



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE  
COBERTURA Y USO DEL SUELO EN LA CUENCA BAJA  
DEL RÍO CHAMBO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Presentado para obtener al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: ALEX AUGUSTO FERNÁNDEZ FIERRO**

**TUTORA: DRA.MAGDY GUADALUPE ECHEVERRIA MILENI, Ph.D**

Riobamba-Ecuador

2019

© 2019, Alex Augusto Fernández Fierro

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

Yo, Alex Augusto Fernández Fierro, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba,

Alex Augusto Fernández Fierro

CI: 020157379-7

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de Trabajo de titulación experimental certifica que: El trabajo de titulación tipo proyecto de investigación, “EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO CHAMBO”, realizado por el señor Alex Augusto Fernández Fierro, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales en la virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Magdy Guadalupe Echeverría Mileni, Ph.D <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2019-06-19 _____
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>	_____	2019-06-19 _____

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por convertirse en el plano de mis triunfos y fracasos; la Escuela de Ciencias Químicas por su cálida enseñanza; profesores y amigos que me acompañaron en este corto recorrido.

Al GIDAC y sus destacados miembros de la comunidad científica que abrieron las puertas y brindaron la asistencia necesaria para el desarrollo del presente.

Dra. Magdy Echeverría, Ing. Carlos Rosero e Ing. Andrés Beltrán, por su guía y acompañamiento durante el desarrollo del presente trabajo.

## **DEDICATORIA**

No me alcanzará la vida  
para agradecerte por tanto,  
familia.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>.....</b>
<b>xii</b>	
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>.....</b>
<b>xiii</b>	
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>19</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1. Antecedentes de la investigación .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2. Suelo.....</b>	<b>20</b>
1.2.1. Características del suelo.....	20
1.2.2. Funciones del suelo.....	22
1.2.3. Importancia del suelo.....	23
1.2.4. Calidad del suelo.....	23
<b>1.3. Uso del suelo .....</b>	<b>24</b>
1.3.1. Consecuencias generadas por el uso del suelo.....	25
<b>1.4. Cambios del uso del suelo.....</b>	<b>25</b>
1.4.1. Análisis multitemporales.....	26
<b>1.5. Sistemas de información geográfica.....</b>	<b>26</b>
1.5.1. ArcGis.....	26
1.5.2. ENVI.....	27
1.5.3. TerrSet.....	27
<b>1.6. Métodos para identificación de cambios en la cobertura vegetal.....</b>	<b>27</b>
1.6.1. Caracterización espectral .....	27

<b>CAPITULO II .....</b>	<b>29</b>
<b>2. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>29</b>
2.1. Tipo y diseño de la investigación .....	29
2.2. Diseño de la investigación .....	29
2.3. Identificación de Variables. ....	29
2.4. Operacionalización de los objetivos .....	30
2.5. Unidad de análisis.....	33
2.6. Etapa 1 de la investigación.....	33
2.6.1. Procedimiento para la generación de mapas de cobertura y uso de suelo.....	33
2.7. Etapa 2 de la investigación.....	39
2.7.1. Procedimiento para generar mapas de cambios .....	40
2.8. Etapa 3 de la investigación.....	41
2.8.1. Caracterización del suelo .....	41
2.8.2. Análisis Físicoquímico.....	44
2.8.3. Análisis Estadístico.....	47
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>48</b>
<b>3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1. Mapas de la cobertura de uso de suelo en la cuenca baja del río Chambo y cálculo de las áreas de cobertura vegetal en el período 1998-2016.....</b>	<b>48</b>
3.1.1. Clasificación supervisada.....	48
3.1.2. Análisis de la clasificación de uso de suelo .....	52
<b>3.2. Evaluación multitemporal del cambio de cobertura. ....</b>	<b>53</b>
<b>3.3. Evaluación del impacto del uso de suelo en las propiedades físico-químicas.....</b>	<b>70</b>
3.3.1. Análisis de Correlación de los parámetros físico químicos .....	86
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Operacionalización de objetivos.....	30
<b>Tabla 2-2:</b> Operacionalización de objetivos (Continuación) .....	31
<b>Tabla 3-2:</b> Metadata de las imágenes satelitales. ....	33
<b>Tabla 4-2:</b> Leyenda temática y ROI's .....	36
<b>Tabla 5-2:</b> Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo y uso de suelo.....	42
<b>Tabla 6-2:</b> Aspectos para la determinación de textura de suelos. ....	46
<b>Tabla 1-3:</b> Resultados del cambio de cobertura y uso de suelo de la clasificación supervisada de mapas. ....	54
<b>Tabla 2-3:</b> Valores promedios, mínimos y máximos de la caracterización del suelo en la cuenca baja del río Chambo. ....	70
<b>Tabla 3-3:</b> Análisis ANOVA del pH.....	80
<b>Tabla 4-3:</b> Prueba estadística de comparaciones múltiples del pH. ....	80
<b>Tabla 5-3:</b> Análisis ANOVA de la conductividad eléctrica.....	81
<b>Tabla 6-3:</b> Prueba de comparaciones múltiples de conductividad eléctrica.....	82
<b>Tabla 7-3:</b> Análisis ANOVA de la porosidad. ....	83
<b>Tabla 8-3:</b> Prueba estadística de comparaciones múltiples de porosidad. ....	84
<b>Tabla 9-3:</b> Análisis ANOVA del carbono orgánico.....	85
<b>Tabla 10-3:</b> Prueba estadística de comparaciones múltiples de porosidad. ....	86
<b>Tabla 11-3:</b> Matriz de correlaciones.....	87
<b>Tabla 12-3:</b> Comunalidades. ....	88
<b>Tabla 13-3:</b> Varianza total explicada. ....	88
<b>Tabla 14-3:</b> Matriz de componente rotado. ....	90
<b>Tabla 15-3:</b> Matriz de transformación de componentes.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Metodología para la elaboración de mapas de cobertura y uso de suelo.....	34
<b>Figura 2-2:</b> Mapa de ubicación de las zonas de entrenamiento. ....	37
<b>Figura 3-2:</b> Metodología de análisis multitemporal.....	40
<b>Figura 4-2:</b> Mapa de ubicación de los puntos de muestreo. ....	43
<b>Figura 1-3:</b> Mapa de cobertura y uso de suelo de la cuenca baja del río Chambo, año 1998. ....	49
<b>Figura 2-3:</b> Mapa de cobertura y uso de suelo de la cuenca baja del río Chambo, año 2016. ....	51
<b>Figura 3-3:</b> Scatter plott de la banda infrarroja y resultados de separabilidad. ....	53
<b>Figura 4-3:</b> Mapa de cambios de cobertura entre 1998-2016.....	60
<b>Figura 5-3:</b> Mapa de persistencia de coberturas entre 1998-2016. ....	61
<b>Figura 6-3:</b> Mapa de ganancias y pérdidas en: a) páramo y b) bosque; entre los años 1998-2016..	63
<b>Figura 7-3:</b> Mapa de ganancias y pérdidas en: a) cultivo y b) sin cobertura; entre los años 1998-2016.....	64
<b>Figura 8-3:</b> Mapa de transición de cobertura vegetal: a) páramo b) bosque; entre los años 1998-2016.....	65
<b>Figura 9-3:</b> Mapa de transición de cobertura vegetal: a) cultivo b) sin cobertura; entre los años 1998-2016. ....	66
<b>Figura 10-3:</b> Mapa tendencial espacial de cambio de cobertura vegetal a: a) páramo y b) bosque. ....	68
<b>Figura 11-3:</b> Mapa tendencial espacial de cambio de cobertura vegetal a: a) cultivo y b) sin cobertura.....	69

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Cobertura de los usos de suelo en la cuenca baja del río Chambo de 1998. ....	48
<b>Gráfico 2-3:</b> Cobertura de los usos de suelo de la cuenca baja del río Chambo de 2016. ....	50
<b>Gráfico 3-3:</b> Ganancias y pérdidas por categorías expresadas en: a) km <sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016. ....	55
<b>Gráfico 4-3:</b> Ganancias y pérdidas netas de cobertura vegetal expresadas en: a) km <sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016. ....	56
<b>Gráfico 5-3:</b> Contribuciones netas al cambio en páramo expresado en: a) km <sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016. ....	57
<b>Gráfico 6-3:</b> Contribuciones netas al cambio en bosque expresado en: a) km <sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016. ....	58
<b>Gráfico 7-3:</b> Contribuciones netas al cambio en cultivo expresado en: a) km <sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016. ....	59
<b>Gráfico 8-3:</b> Resultados del análisis de pH. ....	71
<b>Gráfico 9-3:</b> Resultados del análisis de correlación de elevación y pH. ....	72
<b>Gráfico 10-3:</b> Resultados del análisis de conductividad eléctrica. ....	73
<b>Gráfico 11-3:</b> Resultados del análisis de correlación de elevación y conductividad eléctrica. ....	74
<b>Gráfico 12-3:</b> Resultados del análisis de porosidad. ....	75
<b>Gráfico 13-3:</b> Resultados del análisis de correlación de elevación y porosidad. ....	76
<b>Gráfico 14-3:</b> Resultados del análisis de textura. ....	77
<b>Gráfico 15-3:</b> Resultados del análisis de materia orgánica. ....	78
<b>Gráfico 16-3:</b> Resultados del análisis de correlación de elevación y materia orgánica. ....	79
<b>Gráfico 17-3:</b> Gráfico LSD del pH. ....	80
<b>Gráfico 18-3:</b> Gráfico LSD de conductividad eléctrica. ....	82
<b>Gráfico 19-3:</b> Gráfico de textura según el uso de suelo. ....	83
<b>Gráfico 20-3:</b> Gráfico LSD de porosidad. ....	84
<b>Gráfico 21-3:</b> Gráfico LSD de carbono orgánico. ....	85
<b>Gráfico 22-3:</b> Gráfico de sedimentación de componentes. ....	89
<b>Gráfico 23-3:</b> Gráfico de componente en espacio rotado. ....	91

Chugui narca

25 VI-19

## RESUMEN

El presente estudio, realizado en la cuenca baja del río Chambo, tuvo como objetivo principal evaluar el cambio de cobertura y uso de suelo en espacios multitemporales y la determinación de los efectos del cambio de uso de suelo en las propiedades fisicoquímicas de la zona de estudio. Para el análisis del cambio de cobertura se utilizaron imágenes Landsat 5 del año 1998 y Landsat 7 del año 2016; procesadas mediante software especializado y sometidas a una clasificación supervisada validadas con un porcentaje de precisión global y el coeficiente Kappa. La evaluación del cambio se realizó mediante el módulo Land Change Modeler, cuyos cambios fueron representados en pérdidas, ganancias y persistencias de las coberturas vegetales que posterior fueron ilustradas en mapas temáticos. Los resultados indican que los cambios de cobertura favorecen al páramo con una ganancia del 26.76% mientras que el bosque perdió 25.49%, así también la frontera agrícola tuvo una ganancia del 10.48% y el suelo sin cobertura el 3%. Adicionalmente se han sometido 50 muestras de suelo de cuatro diferentes usos (bosque, páramo, cultivos y sin cobertura) a análisis físico-químico, sin existir diferencia significativa entre los parámetros, mas estos tienden a formar componentes que los correlacionan. La influencia de aspectos naturales, como es la erupción del volcán Tungurahua, y las actividades antropogénicas derivadas de esta; nos permitió apreciar la vulnerabilidad de los bosques y el avance de la frontera agrícola; así como una competencia ecosistémica y tendencias de cambio por intromisión agropecuaria que aceleran los procesos de cambios de cobertura y uso de suelo. Se recomienda un análisis elemental de los suelos agropecuarios por cuanto los metales pesados procedentes de la actividad volcánica que afectan la calidad del suelo y presentan una amenaza para la seguridad alimentaria.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGIA> <INGENIERIA AMBIENTAL> CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL <USO DE SUELO> <SENSORES REMOTOS> <CLASIFICACIÓN SUPERVISADA> <PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS>



## THESIS ABSTRACT

The present study, conducted in the lower basin of the Chambo River, had as main objective to evaluate the change of coverage and land use in multi-temporal spaces and the fate of the effects of the change in land use in the physicochemical properties of the area of study. Landsat 5 images from 1998 and Landsat 7 from 2016 were used to analyse the change in coverage; processed by specialized software and subjected to a validated supervised classification with a percentage of global precision and the Kappa coefficient. The evaluation of the change was made through the Land Change Modeler module, whose changes were represented in losses, gains and persistences of the plant covers that were later illustrated in thematic maps. The results indicate that the changes of coverage favour the "Páramo" with a gain of 26.76% while the forest lost 25.49%, so also the agricultural frontier had a gain of 10.48% and the ground without coverage 3%. Additionally, 50 soil samples from four different uses (forest, "Páramo", crops and without coverage) have been subjected to physicochemical analysis, without significant difference between the parameters, but these tend to form components that correlate them. The influence of natural aspects, such as the eruption of the Tungurahua volcano, and the anthropogenic activities derived from it; it allowed us to appreciate the vulnerability of the forests and the advance of the agricultural frontier; as well as an ecosystem competition and trends of change due to agricultural interference that accelerate the processes of changes in coverage and land use. An elementary analysis of agricultural soils is recommended because heavy metals from volcanic activity affect the quality of the soil and present a threat to food security.

**Key words:** <BIOTECHNOLOGY> <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>  
<CHANGING VEGETATION COVERAGE> <LAND USE> <REMOTE SENSORS>  
<SUPERVISED CLASSIFICATION> <PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES>



## INTRODUCCIÓN

### Identificación del problema

El páramo andino, conformado por una accidentada geografía compuesta por valles y llanuras; sistemas lacustres, prados húmedos y bosques de baja estatura; cubren las partes altas de este. El límite natural del bosque se ve influenciado por las actividades antropogénicas así también el páramo se encuentra fragmentado y aislado sobre el altiplano andino conservando el endemismo. (Buytaert et al. 2006).

El Ecuador ha visto un cambio sustancial de su cobertura vegetal natural donde se estima una superficie de 454.347 ha de páramo y 5 723.799 ha de montes y bosques en 2015 que disminuyó a 332.418 ha de páramo y 5 675.402 de montes y bosques en 2017; es decir una pérdida de 121.929 ha y 54.397 ha respectivamente. (INEC, 2017 págs. 5-8)

Actualmente la geomorfología del cantón Penipe nos indica que el tan solo el 11,98% de su territorio se encuentre bajo pendientes del 12% de inclinación; mientras que 19,3 % en terreno inclinado se encuentra en pendientes del hasta 25% de inclinación y el 36,7% de su superficie se encuentra en terrenos escarpados con pendientes de más del 25% donde que se encuentra agricultura de formación lenta como hortalizas, maíz y frutales. (PDOT - Penipe, 2016 págs. 22-26)

Cabe destacar que las erupciones volcánicas del Tungurahua, que han tenido una gran incidencia sobre la cobertura vegetal de la zona, ya que su actividad es reciente y según el Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional (2018) inició su actividad eruptiva en 1999 y persiste hasta el momento; teniendo dos grandes erupciones explosivas con formación de flujos piroclásticos en Julio y Agosto del 2006 que afectaron el flanco occidental y sur occidental, destruyendo cultivos, calcinando animales, cubriendo de capas de roca y cenizas al cantón Penipe.

La ausencia de metodologías que diferencien los cambios significativos ha sido un vacío para la planificación territorial en los andes y la identificación de tendencias e intensidad de las transiciones sistemáticas son el complemento para las investigaciones de áreas ambientales sensibles a considerar en la planificación y ordenamiento territorial. (Pontius, Shusas y McEachern, 2004, p.p. 251-260)

Así podemos ver que los cambios de uso de suelo desencadenan una serie de impactos ambientales que deterioran el ambiente, debido a los altos niveles de erosión, reducción de la cobertura vegetal, pérdida de capacidad productiva de los suelos, índices elevados de migración, y disminución de la calidad de vida de las comunidades rurales, a causa de un manejo agropecuario inadecuado que toma dos vías: la utilización de mayores áreas de producción agrícola y el abandono de terrenos afectados. (Rodríguez-Eraso et al., 2010, p.p. 5-15)

## JUSTIFICACIÓN

Hoy en día los cambios de uso de suelo es una parte importante del llamado cambio global, junto con las alteraciones climáticas y modificaciones en la composición atmosférica. Por tanto, sus consecuencias exceden el ámbito local o regional. (Paruelo, J. et al., 2005, p.p 14-20)

En los países en vías de desarrollo, el deseo de superación de los habitantes conduce a la explotación y extracción de los recursos naturales (Barral & Oscar 2012), en varias ocasiones el uso de suelo está sesgado para maximizar los beneficios económicos directos, sin tener en cuenta los beneficios proporcionados a los ecosistemas. (Roy & Roy, 2014, pp. 489-491)

Debido a las actividades realizadas por el hombre con a la presión que estas ejercen al medio ambiente y por ende al uso de suelo, se ha provocado un cambio inminente en los últimos años, motivo por el cual este tema se ha vuelto de gran interés en diferentes disciplinas ambientales, siendo el cambio del uso del suelo uno de los factores primordiales. (Daza Torres, et al., 2014, p.p. 23-28 )

Según Velázquez y Couturier (2009, p.p. 23-28) el análisis del cambio de la cobertura y uso de suelo son la base para los ejercicios de evaluación de calidad de este recurso y los procedimientos de agro-desarrollo sustentable

Paruelo J. (2008, p.p. 4-22) realza en su estudio el uso de sensores remotos para la caracterización estructural del paisaje, por la interpretación visual y la clasificación digital. Dichos atributos se ven ligados obligatoriamente al comportamiento espectral, reflectancia de la superficie terrestre, aportando significativamente al avance de estudios ecológicos.

El análisis que conlleva el presente estudio requiere identificar y tratar la información de la incidencia en el territorio de al menos 15 años, mediante sensores remotos y técnicas especializadas de Sistemas de Información Geográfica (SIG); así como del trabajo en campo que requieren los procedimientos técnicos subsecuentes para la validación de la información misma.

Así podemos observar que, dentro de la cuenca baja del Río Chambo, perteneciente al cantón Penipe de la provincia de Chimborazo, no se han realizado estudios de la dinámica de cambios y usos de suelo.

Destacando que además de las actividades antropogénicas, la actividad agropecuaria se ha visto influenciada por fenómenos naturales como son las erupciones del volcán Tungurahua. La identificación de las zonas afectadas por el cambio de uso de suelo es la primera herramienta que permitiría desarrollar programas para un manejo agrícola sustentable que impulse las medidas de conservación.

El presente estudio aborda la línea de investigación de la Facultad de Ciencias como es la Gestión Ambiental y Territorio y se desarrolló dentro del programa “*Building a resilient future for the andean paramo ecosystem of Ecuador*” del Grupo de Investigación para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC-CEAA ESPOCH), mismo que brindó el apoyo técnico y logístico, así como la asesoría de su equipo multidisciplinario.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar en espacios multitemporales el cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca baja del río Chambo

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificarla cobertura de suelo mediante la clasificación supervisada de imágenes Landsat.
- Determinar la intensidad de transición de cobertura y uso de suelo mediante redes neuronales en el período 1998-2016
- Evaluar el cambio de las propiedades físico químicas del suelo (Densidad real, Densidad aparente, porosidad, pH, conductividad y Materia orgánica) por el cambio de uso de suelo.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de la investigación

Aguayo et al. (2009, pp. 361-374) indica que analizar las coberturas vegetales y uso de suelo de una década, confirma que las principales transformaciones del paisaje son consecuencia del desarrollo forestal, la mantención de los rubros agropecuarios y el crecimiento urbano e industrial. Asimismo, fue posible determinar que la pérdida del bosque nativo se debe, principalmente, a la expansión de las plantaciones forestales hacia los cordones montañosos andinos y costeros al centro sur de Chile.

Los estudios relacionados con los cambios progresivos de cobertura vegetal y usos de suelo, han cobrado gran importancia en la investigación ambiental porque permiten evaluar tendencias espacio temporales de procesos naturales y antropogénicos, como la deforestación y degradación ambiental, además los resultados de las investigaciones son de utilidad para futuros planes de desarrollo ambiental, planes de ordenamiento territorial, y en la planeación de estrategias de conservación de los recursos naturales en cuencas hidrográficas. (Osuna-Osuna et al. 2015, p. 360)

El presente estudio se realizó en la cuenca baja del Río Chambo que limita, dentro del cantón Penipe, con el volcán Tungurahua, que es un estrato-volcán andesítico a 5020 m.s.n.m. con un diámetro basal de 16 km. La actividad volcánica que data desde 1999 hasta la actualidad de tipo subcontinua caracterizada por explosiones estrombolianas y vulcanianas con emisiones subcontinuas de gases y ceniza, flujos de piroclastos y lahares. (Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional, 2015)

Valencia, J. (2010) señala que los principales períodos de actividad volcánica son: 1641; 1773-1782; 1886; 1916-1918 y el último, 1999 hasta la actualidad. Las dos grandes erupciones explosivas, con formación de flujos piroclásticos que afectaron al flanco occidental y sur occidental, se reportaron en julio y agosto del 2006.

## **1.2. Suelo**

Es un componente principal de la tierra y de los ecosistemas, considerado como un cuerpo natural resultado del desgaste de los minerales, materia orgánica, agua y aire, es decir, el producto de la combinación de factores como flora y fauna, material parental e influencia climática. (Food and Agriculture Organizations of the United Nations,2015).

Algunos autores definen al suelo como un sistema heterogéneo, estructurado e irremplazable, originado por el desgaste de la roca madre y una mezcla de nutrientes, materia orgánica y minerales que permiten el desarrollo de todo tipo de organismos.(García, et al., 2012, p.p 126-133)

Otros autores definen al suelo como el material donde crecen las plantas y les proporciona soporte, nutriente y agua, sin embargo, lo consideran como una fina capa de tierra que cubre la superficie terrestre y es originada por el desgaste de la roca madre y la acumulación de materia orgánica. (Nortcliff et al., 2006, p.399)

Desde la pre-historia, el suelo juega un rol fundamental en el desarrollo de las actividades humanas, el cambio en el ambiente de los suelos ha estado influenciado por el constante manejo de los recursos para beneficio de los seres humanos, sin embargo, el desconocimiento de las relaciones ambientales ha generado la destrucción de la superficie terrestre. (Baxter, et al., 2001, pp.4-6)

### **1.2.1. Características del suelo**

Existen tres características principales que juegan un rol fundamental en el crecimiento de las plantas y en el desarrollo de las actividades para la supervivencia y desarrollo de los seres humanos.

- Físicas
- Químicas
- Biológicas

(Bravo, et.al. , 2013)

### *1.2.1.1. Características físicas*

Las propiedades físicas son indicadores de la calidad de suelo, según Bünemann et al. (2018, 107-109) estas son las responsables para el crecimiento óptimo de la materia vegetal, sin embargo, la relación de las características físicas, químicas y biológicas beneficia a la dinámica del suelo.

Las propiedades físicas se ven representadas por:

- Color
- Textura
- Estructura
- Porosidad
- Densidad
- Temperatura

(Thowid, K. 2012)

### *1.2.1.2. Características químicas*

Corresponden a las interacciones de los constituyentes que se encuentran en el suelo, tanto en la fracción sólida como en la fracción líquida, estas interacciones son complejas pero necesarias para el correcto funcionamiento de la dinámica del suelo. Las propiedades químicas afectan directamente a la actividad biológica del suelo e indirectamente en la dinámica del Nitrógeno. (Melo et al., 2018, p.194)

Las principales características son:

- pH
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- Disponibilidad de nutrientes.

### *1.2.1.3. Características biológicas*

La evolución del suelo se encuentra ligada a la presencia de un complejo conjunto de organismos que compiten por comida y agua, convirtiendo al suelo en sistema dinámico dentro del que la materia orgánica se transforma en inorgánica e incorpora los nutrientes necesarios al suelo, este tipo de transformaciones toman el nombre de mineralización, inmovilización, nitrificación y desnitrificación (Swami, et al., 2017, pp.2-4)

Los micro y macro organismos presentes en el suelo, utilizan el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas y nutrientes necesarios para contribuir a mantener o mejorar las características físico-químicas del suelo. (Melo et al., 2018, p. 195)

### **1.2.2. Funciones del suelo**

La Comisión Europea de estrategia para protección del suelo definió siete funciones principales que cumple el suelo.

- Producción de comida y biomasa
- Transformación y filtrado de componentes
- Hábitat para el desarrollo de la vida
- Ambiente físico
- Fuente de materia vegetal
- Fuente de carbono
- Archivo de la historia y herencia arqueológica.

(Greiner et al. 2017, p.p. 57-60)

### **1.2.3. *Importancia del suelo***

El suelo es un recurso natural importante que tiene influencia directa en el desarrollo de las ciudades, por lo que es necesario conocer las propiedades que éste posee para optimizar el uso de la tierra y aumentar los beneficios que genera. (Bünemann et al. 2018, p. 106)

La importancia del suelo como reservorio natural de nutrientes para la producción agrícola ha sido reconocida desde que el hombre se abrió campo en la agricultura, pues, el suelo es un medio universal con características únicas que permite el crecimiento de las plantas mientras las provee de los nutrientes necesario. (Tale & Ingole, 2016, p.58)

### **1.2.4. *Calidad del suelo***

Es la capacidad de un suelo para funcionar dentro del ecosistema manteniendo la productividad biológica y la calidad del ambiente mientras garantiza un desarrollo adecuado de plantas y animales. Algunos autores mencionan que la calidad del suelo está ligada a la sustentabilidad, debido a que el correcto uso del suelo evitará la degradación de los ecosistemas para las generaciones futuras. (Shoup, W. 2014)

Según Karlen et al. (1997), definen a la calidad del suelo como la capacidad que éste posee para funcionar sin sobrepasar los límites de uso de los ecosistemas y la tierra, con el fin de garantizar la productividad agrícola y biológica, mantener la calidad ambiental y mejorar la productividad y salud animal.

El concepto de calidad del suelo se enfoca en dos puntos importantes:

- El manejo del suelo por los seres humanos
- Propiedades intrínsecas del suelo.

(Bünemann et al. 2018, p.p 106-110)

#### *1.2.4.1. Indicadores de la calidad del suelo*

Son herramientas que permiten medir y obtener información de los procesos que tienen lugar en suelo, sus propiedades y características resultados que permiten conocer la funcionalidad de los suelos en los ecosistemas, es decir, muestran los cambios que se producen en el suelo o si éste permanece constante, sin embargo, se debe considerar que los indicadores de calidad son utilizados dependiendo del propósito que se desee estudiar. (Estrada et al., 2017, p.p. 813-815)

Se define a los indicadores como instrumentos analíticos que permiten conocer los fenómenos que se desarrollan dentro de un sistema y pueden ser utilizados en diferentes áreas del conocimiento, ya que son los encargados de ayudar a determinar la sostenibilidad del uso del suelo, monitorear las actividades que realizan los seres humanos y analizar los impactos que puede generar una intervención. (García, et. al, 2012, p.p 126-127)

Los indicadores deben cumplir con ciertas características como:

- Deben ser integradores tanto de los procesos físicos, químicos y biológicos.
- Fácil para medir, reconocer y entender
- Aplicable en diferentes condiciones y ambientes.
- Ser prácticos y claros, así como sensibles a los cambios que el suelo puede presentar.

(Greiner et al., 2017, p. 225)

### **1.3. Uso del suelo**

Se refiere a las actividades que el ser humano realiza en la tierra, el uso del suelo puede traer consigo consecuencias ecológicas, físicas y socioeconómicas. Durante los últimos tres siglos, el propósito del ser humano por incrementar la producción alimentaria para satisfacer y abastecer a la demanda que genera el constante crecimiento poblacional ha llevado a que el uso mayoritario de la tierra se vea reflejada en la agricultura, sin embargo, esto puede tener consecuencias negativas. (Pellikka & Siljander, 2013, p.221)

Científicos naturalistas definen al uso del suelo como las actividades realizadas por ser humano como agricultura, silvicultura o el uso del suelo para la construcción de ciudades, actividades que alteran los procesos biogeoquímicos, hidrológicos y a la biodiversidad. (Ellis & Pontius 2007, p.1)

Gracias al desarrollo de programas y metodologías que permiten realizar estudios de los usos de suelo, como la teledetección y el análisis de imágenes satelitales, con un manejo de Sistemas de Información Geográfica, existe la posibilidad de gestión y el análisis de datos geográficos y datos estadísticos. (Rodríguez-Eraso et al. 2010)

### **1.3.1. Consecuencias generadas por el uso del suelo**

El crecimiento poblacional y los factores económicos actuales han alentado a grupos poblacionales habitar en zonas urbanas lo que ha afectado a la zona rural debido a que éstas han quedado abandonadas y las características del suelo en ambas situaciones se ven afectadas dando como resultado consecuencias observables que atraen la atención y preocupación del planeta. (Ellis & Pontius, 2007, p.1-3)

- Pérdida de la biodiversidad
- Contaminación
- Cambio climático
- Destrucción de la capa de ozono

### **1.4. Cambios del uso del suelo**

Los estudios de cambio del uso de suelo, valoran la velocidad en la que la zona en estudio se deforesta, establecen la extensión geográfica y deduce las causas sociales, económicas y/o físicas que provocan los cambios. (Bocco, et al., 2001, p.p. 19-22)

Algunos autores mencionan que existe pérdida de bosques debido al aumento de la actividad agrícola en zonas que anteriormente no fueron agrícolas, la tala de árboles y la expansión de la actividad ganadera. (Ruíz, Savé y Herrera, 2013, pp. 117-119)

### **1.4.1.      *Análisis multitemporales***

El análisis multitemporal es una técnica que permite obtener imágenes con de diferentes fechas y horas con la finalidad de estudiar los fenómenos naturales a detalle. Los estudios de las coberturas y uso de suelo son los más frecuentes, ya que permiten conocer los tipos de procesos que las actividades antropogénicas pueden ocasionar. (Hernández et al., 2015)

La importancia de este análisis radica en que se estudia un sector problema y se obtiene varias imágenes a diferentes tiempos con una resolución espacial que permite identificar las coberturas del terreno. La mayoría de los análisis multitemporales estudian el impacto que el uso del suelo causa en los bosques, siendo el resultado principal la deforestación y la urbanización de zonas rurales. (Alzate & Sánchez, 2018, pp. 13-15)

## **1.5.            *Sistemas de información geográfica***

### **1.5.1.      *ArcGis***

Es un software que permite crear, compartir y utilizar mapas inteligentes, a la vez de compilar información geográfica para resolver problemas con el análisis espacial a partir de la creación y administración de bases de datos geográficos con el fin de dar a conocer y compartir información mediante la geografía y la visualización. (ESRI Ecuador, 2018)

El programa consta de una interfaz gráfica amigable y fácil de usar en la elaboración de mapas con el poder de manipular los formatos de edición. ArcGIS permite realizar análisis espaciales y su relación, ajustada a las necesidades de geoprocésamiento, con el fin de obtener un producto dinámico de información requerida por el usuario y las variables que conformen su cartografía. (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2012)

### **1.5.2. ENVI**

Es el software especializado en el procesamiento y análisis de imágenes con una gama de herramientas de pre-proceso y flujos de trabajo automatizados, que pueden integrarse de manera sencilla a las soluciones ArcGIS de ESRI. ENVI soporta imágenes obtenidas de numerosos tipos de satélites y sensores aerotransportados, incluyendo pancromáticos, multiespectrales, hiperespectrales, radar, lidar, térmico y más. Puede desplegar grandes conjuntos de datos y metadatos, comparar visualmente cada una de las imágenes, crear representaciones 3D, generar gráficos de dispersión, explorar firmas espectrales y más. (SIG S.A., 2018)

### **1.5.3. TerrSet**

Es un software integrado geoespacial de monitoreo y modelamiento de los sistemas terrestres para el desarrollo sustentable. Incorpora el análisis IDRISI GIS y herramientas de procesamiento de imagen IDRISI con una serie de aplicaciones verticales. TerrSet oferta el más extensivo set de herramientas geoespaciales en la industria en un simple paquete asequible. No es necesario comprar complementos costosos para ampliar sus capacidades de investigación. (Clark Labs, 2018)

## **1.6. Métodos para identificación de cambios en la cobertura vegetal**

### **1.6.1. Caracterización espectral**

Es un método que permite obtener las características del terreno mediante mediciones de reflectividad. La radiación que se refleja en función de las longitudes de onda que se emplean toman el nombre de firma espectral, a su vez, estas son influenciadas por las condiciones climáticas de la zona. (Muñoz, P. 2013, p.p. 6-11)

La luz visible reflejada es única para cada tipo de superficie en estudio, la característica que se otorga después del estudio se manifiesta en términos de porcentaje de radiación reflejada. Los científicos pueden determinar las firmas espectrales dependiendo del espectro visible e infrarrojo. (Moreno,A. 2017)

Existen librerías espectrales que son utilizadas para evaluar los resultados de imágenes y firmas espectrales desconocidos y mediante el uso de algoritmos extraer la composición mineral y de materias orgánicas. Las librerías contienen más de 2000 firmas espectrales que pueden ser utilizados en proyectos de suelos; el proyecto de caracterización global de suelos de Europa, América, Asia y África se capturaron 3768 muestras de suelos Estados Unidos y 416 muestras de suelos donde 125 muestras se obtuvieron de África, 104 de Asia, 75 de América y 112 de Europa. (Bastidas-Obando, 2010)

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1. Tipo y diseño de la investigación**

Por el método de investigación cuantitativa, según el objetivo aplicada, según el nivel de profundización en el objeto de estudio descriptiva, según la manipulación de variables no experimental, según el tipo de inferencia deductivo, según el periodo temporal longitudinal. (Hernández Sampieri et al., 2014; Patten and Newhart, 2018)

#### **2.2. Diseño de la investigación**

No experimental

#### **2.3. Identificación de Variables.**

- Porcentaje de cobertura vegetal
- Pérdidas y ganancias de cobertura
- Densidad real
- Densidad aparente
- Porosidad
- pH
- Conductividad
- Materia orgánica
- Textura

## 2.4. Operacionalización de los objetivos

**Tabla 1-2:** Operacionalización de objetivos

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	CONCEPTO	INDICADOR	INSTRUMENTO
<p>Evaluar en espacios multitemporales el cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca baja del río Chambo.</p>	<p>Identificar la cobertura de suelo mediante la clasificación supervisada de imágenes Landsat.</p>	<p>En este método, el analista supervisa el proceso en el cual se cataloga a cada pixel, determinando algoritmos numéricos descriptivos de los tipos de coberturas que se presentan en la imagen landsat; para ello, se lleva a cabo un muestreo de sitios representativos de las coberturas conocidas o sitios de entrenamiento (ROI's), esto permite recopilar un código de interpretación con atributos espectrales para cada cobertura. El enfoque supervisado define sus categorías de interés y examina la separabilidad espectral. (INNOVA, 2001)</p>	<p>Firmas espectrales de los tipos de cobertura y uso de suelo.</p>	<p>Software SIG GPS Cámara fotográfica</p>

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

**Tabla 2-2:** Operacionalización de objetivos (Continuación)

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	CONCEPTO	INDICADOR	INSTRUMENTO
<p>Evaluar en espacios multitemporales el cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca baja del río Chambo.</p>	<p>Determinar la intensidad de transición de cobertura y uso de suelo mediante redes neuronales en el período 1998-2016</p>	<p>Cuando hablamos de análisis multitemporal, nos referimos a realizar una comparación entre dos fechas, la misma que permitirá detectar los cambios existentes en el medio natural por el accionar del hombre o de la misma naturaleza, la detección del cambio, gracias al uso de teledetección, posibilita observar el tipo de ocupación que existe en el suelo, permitiendo que se pueda llevar a cabo una cuantificación en la disminución de la cobertura vegetal y las tasas de cambio existente entre una cobertura y otra, gracias a la gran variedad de Imágenes satelitales en una variedad de fechas que permite realizar este tipo de análisis. (Muñoz P., 2013)</p>	<p>Porcentaje de cobertura y uso del suelo agrícola</p>	<p>Software SIG</p>

Evaluar en espacios multitemporales el cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca baja del río Chambo.

Evaluar el cambio de las propiedades físico químicas del suelo (Dr, Da, porosidad, pH, conductividad y MO) por el cambio de uso de suelo.

Las propiedades físicas son aquellas que indican la manera en que el recurso suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas. Los indicadores químicos se refieren a características de este tipo que afectan las relaciones entre el suelo en sus fases sólido, líquido y gaseoso. (Bautista et al., 2004,p.p. 90-9)

Dr:  $\text{g/cm}^3$   
Da:  $\text{g/cm}^3$   
Porosidad: %  
Conductividad:  $\text{us/cm}$   
MO: %

Equipo de laboratorio:  
-Conductímetro Hach  
sesion5  
-pHmetro  
-Balanza analítica  
-Mufla  
-Estufa de secado

---

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

## 2.5. Unidad de análisis

Cobertura y Uso de suelo en la Cuenca Baja del Río Chambo, cantón Penipe, provincia de Chimborazo.

## 2.6. Etapa 1 de la investigación

### 2.6.1. Procedimiento para la generación de mapas de cobertura y uso de suelo

#### 2.6.1.1. Obtención de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de la plataforma de United States Geological Survey (USGS). Según los parámetros de calidad de las mismas, tomando en cuenta la cantidad de nubosidad principalmente, se seleccionaron las imágenes correspondientes al 21 de diciembre de 1998 y 20 de noviembre de 2016; estas corresponden a los satélites Landsat 5 y 7 y tienen una resolución de 30x30 m.

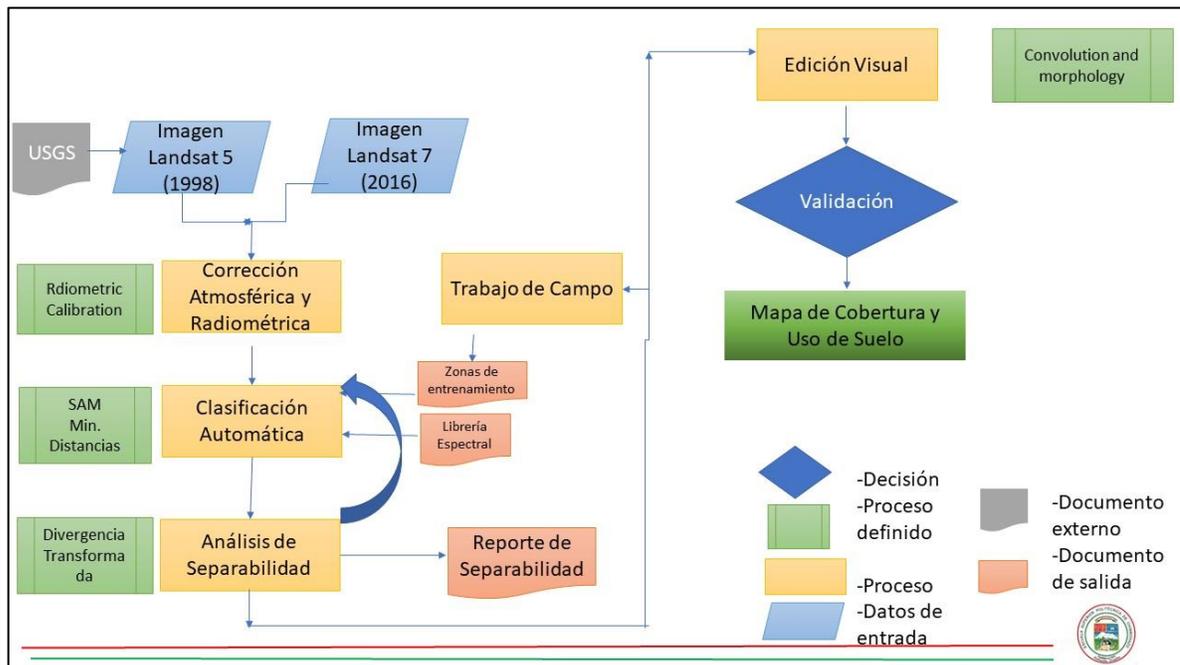
**Tabla 3-2:** Metadata de las imágenes satelitales.

<i>Imagen</i>	<i>Landsat 5</i>		<i>Landsat 7</i>	
<i>PATH</i>	010		010	
<i>ROW</i>	061		061	
<i>FECHA DE ADQUISICIÓN</i>	21 diciembre, 1998		20 noviembre, 2016	
<i>SCENE CENTER TIME</i>	15:05:44.3090690Z		15:27:02.6461160Z	
<i>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</i>	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
	-0.51287	-79.82637	-0.39890	-79.82099
	-0.51214	-77.72779	-0.39835	-77.77360
	-2.41511	-79.82538	-2.50194	-79.81990
	-2.41165	-77.72504	-2.49848	-77.77063
<i>SISTEMA DE REFERENCIA</i>	WGS84		WGS84	
<i>SISTEMA DE PROYECCIÓN</i>	UTM		UTM	
<i>UTM /ZONE</i>	17		17	
<i>COBERTURA NUBOSA</i>	29.00		19.78	

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

### 2.6.1.2. *Procesamiento de imágenes satelitales y clasificación supervisada*

La metodología empleada según lo indica la figura 1-2 a continuación, nos permite apreciar las distintas herramientas que se utilizaron en el software ENVI para realizar la clasificación supervisada.



**Figura 1-2:** Metodología para la elaboración de mapas de cobertura y uso de suelo.

**Fuente:** (MAE-MAGAP, 2015)

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

#### *Calibración de las imágenes*

La corrección atmosférica se aplica a las imágenes en radiancia mediante la herramienta *Radiometric Calibration* de ENVI para determinar los parámetros de compensación atmosférica propias de cada imagen con el fin de evitar la dispersión radiométrica generada a partir de los componentes atmosféricos como aerosoles, material particulado y gases. (Reynoso Santos et al. 2015)

### *Regiones de interés*

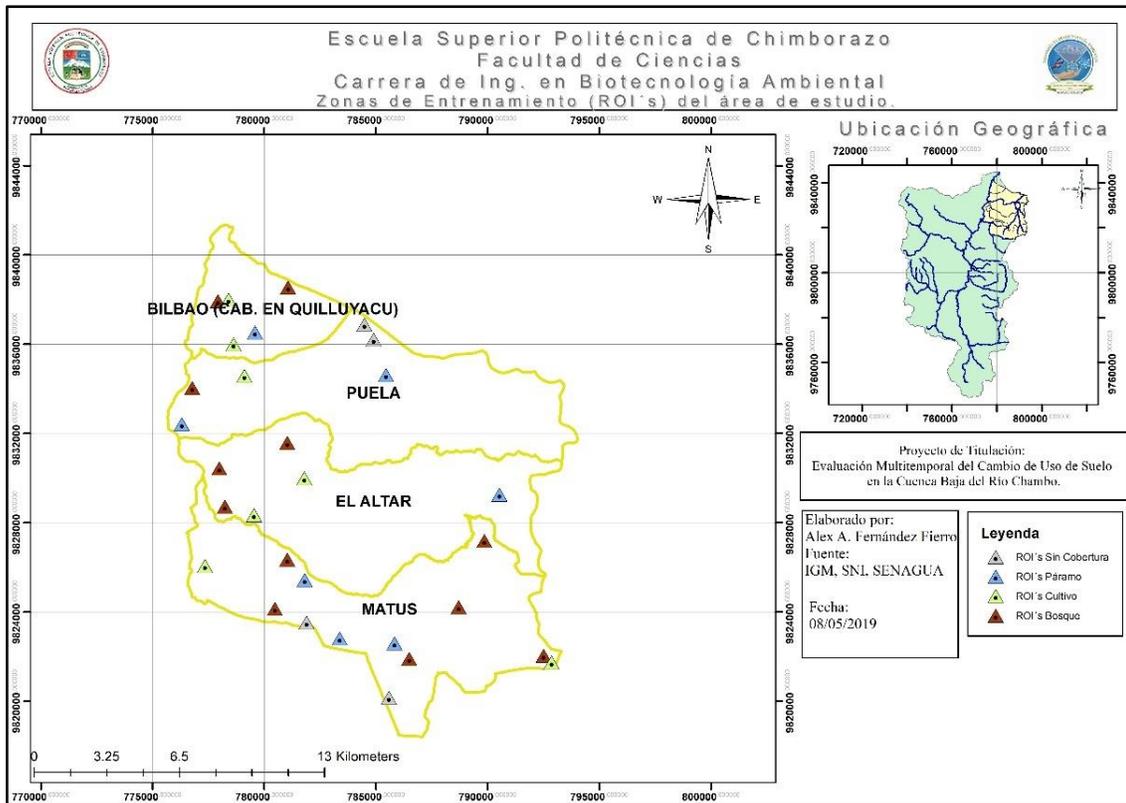
Para la clasificación supervisada se tomaron puntos de entrenamiento o de interés (ROI's) con un GPS en campo para determinar la exactitud temática, y como lo indica la metodología de clasificación (MAE-MAGAP, 2015) las leyendas temáticas de interés fueron del tipo I y II siendo estas las que se describen en la tabla 4-2 siguiente:

**Tabla 4-2:** Leyenda temática y ROI's

Nombre	Tipo	X	Y
<i>Bosque</i>	Bosque Nativo Plantación Forestal	777230	9828160
		778969	9831490
		779068	9828070
		779067	9827998
		779129	9827939
		779137	9828007
		779068	9828070
		780490	9835276
		780541	9835157
		780660	9835202
<i>Cultivos</i>	Cultivo Anual Cultivo Permanente Pastizal	780614	9835348
		780490	9835276
		778009	9830830
		782221	9832560
		777915	9835043
		777995	9834599
		778337	9834575
<i>Páramo</i>	Vegetación Arbustiva Páramo	778280	9835038
		777915	9835043
		788945	9835683
		788882	9835350
		789108	9834976
		789433	9835022
		789650	9835579
		789578	9835896
<i>Sin Cobertura</i>	Zonas Antrópicas Zonas sin Cobertura Vegetal	789212	9835619
		788945	9835683
		774702	9826790
		779454	9831980
		780496	9832460
		757078	9817472

Fuente: (MAE-MAGAP, 2015)

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019



**Figura 2-2:** Mapa de ubicación de las zonas de entrenamiento.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

Con este conjunto de datos se optó por la clasificación de mínimas distancias ya que se asignó a cada pixel de la escena de las clases en base al algoritmo de mínima distancia, este determinó la media de las clases haciendo que cada pixel no identificado en la clase cuya media esté más cercana, se lo asigna a este según la distancia euclidiana para definir la distancia correspondiente al centroide de dicho pixel. Para corroborar su validez se analizó la separabilidad espectral entre los ROI's mediante el método de Divergencia Transformada entre estos mediante las herramientas de *ROI tools*. (García Mora y Mas, 2008)

### 2.6.1.3. Clasificación automática

Mediante la agrupación de mínima distancia con el software ENVI mediante las herramientas de clasificación automatizadas y los ROIs previamente definidos y depurados. Así se elaboró una librería espectral para poder utilizar el método de mínimas distancias y la herramienta *Spectral Angle Mapper (SAM)* ya que utiliza un ángulo n-D para hacer coincidir los píxeles con los espectros de referencia. El algoritmo determina la similitud entre los espectros y los analiza como vectores en un espacio dimensional igual al número de bandas. (Rodríguez Vásquez, 2014)

Se ha escogido este método ya que como indica Mayorga et al. (2011): “*las imágenes tratadas en reflectancia las hace insensibles a la iluminación y compara el ángulo entre el vector de espectro del miembro final y cada vector de pixel en el espacio n-D; es decir, que los ángulos más pequeños representan coincidencias más cercanas al espectro de referencia, haciendo de esta una clasificación muy confiable, porque el error generalmente no es significativo ya que se asume los datos de reflectancia.*”

### 2.6.1.4. Post-clasificación

Las imágenes ya clasificadas presentan píxeles individuales cuya representación es nula, por lo que se ha utilizado filtros espaciales de forma tal que las clases predominantes puedan anexarlos a estos. Para esto el software ENVI presenta una variedad de filtros muy completa, por lo que se ha optado por utilizar *Convolutions and morphology*, por el promedio ponderado del brillo circundante. La convolución de un Kernel seleccionado nos permite determinar el tamaño y los valores del Kernel, por lo que se ha utilizado el filtro de alto paso que básicamente elimina los componentes de baja frecuencia y conserva los de alta frecuencia de una imagen.

Esto con el único fin de mejorar los bordes entre diferentes regiones ya que utiliza un alto valor central; así también se ha escogido el filtro morfológico *Erode*, comúnmente usado para encoger o reducir ya que elimina las islas de píxeles más pequeños que el elemento estructural en una imagen binaria.

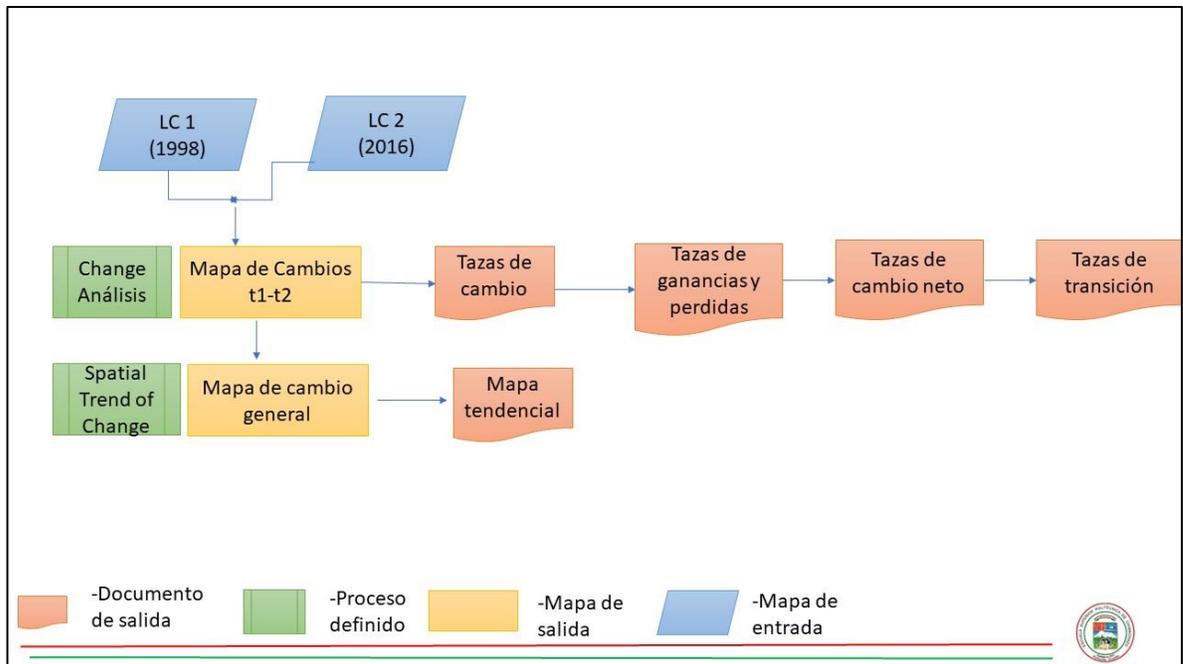
Seguido de como indica la metodología de Pontius Et. Al. (2004) se ha utilizado la herramienta *Overlay Classes* para producir un mapa de imagen con una de fondo de color opuesto y las clases superpuestas en color, obteniendo una imagen de tres bandas RGB dispuesta a su rasterización para el manejo en próximas etapas.

Como medio de validación se ha realizado una clasificación supervisada con el algoritmo de máxima verosimilitud que nos indica una matriz de confusión y del coeficiente Kappa; mismo que indica el número de píxeles comunes entre cada clase y el porcentaje de exactitud global de la clasificación que pueden ser aceptados de entre 61-75 como buena y 76 en adelante como excelente. (Perea, Merono y Aguilera 2009)

Finalmente se exportaron las imágenes en formato TIFF y ACSII para trabajar en ArcGis y TerrSet respectivamente para obtener el área de los diferentes usos y determinar el cambio de coberturas y usos de suelo.

## **2.7. Etapa 2 de la investigación**

Para el cumplimiento del segundo objetivo: “Determinar la intensidad de transición de cobertura y uso de suelo mediante redes neuronales en el período 1998-2016.” Se determinaron las las tasas de cambio y anomalías en el espacio multitemporal del área de estudio mediante el procesamiento de los mapas obtenidos en el procedimiento anterior. Así se describe de forma sencilla el procedimiento en la figura 3-2 a continuación:



**Figura 3-2:** Metodología de análisis multitemporal.

**Fuente:** (Garrido Redondo, 2016)

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

### 2.7.1. Procedimiento para generar mapas de cambios

Con las herramientas de conversión de TerrSet se importaron los mapas generados previamente a un formato RST., para que mediante el módulo *Land Change Modeler* puedan ser procesados automáticamente con las imágenes de cobertura.

Este nos indica claramente en primera instancia una evaluación cuantitativa rápida del cambio al graficar ganancias y pérdidas por cada clase, sumar las ganancias y luego restar las pérdidas, y finalmente examina las contribuciones a los cambios experimentados por una cobertura determinada.

El algoritmo que maneja este módulo mediante las redes neuronales, con un total de diez mil interacciones de aprendizaje autónomo y de retroalimentación, permite complementar la información obtenida mediante el modelamiento de mapas que permiten visualizar la persistencia, ganancias y pérdidas, transiciones e intercambios de las coberturas vegetales.

El panel *Spatial Trend of Change* ha permitido determinar los patrones de cambio, por lo que es posible obtener mapas con una superficie de tendencias polinómica que se ajustan al cambio del patrón; siendo éste una herramienta de gran utilidad para obtener una perspectiva de la dinámica y cambios.

## **2.8. Etapa 3 de la investigación**

Para el desarrollo del tercer objetivo: “Evaluar el cambio de las propiedades físico-químicas del suelo (Densidad Real, Densidad Aparente, porosidad, pH, conductividad y Materia orgánica) por el cambio de uso de suelo” se procedió a caracterizar los suelos en los parámetros de interés.

### **2.8.1. Caracterización del suelo**

#### *2.8.1.1. Selección de sitios de muestreo*

La toma de muestras se ha realizado a partir de la clasificación obtenida en las coberturas de los mapas generados previamente, donde se los transfirió en formato ráster a polígono en ArcGis para obtener el área de cada polígono agrupado de la clasificación. Se determinó el área de los mismo mediante las herramientas de la tabla de atributos.

Se ha obtenido una muestra de cada suelo bajo el criterio de similitud biogeográfica con al menos tres parcelas cercanas con diferente tipo de cobertura. La muestra ha sido tomada en la capa arable (0-30 cm) y las zonas de cambio de uso de suelo. (Saltos Suasnavas, 2017)

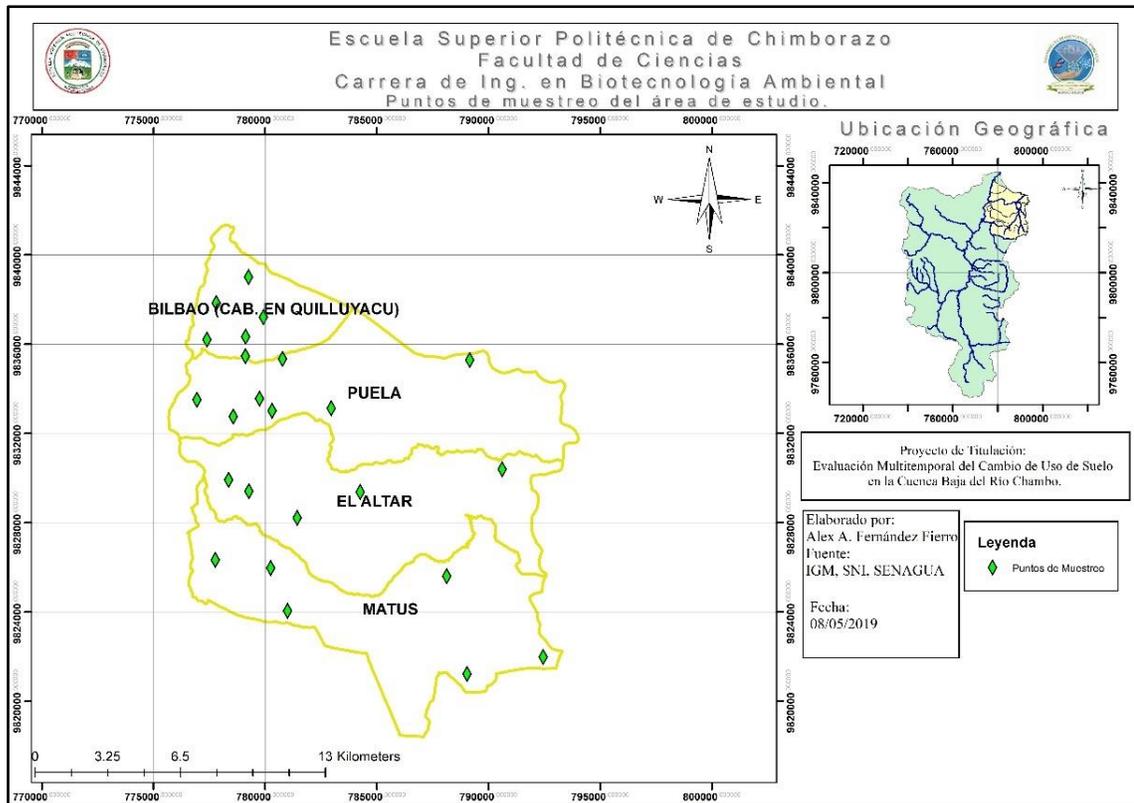
Una vez completado el número de muestras de suelo (48), establecidas en este trabajo correspondiente a cuatro tipos de cobertura dominantes en el paisaje según el criterio utilizado para la clasificación; donde cada parcela tuvo al menos media hectárea de extensión y adicionalmente se tomaron dos muestras de profundidad 30-60 cm y 60-90 cm en la zona de páramo B4 por un interés particular de cambio dictadas por el Ing. Carlos Rosero, director del programa al que pertenece el presente estudio.

**Tabla 5-2:** Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo y uso de suelo.

<i>Punto</i>	<i>Muestra</i>	<i>Uso de Suelo</i>	<i>Coordenadas</i>		
			<i>x</i>	<i>y</i>	<i>Z</i>
0	A1	Sc*	780493.521	9832453.61	2422
1	A2	Sc	779443.097	9831972.61	2451
2	A3	Bosque	778871.188	9831496.66	2949
3	A4	Cultivo	777893.56	9830854.65	2488
4	A5	Páramo	779238.241	9828019.42	3182
5	A6	Páramo	790616.557	9830392.65	3705
6	B1	Cultivo	777915.046	9840188.43	2290
7	B2	Bosque	777481.716	9839408.01	2625
8	B3	Bosque	779242.012	9838930.93	2492
9	B4	Páramo	778489.7	9839056.87	2654
10	B5	Páramo	777496.813	9838247.9	3010
11	B6	Sc	777351.653	9838882.09	2625
12	M1	Cultivo	777442.547	9827640.76	2683
13	M2	Sc	777587.052	9827322.19	2715
14	M3	Cultivo	778088.836	9827977.1	2447
15	M4	Sc	778083.758	9827642.73	2749
16	M5	Bosque	777758.246	9826029.47	2881
17	M6	Páramo	781117.718	9826104.99	3528
18	P1	Páramo	789157.195	9835289.55	3676
19	P2	Bosque	780311.862	9833018.42	2688
20	P3	Cultivo	777884.597	9832628.86	2535
21	P4	Bosque	776697.212	9832411.69	2456
22	P5	Sc	778477.692	9832598.62	2538
23	P6	Cultivo	778100.529	9833366.69	2621

\*SC: Sin Cobertura

**Realizado por:** Fernández Fierro, Alex (2019)



**Figura 4-2:** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

### 2.8.1.2. Muestreo de suelos

En total se han obtenido 48 muestras procedentes de 24 parcelas y 2 muestras adicionales previamente señaladas; haciendo un total de 50 muestras. Para el muestreo de suelos se han tomado muestras compuestas, contemplando los siguientes criterios:

- Tomar al menos cinco submuestras de cada parcela tomada en forma de X, es decir, una submuestra en cada vértice y una central, separada por al menos 50m de distancia entre ellas.
- El barreno debe estar marcado a una profundidad de 30 cm.
- Colocar en un recipiente y homogeneizar la muestra.
- Realizar el cuarteo de la muestra.
- Retirar los terrones y colocar en una bolsa ziploc separada a la de la muestra.
- Tomar una alícuota de cada parte y colocar en una bolsa ziploc hasta obtener una cantidad de 500-1000 g.

- Etiquetar cada bolsa ziploc con: fecha, uso de suelo, profundidad, responsable, observaciones y codificación de la muestra.
- Transportar las muestras en un cooler para ser procesadas.
- Secar las muestras al aire y tamizar en una malla de 2mm para analizar en los laboratorios de: Protección Ambiental, Productos Naturales y Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

## 2.8.2. *Análisis Físicoquímico*

### 2.8.2.1. *Densidad Aparente*

Para determinar la densidad aparente se siguió la metodología sugerida por Romero Vallejo (2010) que nos indica que mediante una probeta de 10ml se debe colocar el suelo tamizado hasta llegar a la marca de capacidad de la probeta, con la palma de la mano extendida se golpea la base de la probeta sosteniendo con la otra mano hasta dar diez golpes; así se observa el volumen de descenso y se pesa para determinar su densidad.

Se ha comparado este valor con el método volumétrico o del picnómetro, el cual se desarrolla de la siguiente manera:

- Se pesan los picnómetros con su respectivo tapón.
- Se pesa el picnómetro con agua destilada hasta el enrase.
- Se vacía el picnómetro y se agrega una cantidad de suelo seco, aproximadamente 5g y se pesa nuevamente.
- Agregamos una tercera parte de agua destilada con cuidado de no mojar el exterior.
- Se lo deja reposar por 30 minutos para desplazar la parte de aire que quede en la muestra.
- Se llena de agua destilada hasta enrase y se pesa.

### 2.8.2.2. Densidad Real

Según Romero Vallejo (2010) la densidad real, cuando el suelo ya se ha tamizado, suele ser menor que una muestra intacta, puesto que la diferencia entre ésta, la pérdida de suelo y la muestra compacta al hacer una bola; nos daría una idea del rango máximo de densidad real para la muestra que se investiga. El espacio poroso que se calcula mediante la siguiente metodología, proporciona una información acorde al porcentaje de agua encontrado previamente.

Tomando en cuenta estas consideraciones se procedió a llenar una probeta de 100ml con 10g de muestra del suelo seco, a lo que añadimos 50ml de agua destilada. Medimos el aumento de volumen en la probeta, que corresponde al volumen de las partículas del suelo y finalmente se calcula la densidad mediante la ecuación siguiente:

$$Dr = \frac{ms}{Vp}$$

Donde:

$ms$  = masa de suelo

$Vp$  = volumen de partícula

### 2.8.2.3. Porosidad

La porosidad se puede expresar como porcentaje del volumen total del suelo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{porosidad (\%)} = \left(100 - \frac{da}{dr}\right) * 100$$

Donde:

$da$  = densidad aparente

$dr$  = densidad real

### 2.8.2.4. Textura del suelo

Como señala Food and Agriculture Organizations of the United Nations (2009) la textura del suelo indica el contenido de partículas con tamaño diferente, siendo la arena, limo y arcilla. Para esto se siguió una metodología de determinación por tacto que se describe a continuación:

- Pesar 25g de suelo seco.
- Amasar en la mano agregando agua hasta que absorba lo suficiente.
- Formar una pelota y escurrir.
- Se debe tomar esta pelota entre el pulgar e índice, apretando para arriba se forma una cinta de espesor y ancho uniforme hasta el quiebre.
- Determinamos la textura por el tacto, en caso de no formar la cinta es franco arenoso.
- Si forma la cinta se considera la longitud previa al corte.
- Humedecer y determinar la textura con lo que detalla la tabla 6-2 a continuación:

**Tabla 6-2:** Aspectos para la determinación de textura de suelos.

Longitud	¿Es muy áspero?	¿Es muy suave?	Ni áspero, ni suave.
<i>débil, ≤ 1' antes del quiebre</i>	franco arenoso	franco limoso	Franco
<i>cinta de 1' antes del quiebre</i>	franco areno arcilloso	franco arcillo limoso	franco arcilloso
<i>fuerte de 2' antes del quiebre</i>	franco arcilloso	limo arcilloso	Arcilloso

**Fuente:** (Food and Agriculture Organizations of the United Nations, 2009)

**Realizado por:** Fernández Fierro, Alex (2019)

#### 2.8.2.5. pH y Conductividad Eléctrica

Para el análisis de pH se ha considerado la norma UNE 77305 (AENOR, 1999) por lo que se calibró el potenciómetro con una solución buffer de pH 4.00. Se ha utilizado la relación 1:5 en volumen, es decir, 5ml de suelo en 25 ml de agua, agitamos por 10 minutos (400 RPM) y dejamos reposar por 20 min para introducir el potenciómetro.

Para la conductividad eléctrica se ha tomado en cuenta el procedimiento de la norma UNE 77308 (AENOR, 2001) por lo que se pesó 20 g de suelo en 100ml de agua (relación 1:5) y se lo deja reposar hasta eliminar las burbujas de aire y se introduce el conductímetro.

#### 2.8.2.6. Materia orgánica.

Para determinar la materia orgánica a través de la metodología por LOI o calcinación, considerando que con este se obtienen valores más altos, ya que se volatilizan todas las formas de carbono orgánico.

Se desarrolló de la siguiente forma:

- Se pesa una muestra de 6 o 7 g de suelo seco y se coloca en crisoles o cápsulas previamente taradas.
- Se seca en conjunto la muestra y el crisol a 105°C hasta peso constante por 24 horas y se deja enfriar en el desecador para pesar.
- Se calcina la muestra en una mufla a 650 – 700°C durante 3 o 4 horas.
- Se retira de la mufla para dejar secar en el desecador y pesar nuevamente.

Así se puede calcular la diferencia de peso entre las medidas antes y después de calcinar, siendo este el equivalente a la cantidad de materia orgánica que se perdió de la muestra. (Romero Vallejo, 2010)

### **2.8.3. *Análisis Estadístico***

El análisis de la dinámica de cambio de uso de suelo se ha realizado a partir de las matrices de transición generadas por software, estas son tablas con arreglos simétricos que contienen la información correspondiente a los usos de suelo de cada año. Se ha generado una matriz de transición de ganancias y pérdidas para cada categoría.

Adicionalmente para determinar del impacto del uso de suelo en sus propiedades físico-químicas se realizó análisis ANOVA de un factor, que indica si los valores promedios de los parámetros de estudio son significativamente diferentes; en el caso de que cumpla, se realiza un análisis LSD de Fisher para determinar el o los componentes que posean la diferencia verdadera. (Minitab, LLC, 2018)

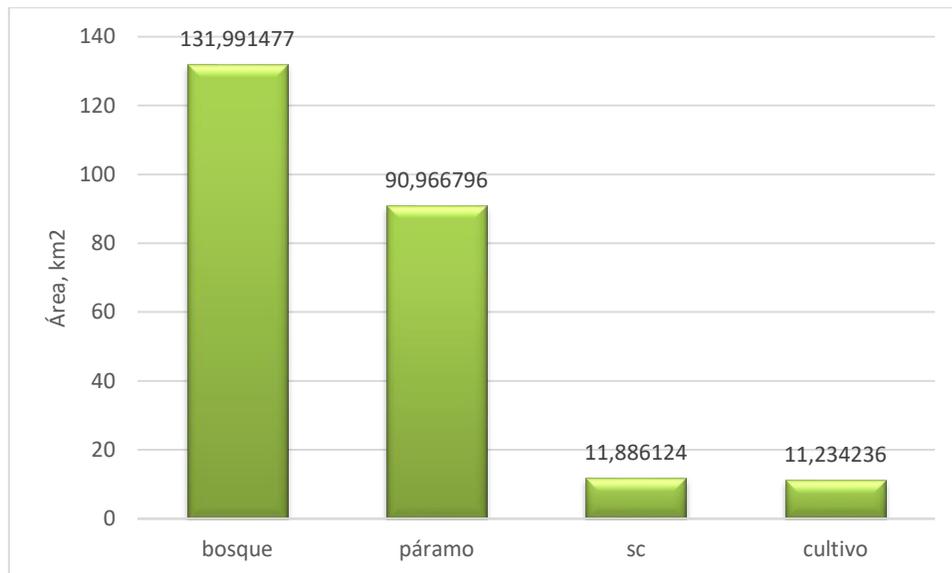
## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Mapas de la cobertura de uso de suelo en la cuenca baja del río Chambo y cálculo de las áreas de cobertura vegetal en el período 1998-2016

##### 3.1.1. Clasificación supervisada

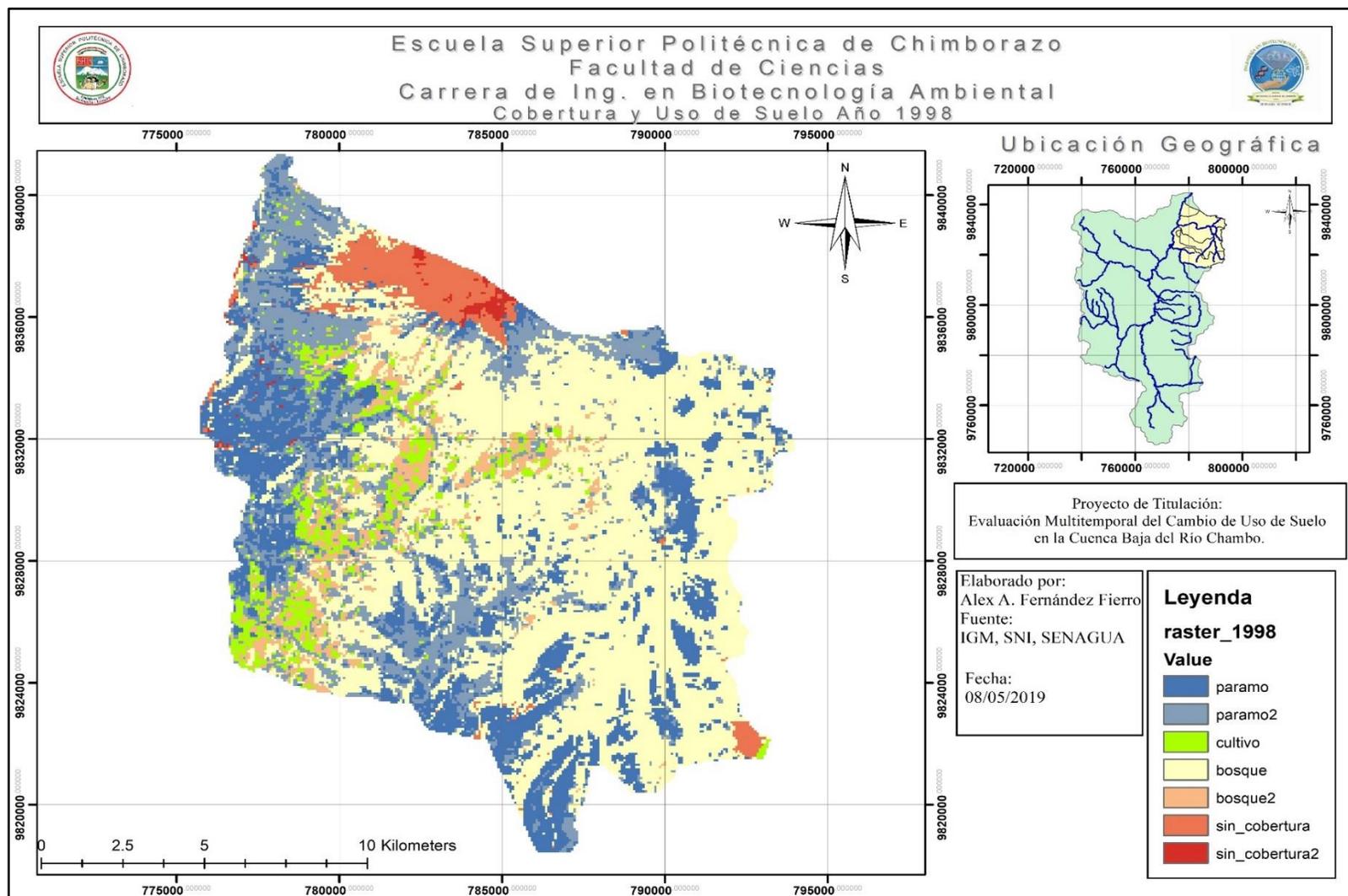
Las imágenes satelitales utilizadas fueron Landsat 5 y 7, para las cuales se empleó la clasificación supervisada y elaborar los mapas de cobertura y uso de suelo con la finalidad de determinar sus cambios y transiciones.



**Gráfico 1-3:** Cobertura de los usos de suelo en la cuenca baja del río Chambo de 1998.

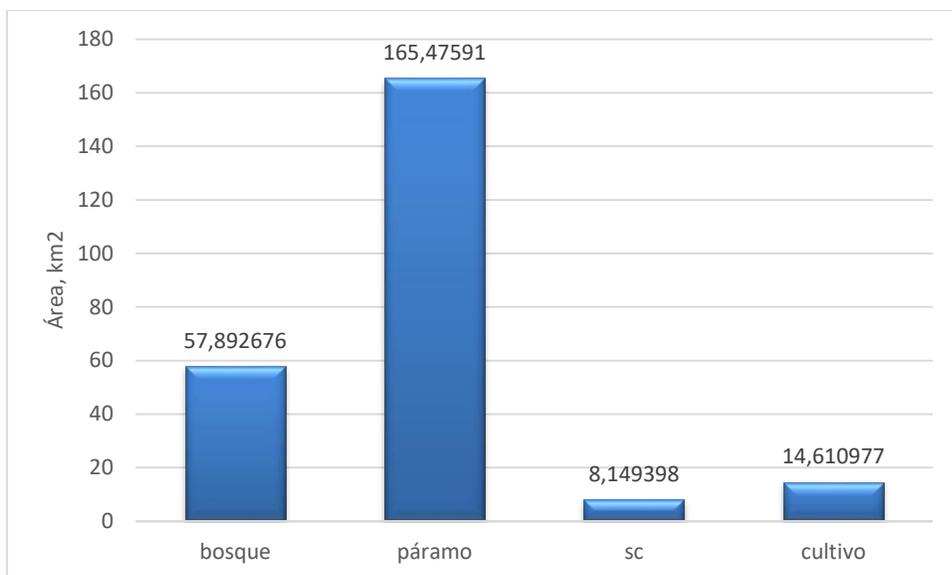
Realizado por: Ale Fernández, 2019

En el año 1998 se puede ver que la cobertura de vegetación natural fue 222.95 km (90.6%), con una evidente predominancia en la cobertura de bosque de 131.99 km<sup>2</sup> (53.63%) y páramo de 90.96 km<sup>2</sup> (36.96%); mientras que la zona complementaria de 23.12 km<sup>2</sup> (9.39%) que se distribuye entre el uso agrícola y pastizales de 11.23 km<sup>2</sup> (4.56%) y sin cobertura de 11.88 km<sup>2</sup> (4.83%).



**Figura 1-3:** Mapa de cobertura y uso de suelo de la cuenca baja del río Chambo, año 1998.

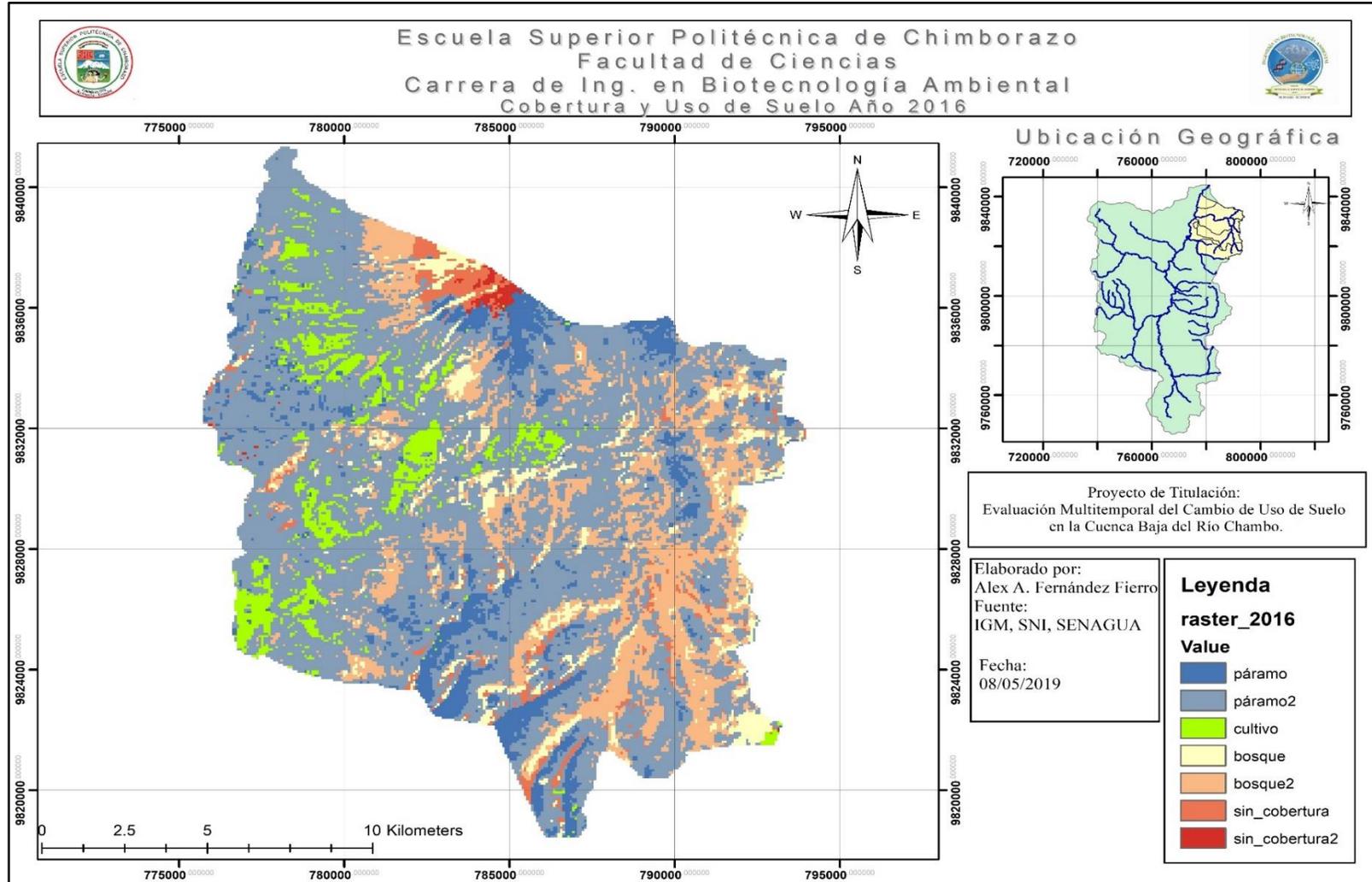
Realizado por: Ale Fernández, 2019



**Gráfico 2-3:** Cobertura de los usos de suelo de la cuenca baja del río Chambo de 2016.

**Realizado por:** Ale Fernández, 2019

En el año 2016, la cobertura de vegetación natural ha cambiado a 223.36 km<sup>2</sup> (90.75%), correspondiente a 57.89 km<sup>2</sup> (23.52%) de bosque y 165.47 km<sup>2</sup> (67.23%) de páramo; y 22.76 km<sup>2</sup> (9.24%) al suelo antrópico correspondiente al uso agrícola y pastizales de 14.61 km<sup>2</sup> (5.93%) y sin cobertura de 8.14 km<sup>2</sup> (3.31%).



**Figura 2-3:** Mapa de cobertura y uso de suelo de la cuenca baja del río Chambo, año 2016.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

### 3.1.2. *Análisis de la clasificación de uso de suelo*

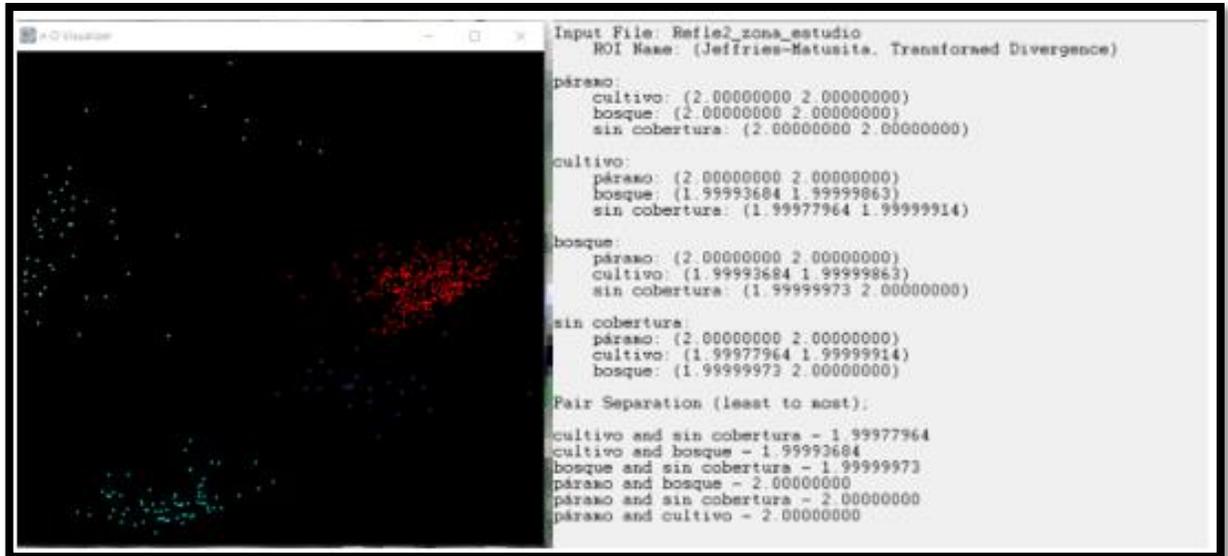
En un estudio similar, sobre las coberturas de suelo clasificadas mediante una metodología no supervisada, desarrollado por Rullán-Silva et al. (2011, p.p. 33-41) obtuvieron una precisión del 59% por la calidad de las imágenes y el tipo de geomorfología perteneciente a la sierra de Tabasco mientras que, en el presente estudio desarrollado con una clasificación supervisada se obtuvo un 73.3% de precisión.

La precisión del mapa de cobertura es admisible con un índice Kappa 0.7441 y es relevante señalar que la combinación de bandas espectrales en una imagen Landsat 5 fue 2,1,5 para el falso color y las bases de firmas espectrales trabajadas fueron adaptadas a partir de la identificación de las zonas de entrenamiento de la imagen Landsat 7, que incorpora la banda pancromática y trabaja con la combinación de bandas espectrales 3,2,1 para el color real como lo señala (Fernández Coppel, y otros, 2001).

Polanco (2012, p.p. 226-231) usando esta clasificación en un estudio similar realizado en el páramo de Belmira, presentó un 80% de precisión y un índice Kappa 0.63 al comparar los datos de campo con los mapas obtenidos; por cuanto este indicador permite corroborar la correlación de los datos mas no su precisión al momento de emplear este método.

Como indican los resultados de la precisión se puede corroborar que, la clasificación automática de mínimas distancias previene la generación innecesaria de clases, como es el estudio de caso de la Amazonía Ecuatoriana desarrollado por Jaramillo y Antunes (2018, p.p. 34-46) que indican que: *“cada pixel no identificado se asigna a la media de la secuencia más cercana en el algoritmo de clasificación”*. Compartiendo este principio de partida, tomamos en cuenta el criterio de máxima verosimilitud, logrando asumir la distribución estadística para cada clase, por su modelo probabilístico y distribución categórica de los pixeles.

Como lo indica la figura 3-3 siguiente, la separabilidad y correlación entre los datos es superior a 1.99, por lo que se garantiza que la clasificación de los mapas que tenemos es fiable y de alta calidad.



**Figura 3-3:** Scatter plott de la banda infrarroja y resultados de separabilidad.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

La clasificación supervisada presentó un porcentaje ideal de precisión, en el 2016 con 77.7 % y un coeficiente Kappa de 0.7631. En el año 1998 de 73.3% con un índice Kappa de 0.7441. Los resultados similares a los de Segura, et al. (2003, p.p. 152-156) en la clasificación supervisada de imágenes de satélite con una precisión del 79,8% y un coeficiente Kappa de 0.77 y 83,5% con un coeficiente Kappa 0.79 en suelos con humedad residual.

Estos resultados son predecibles cuando factores como la pendiente de terreno, reflectancia y por ende su dirección según la cobertura, incrementan el error del algoritmo de clasificación automática.

### 3.2. Evaluación multitemporal del cambio de cobertura.

En el año 1998 se presenta un área de páramo que se ubica sobre las zonas colindantes al volcán Tungurahua, así como las paredes topográficas donde se encuentran especies menores arbustivas. La zona de bosque que predomina la zona, se expresa como bosque de ribera al suroriente y por sobre los 28000 m.s.n.m. del Tungurahua.

Dentro de la clasificación sin cobertura, se han considerado tanto las zonas de suelo urbano como las zonas sin cobertura vegetal propiamente dichas, siendo 2.62% menor a la cobertura de uso de suelo agrícola y de pastizales, que viene a ser un resultado de las actividades agropecuarias económicas del sector.

En el año 2016 observamos que la cobertura de páramo predomina en el área con un incremento de su cobertura del 30.27% frente al área boscosa que ha perdido el 30.11% de ésta. Así también se puede ver que producto de las actividades volcánicas, la desocupación antrópica ha repercutido en la zona sin cobertura vegetal disminuyendo en 1.52% de su cobertura y el uso de suelo para cultivos se ha incrementado un 1.37% impulsando el avance de la frontera agrícola, marcando la preferencia en la zona occidental y las zonas bajas del volcán Tungurahua.

El PDOT – Penipe (2016) muestra resultados similares, donde destaca la pérdida de 889.61 hectáreas de bosque y un aumento de 447,03 hectáreas de tierras agropecuarias, acompañadas de un aumento de 8,10 hectáreas de zonas antrópicas por procesos de cambios del uso del suelo suscitados entre 1990 al 2008.

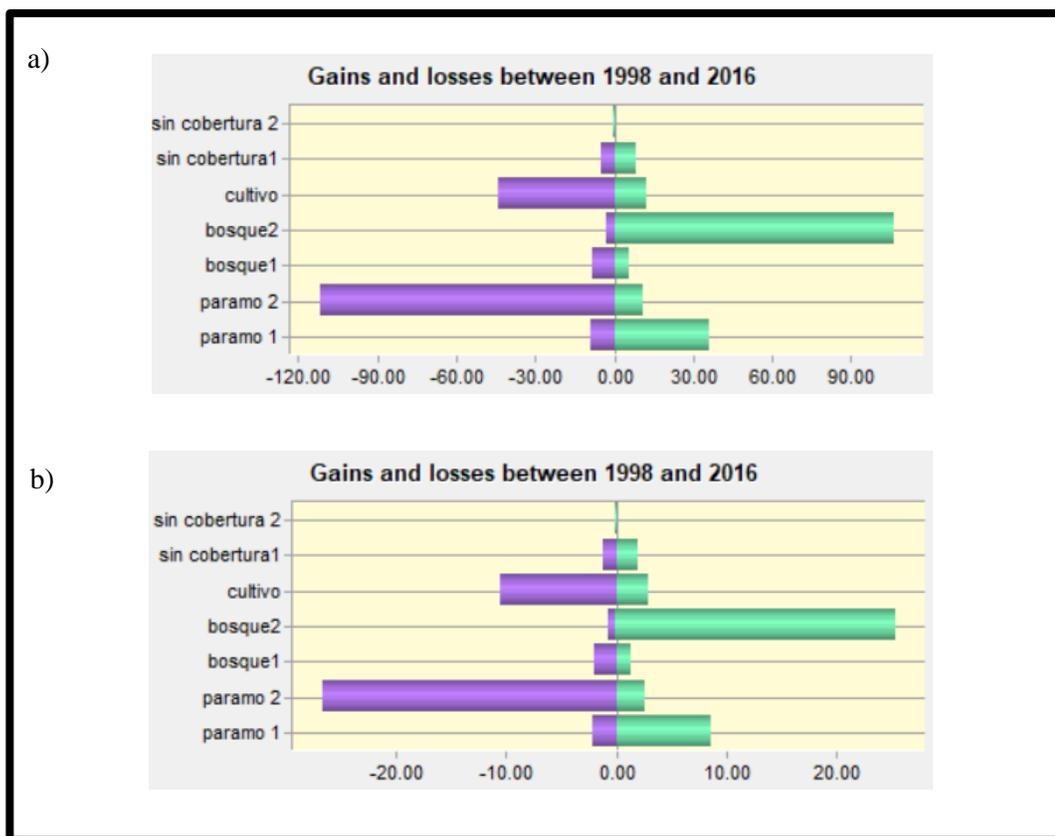
**Tabla 1-3:** Resultados del cambio de cobertura y uso de suelo de la clasificación supervisada de mapas.

Uso de suelo	2016		1998	
	km2	%	km2	%
<i>bosque</i>	57.892676	23.5212775	131.991477	53.6379268
<i>páramo</i>	165.47591	67.2313853	90.966796	36.9665561
<i>sin cobertura</i>	8.149398	3.31102767	11.886124	4.83021376
<i>cultivo</i>	14.610977	5.93630954	11.234236	4.56530332
<i>total</i>	246.128961	100	246.078633	100

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

La cantidad relativa del cambio de usos de suelo se ha evaluado mediante las imágenes previamente clasificadas y transformadas para ser manejadas en el software TerrSet, obteniendo los gráficos estadísticos del panel *Change Analysis*.

El gráfico 3-3 corresponde a las ganancias y pérdidas entre categorías, donde podemos observar que las ganancias del uso de suelo páramo son las más evidentes con una ganancia de 111.96 km<sup>2</sup> (26.76%); que contrasta con la categoría del tipo boscoso de 106.62 km<sup>2</sup> (25.49%). A la vez el primero presenta una pérdida de 36.34 km<sup>2</sup> (8.69%), superado por la ganancia de 43.83 km<sup>2</sup> (10.48%) de cultivos que tienen una pérdida mínima de 12.56 km<sup>2</sup> (3%).

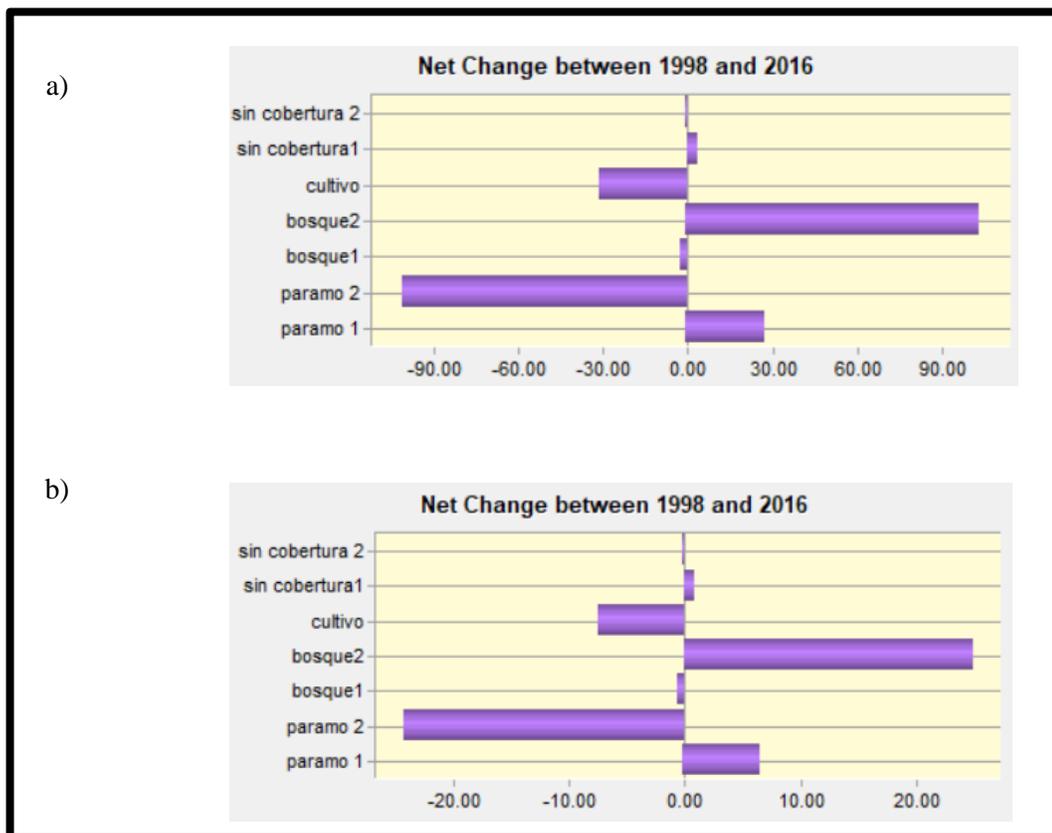


**Gráfico 3-3:** Ganancias y pérdidas por categorías expresadas en: a) km<sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

El análisis del cambio neto de cada categoría nos indica un gráfico detallado de los cambios negativos o ganancias netas de páramo con 101.21 km<sup>2</sup> (24.19%); que contrasta con la de bosque en una proporción semejante; pese a esto, hay una importante pérdida de 27.59 km<sup>2</sup> (6.59%) del mismo páramo contenido en 103.84 km<sup>2</sup> (24.82%).

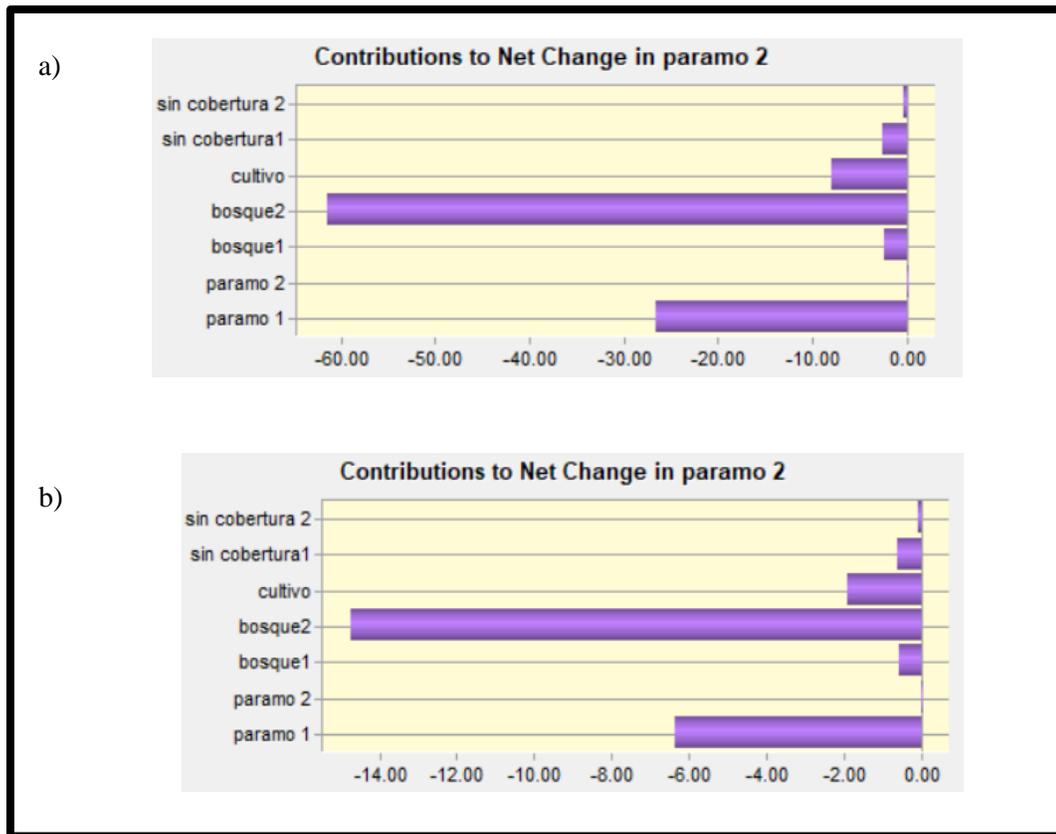
Gracias al trabajo de campo, en la toma de muestras de suelo llevadas a cabo en el presente estudio, se ha podido constatar que efectivamente este páramo perdido se encuentra en la zona noreste del Tungurahua, que fue cubierto por piroclastos y otros residuos volcánicos, formando la nueva cobertura. También es importante destacar el avance de la frontera agrícola, compuesta principalmente por cultivos anuales y pastizales con una ganancia neta de 31.27 km<sup>2</sup> (7.48%).



**Gráfico 4-3:** Ganancias y pérdidas netas de cobertura vegetal expresadas en: a) km<sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019.

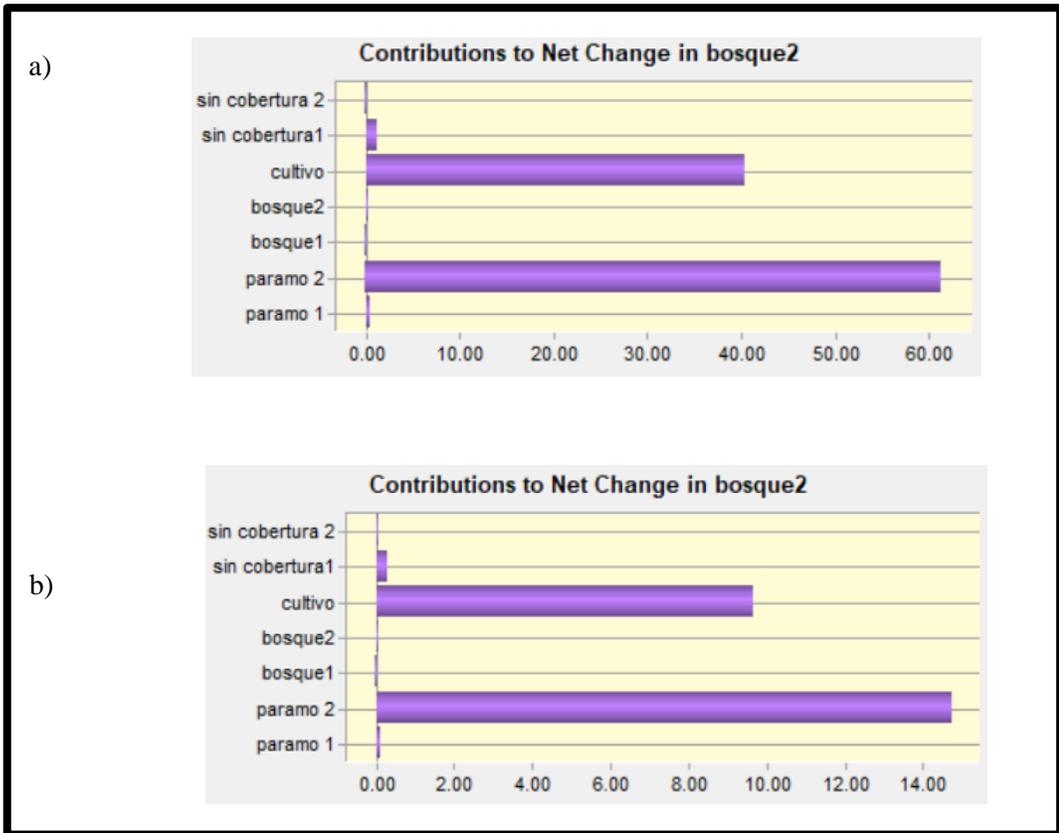
Las contribuciones al cambio neto de cada categoría indica que las ganancias del páramo se deben al aporte de bosque con 61.57 km<sup>2</sup> (14.72%), con 26.6 km<sup>2</sup> (6.36%) de páramo persistente como parte de la cobertura natural. Por otro lado, las aportaciones mínimas se componen por 2.59 km<sup>2</sup> (0.62%) por la zona sin cobertura y 7.91 km<sup>2</sup> (1.89%) por cultivos.



**Gráfico 5-3:** Contribuciones netas al cambio en páramo expresado en: a) km<sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019.

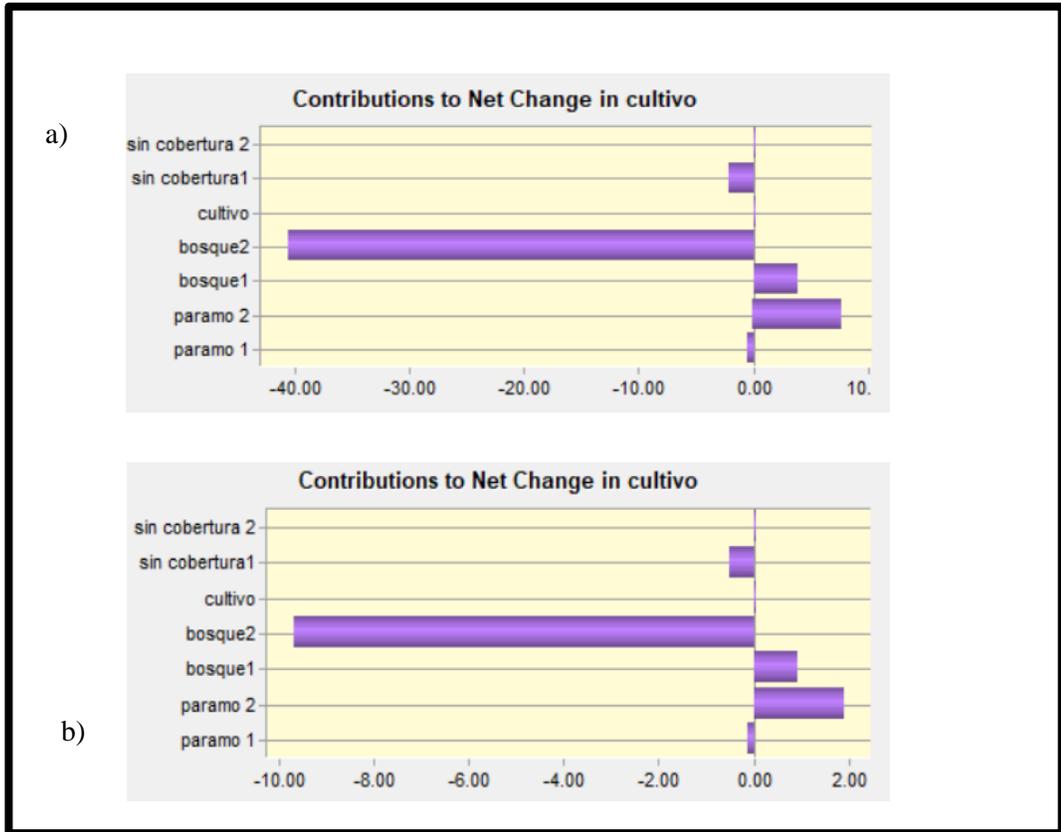
Los cambios netos de bosque se ven afectados por 61.57 km<sup>2</sup> (14.72%) de páramo, mientras que la repercusión del avance de la frontera agrícola se hace evidente con 40.46 km<sup>2</sup> (9.67%) de cultivos.



**Gráfico 6-3:** Contribuciones netas al cambio en bosque expresado en: a) km<sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019.

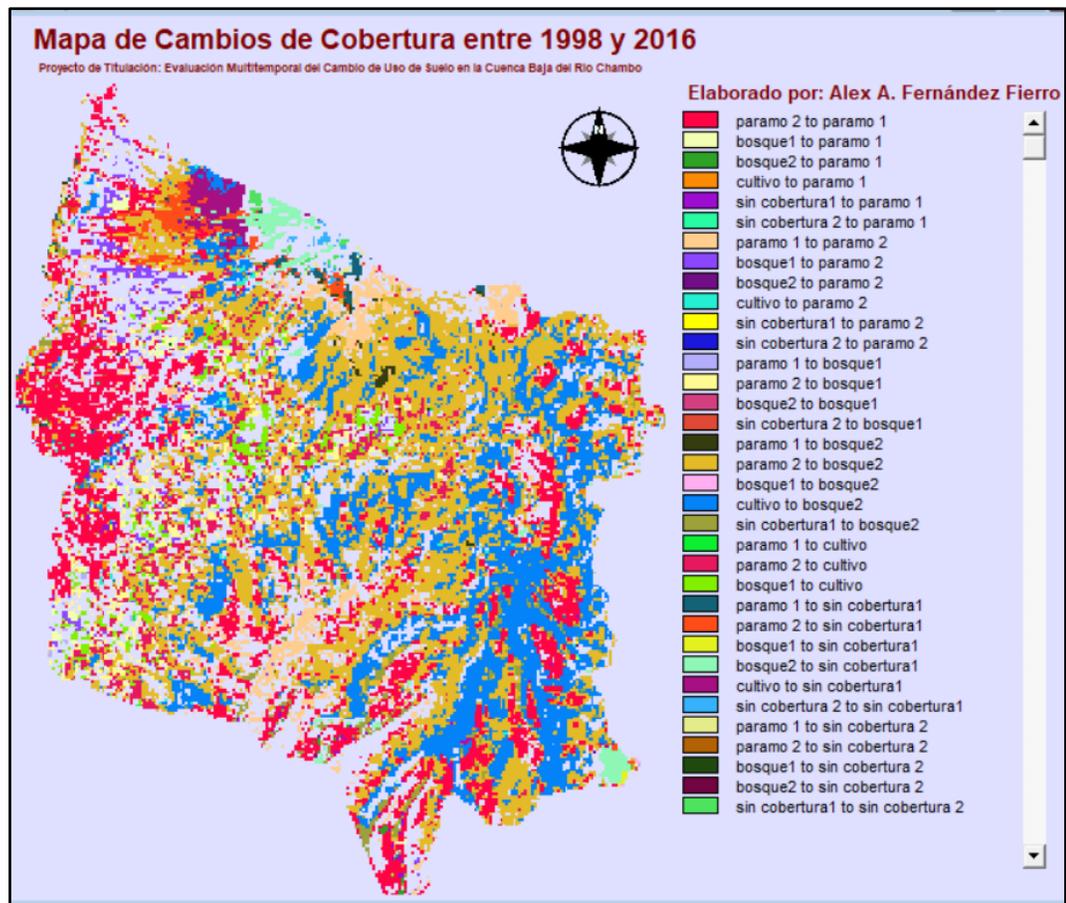
La contribución al cambio neto de cultivos se debe principalmente a la cobertura boscosa con 40.46 km<sup>2</sup> (9.67%) y una ligera retención del mismo en 9.31 km<sup>2</sup> (0.93%); y de 7.91 km<sup>2</sup> (1.81%) de páramo.



**Gráfico 7-3:** Contribuciones netas al cambio en cultivo expresado en: a) km<sup>2</sup> y b) porcentaje de área; entre los años 1998-2016.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019.

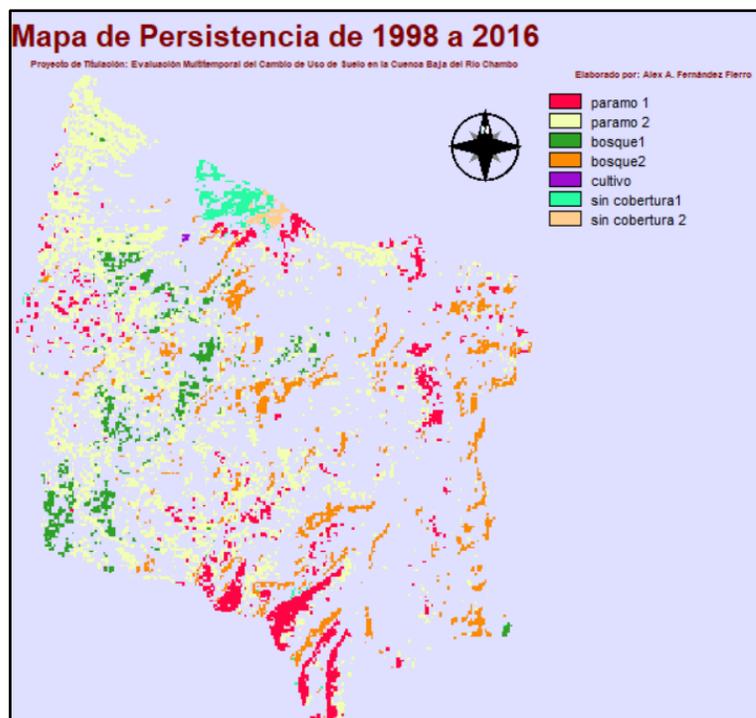
Por medio de la herramienta *Change Maps* se generaron los mapas de cambio de cobertura, donde se puede observar de forma ilustrada todas las ganancias y pérdidas entre las categorías descritas previamente.



**Figura 4-3:** Mapa de cambios de cobertura entre 1998-2016.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019.

Se ha determinado la persistencia de las coberturas y usos de suelo que han permitido identificar las áreas de conservación para la vegetación natural, así como del comportamiento ecosistémico. Muñoz P. (2013, p.p. 5-12) señala que para determinar estos comportamientos se debe mejorar el índice de determinación en un lugar específico y debe ser calibrado con mediciones en terreno puesto que, de no ser así, solo serían indicadores útiles de la cantidad relativa de vegetación presente, tal y como es el caso del nuestro estudio.



**Figura 5-3:** Mapa de persistencia de coberturas entre 1998-2016.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019.

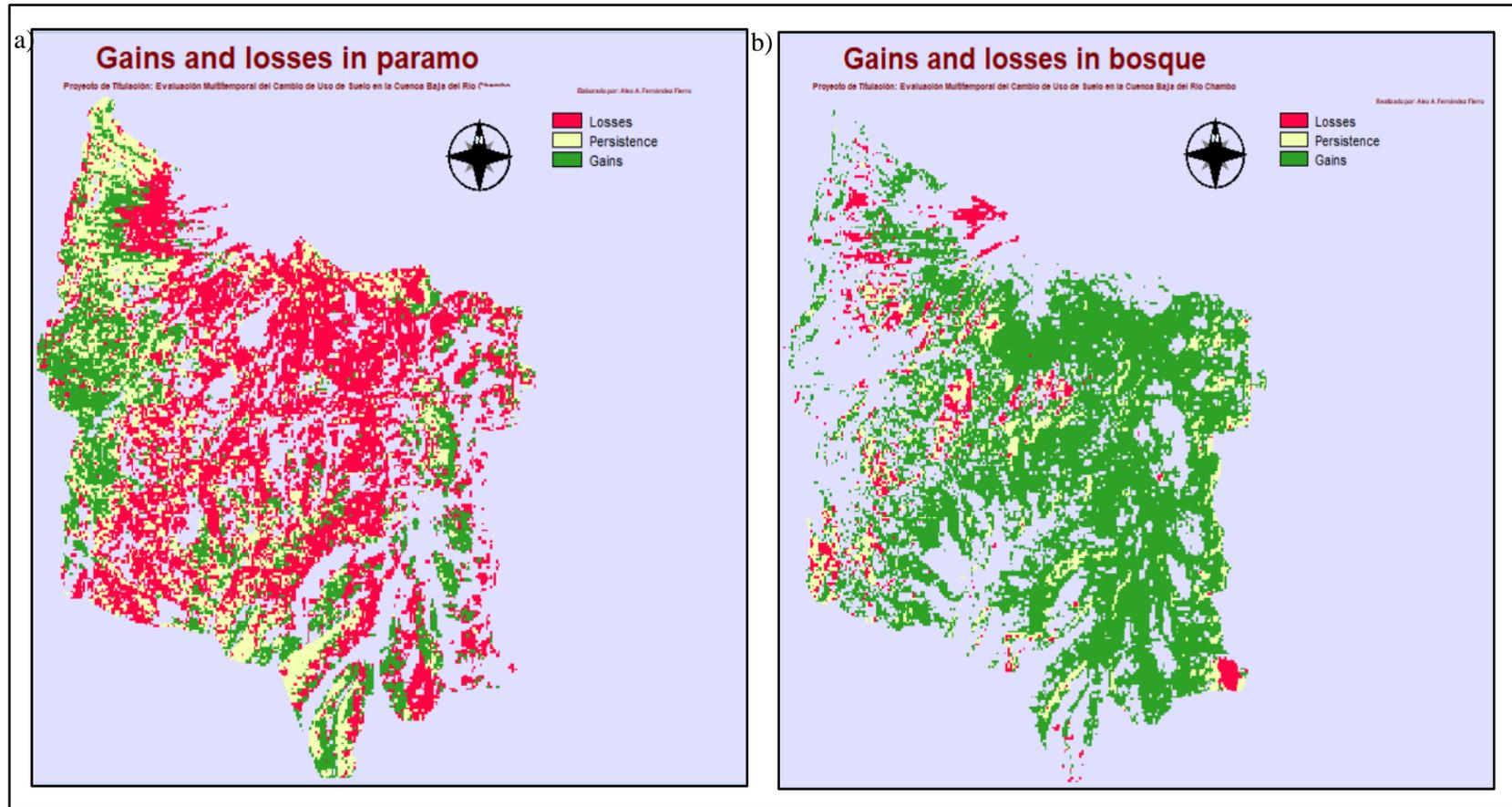
Correa J.J., Volante J. y Seghezso L., (2012, p.p. 97-103) en su estudio durante el período 1976–2011, utilizando una metodología de clasificación supervisada en los bosques nativos del norte argentino, nos indica que la fragmentación como el detalle en la interrupción de la continuidad espacial de un tipo de cobertura vegetal. Sus resultados muestran que el área cultivada tuvo un significativo aumento de 5.480499,8 hectáreas en dicho período, evidenciado por la fragmentación a que se somete el bosque nativo; mientras que en nuestro caso, la heterogeneidad espacial está dominada por la matriz de páramo y agropecuaria, causando un efecto similar en cuanto a la fragmentación del bosque.

En relación a los datos del INEC (2010), la parroquia presenta una disminución del crecimiento poblacional proyectada con una baja, haciendo que la población decreciera de 0.44% a 0.43%. Evidenciamos este comportamiento en las zonas de cambio del sector occidental del volcán Tungurahua, mas, la amenaza del avance de la frontera agrícola no se presenta en esta área.

Así también el PDOT - Penipe (2016) señala que, dentro del área de estudio, la migración de la población de Puela, Bilbao y El Altar, se ve influenciada mayormente por las continuas erupciones

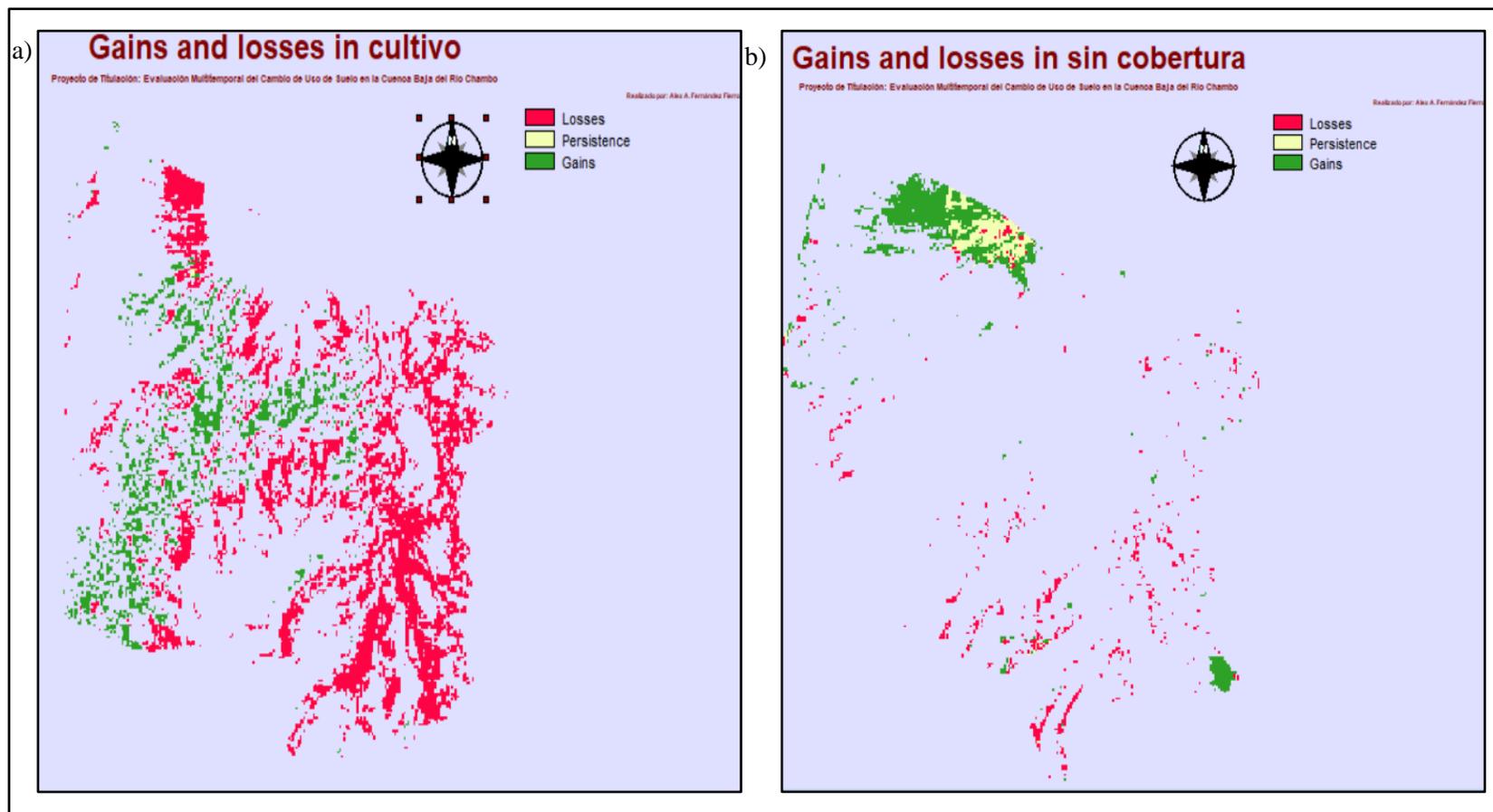
del volcán Tungurahua, que desde 1999 ha incidido negativamente en los procesos de producción agrícola y pecuaria por la caída de ceniza.

En cuanto a las transiciones de los suelos a cultivo se puede ver como el uso de suelo bosque y páramo son los principales afectados, las principales pérdidas atribuidas a la deforestación de 889,61 hectáreas de bosque y 860,7 hectáreas de vegetación arbustiva y herbácea.



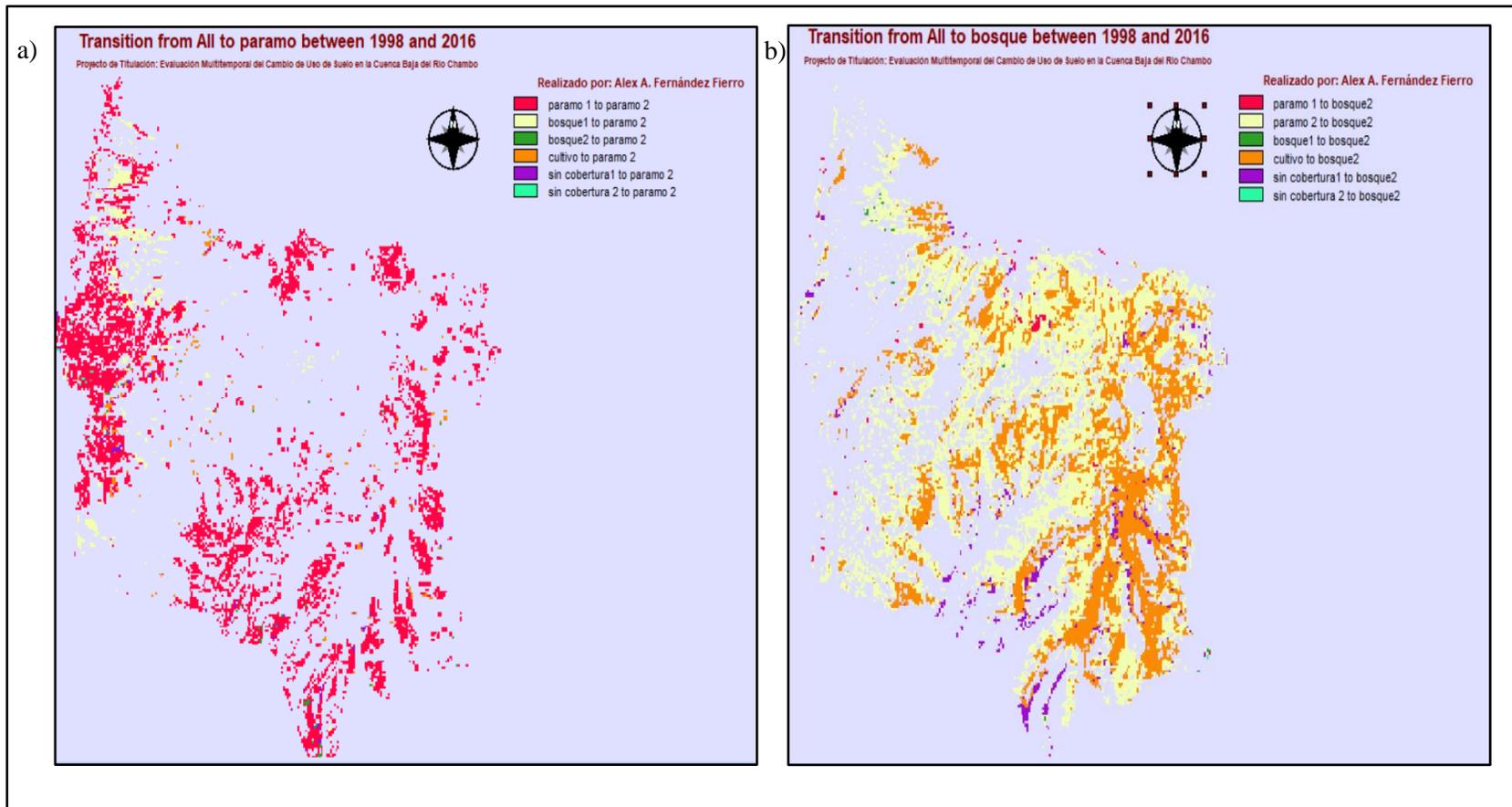
**Figura 6-3:** Mapa de ganancias y pérdidas en: a) páramo y b) bosque; entre los años 1998-2016.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019.



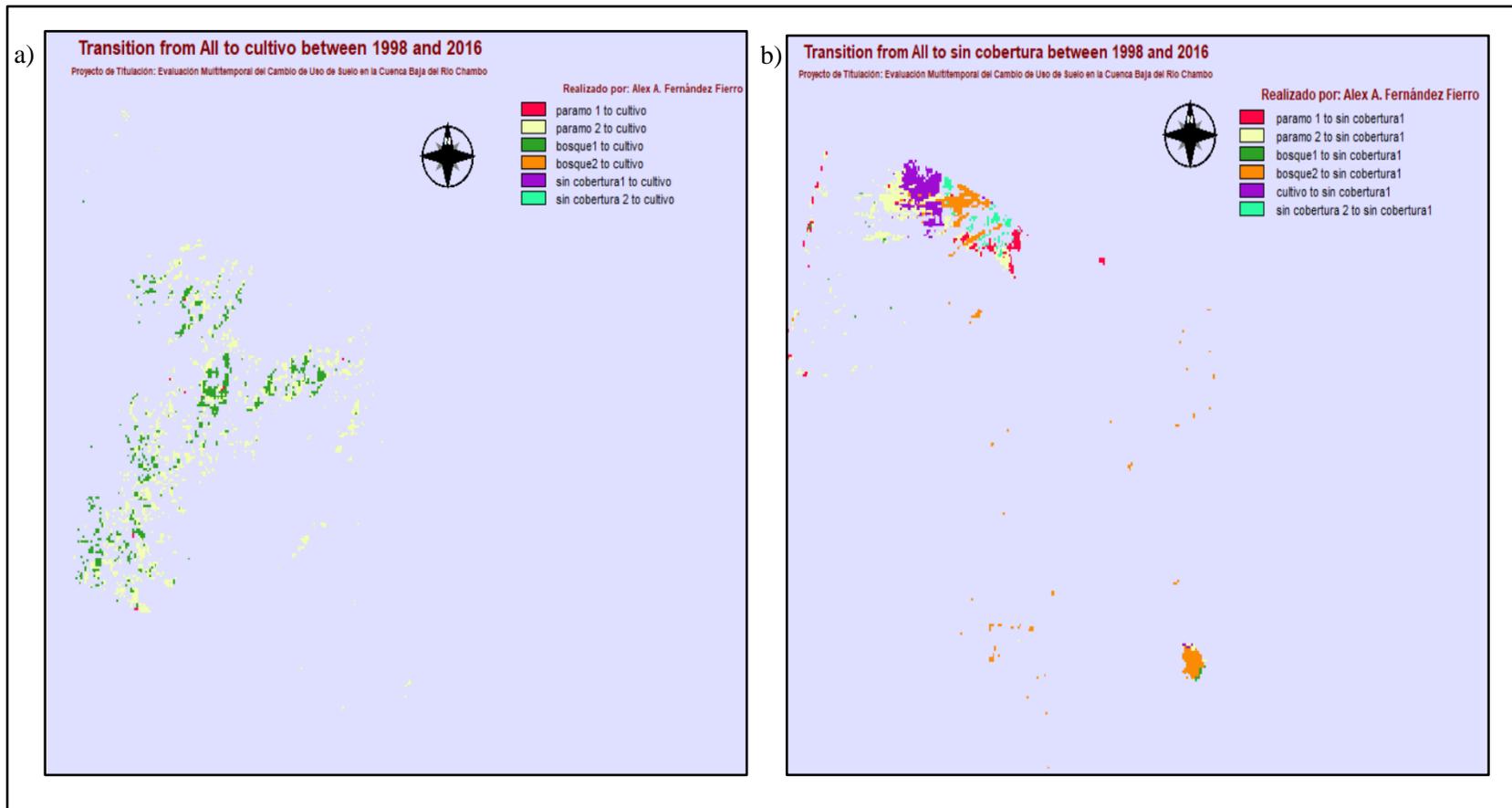
**Figura 7-3:** Mapa de ganancias y pérdidas en: a) cultivo y b) sin cobertura; entre los años 1998-2016.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019.



**Figura 8-3:** Mapa de transición de cobertura vegetal: a) páramo b) bosque; entre los años 1998-2016.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019.



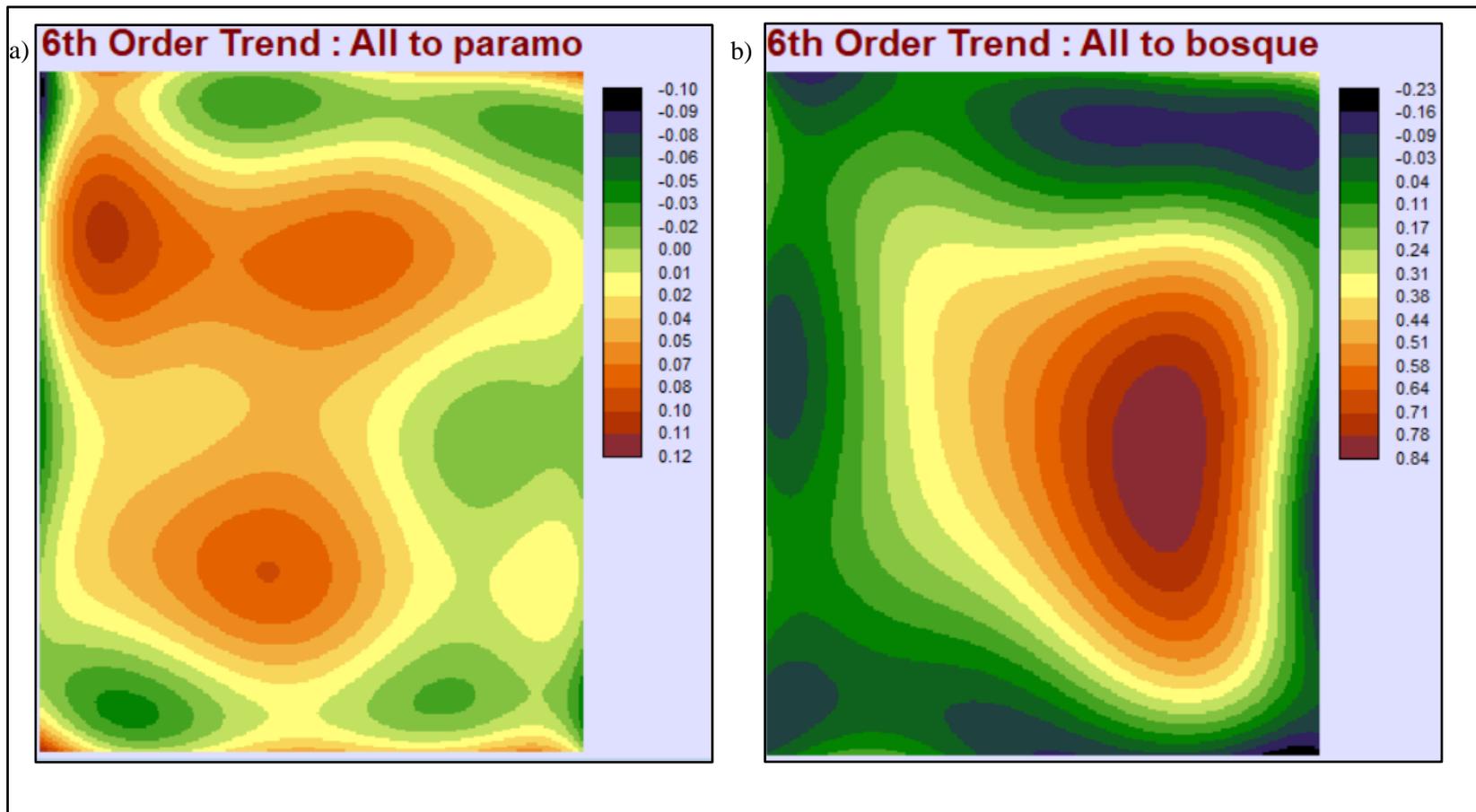
**Figura 9-3:** Mapa de transición de cobertura vegetal: a) cultivo b) sin cobertura; entre los años 1998-2016.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019.

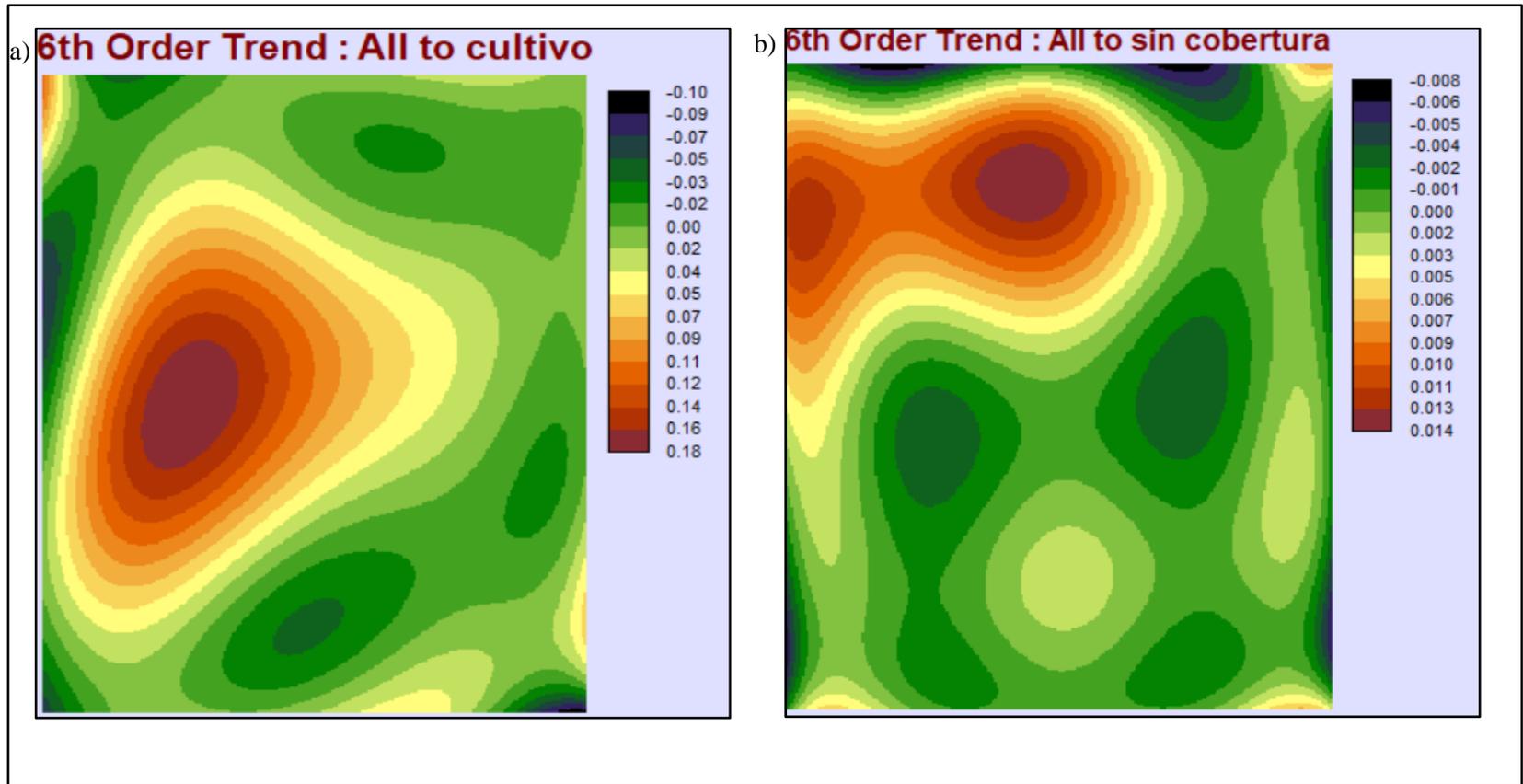
Las transiciones de uso de suelo a páramo y bosque son las de mayor impacto por las actividades volcánicas del Tungurahua, y éstas nos permiten apreciar la sinergia antrópica al evidenciar el cambio sobre cultivos y suelos sin cobertura.

Para la mayoría de algoritmos es muy complejo determinar los patrones de cambio en los paisajes dominados por la intervención humana, por lo que usar la herramienta *Spatial Trend of Change* es un gran valor agregado que aporta este módulo, logrando así ilustrar una superficie de tendencia polinómica ajustada al patrón de cambio de sexto orden.

Así, se puede observar que las tendencias de mayor influencia para el páramo se encuentran en la zona centro occidente y por la transición que se demostró previamente, la cobertura de bosque se encuentra en la zona oriental, el avance agrícola se denota por su tendencia entre estas dos, mas no sobre las zonas bajas del Tungurahua que mantiene un enfoque de sin cobertura y donde se reporta el mayor cambio neto tras las erupciones volcánicas.



**Figura 10-3:** Mapa tendencial espacial de cambio de cobertura vegetal a: a) páramo y b) bosque.



**Figura 11-3:** Mapa tendencial espacial de cambio de cobertura vegetal a: a) cultivo y b) sin cobertura.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019.

### 3.3. Evaluación del impacto del uso de suelo en las propiedades físico-químicas.

Se han realizado los análisis físico-químicos en el laboratorio de Productos Naturales, Protección Ambiental y Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. En la tabla 1-2 a continuación se muestran los resultados promedios, máximos y mínimos de los análisis para las muestras de suelo.

**Tabla 2-3:** Valores promedios, mínimos y máximos de la caracterización del suelo en la cuenca

TIPO		pH	CE ds/m	DR g/cm <sup>3</sup>	DA g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %	MO %	CO %	Textura
SC	Media	6,18	,4333	1,38	1,05	23,69	9,74	5,649	FrcArnArc <sup>1</sup>
	Mínimo	5,20	,14	1,01	1,02	5,02	2,52	1,46	ArnFrc <sup>2</sup>
	Máximo	6,63	,86	1,79	1,11	39,25	37,60	21,81	FrcLim <sup>3</sup>
CULTIVO	Media	6,25	,4083	1,28	1,04	16,55	7,19	4,174	FrcArnArc
	Mínimo	5,20	,13	1,06	,92	,81	1,28	0,74	FrcArc <sup>4</sup>
	Máximo	7,01	1,06	1,75	1,16	41,72	14,68	8,52	FrcArn <sup>5</sup>
BOSQUE	Media	6,10	,7242	1,38	1,05	22,85	8,92	5,179	FrcArc <sup>4</sup>
	Mínimo	5,07	,33	1,06	,82	2,70	1,98	1,15	Frc <sup>6</sup>
	Máximo	6,75	1,41	1,82	1,13	37,60	33,82	19,6	FrcLim <sup>3</sup>
PÁRAMO	Media	5,87	,3236	1,36	1,08	18,79	5,14	2,983	FrcArc <sup>4</sup>
	Mínimo	4,60	,15	1,03	1,00	,32	1,48	0,86	ArnFrc <sup>4</sup>
	Máximo	7,11	,66	1,66	1,23	38,25	9,54	5,53	FrcLim <sup>3</sup>
Total	Media	6,09	,4664	1,35	1,06	20,40	7,64	4,436	FrcArc <sup>4</sup>
	Mínimo	4,60	,13	1,01	,82	,32	1,28	0,74	ArnFrc <sup>2</sup>
	Máximo	7,11	1,41	1,82	1,23	41,72	37,60	21,81	FrcLim <sup>3</sup>

baja del río Chambo.

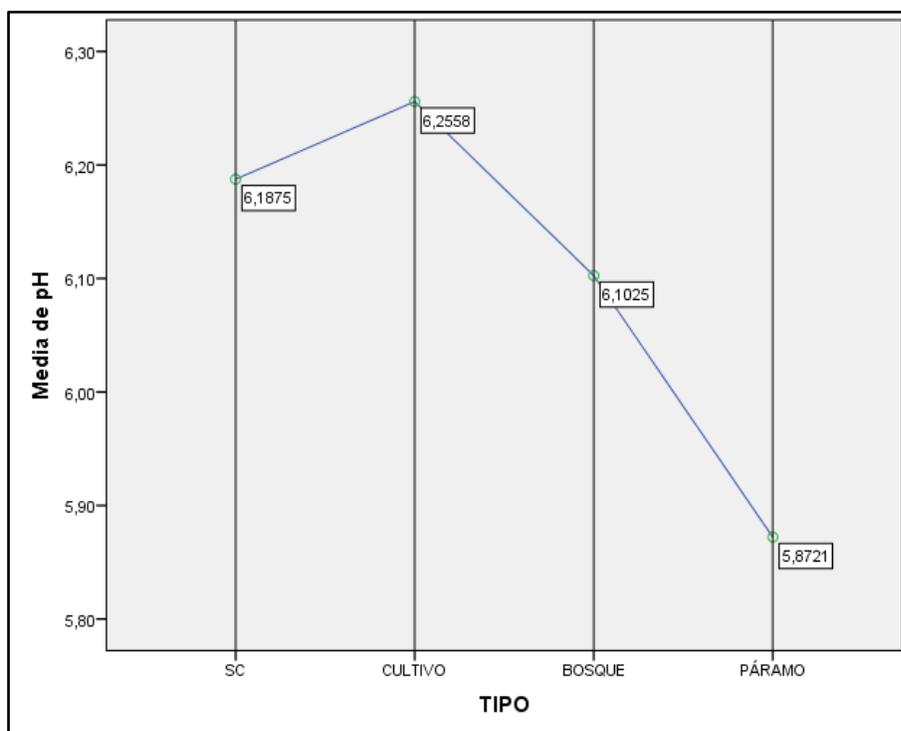
**Nota:** <sup>1</sup>FrcArnArc: franco areno arcilloso; <sup>2</sup>ArnFrc: areno franco; <sup>3</sup>FrcLim: franco limoso; <sup>4</sup>FrcArc: franco arcilloso; <sup>5</sup>FrcArn: franco arenoso; <sup>6</sup>Frc: franco.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019.

El pH de la cobertura vegetal natural se ve representado por un pH ligeramente ácido para los suelos de bosque y moderadamente ácido en los suelos de páramo, siendo este último el que presenta una considerable disminución en relación a los suelos sin cobertura y de cultivo. Dicho sea de paso, que, aunque estos se mantienen en un pH ligeramente ácido, las fluctuaciones en el suelo de páramo (de 4,6 a 7,11) y de cultivo (y 6.25 a 7.01) van de prudentemente ácido a neutro.

Liebig et al., (2002, p.p. 596-601) enfatiza que el pH del suelo es una propiedad importante en la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes, por lo que la aplicación de fertilizantes contribuye notablemente en la disminución de este y según el resultado de su investigación el pH disminuye de 6.57 a 5.9 por efecto del uso de fertilizantes nitrogenados.

Como lo indica la gráfica 8-3 a continuación, podemos ver como en promedio el pH del suelo de cultivos es el menos ácido, seguido por el de sin cobertura. En el caso del primero, sus valores pueden verse afectados por los tipos de cultivos ya que entre estos se encontraron plantaciones de maíz, ají y diversos frutales, por lo que acorde a Ginés, I, y Mariscal-Sancho, I., (2002, p.p. 3-9) los requerimientos de fertilizantes inciden significativamente en el pH del suelo y su perfil acidificante.



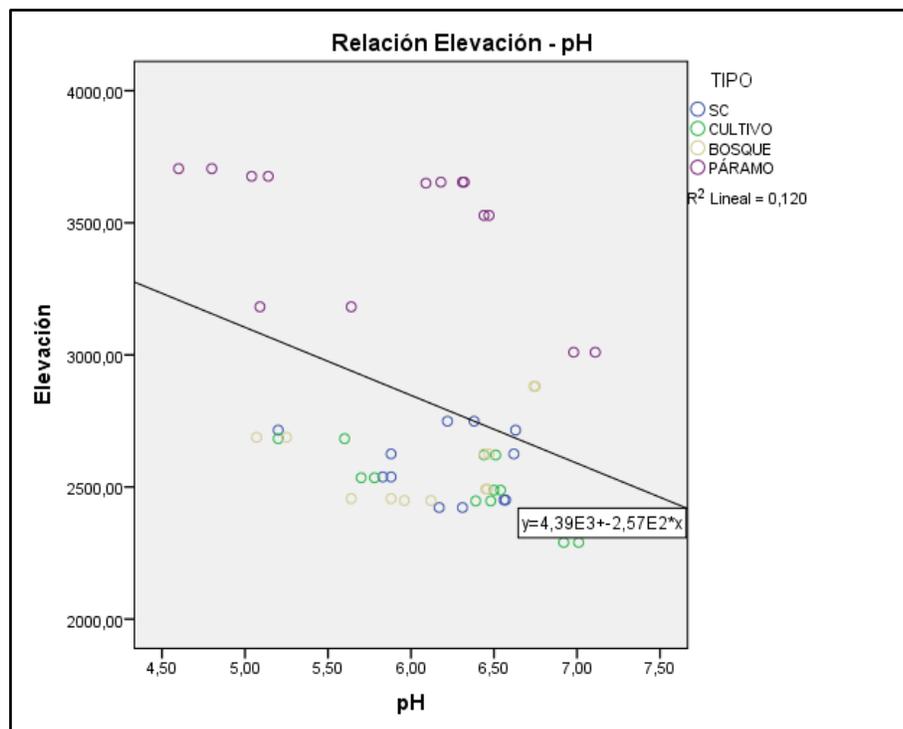
**Gráfico 8-3:** Resultados del análisis de pH.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

Farley y Kelly, (2004, p.p. 281-290) en su estudio “*EFFECTS OF AFFORESTATION OF A PÁRAMO GRASSLAND ON SOIL NUTRIENT STATUS*” nos indica como el pH en un bosque de pino cercano al Cotopaxi, presenta un valor moderadamente ácido de pH 5,2 atribuido a los procesos de cambio de vegetación en una escala de tiempo decenal y podemos contrarrestar que en bosque de la cuenca baja del río Chambo el pH es menor, ya que el patrón de verticalidad en la acumulación de cationes no es constante, a la vez que no se lo considera como el principal eje de

cambio de Ph, ya que como enfatizan los autores otros procesos biogeoquímicos como el ciclo del carbono, presencia de ácidos húmicos y la producción de quelatos, son los principales reguladores de la acidificación del suelo.

Se observa en el siguiente gráfico que la correlación entre la elevación y pH es débilmente negativa descendiente, con una varianza de factores comunes del 12%, es decir que, la influencia es mínima de la elevación sobre el pH a medida que desciende.

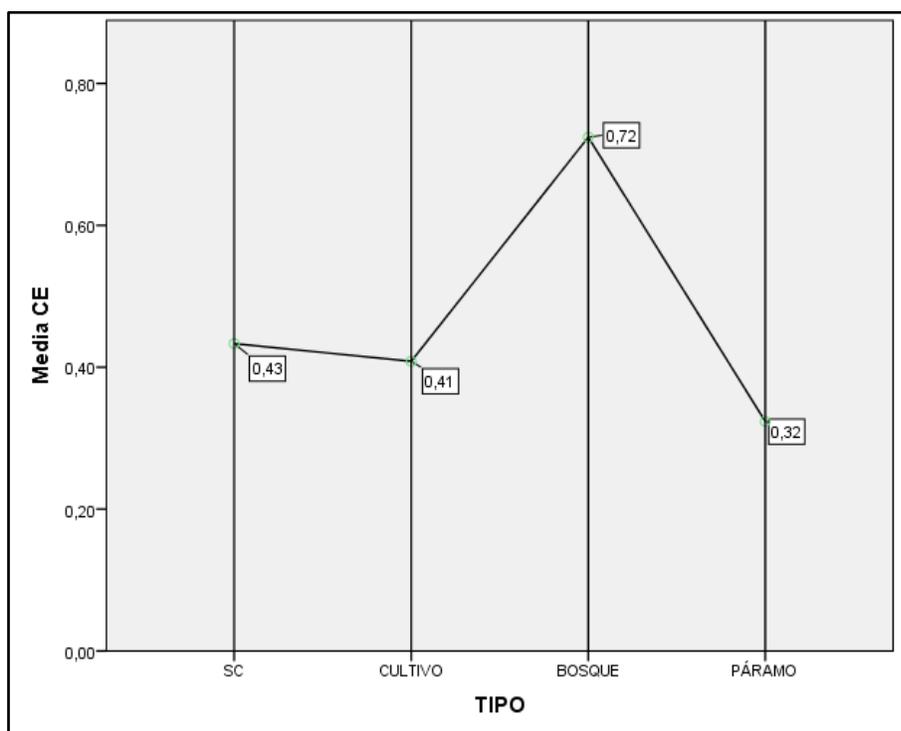


**Gráfico 9-3:** Resultados del análisis de correlación de elevación y pH.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

La conductividad eléctrica del suelo es un parámetro que permite estimar la salinidad del suelo, por lo que se ha realizado esta medición con el fin de determinar si las sales solubles podrían afectar la germinación o el crecimiento de la vegetación, pero como indica la clasificación de (USDA, 1996) los valores obtenidos en promedio causan efectos despreciables.

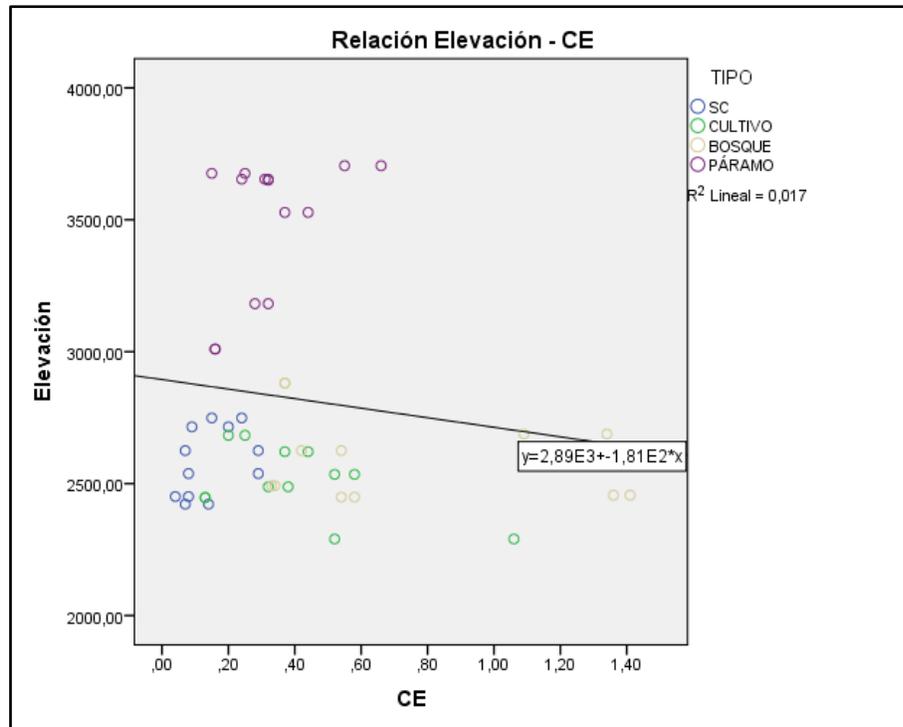
Por otro lado, se rescata que los valores más altos se encuentran en bosques y los más bajos en páramo, donde las condiciones de permeabilidad y humedad permiten un buen lavado y drenaje de aniones de cloruros y sulfatos que se encuentran comúnmente en las cenizas volcánicas. Es importante denotar que el uso de abonos y fertilizantes inorgánicos, como indica Rebolledo (2002), tienen un efecto directo sobre este parámetro.



**Gráfico 10-3:** Resultados del análisis de conductividad eléctrica.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

Se observa además una relación negativa descendiente de 1.7% entre la elevación y conductividad eléctrica que presenta mayor variabilidad bajo los 3000 m.s.n.m. donde se ubican principalmente los suelos de tipo cultivo, sin cobertura y bosque.

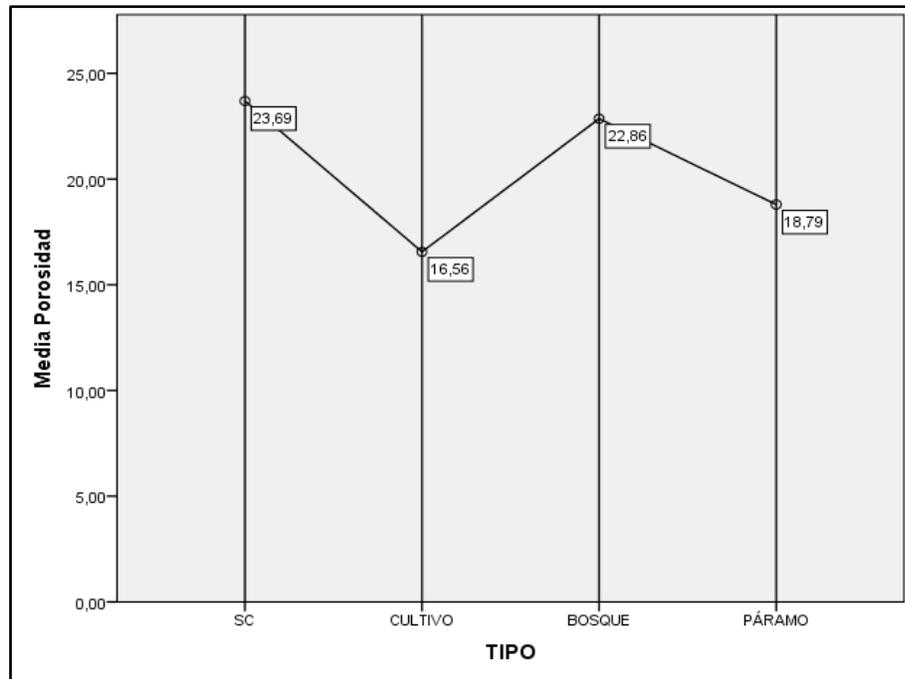


**Gráfico 11-3:** Resultados del análisis de correlación de elevación y conductividad eléctrica.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

La densidad aparente de los suelos no refleja una variación importante, teniendo una media de los usos sin cobertura y cultivos que están entre  $1.04$  y  $1.05 \text{ g/cm}^3$  respectivamente; mientras que en la vegetación natural se presenta una media de  $1.05 \text{ g/cm}^3$  en los suelos de bosque y  $1,08 \text{ g/cm}^3$  en los suelos de páramo.

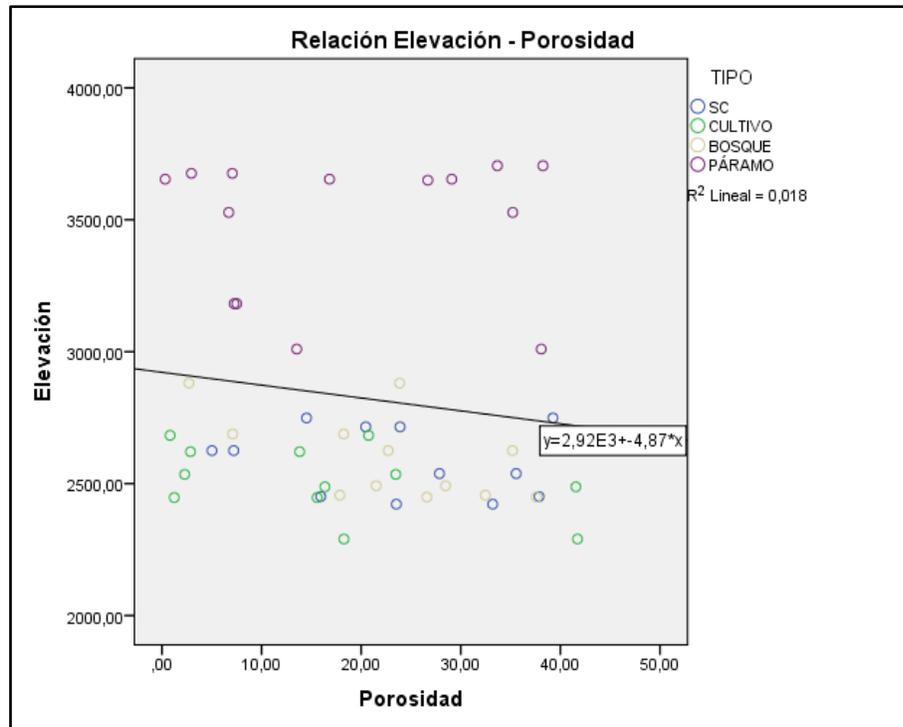
Con respecto a la porosidad del suelo, los valores más bajos corresponden a cultivo (16.55%) que tiene una diferencia de 7.13% con respecto al valor más alto del suelo sin cobertura (23.69%). La diferencia en la cobertura vegetal natural es de 4.07%, siendo el más alto el del suelo de bosque (22.86%) y el más bajo el de páramo (18.79%).



**Gráfico 12-3:** Resultados del análisis de porosidad.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

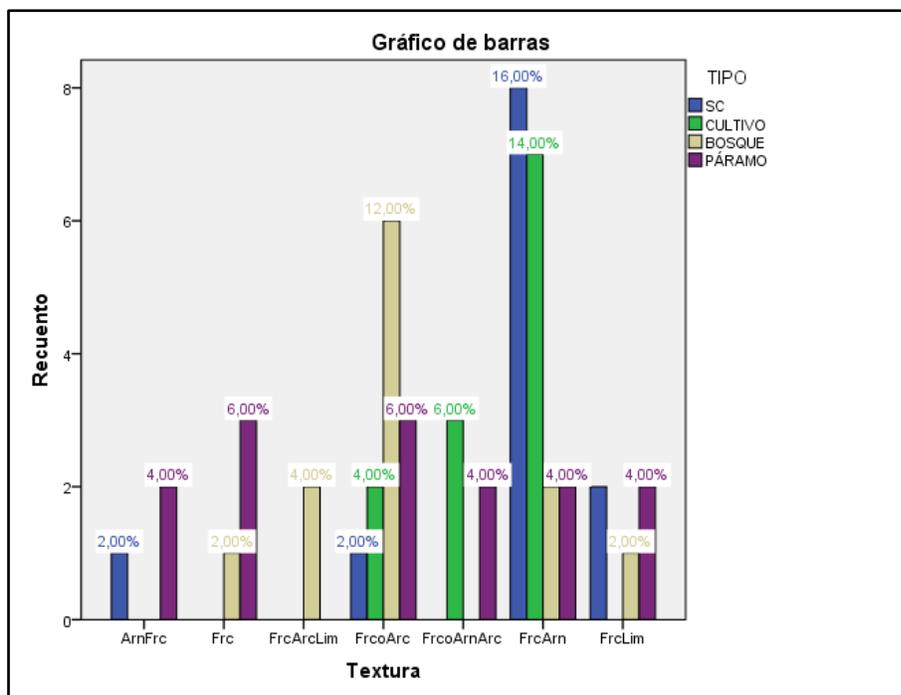
Se ha observado que los suelos tienden a aumentar su porosidad en cuanto a la elevación que la afecta en un 1.8% según su correlación expresada en el gráfico a continuación.



**Gráfico 13-3:** Resultados del análisis de correlación de elevación y porosidad.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

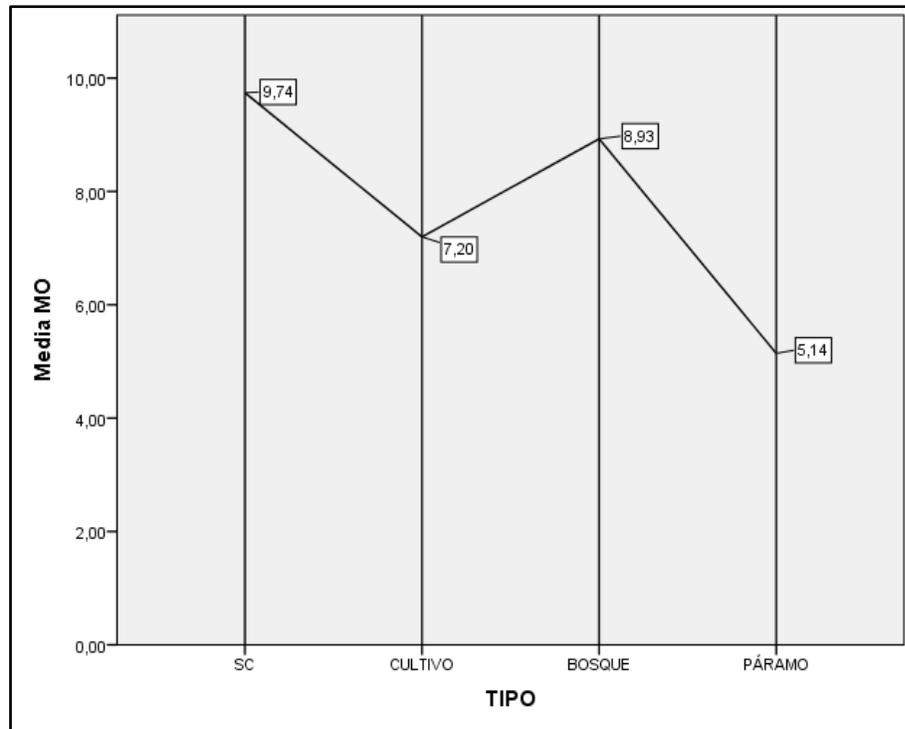
Se ha determinado que la textura del suelo donde el 38% son de tipo franco arenoso, predominando en un 16% en los suelos sin cobertura, y 14% en los suelos de cultivo; seguido el 24% de los suelos son de tipo franco arcilloso donde predomina con un 12% en bosque y 6% en páramo. Esta diferencia es atribuida a que la falta de cobertura total del suelo en cultivo, como el de maíz, puede causar erosión al suelo. Así también la diferente composición textural de los diferentes tipos de uso de suelo estudiados nos indica que el material parental no es el mismo para toda la zona de estudio donde las partes de arcilla ( $< 0.002$  mm) se encuentran bajos en relación a los de arena ( $2-0.005$  mm) y limo ( $0.05-0.002$ ) que predominan en los suelos de tipo franco arenoso y franco arcilloso.



**Gráfico 14-3:** Resultados del análisis de textura.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

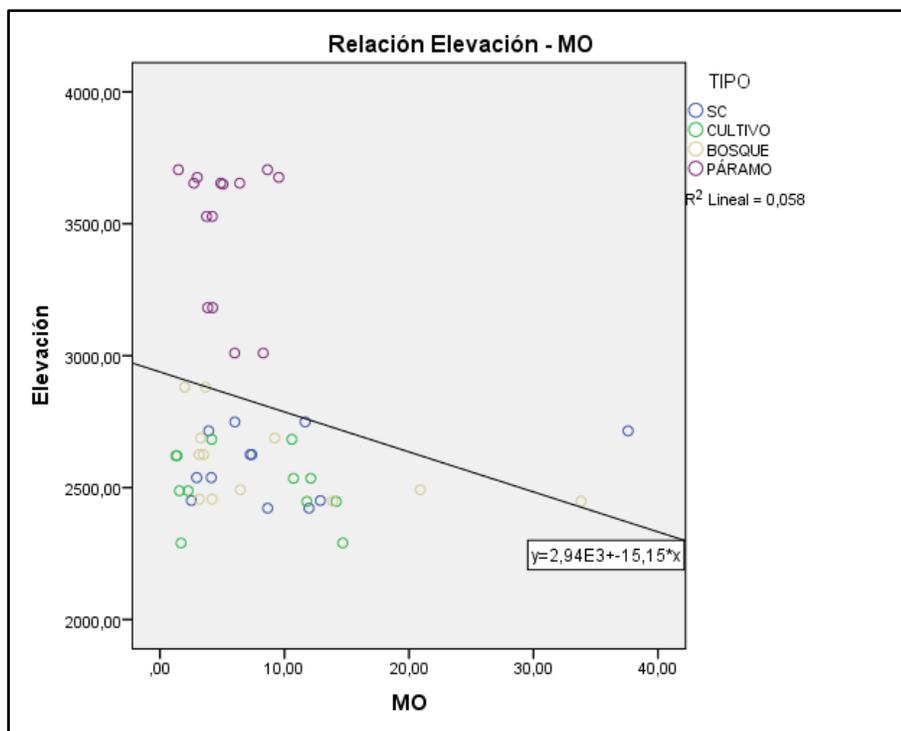
En cuanto al porcentaje de materia orgánica nos indica que, dentro del suelo de vegetación natural, el suelo de bosque es el que presenta mayor cantidad (8,93%) y el de páramo un menor contenido (5.14%) ya que como lo menciona García, A. (2008, p.p 4-16) la degradación de lignina, materiales aromáticos y resinas de pino tiene mayor aportación del carbono al suelo de forma lenta.



**Gráfico 15-3:** Resultados del análisis de materia orgánica.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

Se muestra una correlación del 5.8% en torno a la elevación y el porcentaje de materia orgánica, siendo esta descendente y débil como muestra el gráfico a continuación:



**Gráfico 16-3:** Resultados del análisis de correlación de elevación y materia orgánica.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

Para evaluar la influencia del cambio de uso de suelo en las propiedades físico-químicas, se ha realizado un análisis ANOVA de una variable, que nos indica si existen diferencias significativas entre los valores promedios. Posteriormente se ha realizado una prueba de LSD gráfica y estadística ya que podemos probar la igualdad de todos los posibles pares de medias con la hipótesis:

$$H_0: \mu_i = u_j$$

$$H_A: \mu_i \neq u_j$$

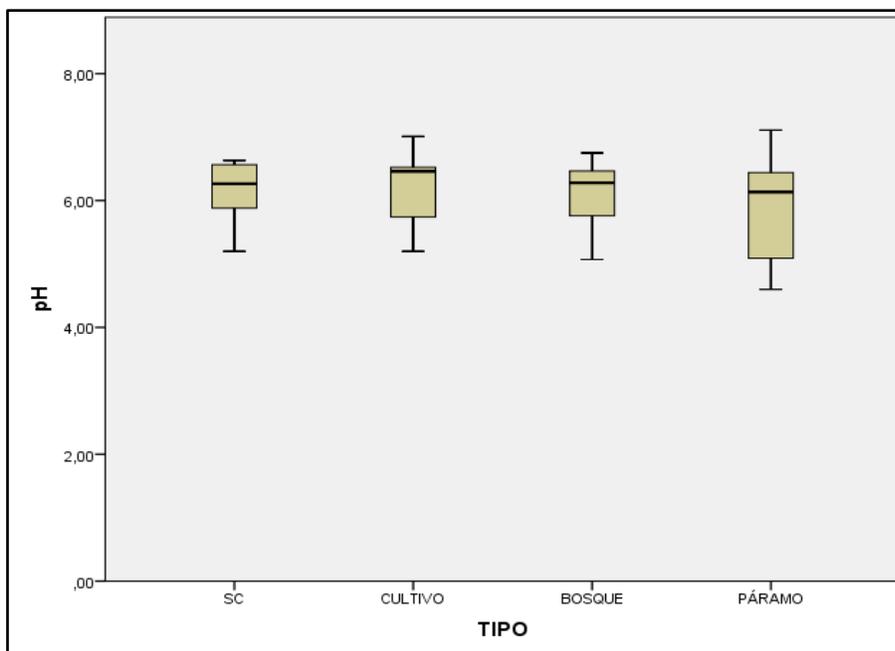
Para toda  $i \neq j$

En el caso del pH se ve que la significancia observada es mayor a la significancia prefijada, es decir,  $0.413 > \alpha=0.05$ ; por lo que se acepta la hipótesis nula de igualdad ( $H_0$ ) entre los tipos de suelo. Posteriormente se ha realizado el análisis de LSD gráfico donde vemos que sus valores de confianza se traslapan y estadísticamente (con una significancia en la distribución *T de Student*:  $t_{\alpha/2; N-k}=2.019$ ) teniendo este como valor 0.878, se ha comprobado que no hay diferencia significativa entre los usos de suelo y su pH.

**Tabla 3-3:** Análisis ANOVA del pH.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,109	3	,370	,975	,413
Dentro de grupos	17,447	46	,379		
Total	18,556	49			

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019



**Gráfico 17-3:** Gráfico LSD del pH.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

**Tabla 4-3:** Prueba estadística de comparaciones múltiples del pH.

(I) TIPO	(J) TIPO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
SC	Cultivo	-,06833	,25142	,787	-,5744	,4378
	Bosque	,08500	,25142	,737	-,4211	,5911
	Páramo	,31536	,24228	,200	-,1723	,8030
CULTIVO	Sc	,06833	,25142	,787	-,4378	,5744
	Bosque	,15333	,25142	,545	-,3528	,6594
	Páramo	,38369	,24228	,120	-,1040	,8714
BOSQUE	Sc	-,08500	,25142	,737	-,5911	,4211
	Cultivo	-,15333	,25142	,545	-,6594	,3528
	Páramo	,23036	,24228	,347	-,2573	,7180
PÁRAMO	Sc	-,31536	,24228	,200	-,8030	,1723
	Cultivo	-,38369	,24228	,120	-,8714	,1040
	Bosque	-,23036	,24228	,347	-,7180	,2573

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

Pese a que no se muestra diferencias estadísticamente significativas entre los usos de suelo, se denota una acidificación por el cambio de cobertura de páramo a cultivo, por lo que conjuntamente con (López Ulloa, 2006) se determina que los valores de pH no presentan diferencias significativas entre los diferentes usos de suelo de cobertura vegetal de páramo, así también como este parámetro disminuye en suelos cultivados con papa.

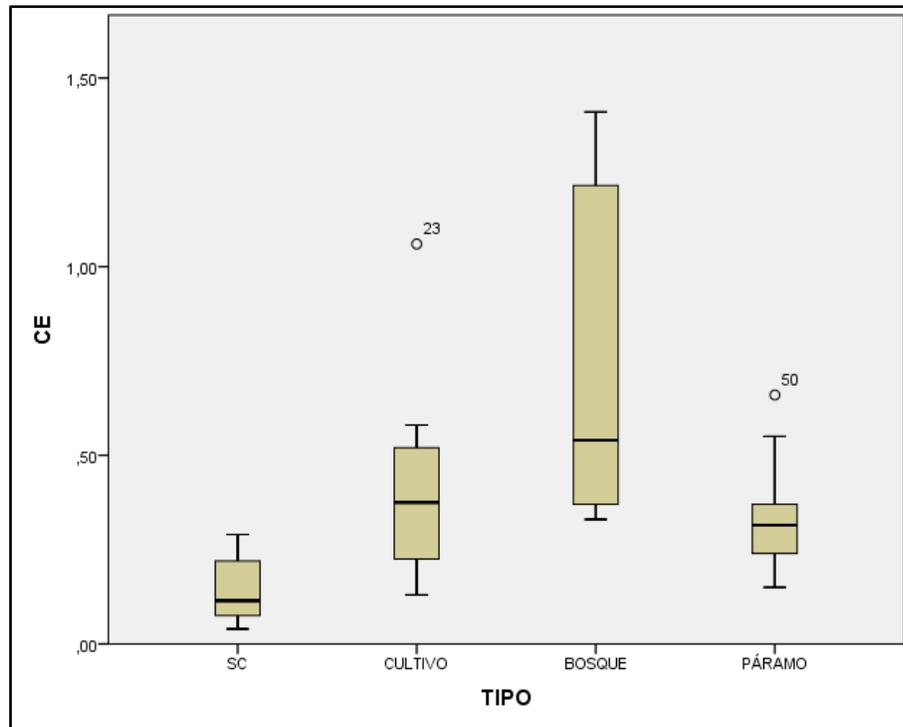
En cuanto a la conductividad eléctrica, la significancia observada es de 0,000030 que es menor que la significancia prefijada, por lo que se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta que al menos un par de tipos de suelo tienen una conductividad promedio diferente.

Con la prueba de LSD gráfica se ha determinado que sí hay diferencias entre el suelo sin cobertura y de bosque, por lo que se corroboró mediante la prueba estadística con un valor de 0.377, demostrando una diferencia significativa entre el suelo sin cobertura-bosque y bosque-páramo; mas se presenta una diferencia a nivel 0.05 entre los suelos de cultivo-bosque.

**Tabla 5-3:** Análisis ANOVA de la conductividad eléctrica.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2,124	3	,708	10,167	,000
Dentro de grupos	3,202	46	,070		
Total	5,326	49			

**Realizado por:** Fernández Fierro, Alex (2019)



**Gráfico 18-3:** Gráfico LSD de conductividad eléctrica.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

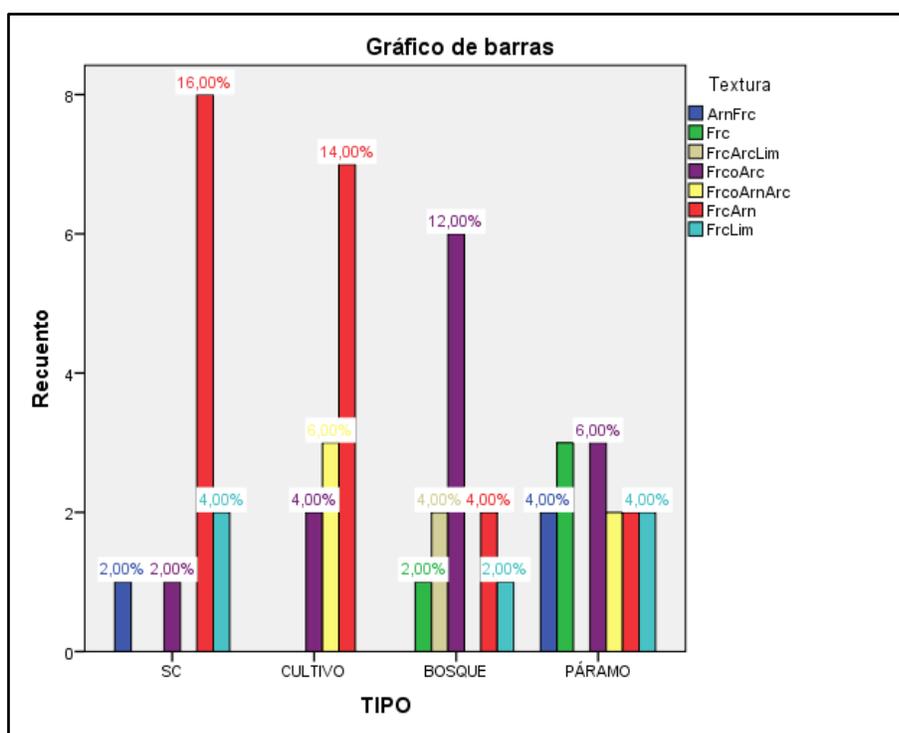
**Tabla 6-3:** Prueba de comparaciones múltiples de conductividad eléctrica.

(I) Tipo	(J) Tipo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
SC	Cultivo	-,26333*	,10772	,018	-,4802	-,0465
	Bosque	-,57917*	,10772	,000	-,7960	-,3623
	Páramo	-,17857	,10380	,092	-,3875	,0304
CULTIVO	Sc	,26333*	,10772	,018	,0465	,4802
	Bosque	-,31583*	,10772	,005	-,5327	-,0990
	Páramo	,08476	,10380	,418	-,1242	,2937
BOSQUE	Sc	,57917*	,10772	,000	,3623	,7960
	Cultivo	,31583*	,10772	,005	,0990	,5327
	Páramo	,40060*	,10380	,000	,1917	,6095
PÁRAMO	Sc	,17857	,10380	,092	-,0304	,3875
	Cultivo	-,08476	,10380	,418	-,2937	,1242
	Bosque	-,40060*	,10380	,000	-,6095	-,1917

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

Broquen et al. (2009,p.p. 63-74) con su estudio “PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA BAJO DIFERENTES MANEJOS EN LA ZONA DE QUÍBOR, ESTADO LARA” nos indica que los valores de conductividad eléctrica son menores en suelos de textura arcillosa que en los de textura franca; considerando esto se puede observar que las diferencias en el presente estudio recaen sobre su composición estructural, siendo los suelos de tipo franco arenoso y franco arcilloso los que predominan en los usos de suelo de cultivo y bosque respectivamente como indica el gráfico 19-3 siguiente:



**Gráfico 19-3:** Gráfico de textura según el uso de suelo.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

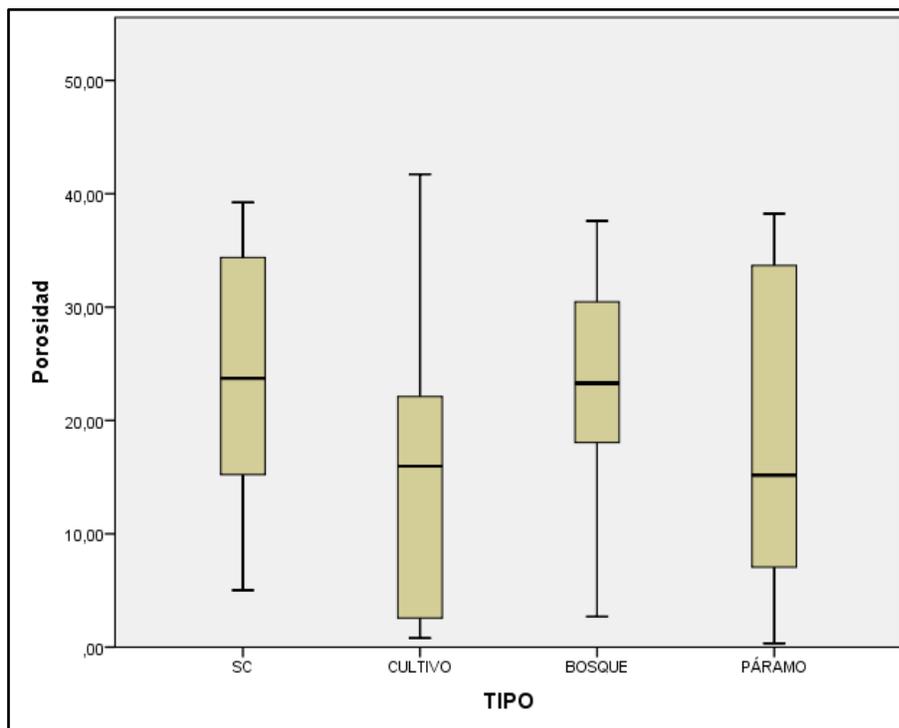
Una vez analizada la porosidad se encuentra que la significancia observada es mayor a la significancia prefijada, por lo que se acepta  $H_0$ , no hay una diferencia en al menos dos tipos de suelo en cuanto a su porosidad promedio. Esto lo corroboramos mediante el gráfico LSD y su análisis estadístico.

**Tabla 7-3:** Análisis ANOVA de la porosidad.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	415,654	3	138,551	,854	,472
Dentro de grupos	7466,491	46	162,315		

Total	7882,145	49
-------	----------	----

Realizado por: Fernández Fierro, Alex (2019)



**Gráfico 20-3:** Gráfico LSD de porosidad.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

**Tabla 8-3:** Prueba estadística de comparaciones múltiples de porosidad.

(I) TIPO	(J) TIPO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
SC	CULTIVO	7,13333	5,20120	,177	-3,3361	17,6028
	BOSQUE	,83417	5,20120	,873	-9,6353	11,3036
	PÁRAMO	4,89667	5,01200	,334	-5,1920	14,9853
CULTIVO	SC	-7,13333	5,20120	,177	-17,6028	3,3361
	BOSQUE	-6,29917	5,20120	,232	-16,7686	4,1703
	PÁRAMO	-2,23667	5,01200	,658	-12,3253	7,8520
BOSQUE	SC	-,83417	5,20120	,873	-11,3036	9,6353
	CULTIVO	6,29917	5,20120	,232	-4,1703	16,7686
	PÁRAMO	4,06250	5,01200	,422	-6,0261	14,1511
PÁRAMO	SC	-4,89667	5,01200	,334	-14,9853	5,1920
	CULTIVO	2,23667	5,01200	,658	-7,8520	12,3253
	BOSQUE	-4,06250	5,01200	,422	-14,1511	6,0261

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

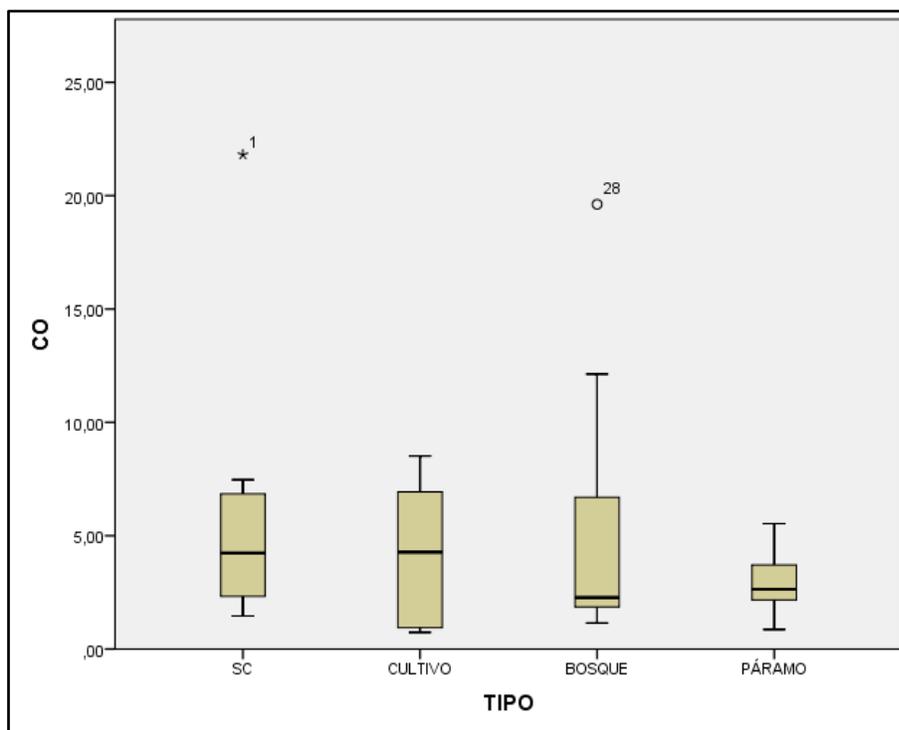
Finalmente, se ha comprobado la igualdad de los suelos con respecto a la media de su contenido de carbono orgánico mediante un ANOVA, donde su significancia observada fue mayor a la prefijada de 0.05, aceptándose de esta manera la hipótesis nula.

Se puede ver que, mediante las pruebas de LSD gráfica, los valores se traslapan entre sí y estadísticamente, la comparación entre cada tipo de suelo el valor absoluto de la diferencia de medias, ninguno fue mayor al valor calculado de 6.003.

**Tabla 9-3:** Análisis ANOVA del carbono orgánico.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	54,674	3	18,225	1,030	,388
Dentro de grupos	813,574	46	17,686		
Total	868,248	49			

Realizado por: Fernández Fierro, Alex (2019)



**Gráfico 21-3:** Gráfico LSD de carbono orgánico.

Realizado por: Fernández Fierro, Alex (2019)

**Tabla 10-3:** Prueba estadística de comparaciones múltiples de porosidad.

(I) TIPO	(J) TIPO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
SC	CULTIVO	1,47500	1,71690	,395	-1,9809	4,9309
	BOSQUE	,47000	1,71690	,786	-2,9859	3,9259
	PÁRAMO	2,66631	1,65444	,114	-,6639	5,9965
CULTIVO	SC	-1,47500	1,71690	,395	-4,9309	1,9809
	BOSQUE	-1,00500	1,71690	,561	-4,4609	2,4509
	PÁRAMO	1,19131	1,65444	,475	-2,1389	4,5215
BOSQUE	SC	-,47000	1,71690	,786	-3,9259	2,9859
	CULTIVO	1,00500	1,71690	,561	-2,4509	4,4609
	PÁRAMO	2,19631	1,65444	,191	-1,1339	5,5265
PÁRAMO	SC	-2,66631	1,65444	,114	-5,9965	,6639
	CULTIVO	-1,19131	1,65444	,475	-4,5215	2,1389
	BOSQUE	-2,19631	1,65444	,191	-5,5265	1,1339

Realizado por: Fernández Fierro, Alex (2019)

### 3.3.1. *Análisis de Correlación de los parámetros físico químicos*

Realizado el análisis de correlación entre las variables analizadas y según la tabla 1-9, tomando los valores mayores a 0.8, se observa una fuerte relación positiva entre la porosidad y densidad real.

**Tabla 11-3:** Matriz de correlaciones

		Elevación	pH	CE	DR	DA	Porosidad	MO	CO
Corre lación	Elevación	1,000	-,347	-,131	-,048	,187	-,135	-,241	-,241
	pH	-,347	1,000	-,273	,175	,098	,108	,105	,105
	CE	-,131	-,273	1,000	,055	-,021	,091	-,086	-,086
	DR	-,048	,175	,055	1,000	,099	,903	-,021	-,021
	DA	,187	,098	-,021	,099	1,000	-,300	-,190	-,190
	Porosidad	-,135	,108	,091	,903	-,300	1,000	,072	,072
	MO	-,241	,105	-,086	-,021	-,190	,072	1,000	1,000
	CO	-,241	,105	-,086	-,021	-,190	,072	1,000	1,000
Sig. (unila teral)	Elevación		,007	,183	,371	,097	,174	,046	,046
	pH		,007	,028	,112	,250	,229	,234	,234
	CE		,183	,028	,351	,443	,265	,276	,276
	DR		,371	,112	,351	,246	,000	,444	,444
	DA		,097	,250	,443	,246	,017	,093	,093
	Porosidad		,174	,229	,265	,000	,017	,310	,310
	MO		,046	,234	,276	,444	,093	,310	,000
	CO		,046	,234	,276	,444	,093	,310	,000

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

Según la tabla de comunalidades a continuación, se observa que todos los valores son mayores a 0.4, por lo que todos sus componentes son importantes para explicar el impacto del uso de suelo y su calidad.

**Tabla 12-3:** Comunalidades.

	Inicial	Extracción
Elevación	1,000	,854
Ph	1,000	,832
CE	1,000	,634
DR	1,000	,961
DA	1,000	,421
Porosidad	1,000	,980
MO	1,000	,967
CO	1,000	,967

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

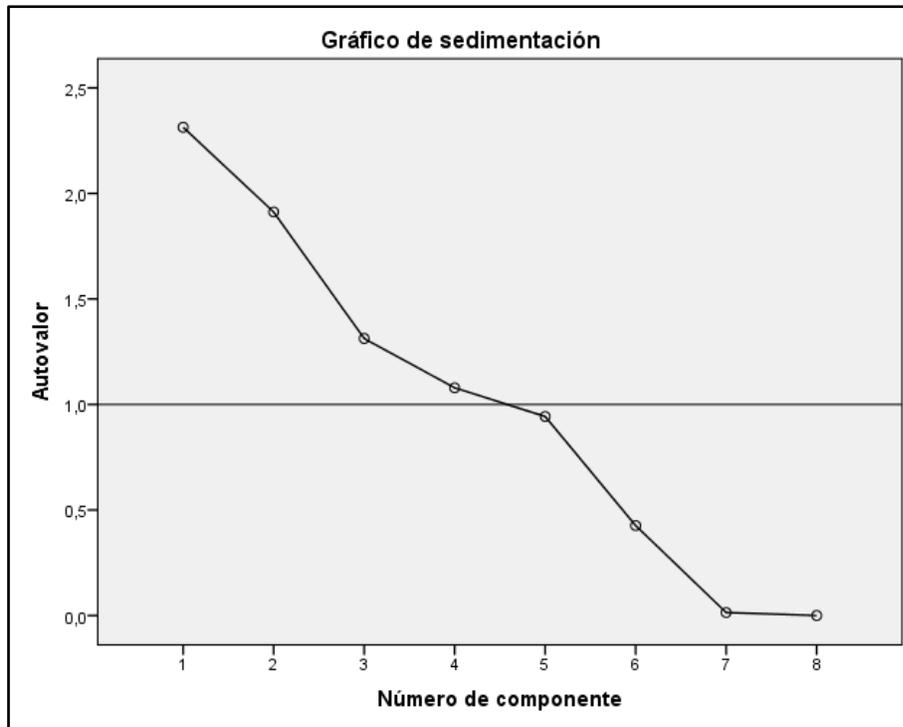
En el análisis de componentes principales, identificado los componentes que se usarán para reunir las comunalidades, y como lo indica el gráfico 2-13, son los 4 que cumplen el criterio de selección.

**Tabla 13-3:** Varianza total explicada.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2,313	28,918	28,918	2,313	28,918	28,918	2,095	26,187	26,187
2	1,912	23,901	52,819	1,912	23,901	52,819	1,915	23,941	50,128
3	1,313	16,407	69,226	1,313	16,407	69,226	1,337	16,716	66,844
4	1,079	13,485	82,711	1,079	13,485	82,711	1,269	15,867	82,711
5	,943	11,788	94,499						
6	,426	5,326	99,824						
7	,014	,176	100,000						
8	2,393 E-7	2,991E-6	100,000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019



**Gráfico 22-3:** Gráfico de sedimentación de componentes.

Realizado por: Fernández F., Alex. 2019

Mediante el análisis de los componentes, se ha podido determinar que en el componente 1 se encuentra la materia orgánica y carbono orgánico; en el componente 2 la densidad real y porosidad; en el componente 3 el pH, y finalmente en el componente 4 la densidad aparente y la elevación.

**Tabla 14-3:** Matriz de componente rotado.

	Componente			
	1	2	3	4
CO	,973			
MO	,973			
Elevación	-,221	,860		
TIPO	-,177	,849		-,223
Textura	-,284	-,713		-,128
Porosidad			,968	-,119
DR			,967	
pH		-,217	,217	,737
CE			,121	-,718
DA	-,345	,270	-,112	,459

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.<sup>a</sup>

a. La rotación ha convergido en 4 iteraciones.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

Finalmente, analizada la transformación de componentes y por medio del gráfico de éste en espacio rotado, se puede observar que hay una correlación directamente fuerte entre el componente 1, el componente 2; y el componente 3 con el componente 4. Teniendo los parámetros de pH, conductividad eléctrica y densidad aparente como los más cercanos a los componentes que se correlacionan.

**Tabla 15-3:** Matriz de transformación de componentes.

Componente	1	2	3	4
1	,824	,389	,399	-,102
2	-,456	,883	,058	-,093
3	-,132	-,012	,503	,854
4	,309	,262	-,764	,502

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

**Realizado por:** Fernández F., Alex. 2019

Gráfico de componente en espacio rotado

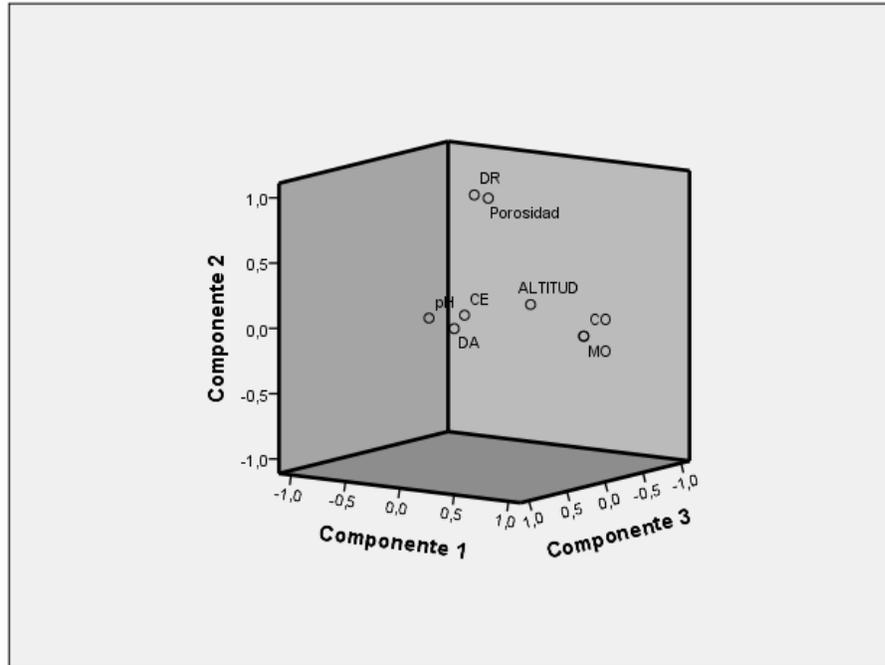


Gráfico 23-3: Gráfico de componente en espacio rotado.

Realizado por: Fernández Fierro, Alex (2019)

## CONCLUSIONES

- La clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat, usando el algoritmo de mínimas distancias, permitió identificar las coberturas de suelo expresadas en las leyendas temáticas de nivel I: bosque, cultivos, páramo y sin cobertura, correspondiente a los años 1998 y 2016; logrando generar los mapas de uso del suelo en un espacio multitemporal de 18 años.
  
- Se ha logrado determinar la intensidad de transición de las coberturas y usos de suelo en un espacio multitemporal, permitiendo apreciar la vulnerabilidad al cambio de los suelos con cobertura boscosa que son susceptibles a perder superficie por la competencia ecosistémica con el páramo que indica una transición favorable en las zonas de convolución. Las transiciones mínimas de los suelos de cultivo evidencian el avance de la frontera agrícola, derivado de las interacciones antropogénicas y naturales en las zonas de transición central, mas ésta, no presenta mayor persistencia en el período evaluado.
  
- El cambio de uso de suelo según su cobertura vegetal, sí influye en las propiedades de conductividad eléctrica, porosidad y textura, mas no existe diferencia significativa entre las clases de estudio que al correlacionarse forman cuatro componentes principales.
  
- El uso de sistemas de información geográfica y herramientas de clasificación supervisadas, ha permitido evaluar la variación espacio temporal de la cobertura vegetal y uso del suelo en un área específica, utilizando varias herramientas que conjugan diferentes algoritmos y a su vez se complementan para brindar la mejor precisión con respecto al índice Kappa incluso utilizando imágenes satelitales de sensores diferentes (Landsat 5 y Landsat 7).

## **RECOMENDACIONES**

Diseñar e implementar planes de monitoreo y evaluación del suelo a nivel elemental, pues los metales pesados como plomo y mercurio; procedentes de las erupciones volcánicas en la zona de cambio, afectan la calidad del suelo y constituyen una amenaza a la seguridad alimentaria.

Realizar una bioprospección de microorganismos capaces de bioacumular y biotransformar los metales pesados en las zonas de transición, por cuanto la asimilación de éstos al suelo favorecería en el desarrollo de determinadas coberturas vegetales.

## BIBLIOGRAFÍA

**AENOR.** *Calidad del suelo Determinación de la Conductividad eléctrica específica.* Madrid : Asociación Española de Normalización y Certificación, 2001.

**AENOR.** *Calidad del suelo Determinación del pH.* Madrid : Asociación Española de Normalización y Certificación., 1999.

**AGUAYO, M.,Et. Al.,** 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*, 2009 ISSN 0716078X. DOI 10.4067/S0716-078X2009000300004.

**ALZATE, G. Y SÁNCHEZ, D.,** *Análisis multitemporal por teledetección del cambio de coberturas en las veredas Pantanillo y Las Palmas del municipio de Envigado en el periodo comprendido entre los años 1997 y 2016 (Tesis) (Maestría).* Universidad de Valencia, Valencia España (2018) S.l.: s.n.

**ANDRÉS, J. Y LÓPEZ, P.,** Belmira Con Imágenes Landsat Remote Sensing Analysis of Belmira ' S Paramo Vegetation With Landsat Imagery. *Dyna*, 2012

**BARRAL, M.P. Y OSCAR, M.N.,** Land-use planning based on ecosystem service assessment: A case study in the Southeast Pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 154, 2012. pp. 34-43. ISSN 01678809. DOI 10.1016/j.agee.2011.07.010.

**BASTIDAS-OBANDO, E.,** caracterización espectral y mineralógica de los suelos del valle del río Cauca por espectroscopía visible e infrarroja ( 400 - 2 . 500 nm ) Soil spectral characterization and mineralogy of the Cauca River Valley by visible and infrared ( 400 - 2 , 500 nm . , vol. 28, no. 2, 2010. pp. 291-301.

**BAUTISTA, A., ETCHEVERS, J., DEL CASTILLO, R. Y GUTIÉRREZ, C.,** La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 2004 ISSN 16872473. DOI 10.1111/j.1564-9148.2008.00030.x.

**BAXTER, N., WILLIAMSON, J. Y BENDIGO, A.V.,** Part 1 Introduction to Soils. Department of Natural Resources and Environment, State of Victoria, United States of America (2001)

**BOCCO, G., MENDOZA, M. Y MASERA, O.R.,** La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 2001 ISSN 01884611. DOI 10.14350/ig.59133.

**BROQUEN , P., Et. Al.** Impacto del *Pinus ponderosa* sobre la acidificación de los suelos de la transición bosque-estepa, SO del Neuquén, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 2009 DOI 10.4067/s0717-92002005000300007.

**BÜNEMANN, E.K., Et. Al.** Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 120, no. February, 2018 pp. 105-125. ISSN 0038-0717. DOI 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.

**BUYTAERT, W., Et. Al.** Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 2006 ISSN 00128252. DOI 10.1016/j.earscirev.2006.06.002.

**CORREA, J.J., VOLANTE, J.N. Y SEGHEZZO, L.,** Análisis de la fragmentación y la estructura del paisaje en bosques nativos del norte argentino. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2012

**CLARK LABS.** TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling Software. *Clark Labs*. [En línea] 2018. <https://clarklabs.org/terrset/>.

**DAZA TORRES, M.C., HERNÁNDEZ FLÓREZ, F. Y TRIANA, F.A.,** Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 2014 ISSN 2248-7026. DOI 10.15446/rfnam.v67n1.42642.

**ELLIS, E.,** Land use and land cover change. *Teledetección*, 2007., pp. 1-4.

**ESRI Ecuador. 2018.** ArcGIS. *ArcGis Nuestra herramienta más potente*. [En línea] ESRI Ecuador, 2018. [Citado el: 13 de Enero de 2019.]

[http://www.esri.com.ec/Sobre\\_Esri/Quienes\\_Somos/](http://www.esri.com.ec/Sobre_Esri/Quienes_Somos/).

**FARLEY, K.A. Y KELLY, E.F.**, Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology and Management*, 2004 ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2003.12.015.

**ESTRADA, R., Et. Al.** Indicadores de la calidad del suelo para evaluar su fertilidad. 2017

**FERNÁNDEZ COPPEL, I.A. Y HERRERO LLORETE, E.** *El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat.* Valladolid : Universidad de Valladolid, 2001.

**FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS. 2009.** *Guía para la descripción de suelo.* Roma : ONU, 2009.

**FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS, 2015.** *FAO Soil Portal.* 2015. S.l.: s.n.

**GARCÍA, A.,** La Materia Orgánica (M.O.) Y Su Papel En Lucha Contra La Degradación Del Suelo. *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, 2008.

**GARCÍA, Y., RAMÍREZ, W. Y SÁNCHEZ, S.,** Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. 2012

**GARRIDO REDONDO, Jesús D.** *Servicios Ecosistémicos y Planificación Territorial en el Corredor del Henares: Cartografía y Valoración de Hábitats con TerrSet.* Alcalá de Henares : Universidad de Alcalá, 2016.

**GINÉS, I. Y MARISCAL-SANCHO, I.,** Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. *Fertiberia*, 2002

**GREINER, L., Et. Al.** Land Use Policy Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. *Land Use Policy*, vol. 69, no. June, 2017 pp. 224-237. ISSN 0264-8377. DOI 10.1016/j.landusepol.2017.06.025.

**HERNÁNDEZ, D.M. Et. Al.** "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." *The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference*, 2015 ISSN 1098-6596. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004.

**INEC. 2017.** Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2017. [En línea] 2017. [Citado el: 28 de Enero de 2019.] [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2017/Informe\\_Ejecutivo\\_ESPAC\\_2017.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Informe_Ejecutivo_ESPAC_2017.pdf).

**INEC. 2010.** Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. *Fascículo Provincial Chimborazo*. [En línea] 26 de Noviembre de 2010. [Citado el: 17 de Febrero de 2019.] <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/bolivar.pdf>.

**INNOVA. 2001.** Innova Cad Vision. *Teledetección*. [En línea] 2001. [Citado el: 14 de Enero de 2019.] <http://www.innovanet.com.ar/gis/TELEDETE/TELEDETE/pant2.ht>.

**INSTITUTO GEOFÍSICO - ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. 2018.** Tungurahua. *Tungurahua Vulcanología*. [En línea] Instituto Geofísico - EPN, 27 de Agosto de 2018. [Citado el: 08 de Enero de 2019.] <https://www.igepn.edu.ec/tungurahua>.

**INSTITUTO GEOFÍSICO- ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. 2015.** Tungurahua. [En línea] EPN, 2015. [Citado el: 27 de Mayo de 2019.] <https://www.igepn.edu.ec/tungurahua>.

**INSUASTI BRAVO, L.** *El suelo*. 2013. S.l.: s.n. ISBN 9788578110796.

**JARAMILLO, L.V. Y ANTUNES, A.F.,** Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante interpretación de imágenes Landsat por redes neuronales artificiales (RNA). Caso de estudio: Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista de Teledetección*, 2018 ISSN 1133-0953. DOI 10.4995/raet.2018.8995.

**KARLEN, D.L., Et. Al.** Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A

Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 1997 ISSN 0361-5995. DOI 10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x.

**LIEBIG, M.A., Et. Al.** Crop Sequence and Nitrogen Fertilization Effects on Soil Properties in the Western Corn Belt. *Soil Science Society of America Journal*, 2014 DOI 10.2136/sssaj2002.5960.

**LÓPEZ ULLOA, Magdalena.** Soil ecosystem services in different land use types in coastal Ecuador (Tesis Doctoral). *Universidad de Göttingen*. [En línea] Mayo de 2006. [Citado el: 28 de Abril de 2019.] <https://d-nb.info/982223641/34>.

**MAE-MAGAP. 2015.** Protocolo Metodológico para la elaboración del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental 2013-2014, escala 1:100000. *Proyecto "Mapa de Cobertura y Uso de la tierra del Ecuador Continental 2013-2014, escala 1:100000"*. [En línea] 2015. [Citado el: 19 de Enero de 2019.] [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/USO%20DE%20LA%20TIERRA/01-METODOLOGIA\\_MAPA\\_COBERTURA\\_USO.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/USO%20DE%20LA%20TIERRA/01-METODOLOGIA_MAPA_COBERTURA_USO.pdf).

**MAS, J.-F., VELÁZQUEZ, A. Y COUTURIER, S.,** La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental: Ciencia y política pública*, 2009 ISSN 2007-4492.

**MAYORGA, M.A.S., PERALTA, J.C.M. Y MONTOYA, B.C.C.,** "INTEGRACIÓN ESPACIAL Y ESPECTRAL DE IMÁGENES FOTOGRÁFICAS: EL CASO DE OROSI, PARAÍSO, CARTAGO – COSTA RICA". *Revista Geográfica de América Central*, 2011

**MELO, W.J., Et. Al.** *Nitrogen Dynamic in Agricultural Soils Amended With Sewage Sludge*. 2018. S.l.: Elsevier Inc. ISBN 9780128121283.

**MINITAB, LLC. 2018.** ¿Qué es el método de la diferencia menos significativa (LSD) de Fisher para comparaciones múltiples? *Soporte de Minitab 18*. [En línea] 2018. [Citado el: 03 de Febrero de 2019.] <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-fisher-s-lsd-method/>.

**MORA, T.J.G. Y MAS, J.F.,** Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas*, (2008) ISSN 01884611.

**MORENO, A.,** ANÁLISIS DE LAS TRANSICIONES DE LOS CAMBIOS DE USO Y COBERTURA DEL SUELO MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS AÑOS (2001-2016) EN EL CANTÓN CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO (tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador (2017) S.l.: s.n.

**MUÑOZ, P.,** Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. *Centro de información de recursos Naturales*, (2013)

**NORTCLIFF, S., Et. Al.** "Soil , Definition , Function , and Utilization of Soil Soil" , , no. December 2017. DOI 10.1002/14356007.b07.

**OSUNA-OSUNA, A.K., Et. Al.** "Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010". *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, (2015) ISSN 19048181. DOI 10.4136/ambiente.1539.

**PARUELO, J.,** La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Ecosistemas* [en línea], vol. 17, no. 3, 2008 pp. 4-22. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=575>.

**PARUELO, J.M., GUERSCHMAN, J.P. Y VERÓN, S.,** Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy*, (2005) ISSN 2321-6379. DOI 10.17354/ijss/2015/41.

**PDOT - Penipe. 2016.** GAD cantonal Penipe. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Penipe*. [En línea] 2016. [Citado el: 08 de Febrero de 2019.] <https://penipe.gob.ec/index.php/canton/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-del-canton-penipe>.

**PELLIKKA, P. Y SILJANDER, M.,** Endangered Ecosystem Services. *Forest Ecology and Management* (2013) . S.l.:

**PEREA, A.J., MERONO, J.E. Y AGUILERA, M.J.,** Clasificación orientada a objetos en fotografías aéreas digitales para la discriminación de usos del suelo. *Interciencia*, (2009) ISSN 03781844.

**PONTIUS, R.G., SHUSAS, E. Y MCEACHERN, M.,** Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, ISSN 01678809. (2004) DOI 10.1016/j.agee.2003.09.008.

**POLANCO LOPEZ DE MESA, J.A.** TELEDETECCIÓN DE LA VEGETACIÓN DEL PÁRAMO DE BELMIRA CON IMÁGENES LANDSAT. *Dyna rev.fac.nac.minas* [en línea]. vol.79, n.171 [Citado el: 23 de Mayo de 2019. disponible en: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532012000100028&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532012000100028&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0012-7353.

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.** Geoinformática. *Manual de ArcGis 9.3*. [En línea] 26 de 01 de 2012. [Citado el: 03 de Mayo de 2019.] <ftp://ftp.puce.edu.ec/Facultades/CienciasExactas/Geoinformatica/MANUALES%20PARA%20LA%20OPTATIVA/MANUALES%20ARCGIS%209.3>.

**REBOLLEDO, S.,** "Conductividad eléctrica y salinidad". *Red agrícola* (2002)

**REYNOSO SANTOS, R., Et. Al.** Análisis de la dinámica del uso del suelo de la cuenca Metztlán en Hidalgo , México Analysis of land use dynamics in Metztlán watershed in Hidalgo , México. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, (2015) ISSN 1680-0338.

**RODRÍGUEZ-ERASO, N., Et. Al.** *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos*. S.l.: (2010)s.n. ISBN 9789588343426.

**RODRÍGUEZ VÁSQUEZ, A. F.** Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta . *Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta. Tesis de Maestría. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia*. . [En línea] 24 de

Julio de 2014. [Citado el: 02 de Febrero de 2019.] <http://www.bdigital.unal.edu.co/5241/>.

**ROMERO VALLEJO, S.** *Caracterización Física de Suelos Parte I*. México : Universidad Autónoma Metropolitana, 2010.

**ROY, P.S. Et. Al., 2010.** "Land Use and Land Cover Change: A Remote Sensing & GIS Perspective". *Journal of the Indian Institute of Science* [en línea], vol. 90:4, no. January, pp. 489-502. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/235987981>.

**RUÍZ, V., SAVÉ, R. Y HERRERA, A.,** "Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotenense Nicaragua, 1993-2011 " *Revista-Ecosistemas*. Vol.22. n°3 (2013), (España) pp. 117-123.

**RULLAN-SILVA, C.D., Et. Al.** "Clasificación no supervisada de la cobertura de suelo de la región Sierra de Tabasco mediante imágenes LANDSAT ETM +". *Universidad y ciencia* [online]. 2011, vol.27, n.1 [Consulta: 23 de mayo de 2019], pp.33-41. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792011000100003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792011000100003&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0186-2979.

**SALTOS SUASNAVAS, A. F.** *Evaluación de la degradación del suelo por el crecimiento de la Frontera Agropecuaria (tesis)(Maestría)*. Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.2017.pp. 16-23.

**SEGURA CASTRUITA, M. A., Et. Al.** "LOCALIZACIÓN DE SUELOS DE HUMEDAD RESIDUAL A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE: Clasificación Automática Supervisada de la Imagen". *Terra Latinoamericana* [en línea] 2003, 21 (Abril-Junio) : [Consulta: 24 de mayo de 2019] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57315595001>> ISSN

**SHOUP, W.** *Soil Quality*. USA: U.S. Route 15 improvement project, 2014. .

**SIG S.A. 2018.** ENVI. ENVI. [En línea] SIG S.A., 2018. [Citado el: 13 de Enero de 2019.] <http://www.sigsa.info/productos/envi>.

**SWAMI, S., TELKAR, S. Y KANT, K., 2017.** "Soil Biological Properties and Their Importance in Agricultural Production". *Biomolecule Reports-An International eNewsletter*, n° 4 (2017) (Brasil) pp 1-4.

**TALE, K.S. Y INGOLE, S., 2016.** "A Review on Role of Physico-Chemical Properties in Soil Quality". *Chemical Science Review and Letters*, Vol. 13. n°4 (2016) Amravati-India pp 57-66.

**THOWID, K.,** *Phisical properties of soil*. Atlantic Zone Programe, 2012. S.l.: s.n.

**USDA.** *Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigarions Report N42*. Washington DC. : United Stated Department of Agriculture, 1996.

**VALENCIA, JENNY.** *Sistematización de prácticas para la gestión del riesgo por la erupción del volcán Tungurahua*. [ed.] Departamento de Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Roma : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2010.

## ANEXOS

**ANEXO A** Análisis fisicoquímico de muestras de suelo.

<i>Tipo de Suelo</i>	<i>Muestra</i>	<i>pH</i>	<i>Conductividad Eléctrica</i>	<i>Densidad Real</i>	<i>Densidad Aparente</i>	<i>Porosidad</i>	<i>Materia orgánica</i>	<i>Carbono orgánico</i>	<i>Textura</i>
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	M2	6,63	,09	1,28	1,02	20,46	37,60	21,81	ArnFrc
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	M2.1	5,20	,20	1,33	1,02	23,90	3,91	2,27	FrcArc
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	M4	6,22	,24	1,79	1,09	39,25	11,66	6,76	FrcArn
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	M4.1	6,38	,15	1,22	1,04	14,51	6,01	3,48	FrcArn
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	A1	6,17	,14	1,55	1,03	33,21	8,65	5,02	FrcArn
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	A1.1	6,31	,07	1,43	1,11	23,53	11,97	6,94	FrcArn
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	A2	6,57	,08	1,75	1,09	37,86	12,88	7,47	FrcArn
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	A2.1	6,56	,04	1,24	1,04	15,94	2,52	1,46	FrcArn
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	P5	5,83	,08	1,59	1,02	35,56	2,95	1,71	FrcArn
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	P5.1	5,88	,29	1,44	1,04	27,86	4,12	2,39	FrcArn
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	B6	6,62	,07	1,02	1,07	5,02	7,38	4,28	FrcLim
<i>SIN COBERTURA SIN COBERTURA</i>	B6.1	5,88	,29	1,01	1,08	7,20	7,24	4,20	FrcLim
<i>CULTIVO</i>	M1	5,20	,25	1,18	,93	20,74	10,59	6,14	FrcArc
<i>CULTIVO</i>	P3	5,78	,52	1,20	,92	23,47	10,72	6,22	FrcArc
<i>CULTIVO</i>	M1.1	5,60	,20	1,06	1,07	,81	4,16	2,41	FrcArnArc
<i>CULTIVO</i>	M3	6,39	,13	1,17	1,16	1,23	14,15	8,21	FrcArnArc
<i>CULTIVO</i>	P3.1	5,70	,58	1,08	1,05	2,28	12,11	7,02	FrcArnArc
<i>CULTIVO</i>	M3.1	6,48	,13	1,21	1,02	15,58	11,80	6,84	FrcArn
<i>CULTIVO</i>	A4	6,54	,32	1,31	1,09	16,36	1,56	,90	FrcArn
<i>CULTIVO</i>	A4.1	6,50	,38	1,75	1,02	41,56	2,26	1,31	FrcArn
<i>CULTIVO</i>	P6	6,44	,37	1,17	1,13	2,86	1,37	,80	FrcArn
<i>CULTIVO</i>	P6.1	6,51	,44	1,20	1,03	13,82	1,28	,74	FrcArn

<i>CULTIVO</i>	B1	6,92	1,06	1,31	1,07	18,27	14,68	8,52	FrcArn
<i>CULTIVO</i>	B1.1	7,01	,52	1,73	1,01	41,72	1,69	,98	FrcArn
<i>BOSQUE</i>	M5	6,74	,37	1,43	1,09	23,86	3,65	2,12	Frc
<i>BOSQUE</i>	M5.1	6,75	,37	1,07	1,04	2,70	1,98	1,15	FrcArcLim
<i>BOSQUE</i>	P4	5,64	1,36	1,59	1,07	32,47	3,15	1,82	FrcArcLim
<i>BOSQUE</i>	A3	6,12	,54	1,45	1,06	26,59	33,82	19,62	FrcArc
<i>BOSQUE</i>	A3.1	5,96	,58	1,82	1,13	37,60	13,87	8,05	FrcArc
<i>BOSQUE</i>	P2	5,07	1,09	1,06	1,13	7,09	3,26	1,89	FrcArc
<i>BOSQUE</i>	B2	6,47	,42	1,41	1,09	22,71	3,50	2,03	FrcArc
<i>BOSQUE</i>	B2.1	6,44	,54	1,73	1,12	35,19	3,15	1,83	FrcArc
<i>BOSQUE</i>	B3	6,45	,34	1,15	,82	28,47	20,91	12,13	FrcArc
<i>BOSQUE</i>	P2.1	5,25	1,34	1,23	1,01	18,24	9,21	5,34	FrcArn
<i>BOSQUE</i>	B3.1	6,46	,33	1,34	1,05	21,51	6,45	3,74	FrcArn
<i>BOSQUE</i>	P4.1	5,88	1,41	1,29	1,06	17,86	4,19	2,43	FrcLim
<i>PÁRAMO</i>	M6	6,47	,44	1,57	1,02	35,22	4,20	2,44	ArnFrc
<i>PÁRAMO</i>	P1.1	5,14	,25	1,09	1,01	7,06	2,99	1,74	ArnFrc
<i>PÁRAMO</i>	M6.1	6,44	,37	1,09	1,02	6,70	3,74	2,17	Frc
<i>PÁRAMO</i>	B4	6,31	,24	1,24	1,23	,32	4,88	2,83	Frc
<i>PÁRAMO</i>	B4	6,09	,32	1,48	1,08	26,69	5,06	2,93	Frc
<i>PÁRAMO</i>	A5	5,09	,32	1,18	1,09	7,50	3,83	2,22	FrcArc
<i>PÁRAMO</i>	B4.1	6,32	,31	1,48	1,23	16,82	6,40	3,71	FrcArc
<i>PÁRAMO</i>	B4.1	6,18	,32	1,56	1,11	29,09	2,72	1,58	FrcArc
<i>PÁRAMO</i>	A5.1	5,64	,28	1,30	1,20	7,25	4,23	2,45	FrcArnArc
<i>PÁRAMO</i>	B5	7,11	,16	1,66	1,03	38,08	6,00	3,48	FrcArnArc
<i>PÁRAMO</i>	A6	4,60	,55	1,64	1,01	38,25	8,64	5,01	FrcArn
<i>PÁRAMO</i>	B5.1	6,98	,16	1,22	1,05	13,53	8,29	4,81	FrcArn
<i>PÁRAMO</i>	P1	5,04	,15	1,03	1,06	2,95	9,54	5,53	FrcArcLim
<i>PÁRAMO</i>	A6.1	4,80	,66	1,50	1,00	33,67	1,48	,86	FrcLim

\*Frc: franco; ArnFrc: areno franco; FrcArc: franco arcilloso; FrcArn: franco arenoso; FrcArcLim: franco arcillo limoso; FrcLim: franco limoso; FrcArnArc: franco areno arcilloso.

**ANEXO B Evidencias Fotográficas**

<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> 	<p>d)</p> 			
<p><b>NOTAS</b></p> <p>a) Muestreo de suelos en bosque.</p> <p>b) Muestreo de suelos en cultivo.</p> <p>c) Muestreo de suelos en el Tungurahua.</p> <p>d) Campamento en la laguna Patococha.</p>	<p align="center"><b>TRABAJO DE TITULACIÓN</b>  <b>TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</b>  <b>“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL</b>  <b>DEL CAMBIO DE COBERTURA Y</b>  <b>USO DEL SUELO EN LA CUENCA</b>  <b>BAJA DEL RÍO CHAMBO”</b></p>	<p align="center"><b>ESPOCH</b>  <b>FACUTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</b>  <b>ING. EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL.</b></p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="1499 1159 1656 1317"> <p><b>LAMINA</b></p> <p>1</p> </td> <td data-bbox="1656 1159 1843 1317"> <p><b>ESCALA</b></p> <p>1:10</p> </td> <td data-bbox="1843 1159 2016 1317"> <p><b>Fecha</b></p> <p>08/06/2019</p> </td> </tr> </table>		<p><b>LAMINA</b></p> <p>1</p>	<p><b>ESCALA</b></p> <p>1:10</p>	<p><b>Fecha</b></p> <p>08/06/2019</p>
<p><b>LAMINA</b></p> <p>1</p>	<p><b>ESCALA</b></p> <p>1:10</p>	<p><b>Fecha</b></p> <p>08/06/2019</p>				

a)	b)	c)	d)						
									
<p><b>NOTAS</b></p> <p>a) Toma de muestra con barreno.</p> <p>b) Cuarteo de muestra de suelo.</p> <p>c) Pesado de muestra de suelo.</p> <p>d) Muestras de suelo en labotarotio.</p>		<p><b>TRABAJO DE TITULACIÓN</b></p> <p><b>TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p><b>“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL SUELO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO CHAMBO”</b></p>	<p><b>ESPOCH</b></p> <p><b>FACUTAD DE CIENCIAS</b></p> <p><b>ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</b></p> <p><b>ING. EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL.</b></p> <table border="1" data-bbox="1499 1159 2016 1317"> <tr> <td data-bbox="1499 1159 1656 1195"><b>LAMINA</b></td> <td data-bbox="1656 1159 1843 1195"><b>ESCALA</b></td> <td data-bbox="1843 1159 2016 1195"><b>Fecha</b></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1499 1195 1656 1317">2</td> <td data-bbox="1656 1195 1843 1317">1:10</td> <td data-bbox="1843 1195 2016 1317">08/06/2019</td> </tr> </table>	<b>LAMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>Fecha</b>	2	1:10	08/06/2019
<b>LAMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>Fecha</b>							
2	1:10	08/06/2019							

a)



b)



c)



d)



**NOTAS**

- a) Torre de tamices.
- b) Conductímetro empleado.
- c) Determinación de materia orgánica.
- d) Picnómetros.

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
**“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL**  
**DEL CAMBIO DE COBERTURA Y**  
**USO DEL SUELO EN LA CUENCA**  
**BAJA DEL RÍO CHAMBO”**

**ESPOCH**  
**FACUTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**ING. EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL.**

LAMINA	ESCALA	Fecha
3	1:10	08/06/2019

a)



b)



c)



d)



**NOTAS**

- a) Tamizado de muestras
- b) Medición de pH
- c) Enfriamiento de muestras
- d) Determinación de textura.

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
**“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL**  
**DEL CAMBIO DE COBERTURA Y**  
**USO DEL SUELO EN LA CUENCA**  
**BAJA DEL RÍO CHAMBO”**

**ESPOCH**  
**FACUTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**ING. EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL.**

**LAMINA**  
4

**ESCALA**  
1:10

**Fecha**  
08/06/2019





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA**  
**EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**  
**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 25/06/2019

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres-Apellidos:</b> Alex Augusto Fernández Fierro
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ing. en Biotecnología Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Biotecnología Ambiental
<b>Documentalista Responsable:</b> Ing. Luis Alberto Caminos Vargas