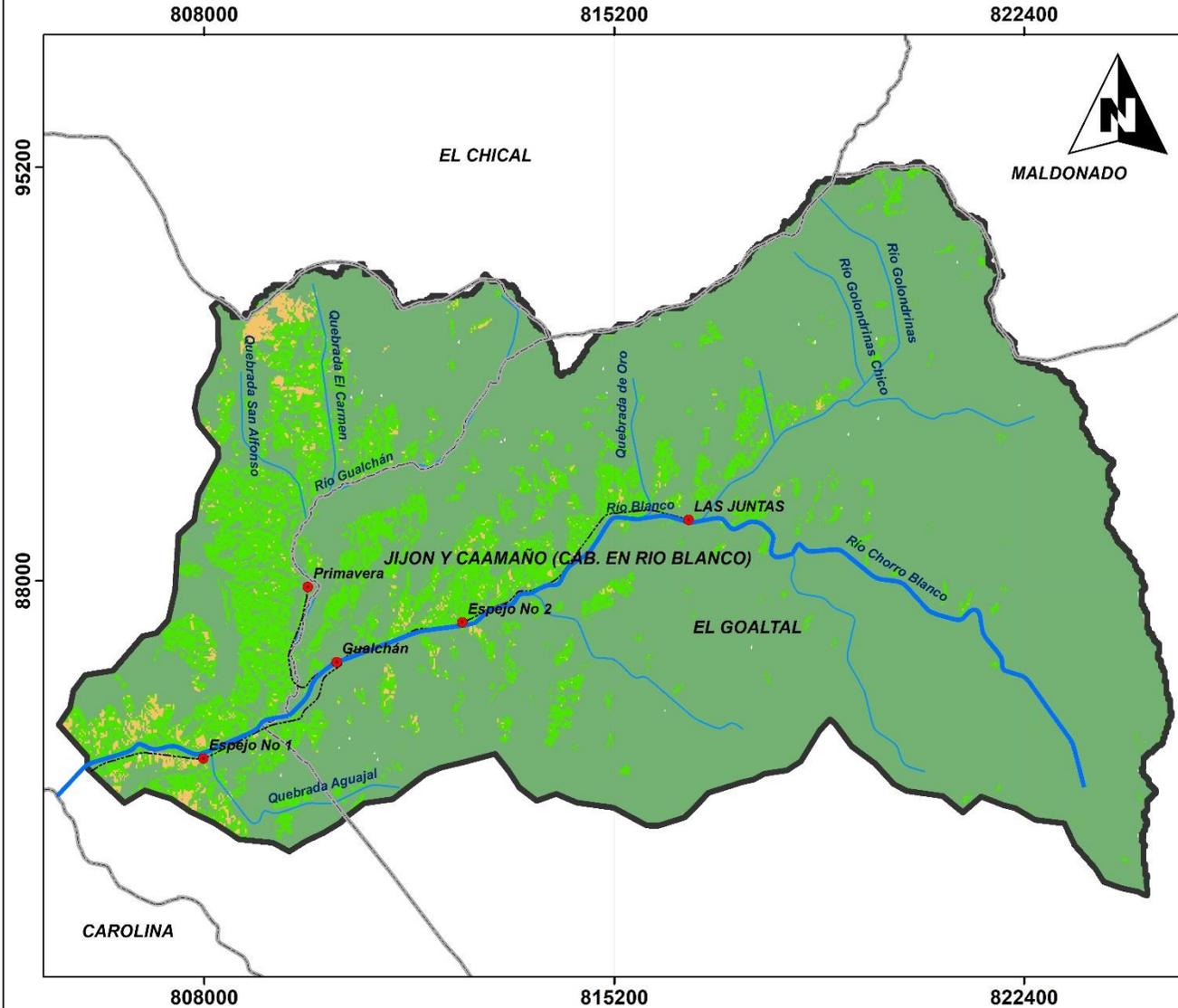
Green	INCIPIENTE 0-10
Light Green	LIGERO 10-50
Yellow	FUERTE 50-200
Red	SEVERO >200

SIMBOLOGÍA

Red dot	POBLADOS
Dashed line	VIAS
Blue line	RIOS
Thick blue line	RÍO PRINCIPAL
Thin blue line	PARROQUIAS
Thick black line	LIMITE RIO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
RUSLE 2007 (Ecuación Revisada Universal de Pérdida de Suelo)			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	15 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



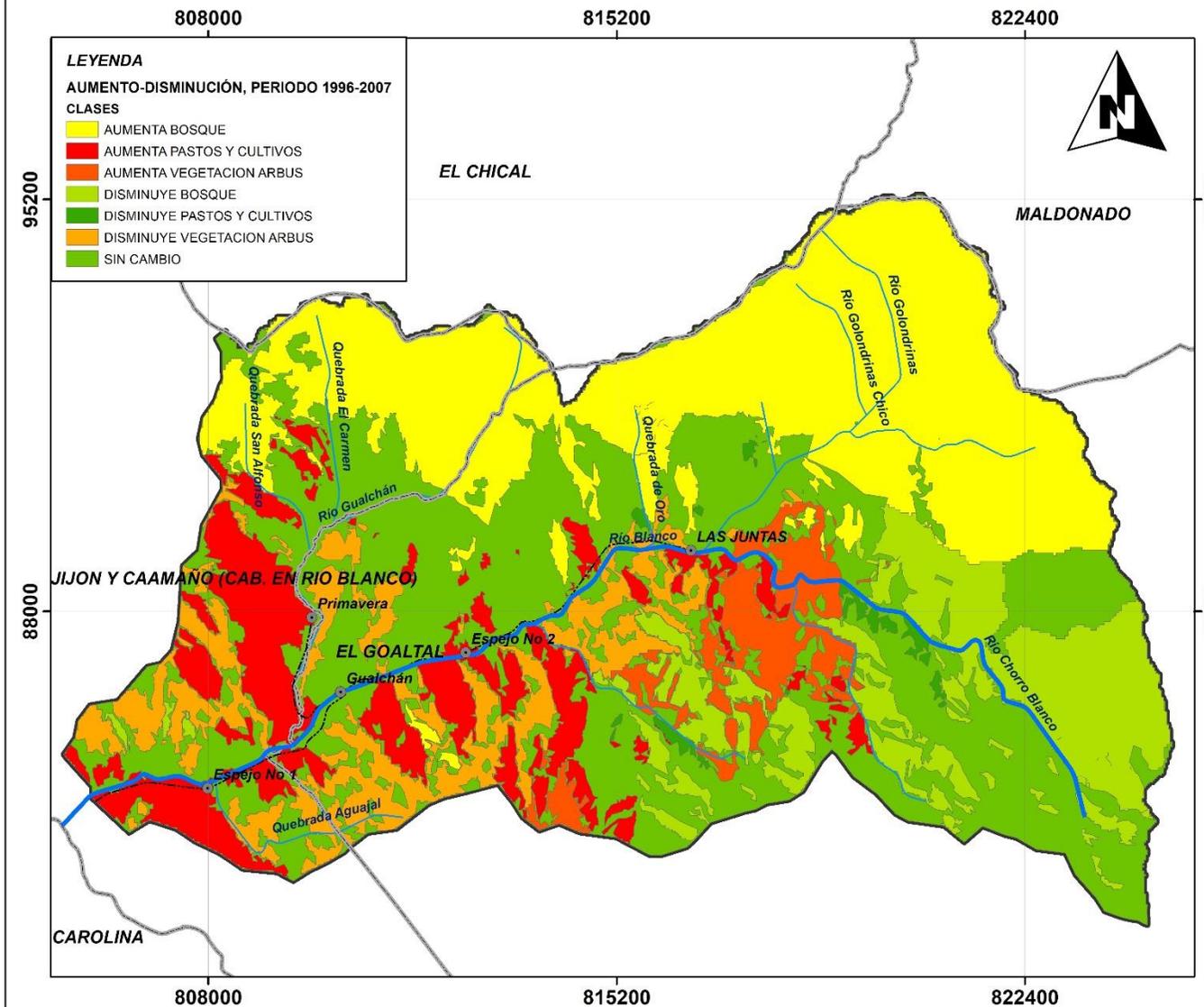
PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



LEYENDA		SIMBOLOGÍA	
RUSLE-2018		● POBLADOS	--- VIAS
RANGO		— RIOS	— RÍO PRINCIPAL
■ INCIPIENTE 0-10	■ LIGERO 10-50	■ PARROQUIAS	▭ LIMITE RÍO BLANCO
■ FUERTE 200			

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
<i>RUSLE 2018 (Ecuación Revisada Universal de Pérdida de Suelo)</i>			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	16 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



LEYENDA
AUMENTO-DISMINUCIÓN, PERIODO 1996-2007
CLASES

- AUMENTA BOSQUE
- AUMENTA PASTOS Y CULTIVOS
- AUMENTA VEGETACION ARBUS
- DISMINUYE BOSQUE
- DISMINUYE PASTOS Y CULTIVOS
- DISMINUYE VEGETACION ARBUS
- SIN CAMBIO



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRNSVERSA DE MERCATOR
 DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

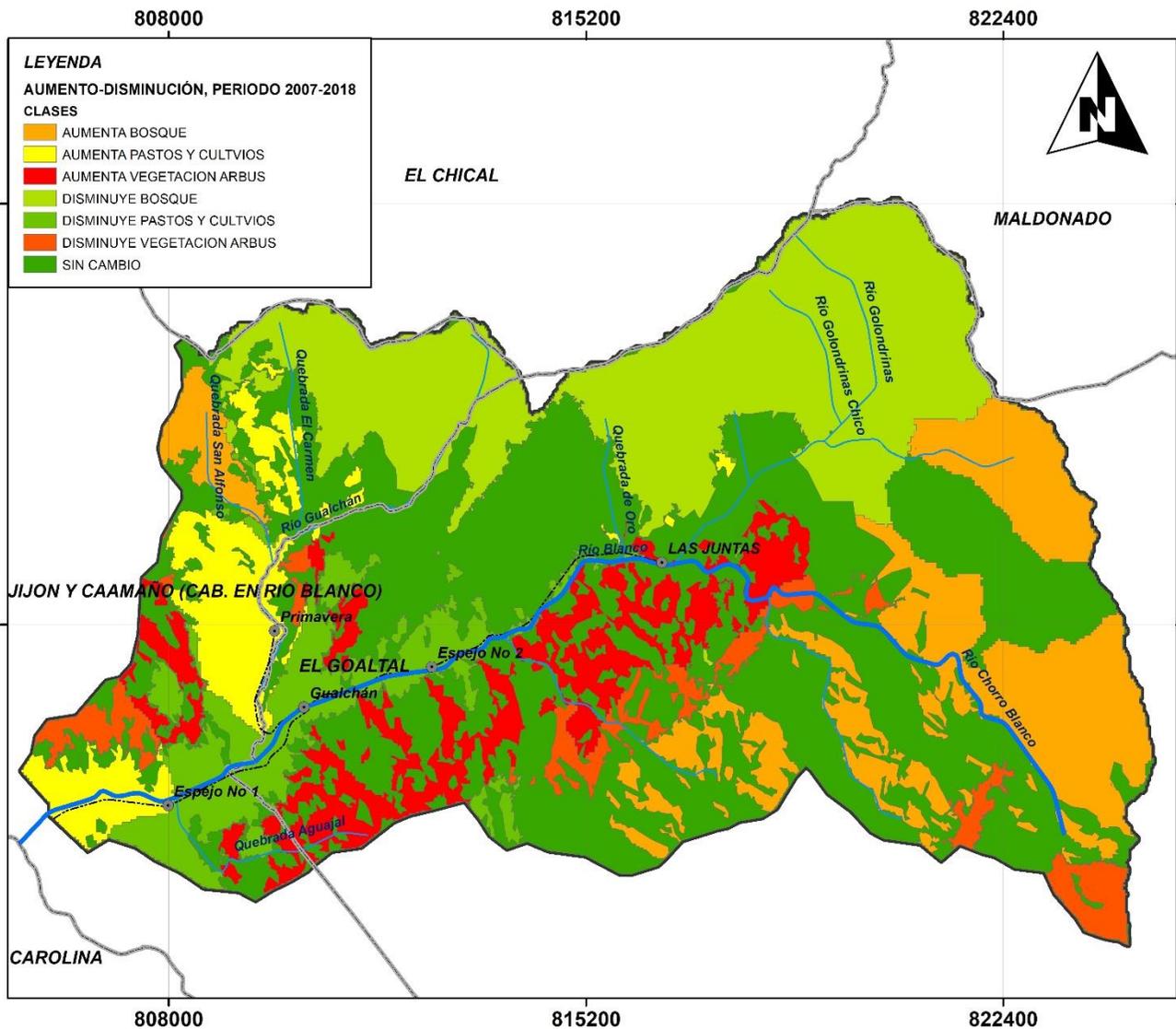


SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- PARROQUIAS
- RÍOS
- RÍO PRINCIPAL
- LIMITE RIO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
CORRELACIÓN COBERTURA VEGETAL, PERIODO 1996-2007			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	17 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



LEYENDA
AUMENTO-DISMINUCIÓN, PERIODO 2007-2018
CLASES

- AUMENTA BOSQUE
- AUMENTA PASTOS Y CULTIVOS
- AUMENTA VEGETACION ARBUS
- DISMINUYE BOSQUE
- DISMINUYE PASTOS Y CULTIVOS
- DISMINUYE VEGETACION ARBUS
- SIN CAMBIO



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

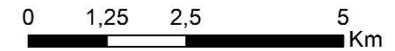


SIMBOLOGÍA

- POBLADOS
- VIAS
- PARROQUIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- LIMITE RÍO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
CORRELACIÓN COBERTURA VEGETAL, PERIODO 2007-2018			
ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USGS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1/75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	18 DE 19

ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO BLANCO, CARCHI



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR



SIMBOLOGÍA

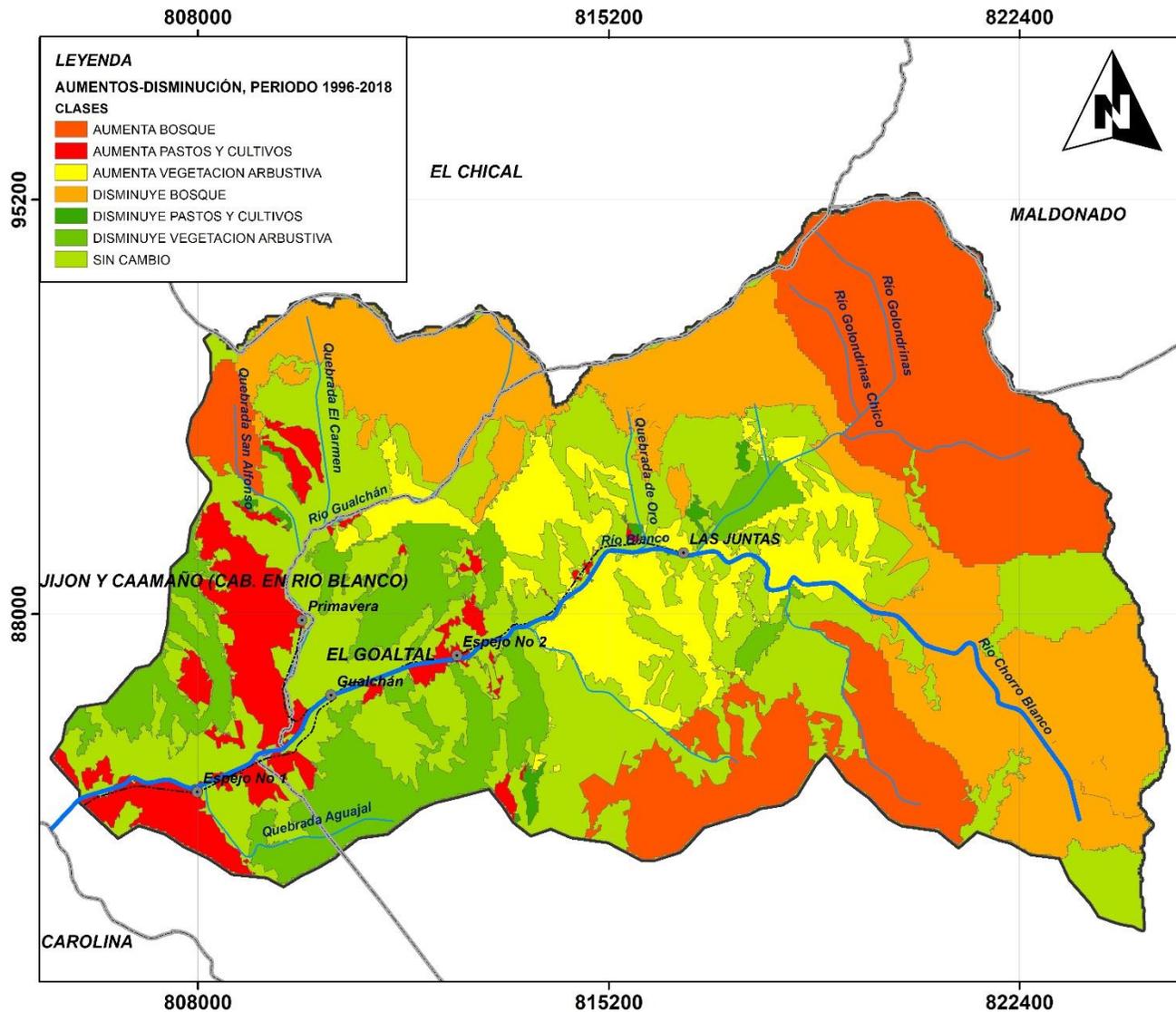
- POBLADOS
- VIAS
- PARROQUIAS
- RIOS
- RÍO PRINCIPAL
- LIMITE RÍO BLANCO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CORRELACIÓN COBERTURA VEGETAL, PERIODO 1996-2018

ELABORACIÓN:	AUTORAS	FUENTE:	USQS, SNI, AUTORAS
ESCALA DE ELABORACIÓN:	50.000	ESCALA DE IMPRESIÓN:	1:75.000
FECHA:	20/9/2019	MAPA:	19 DE 19



- LEYENDA**
AUMENTOS-DISMINUCIÓN, PERIODO 1996-2018
- CLASES**
- AUMENTA BOSQUE
 - AUMENTA PASTOS Y CULTIVOS
 - AUMENTA VEGETACION ARBUSTIVA
 - DISMINUYE BOSQUE
 - DISMINUYE PASTOS Y CULTIVOS
 - DISMINUYE VEGETACION ARBUSTIVA
 - SIN CAMBIO