

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TEMA:

**EFFECTOS DEL USO DEL SUELO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, EN
LAS CAPTACIONES UBICADAS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY,
PERTENECIENTES A LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE,
ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

RUBÉN DARÍO SUCUZHAÑAY GUAMÁN

CI: 030174634-3

DIRECTOR:

ING. ALEXANDRA ELIZABETH GUANUCHI QUITO. MSc.

CI: 010460466-5

CUENCA – ECUADOR

2017

RESUMEN

La presente investigación analizó como el uso de suelo (Vegetación arbustiva y pastizal) circundante a las captaciones de agua de la empresa pública municipal de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental del cantón Azogues, afecta a la calidad del agua captada para su potabilización. Mediante la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS) se generó un mapa que representa el grado de erosión hídrica dentro de la microcuenca. Posteriormente, se realizó una extracción de fragmentos de la FUPS para las zonas cercanas a las captaciones con el fin de establecer el grado de erosión asociada a las captaciones y determinar la relevancia de la erosión para cada captación.

Para determinar la relación que existe entre los diferentes usos de suelo y la disminución de la calidad del agua que llega a las captaciones de la empresa. Se logró mediante diversas pruebas de laboratorio, un análisis de varianza para cada variable, un análisis multivariado y análisis canónico discriminantes.

Al relacionar la FUPS con el uso y cobertura de suelo circundante a las captaciones se determinó que, en las quebradas que no tienen un grado de conservación adecuado se produce más erosión. Y al ser la quebrada Condoryacu la más conservada dentro de la microcuenca los datos de los análisis fisicoquímicos presentan niveles más bajos. Mientras que la quebrada Llaucay tiene la mayor extensión de pastizal siendo una zona ganadera se observa niveles altos de concentración de Coliformes totales y fecales, superando de esta manera a la normativa. Además, una constante en todas las quebradas es que el parámetro color verdadero excede a lo estipulado en la normativa como límite máximo. Por otro lado, se puede asegurar que, dentro de la microcuenca, no existen problemas de erosión ya que la mayor parte de su territorio se encuentra en categoría leve o moderada, según la clasificación establecida por la FAO en 1981.

Estableciéndose que las variables que más influyen en la calidad del agua de la microcuenca son: coliformes totales y fecales, las cuales están relacionadas al uso de suelo de toda la quebrada y no únicamente a la zona circundante.

Los datos fisicoquímicos y microbiológicos utilizados se obtuvieron durante el período de agosto del 2015 a agosto del 2016.

Palabras clave: Calidad del agua, captaciones, coliformes fecales, coliformes totales, FUPS, ANOVA, MANOVA.



ABSTRACT

The present study analyzed how the use of soil (shrub vegetation and pasture) around the water abstraction of the municipal public company of potable water, sewage and environmental sanitation of the canton Azogues affects the quality of the water captured for its purification. Through the Universal Soil Loss Equation (USLE) a map was generated that represents the degree of water erosion within the micro basin. Subsequently, extractions of USLE fragments were carried out for the areas near the catchments in order to establish the degree of erosion associated to the catchments and to determine the relevance of the erosion for each catchment.

To determine the relationship between the different land uses and the decrease in the water quality that reaches the company's catchments, a variety of laboratory tests were used, an analysis of variance for each variable, a multivariate analysis and discriminant canonical analysis.

When the USLE was related to the use and cover of soil around the catchments, it was determined that, in ravines that do not have an adequate degree of conservation, more erosion occurs. And since the Condoryacu stream is the most conserved within the micro-basin, the data of the physicochemical analyzes have lower levels. While the Llaucay creek has the largest pasture extension being a livestock area, high levels of total and fecal coliform concentrations are observed, thus exceeding the norm. In addition, a constant in all ravines is that the true color parameter exceeds what is stipulated in the regulation as a maximum limit. On the other hand, it can be ensured that within the micro-basin there are no erosion problems since most of its territory is in a mild or moderate category, according to the classification established by FAO in 1981.

It is established that the variables that most influence the water quality of the micro watershed are: total and fecal coliforms, which are related to the use of soil of the entire ravine and not only to the surrounding area.

The physicochemical and microbiological data used were obtained during the period from August 2015 to August 2016.

Keywords: Water quality, abstractions, fecal coliforms, total coliforms, USLE, ANOVA, MANOVA.



CONTENIDO

CAPÍTULO I	14
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. PROBLEMA	15
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4. Hipótesis.....	17
CAPÍTULO II	18
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. El suelo.....	18
2.1.1. Características del suelo.	18
2.2. Escorrentía.....	20
2.2.1. Escorrentía Superficial o Directa.....	20
2.2.2. Escorrentía hipodérmica o subsuperficial.....	20
2.2.3. Escorrentía Subterránea.....	20
2.3. La Erosión.	20
2.3.1. Procesos erosivos.....	21
2.3.2. Erosión Hídrica.	21
2.3.3. Factores que influyen a la erosión.	23
2.3.3.1. Hidrología.....	23
2.4. Fórmula universal de pérdida de suelo.....	24
2.4.1. Factores para determinar la pérdida del Suelo mediante la FUPS	24
2.4.2. Clasificación de Pérdidas de suelo	31



2.5. Ciclo Hidrológico.....	32
2.6. Calidad del Agua.....	34
2.6.1. Factores determinantes de la calidad del recurso hídrico.....	34
2.7. Factores antropogénicos y la contaminación del recurso hídrico.	38
2.7.1. Contaminación del recurso hídrico por factores agrícolas.	38
2.8. Ordenamiento territorial y la protección del recurso hídrico	38
2.9. InfoStat.	39
2.10. Sistema de Información Geográfico (SIG).	39
2.10.1. Determinación de la pérdida de suelo mediante el uso de sistema de información geográfica.....	40
2.10.2. Los Sistemas Integrados de Gestión (SIG) como una herramienta para la toma de decisiones	41
2.11. Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente	42
CAPÍTULO III	44
3. Área de Estudio	44
3.1. Ubicación política.....	44
3.2. Ubicación geográfica y extensión	44
3.3. Suelo	46
3.5. Clima	46
3.6. Población.....	46
CAPÍTULO IV	47
4. Materiales y métodos	47
4.1. Toma de datos.	47
4.2. Captaciones de la Empresa Emapal Ep.	48
4.3. Variables fisicoquímicas y microbiológicas que determinan la calidad de agua.....	51
4.4. Metodología establecida para realizar los muestreos fisicoquímicos y microbiológicos que determinan la calidad del agua.....	51



4.5. Determinación de la pérdida de suelo en la microcuenca del río Tabacay...	52
4.6. Estadísticas	77
CAPÍTULO V	79
5. RESULTADOS	79
5.1. Análisis fisicoquímico de las captaciones en la microcuenca del río Tabacay.....	79
5.2. Determinación de la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS).	83
5.2.1. Factor R	83
5.2.2. Factor K	85
5.2.3. Factor L*S.....	86
5.2.4. Factor C	87
5.2.5. Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS)	88
5.2.6. Extracción de las zonas búfer de las captaciones a partir del mapa digital de FUPS de la microcuenca del río Tabacay.....	89
5.3. Resultados de los análisis estadísticos.....	90
5.3.1. Análisis de Varianza (ANOVA) de los fragmentos de la FUPS, según el uso del suelo asociado al búfer extraído de las captaciones.	90
5.3.2. Análisis multivariado de varianzas (MANOVA) de los parámetros de calidad del agua versus el uso de suelo cercano a las captaciones.	91
5.3.3. Análisis de conglomerados de los parámetros de calidad del agua versus el uso de suelo cercano a las captaciones.....	92
5.3.4. Análisis de varianza para cada variable determinante de la calidad del agua versus el uso de suelo circundante a las captaciones.	93
5.3.5. Índice de correlación entre variables fisicoquímicas y microbiológicas que determinan la calidad del agua.	94
5.3.6. Análisis multivariado discriminante canónico de los parámetros de calidad de agua contra el uso de suelo circundante a las captaciones.	96
6. Conclusiones.....	97
7. Discusión.....	98
8. Recomendaciones.....	99



REFERENCIAS	100
ANEXOS	104

TABLA DE FIGURAS

Fig. 1 Triángulo de textura. (Gisbert Blanquer, Ibáñez Asensio, & Moreno Ramón, 2010)	19
Fig. 2 <i>Efectos de la pendiente (gradiente o longitud) sobre las pérdidas de suelo por escurrimiento, en lotes de igual superficie, con suelos coluviales, con una precipitación promedio de 2.701 mm Tomado de (Cenicafé, 1975)</i>	29
Fig. 3 Ciclo hidrológico tomado de (Sánchez J. , 2004)	33
Fig. 4 Secuencia de actividades para la determinación de la pérdida de suelo. (Autor)	40
Fig. 5 Ubicación de a) Provincia del Cañar b) Microcuenca del río Tabacay dentro de la provincia de Cañar (Autor)	44
Fig. 6 Quebradas de la microcuenca del río Tabacay (Autor)	45
Fig. 7 Captación de Nudpud (Emapal Ep, 2016)	48
Fig. 8 Captación de Llaucay (Emapal Ep, 2016)	49
Fig. 9 Captación de Cóndor Yacu (Emapal Ep, 2016)	50
Fig. 10 Captación de Rosario (Emapal Ep, 2016)	50
Fig. 11 Captación de Rubies (Emapal Ep, 2016).....	51
Fig. 12 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas y captaciones. (Autor)	53
Fig. 13 Mapa de texturas de la microcuenca del río Tabacay (Autor)	58
Fig. 14 Valores del factor K en la microcuenca del río Tabacay. (Autor)	67
Fig. 15 Mapa de pendientes de la microcuenca del río Tabacay (Autor)	69
Fig. 16 Grado de la pendiente en porcentaje (S) de la microcuenca del río Tabacay. (Autor)	71
Fig. 17 Factor de longitud de la pendiente (L) de la microcuenca del río Tabacay (Autor)	73
Fig. 18 Mapa de Cobertura de suelo en la microcuenca del río Tabacay. (Autor)	76
Fig. 19 Media de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la captación de Llaucay. (Autor).....	79
Fig. 20 Media de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la captación de Nudpud. (Autor).....	80
Fig. 21 Media de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la captación de Rosario. (Autor).....	80
Fig. 22 Media de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la captación de Condoryacu. (Autor).....	81

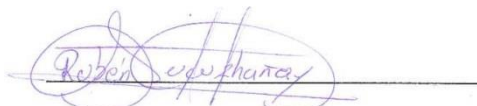


Fig. 23 Media de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la captación de Mapayacu. (Autor).....	82
Fig. 24 Mapa del factor R en la Microcuenca del río Tabacay (Autor)	84
Fig. 25 Mapa del factor K en la Microcuenca del río Tabacay (Autor).....	85
Fig. 26 Mapa de L*S microcuenca del río Tabacay (Autor)	86
Fig. 27 Mapa del factor C en la Microcuenca del río Tabacay (Autor)	87
Fig. 28 Mapa de Pérdida de Suelo (FUPS) en la Microcuenca del río Tabacay (Autor)	89
Fig. 29 Valores medios de la FUPS para cada captación (Autor)	90
Fig. 30 Análisis de conglomerados de los parámetros de calidad del agua versus el uso de suelo cercano a las captaciones (Autor)	93
Fig. 31 Análisis de varianza de la alcalinidad. (Autor)	93

CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, *Rubén Darío Sucuzhañay Guamán*, autor de la tesis "EFECTOS DEL USO DEL SUELO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, EN LAS CAPTACIONES UBICADAS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY, PERTENECIENTES A LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES.", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 14 de junio de 2017



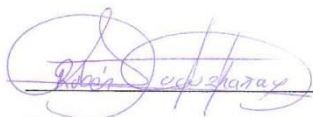
Rubén Darío Sucuzhañay Guamán

C.I: 0301746343

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, *Rubén Darío Sucuzhañay Guamán*, autor de la tesis "EFECTOS DEL USO DEL SUELO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, EN LAS CAPTACIONES UBICADAS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY, PERTENECIENTES A LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 14 de junio de 2017



Rubén Darío Sucuzhañay Guamán

C.I: 0301746343

DEDICATORIA

A mis queridos padres Manuel y Sonia, pilares fundamentales en mi formación humana y profesional, fuente de inspiración, fortaleza, ejemplo de lucha y amor eterno.

A mis hermanos Omar y Alejandro por su apoyo en este largo camino, por su paciencia y comprensión, quienes con su aliento y enseñanzas me han fortalecido para continuar el camino con valentía y decisión.

A mis familiares y amigos que siempre estarán presentes en mi corazón.

Gracias por haberme ayudado a culminar esta importante etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Es un placer para mí poder agradecer sinceramente a las siguientes personas e instituciones.

A la Ingeniera Alexandra Guanuchi, en su calidad de directora de tesis, por el apoyo y tiempo brindado en la realización del estudio.

Al Ingeniero Darío Zhiña, que, como amigo personal, contribuyó con valiosas sugerencias para enriquecer esta tesis.

A la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues (EMAPAL Ep.) y al personal de la unidad de gestión ambiental por el apoyo brindado.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente estuvieron relacionadas con el presente estudio.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, las fronteras agrícola y ganadera están en constante expansión hacia las zonas altas de las microcuencas, lo que provoca una disminución en la extensión territorial de páramo y bosques primarios, a causa de un deterioro y pérdida de los recursos naturales como el suelo, agua, flora, fauna y vegetación.

Para este caso de estudio, en la microcuenca del río Tabacay el uso inadecuado y mal manejo de los recursos naturales han provocado la disminución de especies nativas de flora y fauna, producido por el avance de la frontera agrícola y ganadera, dejando de esta manera sin áreas de protección a las fuentes de agua, y un visible cambio de uso de suelo.

Existiendo en la parte alta de la microcuenca parches de páramo y vegetación natural, que se encuentran ubicados en la parte alta de las quebradas de Rosario y Condoryacu, estos parches influyen en la calidad de agua, mientras que en las quebradas de Llaucay, Nudpud y Mapayacu presentan una disminución en la calidad de agua debido a que muestran un avance significativo en el aumento de la frontera agrícola y ganadera.

A nivel nacional el cálculo de la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS) es un método ya extendido a nivel académico y gubernamental como una herramienta clave para determinar el grado de erosión hídrica dentro de distintas microcuencas y cuencas hidrográficas como es el caso de estudio realizado por Julio Javier Jaramillo Vélez dentro de la subcuenta del río Portoviejo en el año 2015. Pero este análisis se ha quedado únicamente en el grado de erosión hídrica, por este motivo en el presente trabajo se lo relaciona con la calidad del agua, para determinar su influencia en la misma y determinar cómo afecta el uso de suelo en la calidad del agua en las captaciones de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues (EMAPAL EP).

Al analizar esta problemática es necesario mencionar que se debe tomar en cuenta que los bosques adecuadamente gestionados proporcionan importantes servicios ambientales, como: proteger los suelos, mitigación al cambio climático, regulación del clima y los ciclos del agua, conservan la biodiversidad y constituyen el hogar de múltiples especies animales y vegetales. Las fuentes de agua dulce más sostenibles y de mejor calidad, se originan en los ecosistemas forestales naturales (FAO O. d., 2016) además de generar cohesión social y prevenir conflictos.

Para una adecuada gestión de los bosques es necesario comprender la dinámica ecológica, ambiental, económica y socio-cultural que rodea a los

ecosistemas forestales por parte de las comunidades locales para una adecuada toma de decisiones. De igual manera se requiere el fortalecimiento de políticas públicas, programas y servicios, que permitan mejorar las condiciones de vida de los pobladores, así como de un correcto manejo de los ecosistemas para que se beneficien las generaciones presentes y futuras, conociendo la situación actual y que problemas se están generando con la finalidad de mitigar sus consecuencias.

En años anteriores, las distintas problemáticas que afectan el uso de suelo o la gestión de los recursos naturales como: la deforestación, el avance de la frontera agrícola y ganadera y las malas prácticas agrícolas, no fueron tomadas con la importancia del caso. Tampoco se ha hecho valoraciones previas en las que se integren los factores abióticos, bióticos y antropogénicos. Debido a esto, la investigación se realizó con la finalidad de conocer como las distintas actividades antropogénicas (usos del suelo) afecta a la calidad del agua de las quebradas de la microcuenca del río Tabacay y posteriormente llegan a las captaciones de la empresa disminuida su calidad en sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.

Para la realización del estudio se procedió al cálculo de la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS) con la finalidad de determinar el grado de erosión hídrica dentro de la microcuenca y posteriormente se realizó el cálculo de la varianza para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de cada una de las captaciones, además de una análisis multivariado y un análisis canónico discriminante, con la finalidad de determinar qué parámetros son los más influenciados por el uso de suelo.

Permitiendo conocer cuáles son las variables fisicoquímicas o microbiológicas que más influyen en la disminución de la calidad del agua que llega a las captaciones de la empresa, diferenciando la calidad del agua de una quebrada con intervención antrópica y otra que en su mayoría ha sido conservada que presenta parches de páramo y bosque nativo. Siendo los coliformes totales y fecales los parámetros que más sobresalieron en un determinado uso de suelo en este caso de pastizal, producto de una gran actividad ganadera y siendo esta la principal razón de contaminación del agua en la quebrada de Llaucay.

1.1. PROBLEMA

En la ciudad de Azogues provincia del Cañar se encuentra ubicada la microcuenca del río Tabacay de la cual la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues Emapal Ep. Capta 220,3 litros de agua por segundo, provenientes de las captaciones ubicadas en las quebradas de Nudpud, Llaucay, Condoryacu, Rosario, Rubies y Corazón Hurco. (Emapal Ep, 2016)

En la zona alta de la microcuenca del río Tabacay se encuentran ubicadas varias comunidades como son: Saguín, Mirapamba, Monjas, Comuna de Virgen

Pamba, Nudpud y Llaucay. Las cuales son comunidades agrícolas y ganaderas que utilizan el agua cruda para estas actividades, siendo la agricultura y ganadería parte de su sustento de vida. Además, se utiliza el agua para el consumo humano y saneamiento ambiental; estas comunidades se encuentran localizadas en una cota superior a la que se hallan emplazadas las captaciones de la empresa por lo que sus actividades diarias pueden causar un deterioro de la calidad del agua en su composición fisicoquímica y microbiológicas por acción de un proceso de erosión hídrica.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se encuentra enmarcado dentro del Art. 14 de la constitución de la República del Ecuador que dice “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados” (Constituyente, 2008).

Las distintas actividades que generan la degradación del suelo suelen darse por su uso intensivo, las actividades de tipo extensivas (como la agricultura y ganadería tradicional), el crecimiento demográfico y el aumento en la actividad industrial han redundado en las pérdidas de suelo orgánico. También ha afectado la pérdida de nutrientes, de ecosistemas, y en la capacidad de almacenamiento de agua, así como su contaminación directa por fuentes generadas por estas actividades. (FAO, 2000)

El requerimiento diario de agua potable es de 2 a 5 litros por persona, mientras que en la producción de alimentos para satisfacer los requerimientos diarios necesita entre 2000 a 5000 litros de agua per cápita. Como resultado, la agricultura sin duda es el mayor usuario de agua, dado que representa casi el 70% de todas las extracciones, hasta un 95% en los países en desarrollo, con una demanda que va en aumento. (FAO, Cubero, & MAG, 1996).

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues EMAPAL EP. con su dirección de Gestión Ambiental, lleva a cabo proyectos de pago por servicio ambiental, con los propietarios de predios colindantes a las quebradas que abastecen a las captaciones de agua, con la finalidad de mejorar la calidad de agua que llega a las captaciones conservando el área boscosa en las márgenes de las quebradas y reforestando las áreas que se encuentran desprotegidas con especies nativas. Estas iniciativas han permitido minimizar la vulnerabilidad hídrica en ciertas zonas.

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues EMAPAL EP. en conjunto con las diferentes juntas de

agua que captan y utilizan el agua proveniente de la microcuenca, deben tener una preocupación constante por los efectos del uso del suelo sobre la calidad del agua que estas captan para posterior tratamiento, además de desarrollar una vigilancia sistemática de la calidad de agua que va a ser tratada para el consumo humano y de igual manera la calidad del agua en el río Tabacay.

El presente estudio pretende contribuir al conocimiento actual del estado de la calidad de agua en las captaciones ubicadas en la microcuenca del río Tabacay, al evaluar su condición fisicoquímica y biológica mediante la utilización de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y el cálculo de la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo; que permiten la estimación del nivel de influencia en la contaminación presente en el agua captada.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de las actividades antropogénicas en el suelo sobre la calidad del agua, en las captaciones pertenecientes a la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues ubicadas en la microcuenca del río Tabacay.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que influyen en la calidad del agua de las captaciones en el área de estudio, mediante un análisis estadístico.

Determinar el rango de variación de la susceptibilidad a la erosión del área de estudio mediante la fórmula universal de pérdida de suelo empleando el software ArcGis 10.

Calcular el grado de influencia antropogénica a la calidad del agua de las captaciones, relacionados a las diferentes variables que determinan la calidad del agua en los rangos de susceptibilidad a la erosión presentes en el área de estudio.

Generar una línea base de la calidad de agua y los rangos de susceptibilidad a la erosión del suelo como referencia para constatar si los programas y proyectos implementados por la empresa EMAPAL EP cumplen con su finalidad.

1.4. Hipótesis

El uso de suelo circundante a las captaciones de la empresa EMAPAL Ep. no influye en los parámetros de calidad de agua.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. El suelo.

El suelo es un medio poroso formado en la superficie terrestre mediante el proceso de meteorización durante largos períodos, aportados por los fenómenos biológicos, geológicos e hidrológicos. Los suelos están sometidos a los flujos de masa y energía con la atmósfera, la biósfera y la hidrósfera, su composición es altamente variable y también cambia con el tiempo. Además, el suelo es un sistema dinámico de 3 componentes: partículas minerales, detritos y organismos que se alimentan de éstos. (MAE, Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA), 2015)

2.1.1. Características del suelo.

La cantidad de agua retenida por el suelo, así como su absorción depende de manera directa de algunas características del suelo, por lo cual es necesario conocerlas. (Reyes, 2006)

2.1.1.1. Porosidad.

La porosidad del suelo hace referencia al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos, por lo general el volumen del suelo está conformado por 50% de materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y el 50% restantes de espacios porosos. Dentro de los espacios porosos se pueden distinguir macro y micro poros donde el agua, nutrientes, aire y gases pueden retenerse o circular. (FAO, Cubero, & MAG, 1996)

2.1.1.2. Textura.

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. (FAO, Cubero, & MAG, 1996)

2.1.1.2.1. Triángulo de texturas

El triángulo de texturas de la USDA es una herramienta para obtener las clases texturales en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla. Es un triángulo equilátero, en el que cada lado se sitúa cada uno de las fracciones cuyo valor va desde cero al 100 de la anterior, siempre según las manecillas del reloj. (Gisbert Blanquer, Ibáñez Asensio, & Moreno Ramón, 2010)

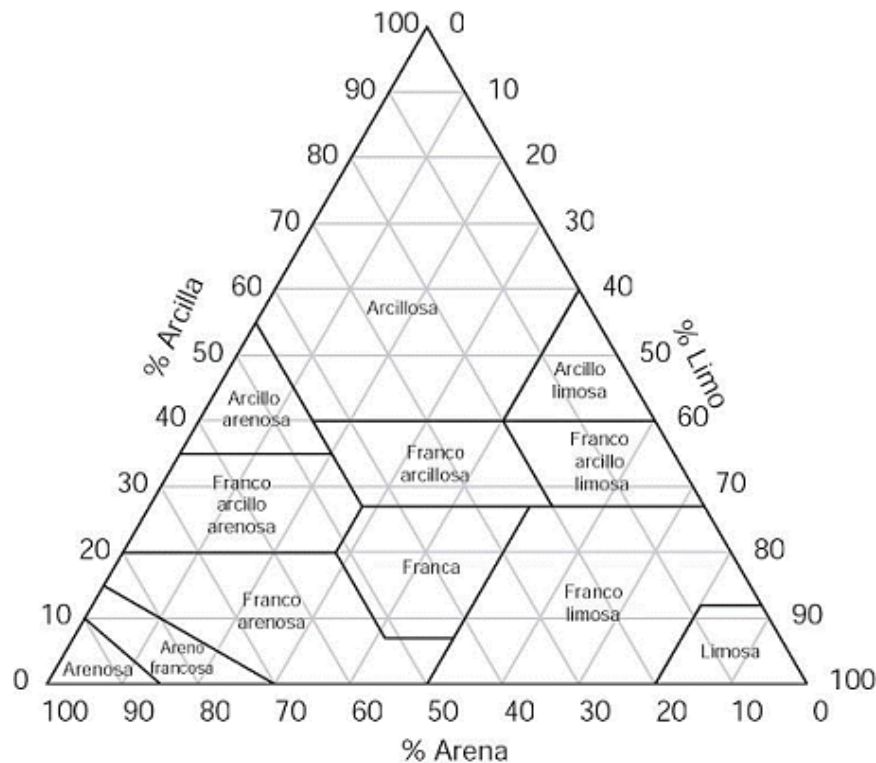


Fig. 1 Triángulo de textura. (Gisbert Blanquer, Ibáñez Asensio, & Moreno Ramón, 2010)

2.1.1.3. La estructura.

Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y unidades de mayor tamaño. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas. (FAO, 2016)

2.1.1.4. La Profundidad.

La profundidad del suelo es un factor limitante para el desarrollo de las raíces y de disponibilidad de humedad y nutrimentos para las plantas, afectando además la infiltración y las opciones de labranza. Cuanto más superficial es un suelo, más limitados son los tipos de uso que puede tener y más limitado será también el desarrollo de los cultivos. (FAO, 2000)

2.2. Escorrentía.

Es la parte de la precipitación que llega a alimentar a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca. (Master & Ela, 2008)

Existen 3 tipos de escorrentías:

- Escorrentía Superficial o Directa.
- Escorrentía Hipodérmica o subsuperficial.
- Escorrentía Subterránea.

2.2.1. Escorrentía Superficial o Directa.

Es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. Y esto se produce cuando la capacidad de infiltración es inferior a la intensidad de la lluvia, el agua comenzará a moverse por la superficie del terreno. Se forma una capa delgada de agua. Ésta se mueve por la acción de la gravedad según la pendiente del terreno. (Master & Ela, 2008)

2.2.2. Escorrentía hipodérmica o subsuperficial.

Es el agua de precipitación que, habiéndose infiltrado en el suelo, se mueve sub horizontalmente por los horizontes superiores para reaparecer súbitamente al aire libre como manantial e incorporarse a microsurcos superficiales que la conducirán a la red de drenaje. (Master & Ela, 2008)

2.2.3. Escorrentía Subterránea.

Es la precipitación que se infiltra hasta el nivel freático, desde donde circula hasta alcanzar la red de drenaje. La Escorrentía Superficial es la más rápida de todas y la Escorrentía Subterránea la más lenta (del orden del m/h). (Master & Ela, 2008)

2.3. La Erosión.

La erosión del suelo consiste en la remoción, arranque y transporte de los materiales que constituyen la capa más superficial del suelo, sea cual sea el agente responsable: agua, viento, hielo, actuaciones humanas. Como resultado de los procesos erosivos, el suelo manifiesta un descenso neto de su fertilidad natural y productividad biológica. (Sánchez J. G., 1993)

2.3.1. Procesos erosivos.

Según lo expone FAO, Cubero D & MAG (1996), dentro de los procesos erosivos se puede encontrar los siguientes:

- Desprendimiento
- Transporte
- Sedimentación

2.3.1.1. Desprendimiento

Es el impacto causado por las gotas de lluvia al colisionar con el terreno descubierto que produce una desagregación de los componentes del suelo. Esto permite un desprendimiento de partículas del mismo.

2.3.1.2. Transporte

Si la cantidad de lluvia sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo, se produce un escurrimiento superficial que arrastra las partículas desprendidas por la acción de las gotas de lluvia. Cuando el flujo del agua alcanza la velocidad erosiva, ocurre un desprendimiento acelerado de los agregados del suelo que provoca la erosión en surcos o cárcavas.

2.3.1.3. Sedimentación

Se da cuando el poder de escurrimiento disminuye. Sucede en partes planas del terreno o cerca del cauce de los ríos – especialmente en lugares con obstáculos, en represas y en el mar.

2.3.2. Erosión Hídrica.

La erosión hídrica es la acción del desprendimiento de las partículas del suelo y su transporte por el agua que se escurre sobre el suelo, cuando no hay más energía para el transporte ocurre el proceso de sedimentación de las partículas.

La erosión bajo vegetación natural es generalmente insignificante o tolerable, la tasa de suelo no excede la tasa de formación natural de los suelos que varía de 2 a 11 Ton/ha/año.

En cambio, bajo uso agrícola o ganadero está ocurriendo en muchos casos una erosión acelerada causada principalmente por el manejo inadecuado de las tierras y la presión de la población. Esta erosión excede la tasa de formación del suelo. (FAO, Cubero, & MAG, 2000)

2.3.2.1. Formas de Erosión Hídrica.

- Erosión por salpique
- Erosión laminar
- Erosión en surcos
- Erosión en cárcava
- Remoción de masas

2.3.2.1.1. Erosión por salpique.

La erosión por salpique comienza con las gotas de lluvia y se lo define como la acción destructiva de la lluvia al impactar sobre el suelo, son consideradas como el principal factor causante de la desintegración de los agregados del suelo.

Las partículas de suelo se desplazan por la acción salpicadora de las gotas de lluvia a distancias cortas, por lo tanto, la erosión por salpique es un factor importante en el desprendimiento de las partículas de suelo no así en su desplazamiento, al mismo tiempo el impacto de las gotas produce un rompimiento de las partículas dejando expuestas y en la superficie a las más finas. (FAO, Cubero, & MAG, 2000)

2.3.2.1.2. Erosión laminar.

Esta forma de erosión ocurre en terrenos con pendientes uniformes y suaves cuando la cantidad de agua excede a la cantidad de infiltración de suelos y forma una película delgada de agua. La erosión laminar separa las partículas de suelo desprendidas por las gotas de lluvia dejando en su lugar las partículas más gruesas y llevándose consigo las más pequeñas las cuales en mayor grado determina la fertilidad de suelo. (FAO, Cubero, & MAG, 2000)

2.3.2.1.3. Erosión en surcos.

El agua en muy pocos casos recorre grandes distancias en forma de capas homogéneas características de superficies lisas y pendientes uniformes. La superficie de cultivo casi siempre es irregular presentando elevaciones y depresiones. El agua lluvia se concentra en las pequeñas depresiones formando corrientes estas acumulaciones de agua de escorrentía arrastran y transportan las partículas de suelo formando pequeñas zanjas o surcos.

Estos surcos se forman en dirección de la pendiente (hacia abajo) indicando las zonas de mayor concentración de agua.

La erosión en surcos adquiere una mayor gravedad cuando caen lluvias intensas en suelos desprovistos de vegetación y con alta susceptibilidad al transporte por el agua de escorrentía (terrenos recién labrados). (FAO, Cubero, & MAG, 2000)

2.3.2.1.4. Erosión en cárcava.

Lluvias tras lluvias las pequeñas zanjas o surcos se van ampliando con el movimiento de las corrientes de la escorrentía. Este tipo de erosión se produce cuando existe una mayor concentración en el escurrimiento debido a las irregularidades del terreno que permite la conjugación de varios surcos. La erosión en cárcavas remueve tan profundamente el suelo que el terreno no puede nivelarse con instrumentos de labranza ordinarios. (FAO, Cubero, & MAG, 2000).

2.3.2.1.5. Remoción de masas.

Se han concentrado aquí aquellos casos donde se desplazan masas considerables de suelo y roca sobre distancias relativamente cortas bajo la acción de la gravedad y en mayor o menor grado de la cantidad de agua. (FAO, Cubero, & MAG, 2000)

2.3.3. Factores que influyen a la erosión.

2.3.3.1. Hidrología

La lluvia y el escurrimiento proporcionan la energía básica en el proceso de erosión. Mientras la primera rompe la estructura del suelo, el segundo erosiona y acarrea el material sólido. (Sánchez J. G., 1993)

2.3.3.2. Pendiente y topografía.

La erosión es función directa de las pendientes y las longitudes recorridas por el escurrimiento superficial. Es decir, a mayores pendientes y longitudes recorridas mayor erosión y viceversa. (Sánchez J. G., 1993)

2.3.3.3. Erosionabilidad del suelo.

Por su naturaleza, algunos suelos son más susceptibles que otros a erosionarse y a ser transportados. La granulometría y la presencia de materia orgánica influyen en la resistencia a la erosión y al transporte. Las primeras partículas que se mueven son las más finas, y luego, conforme aumenta la energía de escurrimiento, y se forman los surcos y las cárcavas, se mueven las partículas más grandes. (Sánchez J. G., 1993)

2.3.3.4. Prácticas de conservación de suelo.

Cuando se ha cambiado la vegetación del suelo, y éste se usa para labores agrícolas, la erosión del suelo se acelera. Sin embargo, en la medida en que se realicen adecuadamente las labores agrícolas (rotación de cultivos, siembra en contorno, etc.). Y las prácticas de conservación de suelos (terrazas, vías vegetadas, cultivo en fajas, etc.) disminuyen de manera significativa la erosión del material fértil. (Sánchez J. G., 1993)

2.3.3.5. Cobertura vegetal.

Este es uno de los factores más importantes en la erosión de los suelos pues condiciona de manera determinante el aporte de sedimentos. Además de la vegetación activa que cubre al suelo, se incluyen los residuos de plantas muertas o coberturas de otro tipo utilizadas para protección. (Sánchez J. G., 1993)

Las raíces de las plantas y, en especial, los sistemas radicales de los pastos y árboles, mantienen el suelo en su sitio e incrementan la infiltración. Un sistema radicular bien establecido de pastos puede reducir la erosión en un 75%. (Haan, Johnson, & Brakensiek, 1982)

2.4. Fórmula universal de pérdida de suelo.

La Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS), es un modelo paramétrico creado para estimar la pérdida promedio anual de suelo en tierras agrícolas. Fue formulado por Wischmeier y Smith, en el año 1965. Es un modelo matemático empírico, que utiliza información sobre precipitación, suelo, pendiente del terreno, y de uso y manejo del suelo y combina la información proveniente de la investigación relacionada con la erosión hídrica, para proporcionar datos de diseño en los planes de conservación (Wischmeier & Smith, 1978).

2.4.1. Factores para determinar la pérdida del Suelo mediante la FUPS

La USLE es un modelo diseñado para predecir la cantidad de pérdida de suelo por escurrimiento en áreas específicas bajo determinados sistemas de manejo y cultivos. La fórmula universal de pérdida de suelo Wischmeier & Smith (1978), está planteada de la siguiente manera en el sistema métrico internacional, como:

(1)

$$E = R * K * (L * S) * C * P$$

Donde:

E, es la pérdida de suelo en (Ton/ha*año)

R, es el factor erosividad de la lluvia en (Mj*mm/ha*año)

K, es el factor erosionabilidad del suelo en (Ton/ha)/(Mj*mm/ha*h)
 L, es el factor longitud del terreno (adimensional).
 S, es el factor pendiente del terreno (adimensional).
 C, es el factor cobertura y manejo de la vegetación (adimencional).
 P, es el factor prácticas de conservación (adimensional).

El cálculo de la erosión actual se obtiene a través de la FUPS, efectuando la multiplicación de todos los factores que la conforman: $R * K * LS * C * P$. En cuanto a la erosión potencial se puede obtener a partir de la FUPS multiplicando sólo tres de sus factores $R * K * LS$.

La estimación de la erosión hídrica requiere de información temática como suelos, clima, pendiente y cobertura y uso de la tierra, la cual, se automatiza a través del sistema de información geográfico y mediante análisis espacial (superposición) se obtiene un mapa resultante que indica los rangos de erosión. (Sánchez J. G., 1993)

2.4.1.1. Factor R

Este factor representa la potencia del aguacero para erosionar superficialmente el suelo. Se lo considera un índice que expresa la torrencialidad de las precipitaciones. Fue establecido por Wischmeier en 1959, tras analizar datos de la distribución del tamaño de las gotas de lluvia, y la velocidad de la gota de lluvia, provenientes de una serie de investigaciones.

El factor de erosión pluvial (R) se define como el producto de la energía cinética (EC) de un aguacero por su máxima intensidad en 30 minutos, dividido 100. La ecuación (2) permite calcular su valor.

(2)

$$R = \frac{EC * I_{30}}{100}$$

Dónde:

- **EC:** Energía cinética
- **I₃₀:** Máxima intensidad en 30 minutos

La energía cinética del aguacero, en J.m⁻², está expresada por la ecuación

(3)

$$EC = \sum_{j=1}^n (210.2 + 89 \log I) * (I * T)$$

Dónde:

- **(210,2 +89 log₁₀ I):** representa la energía cinética del aguacero de intensidad por cm de lluvia y m^2 de superficie ($J * cm^{-1} * m^{-2}$)
- **T:** Período de tiempo, en horas, para intervalos homogéneos de lluvia durante el aguacero.
- **I:** Intensidad del aguacero en los intervalos citados, en ($cm * h^{-1}$).

Entonces, reemplazando en la ecuación **(3)** la EC, el factor R se puede calcular de la siguiente forma:

(4)

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n (210.2 + 89 \log I) * (I * T) * I_{30}}{100}$$

El factor R toma diferentes valores según las regiones climáticas del planeta, alcanzando valores cercanos a 100 (en áreas con baja precipitación) y hasta 2.500 ($J * cm * m^{-2} * h^{-1}$) en zonas de alta intensidad y cantidad de precipitación. (Gaspari, Rodríguez Vagaría, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

2.4.1.1.1. Método Alternativo

En las zonas donde la disponibilidad de estaciones meteorológicas que no cuenten con registros continuos de pluviografía. Lo usual es disponer de datos diarios o mensuales, para lo cual existen metodologías complementarias que tienden a buscar la determinación del factor R a partir de dicha información. Este método se basa en el Índice de Fournier (IF), el cual emplea para sus cálculos las precipitaciones totales mensuale, utilizando la siguiente ecuación de la forma:

(5)

$$IF = \frac{p^2}{P}$$

Donde:

- **p:** precipitación del mes más lluvioso en (mm)
- **P:** Total de agua caída (mm)

El Índice Modificado de Fournier (IMF) elaborado por (Arnoldus, 1978), que se especifica como:

(6)

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Donde:

- **pi**: precipitación mensual del mes “i” el cual va de enero a diciembre del correspondiente año.
- **P**: Total de agua caída (mm)

En este contexto es necesario efectuar ajustes de regresión entre el factor R calculado por el método FUPS y el correspondiente IF o IFM. Para ello se requiere al menos 3 años de datos. (Mancilla Escobar, 2008).

Tabla 1 Categorización de la erosividad (R).

MJ*mm/Ha*H*Hrs*año	Factor R
0 – 50	Bajo
50 – 550	Moderado
550 – 1000	Alto
Mayor a 1000	Muy alto

Fuente: (Fournier, 1960).

2.4.1.2. Factor K

La erodabilidad del suelo está representada por el factor K que expresa la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado y está relacionado con la estabilidad estructural del mismo. Se calcula a partir del porcentaje de las distintas fracciones granulométricas, porcentaje de materia orgánica, permeabilidad y estructura, siendo sus unidades de medida expresadas en ($Mg * m^2 * h * ha^{-1} * J^{-1} * cm^{-1}$).

(7)

$$100 * K = [10^{-4} * 2.1 * M^{1.14} * (12 - a) + 3,25 * (b - 2) + 2,5 * (c - 3)]$$

Siendo:

M = factor representativo de la textura (% limo + % arena muy fina) * (100 - % arcilla), expresándose también como:

(% partículas entre 0,002 y 0,1 mm) * (% partículas entre 0,002 - 2,0 mm)

a = Porcentaje de materia orgánica.

b = Indica la estructura del suelo.

1. Gránulo muy fino y grumo muy fino (< 1 mm)
2. Gránulo fino y grumo medio (1 - 2 mm)
3. Gránulo medio, grumo medio (2 - 5 mm) y gránulo grueso (5 - 10 mm)

4. Gránulo liso, prismático columnar y muy grueso (> 10 mm).

c = Clase de permeabilidad del perfil del suelo.

1. Rápida o muy rápida
2. Moderadamente rápida
3. Moderada
4. Moderadamente lenta
5. Lenta
6. Muy lenta (Wischmeier & Smith, 1978)

El factor K se puede estimar a partir de las curvas de conductividad hidráulica del suelo. Se puede utilizar la ecuación **(8)**, con el fin de simplificar la ecuación, prescindiendo de los términos donde aparecen los factores b y c, obteniendo un K simplificado.

(8)

$$K_{\text{simplificado}} = 10^{-6} * 2.71 * M^{1.14} * (12 - a)$$

El Factor K se puede determinar a partir de datos provenientes de análisis de suelo, principalmente los referidos a la granulometría y al contenido de materia orgánica, y en función de las características propias de cada suelo. (Gaspari, Rodríguez Vagaría, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

2.4.1.3. Factor L y S

La longitud de pendiente y el gradiente de la pendiente son los dos elementos que conforman el factor topográfico (LS).

El efecto de la pendiente sobre la pérdida de suelo por escorrentía fue comprobado experimentalmente en lotes de igual área, con suelos coluviales, con una precipitación media anual de 2701 mm, resultando aumentos progresivos en cantidad de suelo erodado a medida que aumenta el grado y longitud de pendiente, como se representa en la Fig. 2. (Henao, 1988).

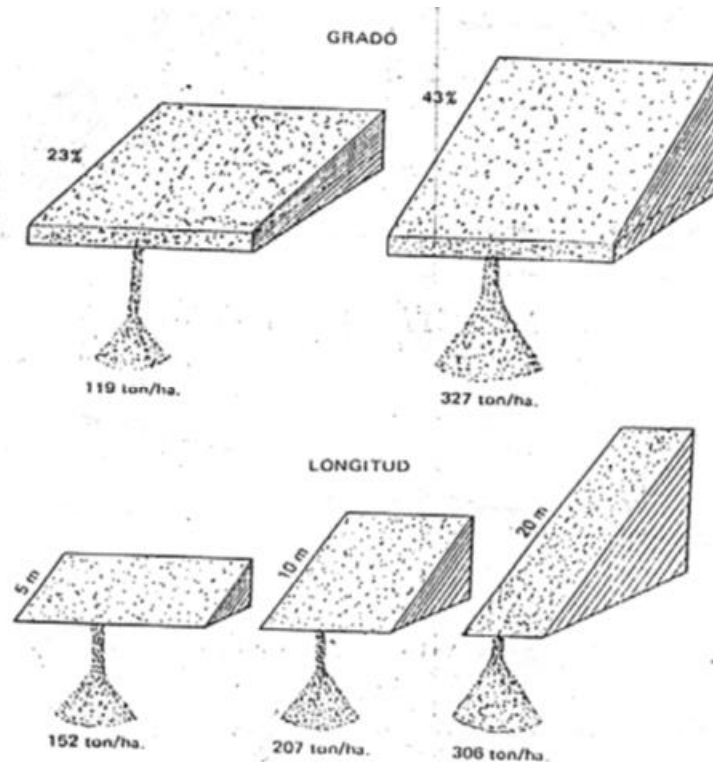


Fig. 2 Efectos de la pendiente (gradiiente o longitud) sobre las pérdidas de suelo por escurrimiento, en lotes de igual superficie, con suelos coluviales, con una precipitación promedio de 2.701 mm Tomado de (Cenicafé, 1975)

En la práctica, la longitud de la pendiente (L) es la distancia entre el punto más alto de caída de la gota de lluvia y el punto donde la pendiente disminuye hasta dar comienzo a la deposición de los sedimentos. El Factor gradiante (S), es la relación entre la pérdida de suelo con un determinado gradiante. Para lograr el factor LS Wischmeier y Smith (1978) definieron parcelas con dimensiones con L de 22,1 m y 9 %, a igualdad de los demás factores de la ecuación FUPS.

El factor LS integra longitud y gradiante, y se calcula mediante las ecuaciones (9) y (10), dependiendo de los valores de la pendiente del terreno, en áreas con pendientes menores al 9 % y en áreas con pendientes mayores al 9 %, respectivamente. (Gaspari, Rodríguez Vagaría, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

(9)

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^{0.3} * \left(\frac{0.43 + 0.3 * s + 0.043 * s^2}{6.613} \right)$$

(10)

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.3} \left(\frac{s}{9} \right)^{1.3}$$

La longitud de la ladera (λ) se calcula con la

(11)

$$\lambda = \frac{0.5 * DA}{LCH}$$

Donde:

- **DA:** Área del sector delimitado.
- **LCH:** Longitud total de los cursos que drenan por la misma.

2.4.1.4. Factor C

La relación entre el valor medio de pérdida de suelo en un campo cultivado o con vegetación y la pérdida en una parcela, en idénticas condiciones de lluvia, suelo y topografía, pero sometida a barbecho continuo está representado por el factor de ordenación de cultivos (C). Este factor considera la protección que la vegetación proporciona al suelo, el efecto beneficioso que se produce contra la erosión y los efectos que los residuos de la vegetación tienen en la protección del suelo. (Gaspari, Rodríguez Vagaría, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013) Se determina experimentalmente para cada clase de cobertura vegetal.

2.4.1.5. Factor P

Expresa la relación que existe entre el valor medio de las pérdidas de suelo producidas en un campo donde se realizan prácticas de conservación de suelo, y las que se originarían en el mismo campo si se hicieran las labores a favor de la pendiente.

Los valores de P se determinaron en forma experimental para distintos tipos de prácticas de conservación, empleándose para los ensayos parcelas de 22,1 m de longitud de pendiente y 9 % de pendiente.

Las prácticas de conservación utilizadas en tierras arables son la labranza en curvas de nivel, las franjas en contorno y los cultivos en terrazas. Por otra parte, los drenajes estabilizados para la eliminación de los excesos de agua son parte necesaria de cada una de estas prácticas. Según las medidas de conservación de suelos que se aplican, los valores de P se asignan utilizando tablas elaboradas por

el Soil Conservation Service de los Estados Unidos. (Gaspari, Rodríguez Vagaría, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013)

2.4.2. Clasificación de Pérdidas de suelo

En el año 1981 FAO, PNUMA y UNESCO presentaron una clasificación de la pérdida de suelo en un trabajo denominado "Clasificación Provisional para la evaluación de la Degradación de los Suelos", confeccionando una tabla con rangos según pérdida de suelo por aplicación de la USLE (Mintegui Aguirre & López Unzu, 1990) (**Tabla 2**).

Tabla 2 Clasificación en grado de erosión hídrica superficial, según FAO, PNUMA y UNESCO (1981).

Pérdida de suelo (Mg*ha-1*año-1)	Pérdida de suelo (mm*ha-1*año-1)	Grado de erosión hídrica
<10	< 0,6	Nulo o leve
10 – 50	0,6 – 3,3	Moderado
50 – 200	3,3 – 13,3	Alto
> 200	> 13,3	Muy alto

Esta clasificación (**Tabla 2**) define cada rango de la siguiente manera:

- Ausente: cuando no hay presencia de erosión hídrica superficial.
- Leve: Solo se adelgaza el horizonte A o capa arable, observándose casi en su totalidad (menos del 25% del espesor). Aparecen pequeñas áreas desnudas (sin vegetación natural), formación de "patas de vaca" y acumulación de sedimentos en la base de las pendientes o en las depresiones.
- Moderado: Poca formación de surquillos. El horizonte A o capa arable ha sido arrastrado en parte (entre 25% y 75%). Aparece mayor proporción de áreas desnudas y la formación de "patas de vaca". Algunas áreas pueden tener patrones intrincados que varían de manchas pequeñas a sitios erodados, donde el horizonte original A ha sido removido. En algunos lugares se puede encontrar mezcla del horizonte original A con el material del horizonte subyacente.
- Alto: El arrastre del horizonte A o capa arable es severo, casi total (más del 75%). Frecuentemente ocurre formación de surcos y en ocasiones se

presentan cárcavas aisladas. En áreas cultivadas el material que se encuentra debajo del horizonte A está expuesto en la superficie.

- Muy alto: Pérdida completa del horizonte A, en forma muy severa. Se presenta formación de cárcavas en una red densa. Los suelos han sido destruidos casi totalmente, excepto en las pequeñas áreas que quedan entre cárcava y cárcava.

2.5. Ciclo Hidrológico.

Se denomina Ciclo Hidrológico al movimiento general del agua: ascendente por evaporación y descendente, primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea. (Sánchez J. , 2004)

Fassbender (1993) lo define como el movimiento constante del líquido desde la atmósfera hacia la tierra; pasando por los ecosistemas de vegetación, animales, suelos, corteza terrestre, océanos y de nuevo hacia la atmósfera.

Existen diferentes formas del movimiento del agua en el suelo. En primer lugar, el agua de la precipitación que toca el suelo por primera vez puede filtrarse parcialmente a través del mantillo, mientras la otra se desplaza horizontalmente. Después de la infiltración por los primeros horizontes del suelo, puede ocurrir un movimiento horizontal al chocar con una capa impermeable o al llegar a una capa freática lo cual ocasiona el drenaje (Fassbender, 1993).

El proceso por el que pasa el agua en su sistema se define, según Sánchez (2004), de la siguiente manera (**Fig. 3**):

- a) Evaporación. Una parte se evapora desde la superficie del suelo (charcos) o si ha quedado retenida sobre las hojas de los árboles. A este último fenómeno se le denomina intercepción. En lluvias de corta duración sobre zonas de bosque, es posible devolver a la atmósfera una gran parte del agua precipitada sin haber tocado el suelo.
- b) Infiltración. El agua infiltrada puede, a su vez, seguir estos caminos:
 - b1) Evaporación. Se evapora desde el suelo húmedo, sin relación con la posible vegetación.
 - b2) Transpiración. Las raíces de las plantas absorben el agua infiltrada en el suelo, una pequeña parte es retenida para su crecimiento y la mayor parte es transpirada.

La suma de b1) y b2) se estudia conjuntamente: es la evapotranspiración.

b3) Escorrentía subsuperficial o hipodérmica. El agua termina aflorando a la superficie tras un corto recorrido lateral, antes de llegar a la superficie freática.

b4) Si no es evaporada ni atrapada por las raíces, la gravedad continuará llevando el agua hacia abajo, hasta la superficie freática.

Finalmente, el agua restante da lugar a la escorrentía subterránea.

c) Escorrentía superficial. El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente. Aún le pueden suceder varias cosas:

c1) Una parte es evaporada desde la superficie de ríos, lagos y embalses.

c2) Otra parte puede quedar retenida como: nieve, hielo, lagos o embalses.

c3) Finalmente, una parte importante es la escorrentía superficial rápida que sigue su camino hacia el mar.

Escorrentía directa es la que llega a los cauces superficiales tras la precipitación en un período de tiempo corto. Normalmente engloba la escorrentía superficial (c3) y la subsuperficial (b3).

La escorrentía básica alimenta los cauces superficiales en los estiajes durante los períodos sin precipitaciones, concepto que engloba la Escorrentía Subterránea (b5) y la superficial diferida (c2).

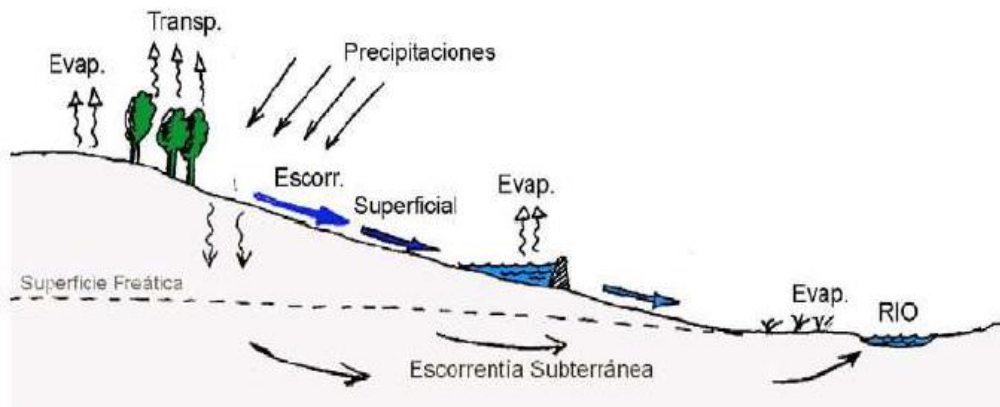


Fig. 3 Ciclo hidrológico tomado de (Sánchez J. , 2004)

2.6. Calidad del Agua.

La calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes, factores fisicoquímicos tales como: sólidos totales, turbidez, nitratos, fósforo total, temperatura, DBO (5 días), potencial de hidrógeno, coliformes fecales, coliformes totales, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, color verdadero y conductividad. Los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores. Ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias y contaminantes que no están presentes de forma natural (Reyes, 2006).

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar.

Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

La calidad del agua será comprobada con los parámetros de las normativas vigentes en el Ecuador para aguas de consumo humano como el Texto Unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA). (**Tabla 17**)

2.6.1. Factores determinantes de la calidad del recurso hídrico.

2.6.1.1. Sólidos totales, suspendidos, disueltos y la conductividad.

La medida de sólidos totales incluye sólidos disueltos y sólidos suspendidos. Los materiales disueltos u orgánicos incluyen calcio, bicarbonato, nitrógeno, hierro, sulfato y otros átomos encontrados en el agua. Un nivel constante de estos materiales es esencial para el mantenimiento adecuado de la vida acuática. Por otro lado, los sólidos suspendidos incluyen partículas de sedimento, barro de las corrientes de tierra, plancton y desechos industriales y de drenaje. (García, 2003)

2.6.1.2. Turbiedad.

Es un estimador simple de los sólidos en suspensión. Se aplica a las aguas que contienen materia en suspensión en tal medida que interfiere con el paso de la luz a través del agua. A mayor penetración de la luz solar en la columna de agua, es menor la cantidad de sólidos o partículas en suspensión en la columna de agua y viceversa. Esto relacionado con el uso del suelo, tipo de suelos, cobertura del suelo, y períodos de muestreos, entre otros. (OMS, 1998)

2.6.1.3. Nitratos.

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos.

En general, los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos.

El ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que solo se lo encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Esta es la causa de que los nitritos se transformen rápidamente para dar nitratos y que, generalmente, estos últimos predominen en las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Esta reacción de oxidación se puede efectuar en los sistemas biológicos y también por factores abióticos.

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, incluyendo el amoníaco, y la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en agua. Generalmente, los nitratos son solubles, por lo que son movilizados con facilidad de los sedimentos por las aguas superficiales y subterráneas. (CEPIS & OPS, 2004)

2.6.1.4. Fósforo total.

El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en las aguas superficiales ocurren nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y por escorrentía.

Las formas más frecuentes en que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos como PO_4^{-3} ; HPO_4^{-2} ; $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$ y H_3PO_4 . El fósforo orgánico es de poca importancia en la mayor parte de los residuos domésticos, pero puede ser un constituyente de importancia en los vertimientos industriales y lodos de aguas residuales domésticas.

Los ortofosfatos son la forma más importante de fósforo en el agua debido a que se encuentran disueltos en el agua y de esta manera son aprovechados por las plantas. A esta forma de fósforo se le conoce en la literatura como fósforo aprovechable o disponible. Se recomienda que las concentraciones de fosfatos se expresen en términos de fósforo (P) y no como $\text{mg PO}_4/\text{L}$.

El fósforo raramente se encuentra en el agua en altas concentraciones debido a que las plantas lo absorben rápidamente. En aguas superficiales la concentración de fósforo fluctúa normalmente entre 0,005 y 0,020 $\text{mg PO}_4\text{-P/L}$ y se puede encontrar en concentraciones mucho más altas en ambientes marinos. En el agua subterránea, los niveles son cerca de 0,020 $\text{mg PO}_4\text{-P/L}$. (Sierra Ramírez, 2011)

2.6.1.5. Temperatura.

La temperatura es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos. Cuando la temperatura aumenta, disminuye la concentración de oxígeno disuelto y si las aguas son deficientes en oxígeno, esto puede ocasionar la muerte de especies acuáticas, especialmente peces. (OMS, 1998)

2.6.1.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Es definida como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias, para estabilizar la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. (OMS, 1998)

2.6.1.7. pH y alcalinidad.

Es la concentración relativa de los iones hidrógeno en el agua, es la que indica si ésta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. La actividad del ion hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua, la medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales. (OMS, 1998)

2.6.1.8. Coliformes totales.

La presencia de coliformes totales indica que el cuerpo de agua ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos o animales. (Sierra Ramírez, 2011)

2.6.1.9. Coliformes fecales.

Se componen por bacterias alojadas en el intestino de los animales de sangre caliente (incluido el ser humano). Una de las bacterias más conocidas y utilizadas dentro de los parámetros de calidad del agua es *Escherichia coli*. (RIPDA-CYTED, 2003).

2.6.1.9.1. Escherichia coli.

Esta bacteria pertenece a la familia *Enterobacteriaceae*, la cual forma parte de la flora normal intestinal de los animales de sangre caliente. Estas, aparte de formar colonias circulares, convexas y lisas con bordes definidos, producen enfermedades como diarreas e infecciones urinarias. En algunos casos, la bacteria puede llegar a la sangre y producir sepsis y meningitis, una enfermedad similar a la *shigelosis*. (Brooks, Butel, & Ornston, 1995).

2.6.1.10. Oxígeno disuelto.

Este es esencial para el mantenimiento de lagos y ríos saludables, pues la presencia de oxígeno es una señal positiva, mientras que la ausencia indica una fuerte contaminación. (OMS, 1998)

2.6.1.11. Dureza total.

La dureza del agua se debe a la presencia de cationes como: calcio, magnesio, estroncio, bario, hierro, aluminio, y otros metales que se encuentran presentes en forma de sólidos disueltos. De éstos, el calcio y el magnesio son los más abundantes, por lo que casi siempre la dureza está directamente relacionada con la concentración de estos dos elementos.

Este concepto se define como la suma de la dureza temporaria y la permanente, expresado en mg/L.

Agua blanda: Contiene poca caliza y forma abundante espuma con el jabón. Es decir, se trata de agua predominantemente libre de iones de calcio y magnesio.

Agua dura: Posee un exceso de sales y forma poca espuma con el jabón. Ya que contiene iones de calcio y magnesio, es inadecuada para algunos usos domésticos e industriales.

La dureza del agua se expresa como mg/l de carbonato de calcio (CaCO_3). (OMS, 1998)

2.6.1.12. Color verdadero.

Según (Barrenechea Martel, 2004) esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella.

Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

- La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal;
- La descomposición de la materia;
- La materia orgánica del suelo;
- La presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos; y
- Una combinación de los procesos descritos.

2.7. Factores antropogénicos y la contaminación del recurso hídrico.

Se define la contaminación del agua como cualquier cambio químico, físico o biológico en la calidad de esta, y que tiene un efecto dañino en quien consuma dicho líquido (RIPDA-CYTED, 2003).

2.7.1. Contaminación del recurso hídrico por factores agrícolas.

Según Sargadoy (1993), se pueden establecer tres tipos de contaminantes del recurso: sólidos en suspensión, organismos vivos y componentes químicos. Los sólidos en suspensión provienen de los procesos de malas prácticas agrícolas que acentúan la erosión de los suelos tales como el arado, labranza, deforestación, el sobrepastoreo, entre otras.

Los elementos químicos provienen de la fertilización, la aplicación de plaguicidas y las aguas de riego. Algunos de estos elementos pueden fijarse en el suelo y dependiendo de su concentración, estos pueden presentar un problema para su uso posterior (Sargadoy, 1993).

Los granjeros utilizan los pesticidas y fertilizantes con el fin de maximizar su producción. Sin embargo, estos pueden ser diluidos y transportados por el suelo mediante la lluvia, y depositados en los ríos y otras fuentes de aguas. Si una gran cantidad de fertilizantes son drenados a los ríos, las concentraciones de nitratos y fósforo aumentan. Esto desencadena un crecimiento desmedido de ciertas algas y provoca la eutrofización (Lenntech, 2007).

Finalmente, los residuos de los procesos de la agroindustria y algunos procesos de cosecha, también pueden aportar una cantidad considerable de materia orgánica que afecta la calidad del recurso. Asimismo, el riego con aguas servidas y no tratadas actúa como un diseminador de agentes patógenos (Sargadoy, 1993).

Dentro de estos cuerpos se encuentran agentes contaminadores inorgánicos solubles en agua, tales como los ácidos, sales y metales tóxicos. En grandes cantidades, dichos agentes hacen que el agua sea inapropiada para el consumo y causan la muerte de la vida acuática (Lenntech, 2007). Por último, los principales causantes de enfermedades incluyen a las bacterias, virus, protozoos y los gusanos parásitos que se incorporan desde los sistemas de agua residuales sin tratar.

2.8. Ordenamiento territorial y la protección del recurso hídrico

El ordenamiento territorial es concebido por algunos como la planificación física a escala regional subregional y local con énfasis en el uso y ocupación del territorio. Otros lo entienden como escenario de desarrollo vinculado, estrechamente, con la planificación económica y social con el objetivo de garantizar el equilibrio

regional. Por otra parte, hay quienes lo conciben como una política estatal y proceso de planificación integral y concertada con la que se pretende configurar la organización del territorio de acuerdo a los objetivos de desarrollo sostenible para el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes (Aguilar, 2006).

El fin del ordenamiento de cuencas hidrográficas es la compatibilización entre la aptitud ecológica u oferta ambiental y las actividades socioeconómicas o demanda social. De esta manera, es posible lograr un balance entre el hombre y la naturaleza a partir de la identificación de áreas de ocupación y uso de los espacios físicos, previamente concebidos y caracterizados en la fase del diagnóstico analítico. Dicha etapa presenta un enfoque político, al mirar la realidad basada en la aplicabilidad de las orientaciones políticas regionales y nacionales, así como la percepción que las comunidades tienen de ella. Todo esto aplicado al conocimiento de la estructura y funcionamiento dado por las diferentes disciplinas científicas comprometidas en el estudio. De esta manera y con base en una imagen objetiva o paradigma de desarrollo para la cuenca, se establecen las líneas divisorias de hoy y del mañana dentro de la espacialidad territorial objeto de transformación y cambio. (Unidad de Gestión Nacional Costa Rica, 1999).

La reflexión sobre el uso de los factores físicos, bióticos, humanos y ambientales es necesaria para la recuperación de los sitios atacados por erosión hídrica. Esto ayudaría diseñar un aprovechamiento racional de todos los recursos disponibles para obtener un rendimiento sostenido de ellos y el mejoramiento de las condiciones de vida del pastizal y del hombre (Gaspari F. , 2007). El mejoramiento de la calidad de vida presenta dos fases: una que hace referencia a la lucha por la supervivencia de las especies vegetales y animales en sitios degradados por la erosión durante los primeros años de vida hasta su adaptación definitiva; y otra posibilita de uso en forma sostenida de los recursos naturales por parte del hombre (Gaspari F. , 2007).

2.9. InfoStat.

InfoStat es un software para análisis estadístico de aplicación general desarrollado bajo la plataforma Windows. Este cubre tanto las necesidades elementales para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado. Una de sus fortalezas es la sencillez de su interfaz combinada con capacidades profesionales para el análisis estadístico y el manejo de datos. (Universidad Nacional de Cordova, 2017)

2.10. Sistema de Información Geográfico (SIG).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés) es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñada para capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar en

todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. (Sastre, 2010)

2.10.1. Determinación de la pérdida de suelo mediante el uso de sistema de información geográfica.

El Sistema de Información geográfico (SIG), como conjunto de herramientas informáticas que permite procesar información digital georeferenciada y permite desarrollar, almacenar, desplegar, consultar, analizar y modelar datos geoespaciales, se puede utilizar para generar la información base para la toma de decisiones forestales, agrícolas, sociales y territoriales. Además, es una herramienta lógica para aplicar un modelo FUPS, debido a que todos los factores que forman la ecuación tienen una clara representación geográfica sobre el territorio.

La cartografía a utilizar debe ser en detalle según el objeto en estudio. En la **Fig. 4** se presenta el modelo cartográfico básico para la aplicación de la FUPS a nivel geoespacial.

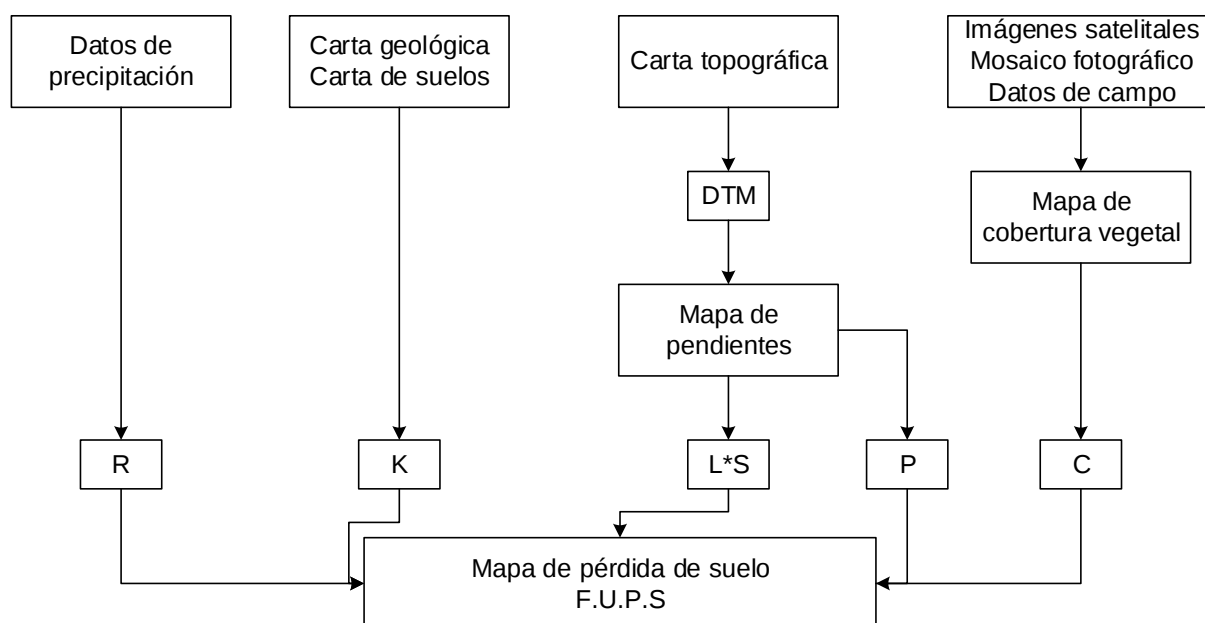


Fig. 4 Secuencia de actividades para la determinación de la pérdida de suelo.
(Autor)



La generación de mapas de pérdidas de suelo por erosión se logra a partir de la obtención de mapas de cada uno de los factores de la FUPS. Posteriormente, mediante el procesamiento de capas temáticas se genera información cuantitativa para realizar diagnósticos en cuencas hidrográficas, que permitan determinar dónde y por qué se está produciendo el fenómeno erosivo.

2.10.2. Los Sistemas Integrados de Gestión (SIG) como una herramienta para la toma de decisiones

Desde ya varias décadas el Instituto Geográfico Militar (IGM) ha venido llevando a cabo varias actividades y proyectos con la finalidad de lograr un mayor conocimiento para el mejor uso de los recursos naturales presentes en el territorio nacional mediante la utilización de Sistemas de Información Geográficos (SIG); pero en los últimos años con el avance de la tecnología distintas instituciones se han sumado a esta actividad para generar mapas con información Geografía y Cartografía de nuestro país. (IGM, 2016).

Por esta razón en octubre del 2012, el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el programa Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS) del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) suscribieron un convenio de cooperación interinstitucional. (PPDigital, 2012)

El Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica, SIGTIERRAS, es un Programa emblemático del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Su objeto es establecer un sistema de administración de la tierra rural, que contribuya a la regularización de su tenencia y proporcione información para la planificación del desarrollo y ordenamiento territorial. (MAGAP, 2016)

Los componentes en los cuales trabaja SIGTIERRAS son:

- Fotografía aérea y ortofotografía.
- Campañas de Levantamiento Predial, para la construcción y actualización del catastro rural.
- Cartografía Temática y Valoración
- Sistema Nacional de Administración de Tierras (SINAT)

Esto ha permitido que los diferentes Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's) cuenten con información a una escala 1:25.000, siendo esta una herramienta esencial para una mejor planificación y desarrollo a nivel local y nacional. Además de brindar un conocimiento del estado de conservación de áreas naturales protegidas, bosques protectores, patrimonio forestal y áreas de bosque y

vegetación nativas. Así mismo facilitando la prevención de desastres naturales y enfermedades a través de la identificación de zonas de riesgo, por último, el acceso a programas de reforestación y al mercado internacional de bonos de carbono.

2.11. Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente

En el año 2015 se publica el Texto Unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiente que unifica la legislación secundaria ambiental, para facilitar a los ciudadanos el acceso a la normativa requerida. Constituye un texto reglamentario bastante amplio de la normativa ecuatoriana vigente en la Ley de Gestión Ambiental y con lo que queda en vigor de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Se trata, pues, de una herramienta legal de desarrollo detallado, en el nivel reglamentario de la legislación relacionada al tema ambiental en general, a los impactos ambientales, al régimen forestal y afines, etc.

El texto unificado está compuesto de nueve libros con, algunos, sus respectivos anexos:

INDICE:

Libro I: Autoridad ambiental;

Libro II: Gestión ambiental;

Libro III: Régimen forestal,

- Anexo 1: Determinación del valor de restauración,
- Anexo 2: Guía conceptual de los métodos de valoración de los daños ambientales,
- Anexo 3: Formulario para presentaciones de datos del área a ser declarada bosque y vegetación protectora;

Libro IV: Biodiversidad,

- Anexo 1: Lista de especies de aves amenazadas o en peligro de extinción en el Ecuador;

Libro V: Recursos costeros;

Libro VI: Calidad ambiental,

- Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua,
- Anexo 2: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados,
- Anexo 3: Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión,



- Anexo 4: Norma de calidad del aire ambiente,
- Anexo 5: Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones,
- Anexo 6: Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos,
- Anexo 7: Listados nacionales de productos químicos prohibidos, peligrosos y de uso severamente restringido que se utilicen en el Ecuador;

Libro VII: Régimen especial: Galápagos;

Libro VIII: Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico (ECORAE);

Libro IX: Sistema de derecho o tasas por los servicios que presta el ministerio del ambiente por el uso y aprovechamiento de bienes nacionales que se encuentran bajo su cargo y protección. (MAE, 2015)

CAPÍTULO III

3. Área de Estudio

3.1. Ubicación política

La microcuenca del río Tabacay pertenece administrativamente al Cantón Azogues, Provincia del Cañar (**Fig. 5**) y se divide en 2 parroquias: Guapán y Bayas.

3.2. Ubicación geográfica y extensión

La microcuenca del río Tabacay pertenece a la subcuenca del río Burgay, cuenca del río Paute y se encuentra entre los cuadrantes 737700 - 748230 Este y 9698000 – 9709300 Norte (**Fig. 5**). Posee un rango de altitud que va desde los 2490 a los 3730 metros sobre el nivel del mar. Sus principales afluentes son las quebradas Llaucay, Nudpud, Cóndoryacu, Rosario, Mapayacu y Rubís. (**Fig. 6**) La microcuenca tiene una superficie de 6650 hectáreas (66.5 Km^2). (Emapal Ep, Municipio de Azogues, CG Paute, & PROMAS, 2003)

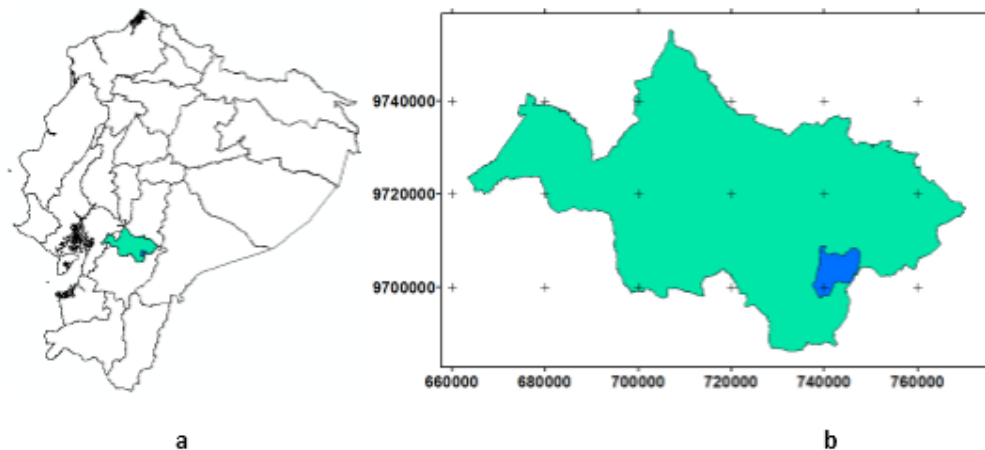


Fig. 5 Ubicación de a) Provincia del Cañar b) Microcuenca del río Tabacay dentro de la provincia de Cañar (Autor)

Fuente: (Emapal Ep, Municipio de Azogues, CG Paute, & PROMAS, 2003)

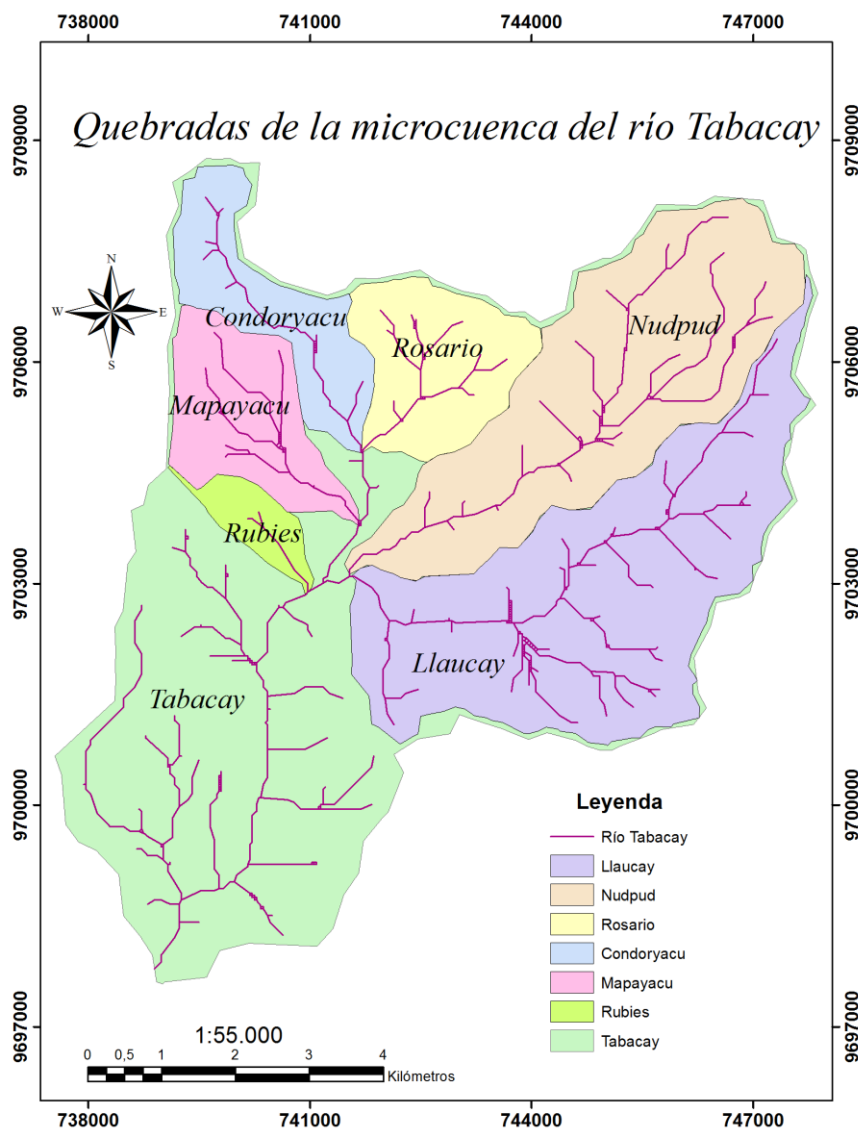


Fig. 6 Quebradas de la microcuenca del río Tabacay (Autor)

Fuente: MAGAP, 2016

3.3. Suelo

Dentro de la microcuenca del río Tabacay, se encontramos distintos tipos de textura superficial de suelo como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 3 *Texturas superficiales de suelo y su representatividad con relación al área total de la microcuenca del río Tabacay (Autor)*

Textura superficial de suelo	Área (ha)	Porcentaje del área
Arcilla Pesada	273,97	4,1
Arcillo Limoso	479,02	7,2
Arcilloso	300,61	4,5
Areno Francoso	496,59	7,5
Franco	68,08	10,3
Franco Arcillo Arenoso	201,99	3,0
Franco Arcillo Limoso	230,58	3,5
Franco Arcilloso	186,39	2,8
Franco Arenoso	3079,50	46,4
No Aplicable	705,61	10,6

Fuente: MAGAP, 2016

3.5. Clima

El clima de la microcuenca del río Tabacay es templado, existiendo variación en la parte alta, constantes vientos y páramos que hacen que el clima sea fresco y agradable, la temperatura media es de unos 17°C. (Emapal Ep, Municipio de Azogues, CG Paute, & PROMAS, 2003)

3.6. Población

En el censo realizado por el INEC en el año 2010 dentro de la microcuenca del río Tabacay viven alrededor de 10000 personas. Y esta población ira disminuyendo según las proyecciones de la tasa de crecimiento intercensal que se tiene para la población rural de la parroquia Guapán que es de -0.16%. (Guapán, 2015)

CAPÍTULO IV

4. Materiales y métodos

4.1. Toma de datos.

Los datos utilizados para realizar el cálculo de la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS) en la microcuenca del río Tabacay se obtuvieron del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), a través del programa SIGTIERRAS. Que Generó cartografía temática a una escala 1:25.000 con las siguientes características:

- Nivel de estudio: semidetallado.
- Unidad mínima de mapeo: 1 ha.
- Sistema espacial de referencia: SIRGAS UTM 17S.

Se utilizaron los datos fisicoquímicos y microbiológicos del período de agosto del 2015 a agosto del 2016, de la Empresa EMAPAL Ep. así como los datos de precipitación de los últimos años, de las estaciones meteorológicas que se hallan dentro de la microcuenca.

4.1.1. Establecimiento de los puntos de muestreo

Para la obtención de las muestras de agua, los técnicos de la dirección de Gestión Ambiental de la Empresa Emapal Ep. cuentan con sitios preestablecidos para el efecto, los mismos que se encuentran cerca de las captaciones de la empresa. Garantizando de esta manera la interacción de los factores biofísicos y la calidad del agua.

La Empresa cuenta con 5 puntos de muestreo y 4 de ellos ubicados cerca de las captaciones de agua emplazadas dentro de la microcuenca del río Tabacay las mismas que se encuentran ubicadas en las quebradas de Nudpud, Llaucay, Cóndor Yacu, Rosario y Mapayacu (**Fig. 6**). En las siguientes coordenadas: Ver **Tabla 4**.

Tabla 4 Coordenadas de los puntos de muestreo de la Empresa Emapal Ep.
(Autor)

Captación	X	Y	Altura m. s.n.m
Nudpud	743692	9704152	2890
Llaucay	743626	9702528	2880
Cóndoryacu	741346	9705295	2983
Rosario	742423	9705864	3060
Mapayacu	741415	9704041	2948

Fuente: EMAPAL, 2017

4.2. Captaciones de la Empresa Emapal Ep.

4.2.1. Captación de Nudpud

Es una captación superficial que recepta aguas de la quebrada de Nudpud, construida de hormigón simple de tipo derivación convencional, mediante un azud pequeño de hormigón ciclópeo. La derivación se hace a través de una rejilla al canal de admisión y conduce las aguas desde Nudpud hasta un sifón en Llaucay. (**Fig. 7**) La cota de emplazamiento de esta captación es de 2.860 m. s.n.m y tiene un gasto de diseño de 40 l/s. Esta captación, al igual que la captación de Llaucay sirve en la actualidad a la nueva planta de tratamiento en el sector de Mahuarcay. (Emapal Ep, 2016)



Fig. 7 Captación de Nudpud (Emapal Ep, 2016)

4.2.2. Captación de Llaucay

Esta es una captación (**Fig. 8**) de tipo derivación convencional, está conformada por un azud, que cierra el cauce de la quebrada y obliga a que toda el agua que se encuentra debajo de la cota de su cresta entre a la conducción, una compuerta de purga que se ubica en el extremo del azud, al lado de la reja de entrada. Transporta aguas desde la quebrada de Llaucay y uniéndose luego con el sifón de Nudpud, trasporta un caudal hasta el reservorio. La captación se ubica en la cota 2.851 m. s.n.m y tiene un gasto de diseño de 70 l/s. alimentando a la planta de tratamiento de Mahuarcay. (Emapal Ep, 2016)



Fig. 8 Captación de Llaucay (Emapal Ep, 2016)

4.2.3. Captación de Cóndor Yacu

La captación se encuentra emplazada en la quebrada de Condoryacu sector Tabacay (**Fig. 9**), en la cota 2.894 m. s.n.m. con un caudal de diseño de 27.3 l/s. en funcionamiento a partir del mes abril - marzo del 2004. Abastece a la planta de tratamiento de Uchupucun. (Emapal Ep, 2016)



Fig. 9 Captación de Cóndor Yacu (Emapal Ep, 2016)

4.2.4. Captación de Rosario

Esta captación se encuentra emplazada en la quebrada Rosario sector Tabacay (**Fig. 10**) en la cota 2.996 m. s.n.m. con un caudal de diseño de 10.3 l/s. Esta captación abastece a la planta de tratamiento de Uchupucun. (Emapal Ep, 2016)



Fig. 10 Captación de Rosario (Emapal Ep, 2016)

4.2.5. Captación de Rubies

Ubicada en el sector de Monjas en la microcuenca del río Tabacay (**Fig. 11**) a una cota 2.754 m. s.n.m, emplazada para coleccionar los remanentes de las captaciones de Nudpud y Llaucay con caudal de diseño 12.7 l/s. Esta captación abastece del líquido a la planta de tratamiento de Uchupucun. (Emapal Ep, 2016)



Fig. 11 Captación de Rubies (Emapal Ep, 2016)

4.3. Variables fisicoquímicas y microbiológicas que determinan la calidad de agua.

Para el presente trabajo las variables fisicoquímicas y microbiológicas que se analizaron para determinar la calidad de agua fueron las siguientes: Sólidos totales, turbidez, nitratos, fósforo total, temperatura, DBO (5 días), potencial de hidrógeno, coliformes fecales, coliformes totales, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, color verdadero y conductividad. De un grupo de 32 parámetros que la Empresa Emapal Ep realiza dentro de su programa de monitoreo continuo al agua que llega a las captaciones.

4.4. Metodología establecida para realizar los muestreos fisicoquímicos y microbiológicos que determinan la calidad del agua.

Los protocolos empleados para la recolección de muestras de agua y llevar a cabo los análisis fisicoquímico y microbiológico correspondientes se encuentran establecidos en la norma NTE INEN 2176:1998 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo; que es utilizada por los técnicos de la Unidad de Gestión Ambiental de la Empresa.

Además, se usa la norma NTE INEN 2169 Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras, para el muestreo en situaciones específicas del traslado de las muestras al laboratorio. Estos protocolos fueron adaptados por los técnicos acoplándolos a las realidades de la zona de estudio.

Para el análisis fisicoquímico se toma una muestra simple de 2000cc y el análisis microbiológico una muestra de 200cc

4.4.1. Toma y conservación de las muestras.

Para la toma de muestras en las quebradas, es necesario seleccionar un tramo recto y de flujo homogéneo, en lugares que no exista sedimentación o presente estancamientos. Este lugar debe de encontrarse anterior y cerca de la captación.

Antes de la toma de muestra debemos tener en cuenta que las aguas superficiales son susceptibles a cambios en su composición física, química o biológica como resultado de las reacciones que se dan al momento del muestreo, transporte y análisis; es por esto que, si no se toman ciertas precauciones antes y durante el muestreo, transporte, así como los tiempos de conservación, las concentraciones determinadas en el laboratorio serán diferentes a las existentes en el momento del muestreo.

Las muestras que se van a utilizar para determinar los parámetros físicos y químicos, se debe sumergir el envase en contra corriente con el cuello del recipiente inclinado hacia abajo con la finalidad de evitar el ingreso de material flotante, a una profundidad de $0.6H$ siendo H la profundidad de la quebrada en el punto de muestreo, se procede a enderezar el recipiente para que el agua ingrese por la boca del envase llenándolo completamente y tapándolo de tal forma que no exista aire en la muestra esto se lo hace con la finalidad de limitar la interacción de gases y la agitación durante el transporte. (INEN, 1998)

En las muestras que se van a utilizar en el análisis microbiológico, el recipiente se debe sumergir en contra corriente con la tapa puesta para evitar el ingreso del agua antes de llegar a la profundidad de muestro ($0.6 H$), al llegar a la profundidad deseada se procede a abrir el envase y dejar que el agua ingrese, no se debe llenar completamente de modo que se deje un espacio de aire después de colocar la tapa. Esto permitirá mezclar la muestra antes del análisis y evitar una contaminación accidental. (INEN, 1998)

4.5.Determinación de la pérdida de suelo en la microcuenca del río Tabacay.

4.5.1. Factor R

Para el cálculo del factor R (erodabilidad de lluvia) se realizó mediante la ecuación **(5)** y **(6)** de Arnoldus (1978), la cual se encuentra basada en el índice de (Fournier, 1960).

Mediante la georreferenciación se creó una capa digital de los puntos en donde se encuentran las estaciones meteorológicas de la Empresa Emopal Ep. que monitorean la microcuenca del río Tabacay (**Fig. 12**).

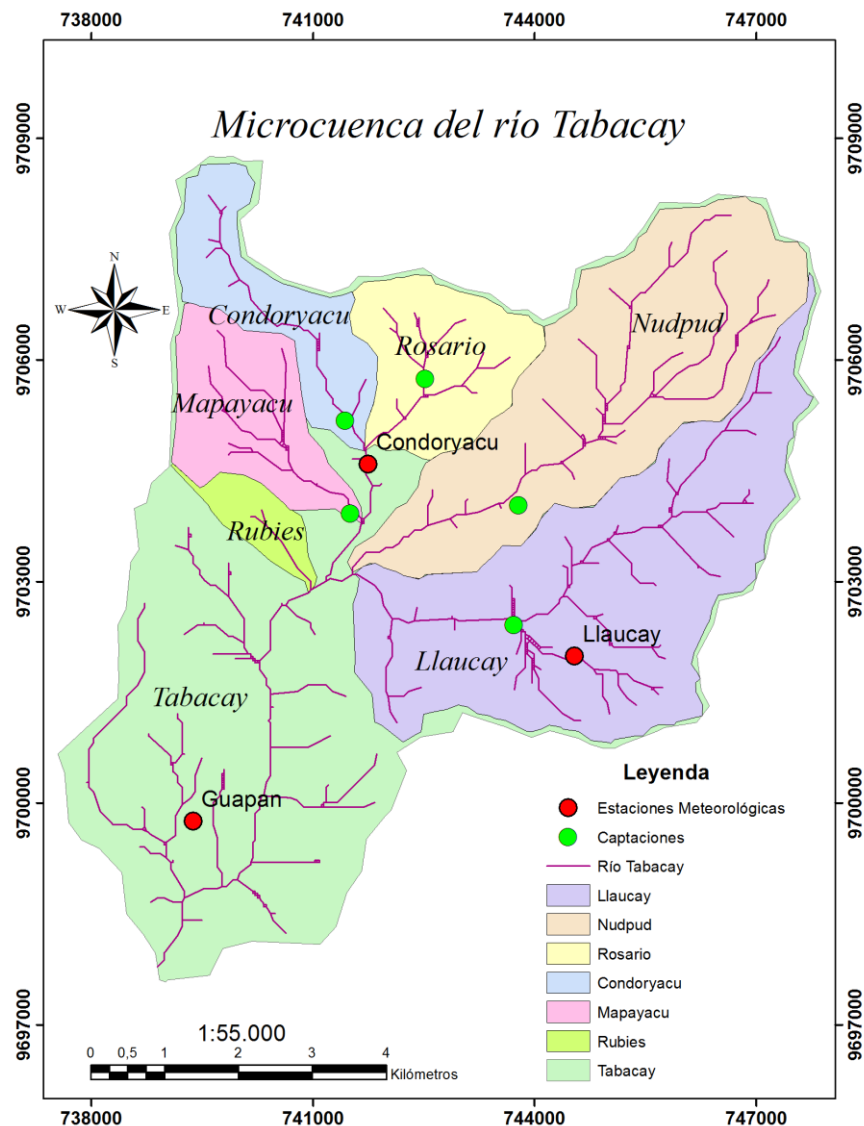


Fig. 12 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas y captaciones. (Autor)

Fuente: MAGAP, 2017

Para aplicar las ecuaciones (5) y (6) fue necesario analizar los valores de los registros de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio y verificar su distribución espacial mediante el uso de GPS en territorio, en las 3 estaciones utilizadas para este estudio. Se empleó el registro de precipitaciones durante el período de enero 2010 hasta noviembre 2016 (Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7) realizando el cálculo de promedio para el estudio de la precipitación media mensual y anual para los últimos 5 años.

Tabla 5 Cálculo de factor R de la estación meteorológica Condoryacu. (Autor)

Estación meteorológica Condoryacu		
Mes	Precipitación media anual (mm)	Factor R
Enero	78,41	6,33
Febrero	73,46	5,55
Marzo	77,93	6,25
Abril	90,61	8,45
Mayo	99,67	10,22
Junio	98,81	10,05
Julio	114,84	13,57
Agosto	57,06	3,35
Septiembre	52,22	2,81
Octubre	79,02	6,43
Noviembre	84,56	7,36
Diciembre	65,28	4,39
Anual	971,87	84,74

Fuente: EMAPAL Ep, 2016

Tabla 6 Cálculo de factor *R* de la estación meteorológica Guapán. (Autor)

Estación meteorológica Guapán		
Mes	Precipitación media anual (mm)	Factor R
Enero	96,87	10,98
Febrero	99,08	11,48
Marzo	70,54	5,82
Abril	48,28	2,73
Mayo	57,32	3,84
Junio	64,48	4,86
Julio	78,05	7,13
Agosto	35,44	1,47
Septiembre	33,97	1,35
Octubre	78,94	7,29
Noviembre	92,05	9,91
Diciembre	99,82	11,66
Anual	854,84	78,52

Fuente: EMAPAL Ep, 2016

Tabla 7 Cálculo de factor *R* de la estación meteorológica Llaucay. (Autor)

Estación meteorológica Llaucay		
Mes	Precipitación media anual (mm)	Factor R
Enero	30,73	1,18
Febrero	33,44	1,39
Marzo	99,4	12,32
Abril	114,89	16,46
Mayo	92,46	10,66
Junio	106	14,00
Julio	73,75	6,78
Agosto	40,55	2,05
Septiembre	53,59	3,58
Octubre	75,94	7,19
Noviembre	48,51	2,93
Diciembre	32,77	1,34
Anual	802,03	79,89

Fuente: EMAPAL Ep, 2016

Con los datos de las estaciones meteorológicas se procedió a crear un archivo en el programa EXCEL, en el cual se ingresó los nombres de las estaciones sus coordenadas en X y Y, y los datos de precipitación media de los últimos 5 años, procediendo a digitalizarlos mediante el programa ArcGis 10. Utilizando la herramienta *File/Add-data*, seleccionamos el archivo creado y aplicamos la opción *Display XY Date*, enlazamos las coordenadas X y Y, Aplicando el sistema de coordenadas WGS 84, obteniendo un archivo en formato vector, para luego mediante la *tabla de atributos* ingresar los valores de precipitación calculados.

En el archivo antes generado se procedió a interpolar los datos de precipitación mediante la herramienta *Analyst/interpolation*; utilizando el método Ponderación Inversa a la Distancia (IDW), esta función depende de un parámetro para este estudio la precipitación, generando un modelo ráster del valor interpolado de la precipitación media durante los años de estudio.



Una vez obtenido el ráster de precipitación se aplicó la ecuación **(5)** de Arnoldus (1978), basada en el índice de Fournier. Con la herramienta *Spatial Analyst/ráster calculator* del programa ArcGis 10, se pudo obtener el mapa de erodabilidad de lluvia (Factor R) (**Fig. 24**).

4.5.2. Factor K

Para determinar la erodabilidad en la microcuenca del río Tabacay, se empleó los mapas digitales de geopedología y edafología elaborados entre el período del 2012 al 2015, los cuales se encuentran en forma de shapefile y se encuentran disponibles en el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), a escala 1:25000.

Una vez analizados los tipos de suelo se obtuvieron nueve clases de texturas dentro de la microcuenca del río Tabacay, siendo estas: Arcilla Pesada, Arcilla Limosa, Arcilloso, Areno Francoso, Franco, Franco Arcilloso Arenoso, Franco Arcilloso Limoso, Franco Arcilloso y Franco Arenoso. Ver **Fig. 13**.

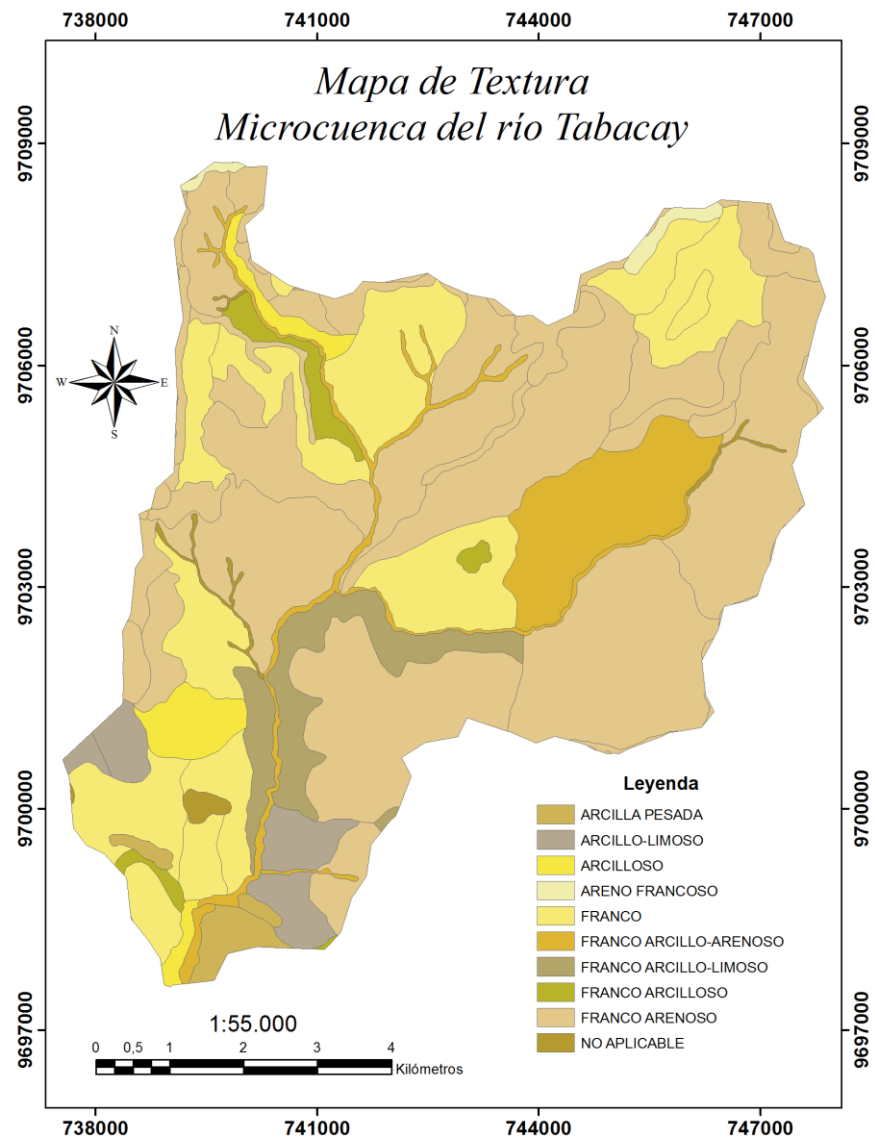


Fig. 13 Mapa de texturas de la microcuenca del río Tabacay (Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

Obtenidas las texturas dentro de la microcuenca, se procedió a generar un mapa con las mismas y se le asignó el valor respectivo de acuerdo al MAGAP (**Tabla 8**)

Tabla 8 Valores de clase de textura.

Textura	Valor
Arcilla Pesada	1
Arcillo Limosa	2
Arcilloso	
Franco Arcilloso Arenoso	
Franco Arcilloso Limoso	
Franco Arcilloso	
Franco	3
Franco Arenoso	
Areno Francoso	4
No Aplicable	0

Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: Autor

Materia orgánica

La materia orgánica favorece a la formación de una estructura orgánica estable de agregados mediante la interacción estrecha entre la materia orgánica y la arcilla. Esta interacción incrementa la capacidad de retención de agua al igual que los nutrientes para las plantas. Lo que permite el crecimiento, estructuración del suelo y el aumento de la resistencia a la erosión. Los suelos en la microcuenca del río Tabacay son en su mayoría tienen alto contenido de materia orgánica. Para determinar la erodabilidad se calculó el porcentaje de acuerdo a la textura de cada suelo.

Tabla 9 Valores de materia orgánica en relación a la textura

Textura	Valor
Franco Arenoso	1
Areno Francoso	
Arcillo Limosa	2
Franco Arcilloso Arenoso	
Franco Arcilloso Limoso	
Franco Arcilloso	
Arcilloso	3
Franco	
Arcilla Pesada	4

Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: Autor

Estructura de suelo

En los valores de la estructura (**Tabla 10**), se emplearon de acuerdo a la textura y taxonomía del suelo, puesto que este factor es muy importante en la regulación de aire y agua en el suelo, por la función que cumple cada partícula que conforma el tipo de suelo. La información fue proporcionada por el MAGAP, cuyos valores son los siguientes:

Tabla 10 Clases de estructura de suelo

Estructura de suelo	Código
Granular muy fina (<1mm)	1
Granular fina (1-2 mm)	2
Granular media o gruesa (2-10 mm)	3
Bloques, laminar o maciza	4

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978.

Elaborado por: Autor

Permeabilidad

Los datos de permeabilidad se obtuvieron mediante el triángulo de texturas (**Fig. 1**) en el cual se utiliza el porcentaje de limo, arcilla y arena que posee cada uno en la microcuenca del río Tabacay, por ello se obtuvo el código de permeabilidad que conforma el área de estudio (**Tabla 11**).

Tabla 11 Código U.S.L.E., de la permeabilidad del suelo.

Código F.U.P.S.	Categoría de Permeabilidad
1	Rápida a muy rápida
2	Moderada a rápida
3	Moderada
4	Moderadamente Lenta
5	Lenta
6	Muy Lenta o nula

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978.

Elaborado por: Autor

De acuerdo a las clases de textura, en la microcuenca se asignaron seis valores para la determinación de la erodabilidad del suelo.

Tabla 12 Código de permeabilidad y estructura del suelo en función de su textura.

Clase de Textura	Código de permeabilidad
Franco Arcilloso Arenoso	6
Franco	5
Franco Arcilloso Limoso	
Areno Francoso	
Arcilla Pesada	4
Arcillo Limosa	
Franco Arenoso	
Arcilloso	3
Franco Arcilloso	2
No Aplicable	0

Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: Autor

Realizado el análisis de las texturas y determinado los valores o códigos de materia orgánica, estructura y permeabilidad, se procedió a utilizar la ecuación (7), propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), de acuerdo a los diferentes tipos de textura que posee el área de estudio, para realizar los cálculos respectivos, obteniendo los siguientes resultados:

Suelo – Arcilla Pesada:

$$M = (\%limo + \%arena\ muy\ fina)(100\% - \%arcilla)$$

$$M = (10\%limo + 10\%arena\ muy\ fina)(100\% - 80\%arcilla)$$

$$M = 1600$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * M^{1.14} * (12 - a) + 3,25 * (b - 2) + 2,5 * (c - 3)]/100$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * 1600^{1.14} * (12 - 4) + 3,25 * (1 - 2) + 2,5 * (4 - 3)]/100$$

$$K = 0,07$$

Suelo – Arcilla Limosa:

$$M = (40\% \text{limo} + 20\% \text{arena muy fina})(100\% - 40\% \text{arcilla})$$

$$M = 3600$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * 3600^{1.14} * (12 - 3) + 3,25 * (2 - 2) + 2,5 * (4 - 3)]/100$$

$$K = 0,24$$

Suelo – Arcilloso:

$$M = (20\% \text{limo} + 20\% \text{arena muy fina})(100\% - 60\% \text{arcilla})$$

$$M = 1600$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * 1600^{1.14} * (12 - 3) + 3,25 * (2 - 2) + 2,5 * (3 - 3)]/100$$

$$K = 0,08$$

Suelo – Franco arcillo arenoso:

$$M = (35\% \text{limo} + 35\% \text{arena muy fina})(100\% - 30\% \text{arcilla})$$

$$M = 4900$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * 4900^{1.14} * (12 - 4) + 3,25 * (2 - 2) + 2,5 * (6 - 3)]/100$$

$$K = 0,35$$

Suelo – Franco arcillo limoso:

$$M = (40\% \text{limo} + 20\% \text{arena muy fina})(100\% - 40\% \text{arcilla})$$

$$M = 3600$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * 3600^{1.14} * (12 - 3) + 3,25 * (2 - 2) + 2,5 * (5 - 3)]/100$$

$$K = 0,26$$

Suelo – Franco arcilloso:

$$M = (30\% \text{limo} + 30\% \text{arena muy fina})(100\% - 40\% \text{arcilla})$$

$$M = 3600$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * 3600^{1.14} * (12 - 4) + 3,25 * (2 - 2) + 2,5 * (2 - 3)]/100$$

$$K = 0,17$$

Suelo – Franco:

$$M = (40\% \text{limo} + 40\% \text{arena muy fina})(100\% - 20\% \text{arcilla})$$

$$M = 6400$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * 6400^{1.14} * (12 - 1) + 3,25 * (3 - 2) + 2,5 * (5 - 3)]/100$$

$$K = 0,59$$

Suelo – Franco arenoso:

$$M = (50\% \text{limo} + 40\% \text{arena muy fina})(100\% - 10\% \text{arcilla})$$

$$M = 8100$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * 8100^{1.14} * (12 - 1) + 3,25 * (3 - 2) + 2,5 * (4 - 3)]/100$$

$$K = 0,72$$

Suelo – Areno Francoso:

$$M = (25\% \text{limo} + 70\% \text{arena muy fina})(100\% - 5\% \text{arcilla})$$

$$M = 9025$$

$$K = [10^{-4} * 2.1 * 9025^{1.14} * (12 - 1) + 3,25 * (4 - 2) + 2,5 * (5 - 3)]/100$$

$$K = 0,86$$

Tabla 13 Datos edafológicos de los suelos en la microcuenca del río Tabacay

Texturas	% Limo	% Arcilla	% Arena	Código de M. O	Código de Estructura	Código de permeabilidad	Valor de M
Arcilla Pesada	20	60	20	4	1	4	1600
Arcillo Limosa	40	40	20	3	2	4	3600
Arcilloso	20	60	20	3	2	3	1600
Franco Arcilloso Arenoso	35	30	35	4	2	6	4900
Franco Arcilloso Limoso	40	40	20	3	2	5	3600
Franco Arcilloso	30	40	30	4	2	2	3600
Franco	40	20	40	1	3	5	6400
Franco Arenoso	50	10	40	1	3	4	8100
Areno Francoso	25	5	70	1	4	5	9025

Fuente: MAGAP, 2017.

Elaborado por: Autor

Obtenido los valores del Factor K (**Tabla 14**), necesario para el cálculo de la erodabilidad, se ingresaron los datos en el programa ArcGis 10, en la tabla de atributos del archivo shapefile que tiene los polígonos de las texturas de suelo (**Fig. 13**). Los valores de cada cálculo se espacializaron mediante la aplicación de la herramienta *ArcToolbox / Conversion / Tools / To Raster / Polygon to Raster*, creando un archivo en formato Raster, para mediante la aplicación de la Herramienta *Spatial Analysis / Reclassify*, clasificar en diez clases de texturas con sus respectivos valores del factor K (**Fig. 25**).

Tabla 14 Valores del factor K.

Textura	Valor de K
Arcilloso	0,08
Arcilla Pesada	0,07
Arcillo Limosa	0,24
Areno Francoso	0,86
Franco	0,59
Franco Arcilloso	0,17
Franco Arcillo Arenoso	0,35
Franco Arcillo Limoso	0,26
Franco Arenoso	0,72

Fuente: Elaboración propia

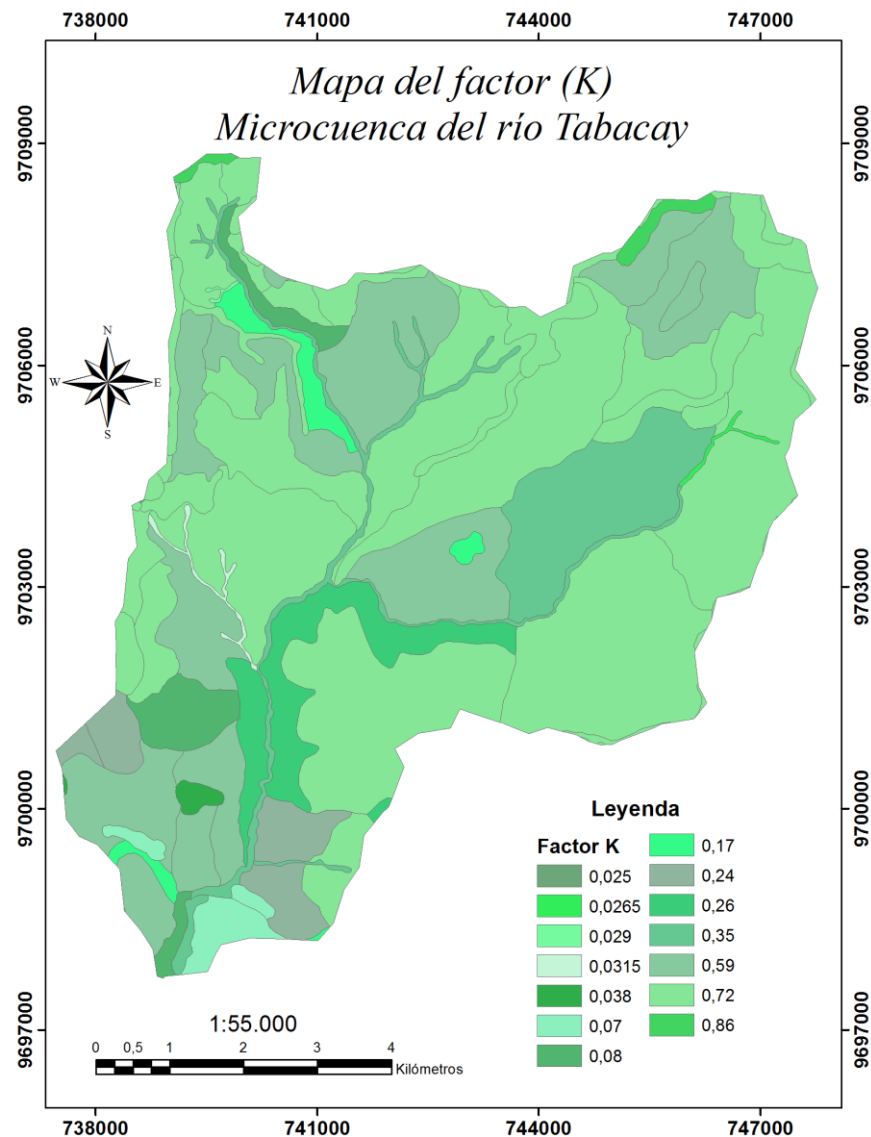


Fig. 14 Valores del factor K en la microcuenca del río Tabacay. (Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

4.5.3. Factores $L \cdot S$

Para la obtención de los factores L y S, se procedió a realizar el cálculo por separado: grado de la pendiente en porcentaje (S), así como la longitud de la pendiente (L), el primer paso consistió en crear un Tin (red irregular de triángulos por sus siglas en inglés), para lo cual se utilizó las curvas de nivel cada 5 metros, la información digital se la recopiló tanto del Instituto Geográfico Militar (IGM) y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). Una vez con la

respectiva información se procedió mediante el programa ArcGis 10, con la herramienta de *3D Analyst / create / Modify / Tin*, una vez obtenida la Red Irregular de Triángulos (Tin), se procedió a crear el Modelo de Elevación Digital (MED), utilizando la herramienta *3D Analyst*, mediante la opción *Convert / Tin to Raster*, transformándolo a formato raster con una resolución de 25 metros de pixel.

Grado de la pendiente en porcentaje (S)

Para obtener el mapa de pendientes se utilizó el Modelo Digital de Terreno (MDT) del Ecuador Continental, descargada del portal de SIGTIERRAS (MAGAP, 2016), posteriormente mediante la herramienta *Spatial Analyst-Tools-Extraction-Extract by Mask* se procedió a cortar el MDT con área de estudio, luego con la herramienta *Spatial Analyst-Tools-Surface-Contour* se calculó las curvas de nivel a una distancia de 5m. A partir de este mapa se obtuvo un DEM (Modelo de Elevación Digital). Se obtuvo las pendientes del terreno y se *reclasificó* para construir un mapa con los siguientes rangos de pendiente: 0-15% 16-30% 31-45% y >45%. Ver **Fig. 15**

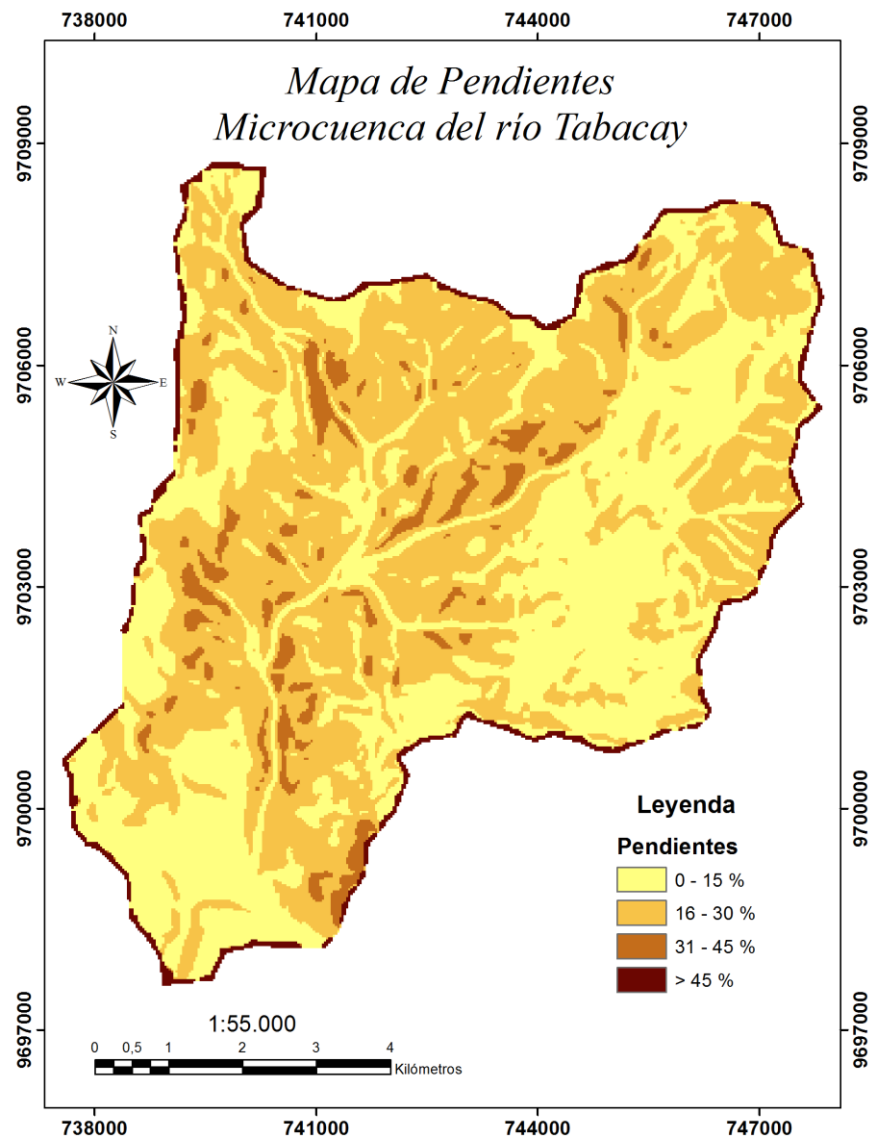


Fig. 15 Mapa de pendientes de la microcuenca del río Tabacay (Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

Una vez obtenido el mapa de pendientes se aplicó para el cálculo del factor S las ecuaciones (12) y (13), de la siguiente manera:

(12) Angulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases}$$

(13)

$$S = 0,065 + 0,045s + 0,0065s^2$$

Donde:

S = Factor de la pendiente

s = La pendiente del terreno (en porcentaje)

Luego de remplazar los valores mediante la herramienta *Spatial Analyst / raster calculator*, que es la calculadora de mapas que generaría el factor en estudio, se aplicó los valores como se detalla a continuación:

$$S = 0,065 + 0,045[pendiente] + 0,0065[pendiente]^2$$

Donde:

Pendiente = Mapa en porcentaje.

Una vez aplicada la ecuación, se obtuvo el mapa del factor S. ver **Fig. 16**.

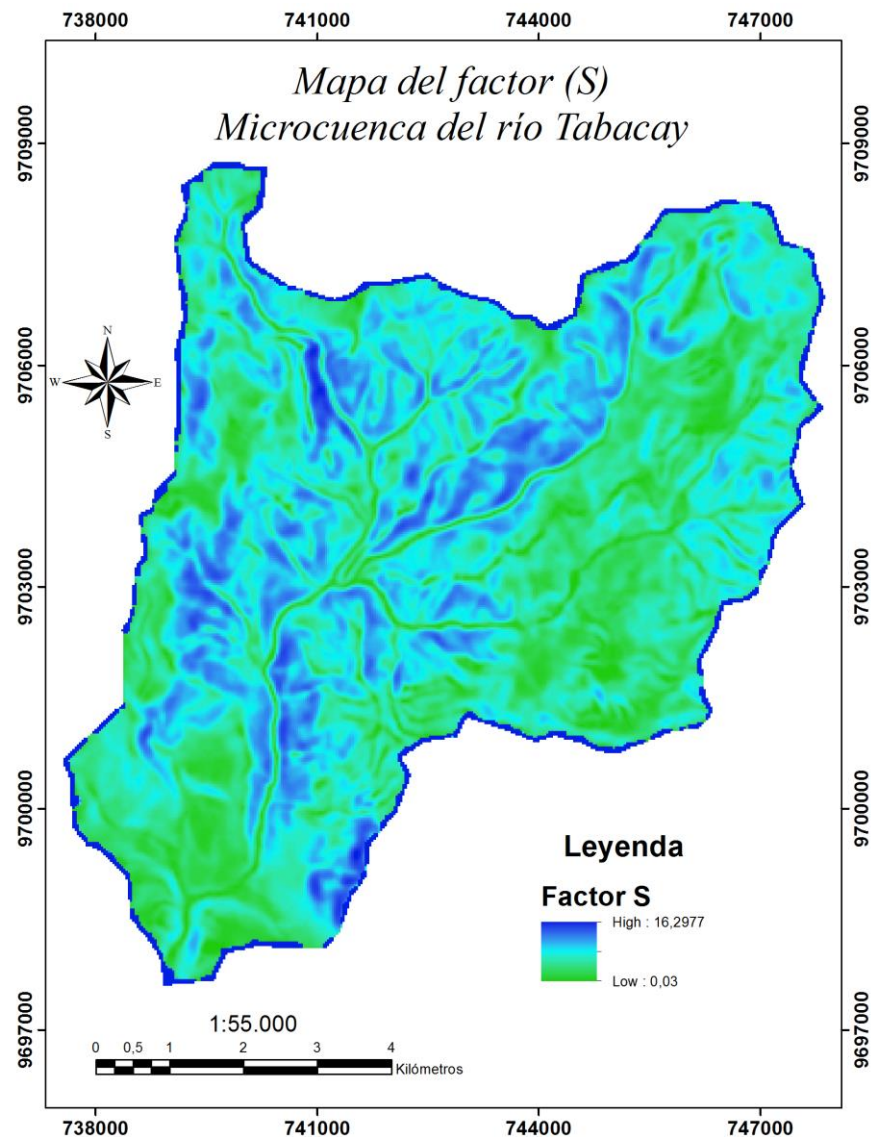


Fig. 16 Grado de la pendiente en porcentaje (S) de la microcuenca del río Tabacay. (Autor)

Fuente: MAGAP, 2016

Factor longitud de la pendiente (L)

La longitud de la pendiente se la define como la distancia que generaría la caída de una gota de lluvia en un relieve mayor sobre una superficie hasta el punto final del recorrido del depósito llamado sedimento.

Para determinar el factor L, se recurrió a la fórmula empleada por Wischmeier y Smith (1978):

(14)

$$\left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m$$

Donde:

L = Factor de la longitud de la pendiente.

λ = Longitud de la pendiente (m).

m = Exponente influenciado por el grado de la pendiente (raster).

22,13 = Longitud estándar de la pendiente usada para el área de estudio.

Para la obtención del valor λ (Longitud de la pendiente), se generó mediante el Modelo Digital de Elevación (M.D.E), en formato ráster, aplicando con el botón derecho en el ráster del Modelo Digital de Elevación y con la opción/source de Arcgis se verificó los valores en la resolución del pixel los cuales fueron los siguientes X=25 metros en Y=25 metros.

Una vez obtenidos los valores de la resolución del pixel se aplicó la ecuación del teorema de Pitágoras, que permitió obtener la longitud de la hipotenusa (λ).

(15)

$$\lambda = \sqrt{TC^2 + TC^2}$$

Donde:

TC = Es el tamaño del pixel de cada celda en el Modelo Digital de Elevación (MDE).

Aplicando la ecuación se obtuvo el valor de longitud de la pendiente de la siguiente manera:

$$\lambda = \sqrt{25^2 + 25^2}$$

$$\lambda = \sqrt{1250}$$

$$\lambda = 35,4$$

Una vez obtenido los resultados de las variables, se procedió mediante la herramienta *raster calculator* (calculadora de mapas), a remplazar λ en la ecuación **(14)**, remplazando los datos:

$$L = (35,4/22,13)^{[SLOPE]}$$

Donde:

SLOPE= Grado de la pendiente.

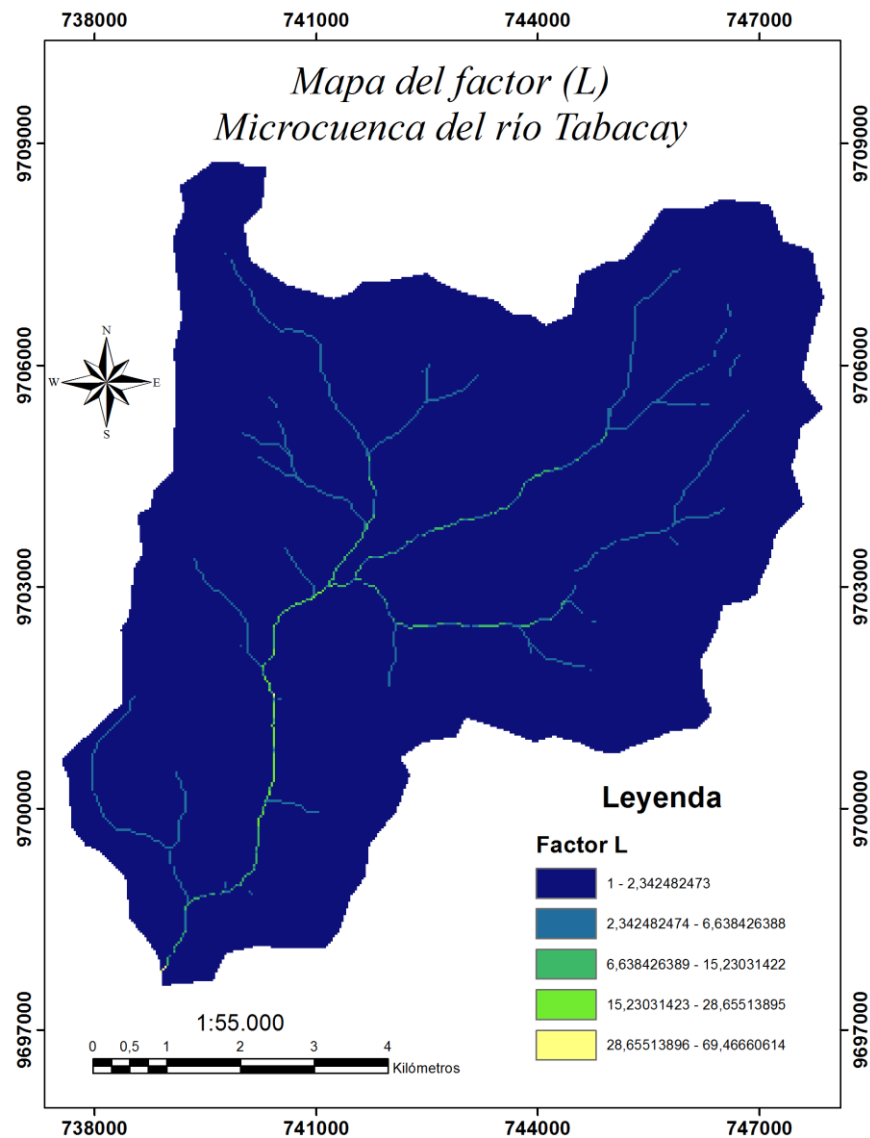


Fig. 17 Factor de longitud de la pendiente (L) de la microcuenca del río Tabacay (Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

Determinación del Factor LS (Longitud y Pendiente de la ladera)

Para la obtener el factor LS, se multiplicaron los mapas del factor L y S, mediante el programa ArcGis utilizando la herramienta *Spatial Analyst/ráster calculator*.

(16)

$$LS = facto_L * factor_S$$

Cuyo resultado fue un ráster del factor L*S con una resolución espacial de 25 metros, se categorizó los valores de la siguiente manera (**Fig. 26**):

Tabla 15 Categorización del factor LS.

Factor LS	Categorización
Bajo	<15
Moderado	15-30
Alto	30-45
Muy Alto	>45

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978

Elaborado por: Autor

4.5.4. Factor C

El factor C, nos indica el estado de protección vegetal y comportamiento del suelo frente a un área de intensidad generada por la precipitación caída y la disminución del efecto erosivo en el suelo. Para la obtención del uso y cobertura del suelo, se valoró las coberturas existentes (**Fig. 18**), cuya información y clasificación se realizó del archivo digital en formato shapefile del mapa de uso y cobertura del suelo del MAGAP, 2015.

Luego del análisis se obtuvo 11 tipos de usos de suelos en el área de estudio, considerando el factor C (**Tabla 16**).

En la determinación de cada tipo de vegetación o cultivo de los valores en factor C, se recurrió a los publicados por (Wischmeier & Smith, 1978). Se ingresaron los datos en el programa ArcGis 10, en la tabla de atributos del archivo shapefile que tiene los polígonos de cobertura del suelo. Los valores de cada cálculo se espacializaron mediante la aplicación de la herramienta *ArcToolbox / Conversion / Tools / To Raster / Polygon to Raster*, creando un archivo en formato Raster, mediante la aplicación de la Herramienta *Spatial Analysis / Reclassify*, se clasificó en diez tipos con respecto a los valores del factor C (**Fig. 27**).

Tabla 16 Valores del factor C. (Autor)

Tipo de Cobertura	Factor C
Área Poblada	1
Bosque nativo	0,003
Cuerpo de agua	0
Cultivo	0,543
Erial	0,98
Infraestructura antrópica	0,98
Páramo	0,003
Pastizal	0,12
Plantación Forestal	0,041
Vegetación Arbustiva	0,03
Vegetación herbácea	0,012

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978**Elaborado por:** Autor

Como se puede apreciar en la **Tabla 16** existen valores del factor C relacionados a un tipo de cobertura que van desde 0 a 1 siendo los valores cercanos a 0 los que presentan un mayor grado de protección por parte de la vegetación hacia el suelo, mientras que los valores cercanos a 1 no presentan protección significativa, cuando el valor es igual a 1 no presenta ningún tipo de protección y si el valor es igual a 0 quiere decir que existe la presencia de cuerpos de agua.

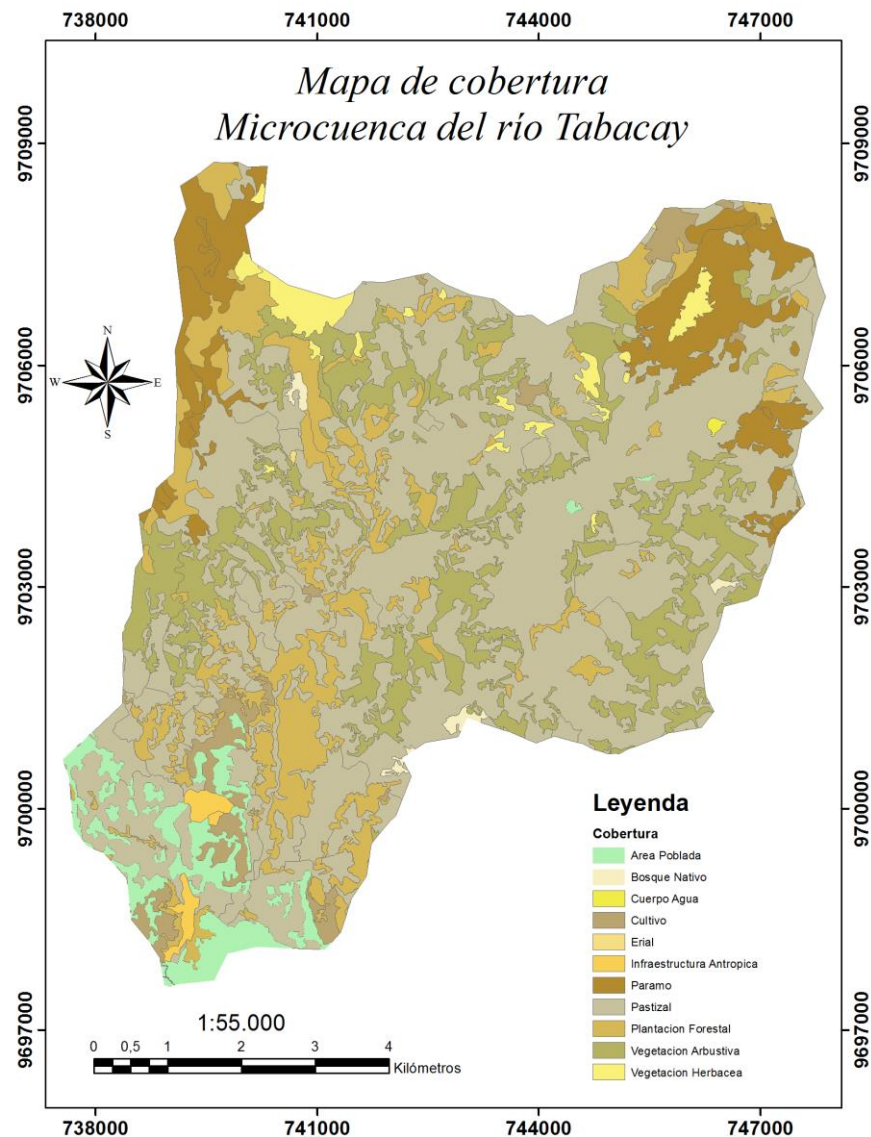


Fig. 18 Mapa de Cobertura de suelo en la microcuenca del río Tabacay.
(Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

4.5.5. Factor P

Este factor no se lo consideró por no presentar prácticas de conservación en la microcuenca estudiada.

4.5.6. Modelo Universal de Pérdida de Suelo en GIS

La conjunción de todas las capas analizadas anteriormente tiene como resultado el mapa de Fórmula Universal de Pérdida de Suelo de la microcuenca del río Tabacay, expresado en toneladas métricas por hectárea por año. Para aplicar la ecuación **(1)** se utilizó la herramienta *Raster Calculator* del *Arc Toolbox*. **(Fig. 28)**

4.6. Estadísticas

Resumen estadístico y análisis de varianza entre la FUPS y el uso de suelo y cobertura vegetal dentro de este resumen se calculó la media, desviación estándar, error estándar coeficiente de variación, valor mínimo, valor máximo, mediana, suma, asimetría y rango.

Posterior a ello se realizó un análisis de varianza de cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos versus el uso de suelo circundante a las captaciones.

Para finalizar se obtuvo el índice de correlación entre variables fisicoquímicas y microbiológicas conjuntamente con una prueba multivariante.

Los análisis estadísticos fueron realizados mediante los programas InfoStat versión 2016, IBM SPSS Statistics v23 y Excel 2016.

4.6.1. Análisis de varianza de los fragmentos extraídos en la FUPS a partir del búfer versus el uso del suelo.

Para comprobar una existencia de igualdad de varianzas se calculó la varianza de cada uno de los dos grupos de uso de suelo (Pastizal y Vegetación Arbustiva). Permitiendo establecer la relación con los fragmentos extraídos de la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo y verificar los valores de cada búfer y comprobar que exista problemas de erosión en las zonas cercanas a las captaciones.

4.6.2. Relación entre uso del suelo y la calidad del agua.

4.6.2.1. Análisis multivariado de varianza (MANOVA) y Análisis de conglomerados del uso del suelo versus los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las captaciones.

Para establecer la relación entre el uso del suelo y la calidad del agua fue necesario realizar un análisis de varianza multivariado con la variable uso del suelo asociada al área búfer de cada captación relacionado con los datos fisicoquímicos de las muestras tomadas en las 5 captaciones de la Empresa EMAPAL Ep en la microcuenca del río Tabacay.



4.6.2.2. Análisis de Varianza (ANOVA) de cada variable que determina la calidad del agua versus el uso del suelo.

El análisis de varianza de cada variable se realizó mediante la normalización de los datos obtenidos en el muestreo de agua en cada una de las captaciones, logrando determinar cuáles de las variables mencionadas anteriormente son las responsables de establecer la diferencia entre varianzas de los grupos de suelo.

4.6.2.3. Correlación entre variables que determinan la calidad del agua.

Se realizó un análisis de correlación entre los parámetros que determinan la calidad del agua (Sólidos totales, turbidez, nitratos, fósforo total, temperatura, DBO (5 días), potencial de hidrógeno, coliformes fecales, coliformes totales, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, color verdadero y conductividad) con el fin de establecer la afinidad entre variables, su relación intervariable y la dependencia entre ellas.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS

5.1. Análisis fisicoquímico de las captaciones en la microcuenca del río Tabacay.

Los datos de los parámetros de calidad del agua fueron recolectados por técnicos de la Empresa EMAPAL Ep. en las captaciones ubicadas en la microcuenca del río Tabacay desde el año 2010 hasta la fecha, según el Plan de Monitoreo. Para este estudio se utilizó los datos recolectados desde agosto de 2015 hasta agosto de 2016 siendo un año calendario de muestreo ininterrumpido de los siguientes parámetros: sólidos totales, turbidez, nitratos, fósforo total, temperatura, DBO (5 días), potencial de hidrógeno, coliformes fecales, coliformes totales, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, color verdadero y conductividad. (**Tabla 17**).

Como primer análisis con los datos de los parámetros de calidad de agua se procedió a calcular la media anual (**Tabla 17**) para los 5 puntos de muestreo. Ver **Fig. 19, Fig. 20, Fig. 21, Fig. 22, Fig. 23**.

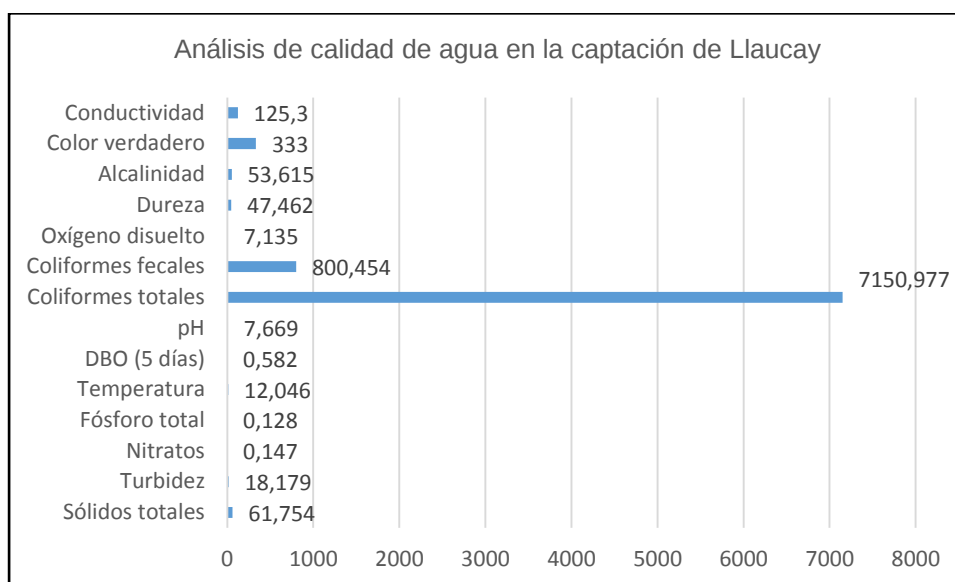


Fig. 19 Media de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la captación de Llaucay. (Autor)

Como podemos observar que para la quebrada Llaucay los valores que presentan los niveles más elevados de su media anual son los coliformes totales, coliformes fecales y el color verdadero, los cuales al ser comparados con la normativa vigente sobrepasan los límites máximo permisibles. Ver **Tabla 17**.

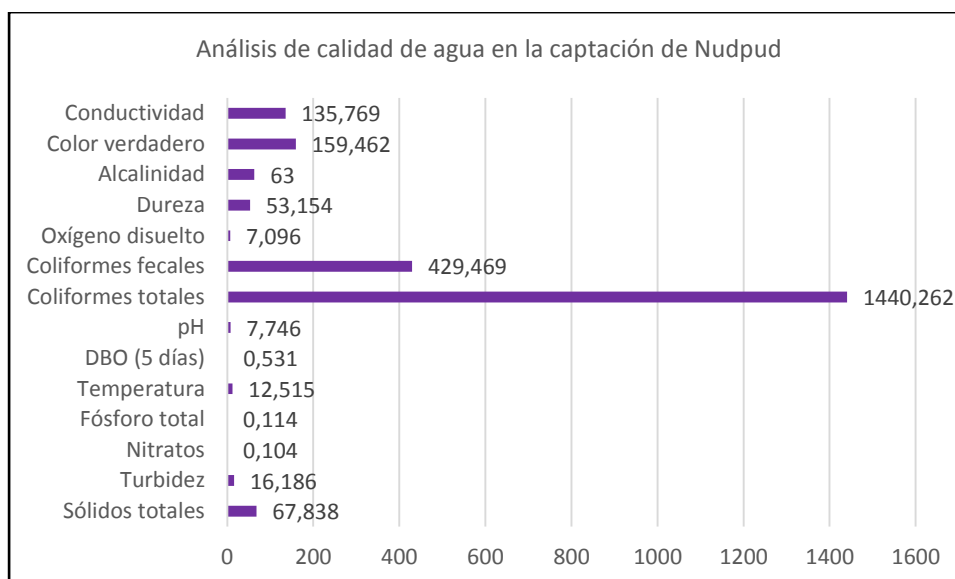


Fig. 20 Media de los análisis físicoquímicos y microbiológicos en la captación de Nudpud. (Autor)

Al observar la **Fig. 20** podemos apreciar que en la quebrada Nudpud los valores que presentan un alto nivel de concentración son: coliformes totales, coliformes fecales, color verdadero y conductividad, de los cuales el único que sobrepasa la normativa vigente (Ver **Tabla 17**) es color verdadero.

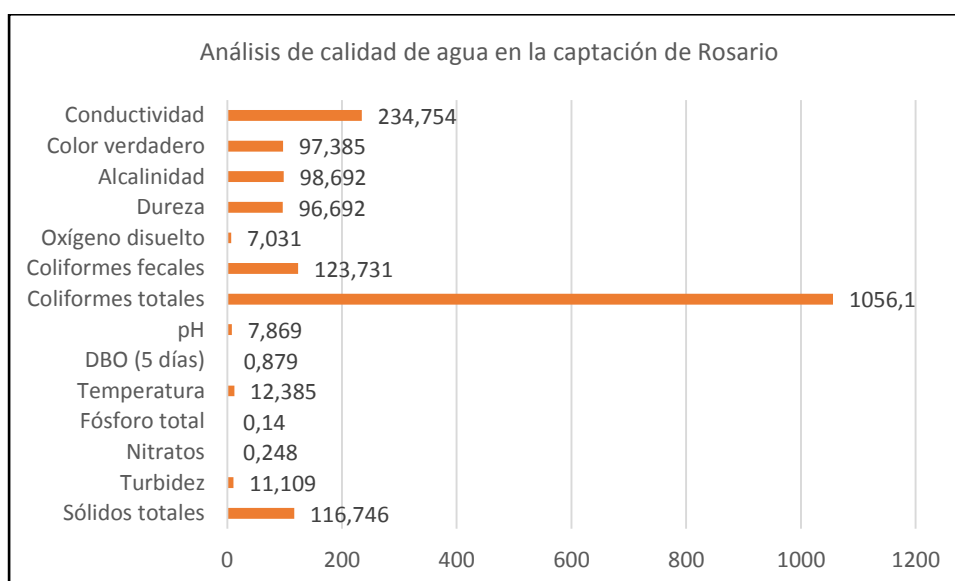


Fig. 21 Media de los análisis físicoquímicos y microbiológicos en la captación de Rosario. (Autor)

Como observamos en la **Fig. 21** en la quebrada Rosario ninguno de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos no exceden la normativa vigente (Ver **Tabla 17**) siendo la única que lo hace dentro de la microcuenca del río Tabacay.

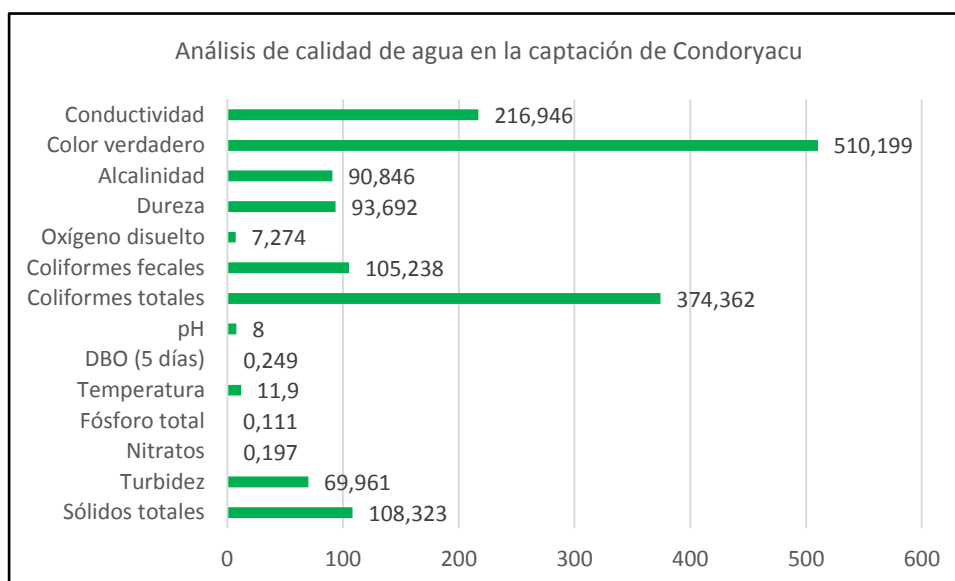


Fig. 22 Media de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la captación de Condoryacu. (Autor)

Como se aprecia en la **Fig. 22** los parámetros que en sus medias anuales que presentan un alto nivel de concentración dentro de la quebrada Condoryacu son: color verdadero, coliformes totales, conductividad, sólidos totales y coliformes fecales, siendo, el color verdadero el único parámetro que sobrepasa la normativa vigente (Ver **Tabla 17**).

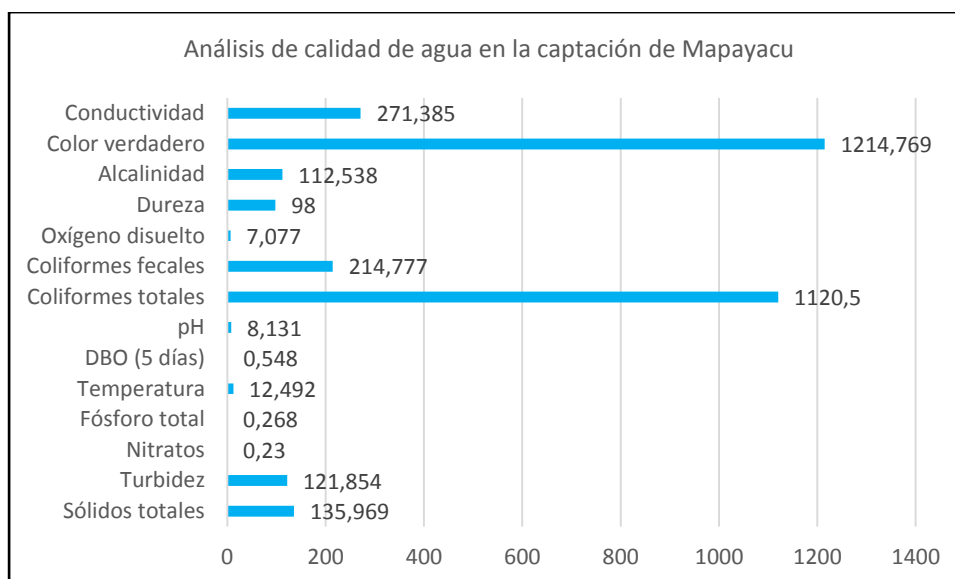


Fig. 23 Media de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la captación de Mapayacu. (Autor)

En la **Fig. 23** se observa de que dentro de la quebrada Mapayacu los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos que tienen una concentración elevada son: color verdadero, coliformes totales, conductividad, coliformes fecales, sólidos totales, turbiedad y alcalinidad, al comparar los valores de estos parámetros con los de la normativa vigente (Ver **Tabla 17**), los que exceden de su valor máximo permisible son color verdadero y turbidez.

Como se pudo observar en las figuras anteriores que, de las 5 captaciones estudiadas en ésta investigación, todas presentan picos en su media de la variable Coliformes Totales y además en Llaucay se aprecia que la variable mencionada se excede por un amplio margen a los valores de las demás captaciones. También se puede apreciar que otra de las variables que presenta picos es el color verdadero en las captaciones de Condoryacu y Mapayacu, en esta última el valor de la media de color verdadero excede a los valores de la media de Coliformes Totales.

Tabla 17 Parámetros físicoquímicos y microbiológicos, los límites máximos permisibles en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiente. (TULSMA).

PARÁMETRO	UNIDAD	CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA TULSMA TABLA 1
Alcalinidad		
Coliformes Fecales	NMP/ 100 ml	600
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	3000
Color Real	UC	100
Conductividad	us/cm	
DBO5	mg/l	2
Dureza Total	mg/l ppm (CO ₃ Ca)	500
Fósforo Total	mg/l	
Nitratos	mg/l	10
Oxígeno Disuelto	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l
Potencial Hidrógeno	pH	6 - 9
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	1000
Temperatura	°C	Condición Natural + o - 3 grados
Turbiedad	FTU	100

5.2. Determinación de la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS).

Con el fin de establecer la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS) para la microcuenca del río Tabacay, establecer las toneladas métricas por hectárea por año de pérdida de suelo en la zona de estudio y así obtener las áreas búfer de las captaciones fue necesario determinar cada uno de los factores por separado.

5.2.1. Factor R

Se obtuvo una capa digital con valores que van desde 77,95 hasta 86,95 (Fig. 24) siendo una microcuenca que tiene un factor R = Moderado según la tabla de clasificación del Índice de Fournier (Tabla 1)

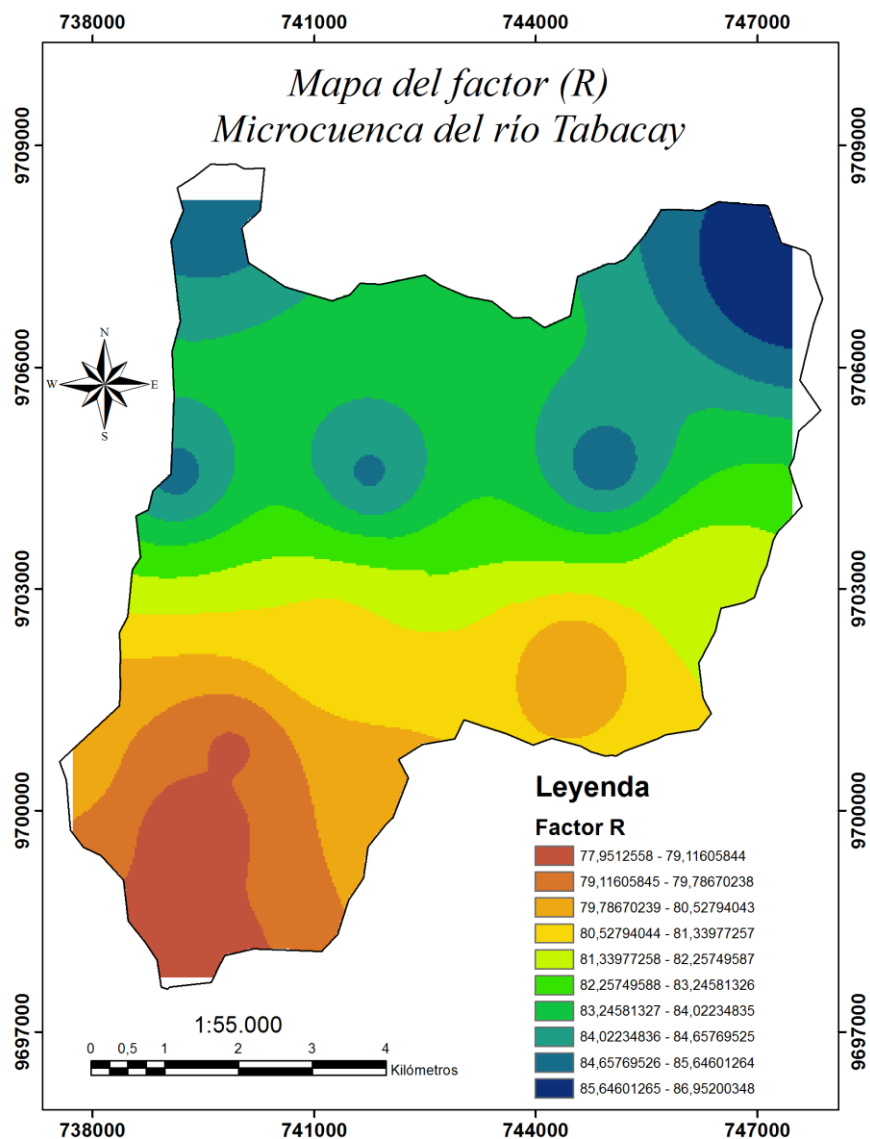


Fig. 24 Mapa del factor *R* en la Microcuenca del río Tabacay (Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

5.2.2. Factor K

Los resultados obtenidos a partir de la ecuación (7), ver **Tabla 14**, utilizaron los datos proporcionados por el MAGAP para el área de estudio y la literatura correspondiente para calcular dichos valores. Observándose valores que van desde 0,025 hasta 0,86 (**Fig. 25**).

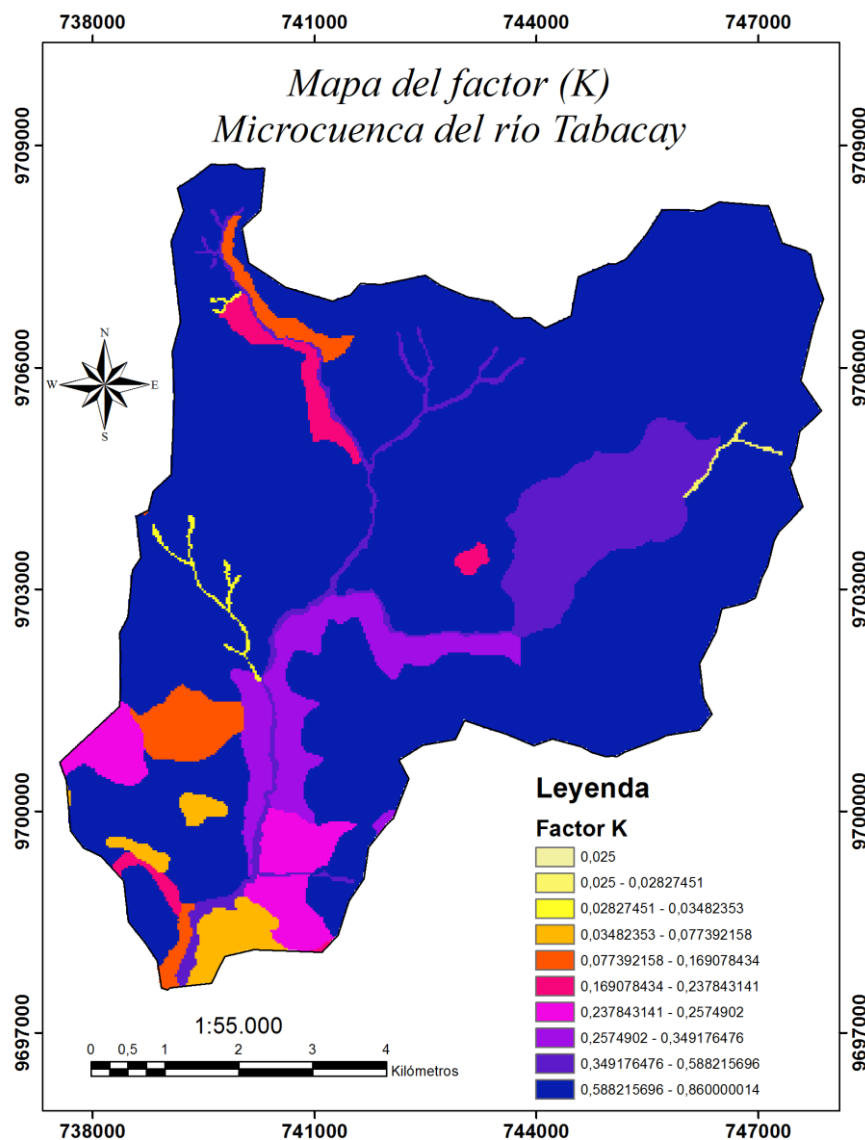


Fig. 25 Mapa del factor K en la Microcuenca del río Tabacay (Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

5.2.3. Factor L^*S

Se obtuvo el factor L^*S , dando los siguientes resultados que van desde 0,2999 hasta 1129,95. Como podemos apreciar en el mapa en su gran mayoría no se excede de 15. Al tomar 15 como el valor predominante de la microcuenca podemos decir que tiene un Factor L^*S entre bajo y moderado según la tabla de categorización del factor L^*S (**Tabla 15**)

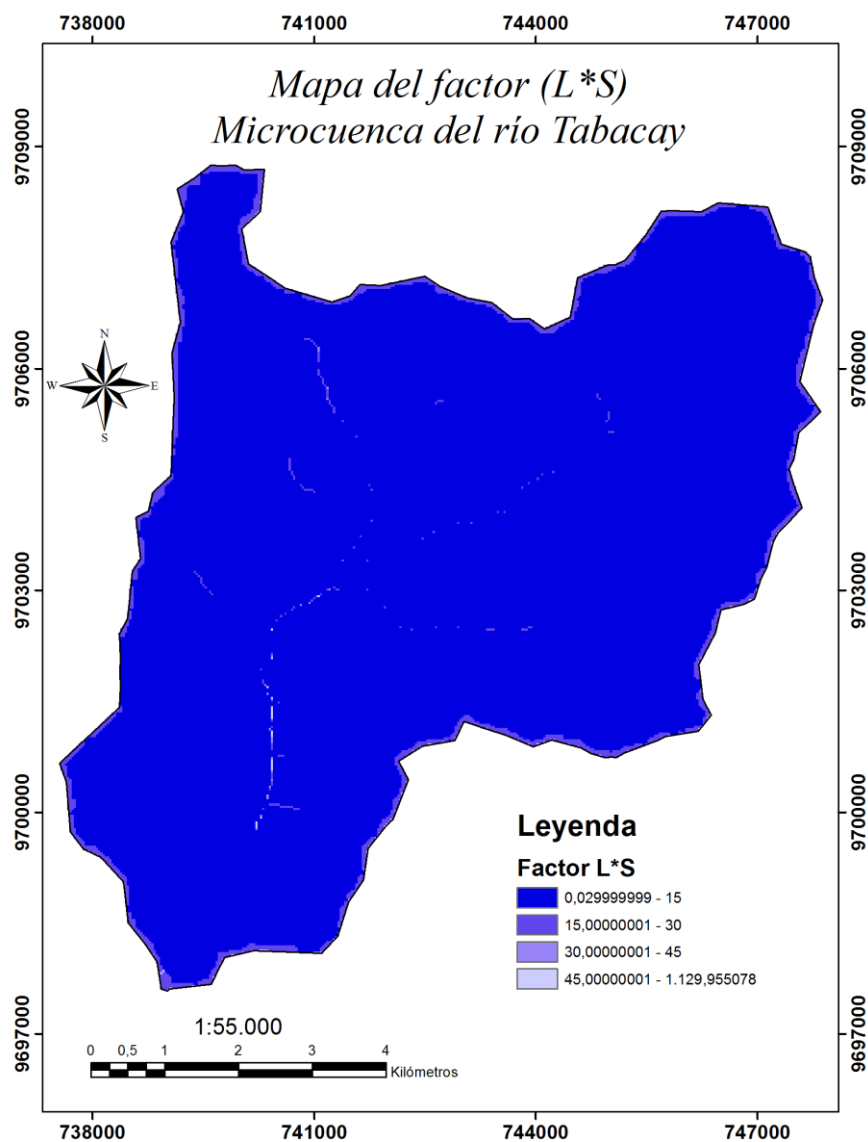


Fig. 26 Mapa de L^*S microcuenca del río Tabacay (Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

5.2.4. Factor C

Los valores obtenidos para el factor C (**Tabla 16**) muestran que en la microcuenca de río Tabacay existe una gran variabilidad de uso de suelo. Representando valores que van desde 0 hasta 1, siendo 1 donde no existe cobertura vegetal es decir presenta cuerpos de agua o a su vez zonas pobladas, mientras que, en las zonas que este valor es más cercano a 0 existe un mayor estado de protección vegetal. (**Fig. 27**)

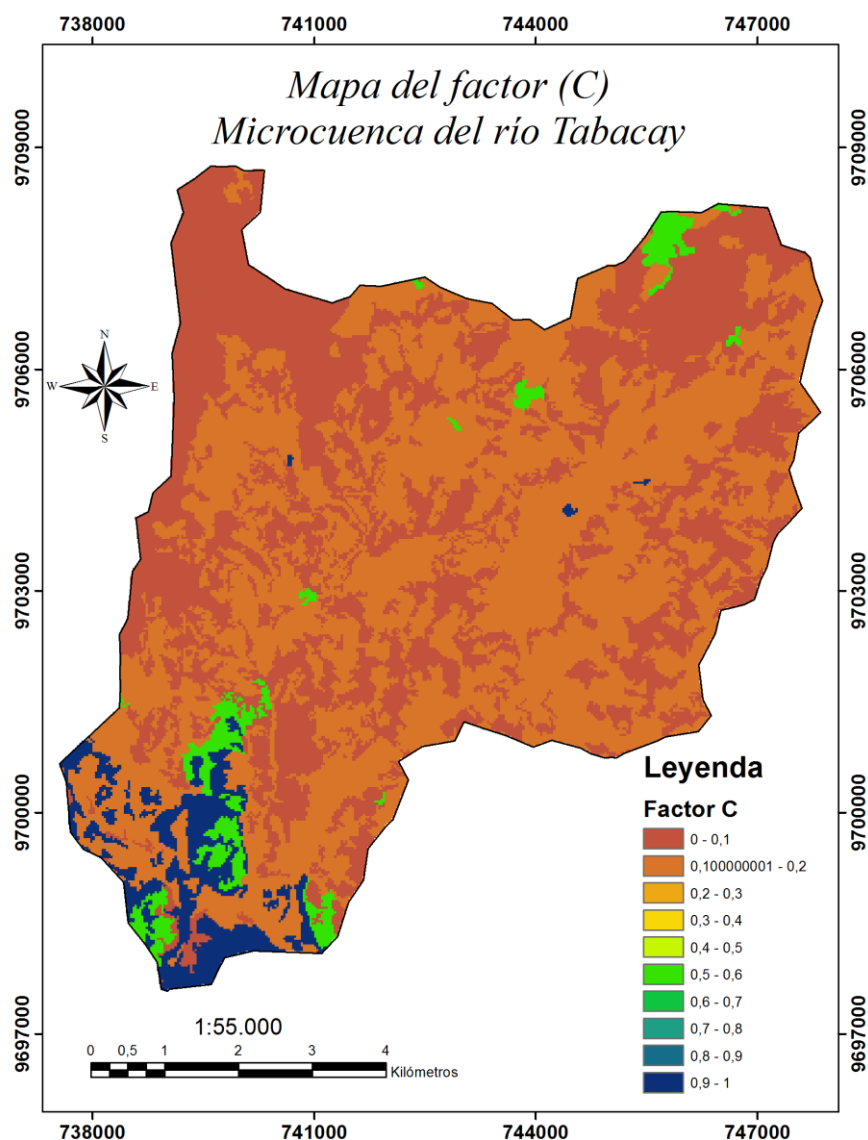


Fig. 27 Mapa del factor C en la Microcuenca del río Tabacay (Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

5.2.5. Fórmula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS)

Al utilizar la herramienta *Raster Calculador* para multiplicar todas las capas antes mencionadas se produjo como resultado el mapa de Pérdida de Suelo de la Microcuenca del río Tabacay, expresado en toneladas métricas por hectárea por año. Los valores obtenidos van desde 0 hasta 55,29 ton/ha/año; aquellas cifras superiores se dan por la siguiente razón: debido a que en el cálculo del Factor $L \cdot S$ en la zona por donde el río Tabacay se encauza existen pequeños puntos que superan los 100 hasta llegar a valores exorbitantes de alrededor de 1130 y al multiplicarlos con los demás factores nos dan resultados de aproximadamente 7050 Ton/ha/año. Como se puede apreciar en la (**Fig. 28**). Pero estos valores no afectan al cálculo final ya que cuando se realizó los búferes de las zonas cercanas a las captaciones estos no se hallaban presentes.

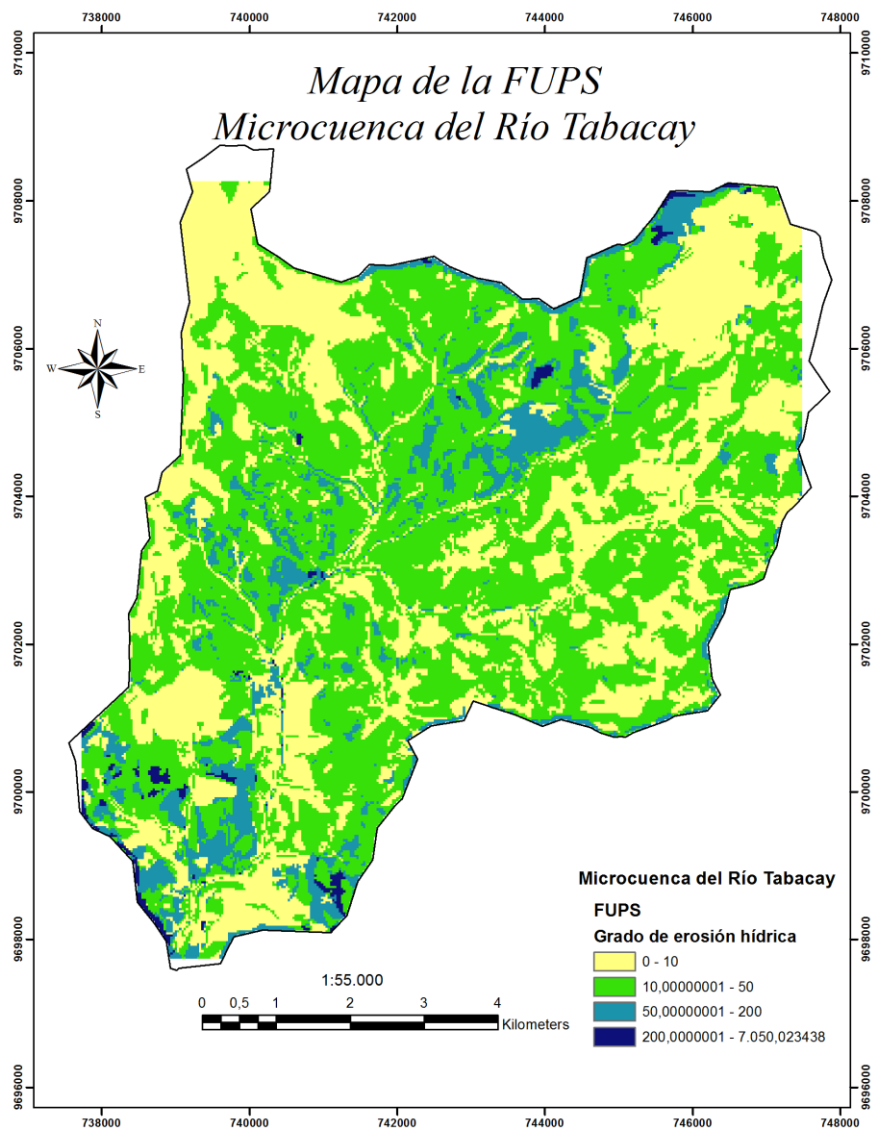


Fig. 28 Mapa de Pérdida de Suelo (FUPS) en la Microcuenca del río Tabacay (Autor)

Fuente: MAGAP, 2015

5.2.6. Extracción de las zonas búfer de las captaciones a partir del mapa digital de FUPS de la microcuenca del río Tabacay.

Al extraer los búferes del mapa de digital de la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo de las zonas cercanas a las captaciones de la empresa EMAPAL Ep, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18 Extracción de los valores medios de la FUPS para cada captación.
(Autor)

Captación	FUPS Ton/ha/año
Llaucay	1,64
Nudpud	5,28
Mapayacu	4,99
Rosario	3,69
Condoryacu	3,14

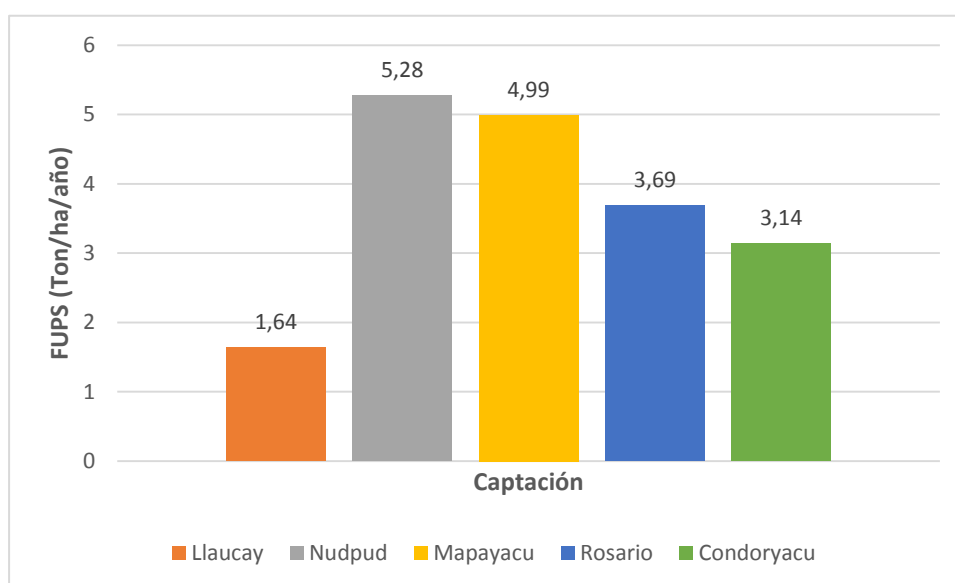


Fig. 29 Valores medios de la FUPS para cada captación (Autor)

5.3. Resultados de los análisis estadísticos.

5.3.1. Análisis de Varianza (ANOVA) de los fragmentos de la FUPS, según el uso del suelo asociado al búfer extraído de las captaciones.

Al realizar el análisis de varianza ANOVA para cada búfer de las captaciones con los valores de pérdida de suelo dados en toneladas métricas por hectárea por año contrapuesto con los usos de suelo: pastizal y vegetación arbustiva (test de Tukey $n=5$; $R^2=0,04$; $CV=44,47$ y $p=0,7396$) dan como resultado la no existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre Vegetación Arbustiva y Pastizal (**Tabla 19**). Se acepta la hipótesis como nula ya que plantea la igualdad en las varianzas pues los valores de p son mayores a 0,05. Como se observa en el mapa

de la FUPS, ver **Fig. 28**, la tendencia son valores menores a 55,29 toneladas métricas por hectárea por año lo que significa valores altos a moderados según la **Tabla 2** pero al comparar con los valores extraídos de los búferes **Tabla 18** el grado de erosión hídrica en las zonas cercanas a la captación es leve. Por lo que se puede asegurar que en las zonas aledañas a las captaciones no existen problemas graves relacionados al proceso de erosión como se observa en la **Fig. 28**.

Tabla 19 *Análisis de varianza entre la FUPS versus el uso y cobertura de suelo. (Autor)*

Análisis de varianza entre la FUPS versus el uso y cobertura de suelo.					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
FUPS	5	0,04	0,00	44,47	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,37	1	0,37	0,13	0,7396
Cobertura	0,37	1	0,37	0,13	0,7396
Error	8,34	3	2,78		
Total	8,71	4			
Test: Tukey					
Alfa=0,05 DMS=4,84469					
Error: 2,7809 gl:3					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	3,42	2	1,18	A	
Pastizal	3,97	3	0,96	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

5.3.2. Análisis multivariado de varianzas (MANOVA) de los parámetros de calidad del agua versus el uso de suelo cercano a las captaciones.

Utilizando el programa IBM SPSS Statistics v23 para analizar los parámetros de calidad del agua contra el uso de suelo (Vegetación arbustiva y Pastizal) se

obtuvieron los siguientes resultados: Pillai, Wilks, Hotelling y Roy = 0,792 (**Tabla 20**), este estudio nos permite asegurar que no existe diferencia significativa entre los parámetros de calidad de los dos usos de suelo.

Por lo que se prueba la nulidad de la hipótesis porque existe diferencia entre los grupos de variables. De los cuatro estadistas utilizados (Wilks, Pillai, Lawley-Hotelling y Roy), presentaron valores iguales a 0,792 (**Tabla 20**) como este valor supero a 0,05 se acepta la hipótesis planteada como nula, ya que no existe diferencia entre las varianzas de los parámetros con el uso de suelo de las captaciones.

Tabla 20 *Análisis multivalente parámetros de la calidad del agua versus el uso de suelo. (Autor)*

Prueba multivariante.					
	Valor	F	Gl de hipótesis	Gl de error	Sig.
Traza de Pillai	0,540	0,392	3	1	0,792
Lambda de Wilks	0,460	0,392	3	1	0,792
Traza de Hotelling	1,175	0,392	3	1	0,792
Raíz mayor de Roy	1,175	0,392	3	1	0,792

5.3.3. Análisis de conglomerados de los parámetros de calidad del agua versus el uso de suelo cercano a las captaciones.

Al existir únicamente dos usos de suelo para el análisis de conglomerados nos da como resultado que se encuentran relacionados entre sí por ende se hallan agrupadas. Pero a su vez ubica al Pastizal como a la Vegetación arbustiva en distintas categorías generando un análisis de conglomerados por encadenamiento completo con cálculos de distancia euclidiana (correlación cofenética = 5.29). Pudiendo en la figura anteriormente mencionada apreciar que existe una distancia euclídea entre V. arbustiva y Pastizal de 5,29. Ver **Fig. 30**.

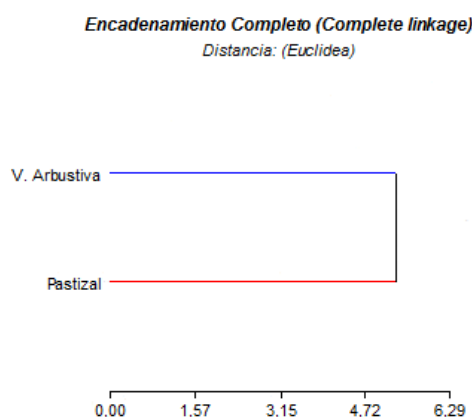


Fig. 30 Análisis de conglomerados de los parámetros de calidad del agua versus el uso de suelo cercano a las captaciones (Autor)

5.3.4. Análisis de varianza para cada variable determinante de la calidad del agua versus el uso de suelo circundante a las captaciones.

Con la finalidad de establecer diferencias significativas en las diferentes categorías de uso del suelo **Anexo 3**. Al realizar el análisis de varianza con el test de Tukey para la alcalinidad como variable dependiente y el uso de suelo como variable de clasificación se obtuvieron los siguientes resultados **Fig. 31** ($n=5$, $R^2=0.17$, $CV=31.11$, $p=0.4958$); no presentan una diferencia significativa entre los usos de suelo V. Arbustiva y Pastizal (A), aceptando la hipótesis nula dándose esto para todas las variables de los parámetros de calidad del agua. Como se lo observa en el **Anexo 3**.

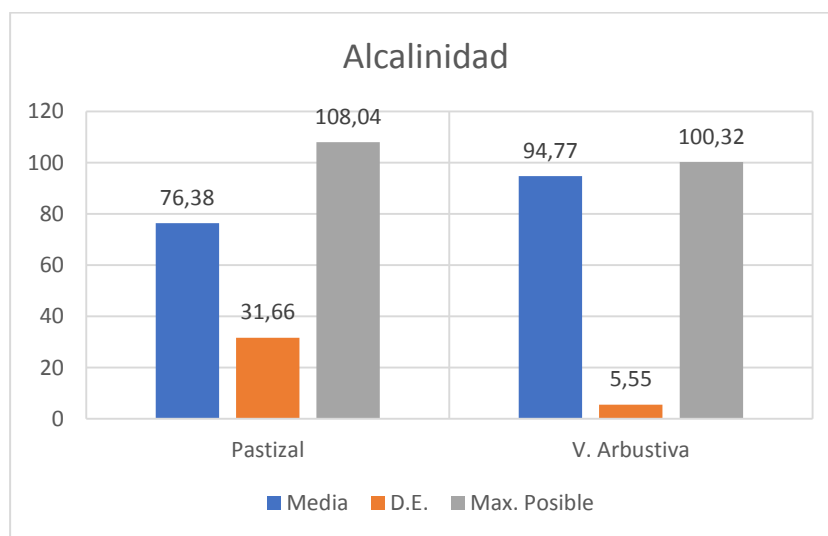


Fig. 31 Análisis de varianza de la alcalinidad. (Autor)

5.3.5. Índice de correlación entre variables fisicoquímicas y microbiológicas que determinan la calidad del agua.

Para determinar la existencia de afinidad o dependencia entre variables y si estan relacionadas se realizó un índice de correlación de Pearson. Las variables que presentaron una relación R^2 es decir presentan valores más cercanos o iguales a 1 son las siguientes: Alcalinidad, coliformes fecales, coliformes totales, color verdadero, conductividad, DBO5, dureza, fósforo total, nitratos, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales y turbidez (**Tabla 21**).

Como se puede apreciar en la (**Tabla 21**) la conductividad y los sólidos totales tienen una correlación positiva perfecta porque tienen 1.00 y esto se debe a la presencia mayoritaria de sólidos disueltos pues los sólidos totales son la sumatoria de sólidos disueltos y sólidos totales, la alcalinidad y los sólidos totales tienen 0.998, la alcalinidad y la conductividad tienen 0.997, el color verdadero y la turbidez presentan 0.968, la conductividad y la dureza tienen 0.967, la dureza y sólidos totales tienen 0.966, la alcalinidad y la dureza presentan 0.969, los coliformes fecales y los coliformes totales tienen 0.936, el pH y los sólidos totales tienen 0.926, la alcalinidad y el pH tienen 0.923 al igual que la conductividad y el pH, la dureza y los nitratos tienen 0.906, la conductividad y los nitratos tienen 0.900, el pH y la turbidez tienen 0.896, los nitratos y los sólidos totales tienen 0.895, el color verdadero y el fósforo total tienen el índice de correlación de 0.881, El DBO5 con el oxígeno disuelto presentan una correlación inversa ya que tienen -0.903, al igual que los coliformes fecales y la dureza que tienen -0.905, debido a que estas dos últimas comparaciones presentan valores negativos en la correlación. LA FUPS y la temperatura no presentaron correlación alguna o entre sí.

Para poder interpretar el índice de Pearson se debe conocer que:

Si la correlación es menor a 0 existe una correlación negativa es decir las dos variables se correlacionan en sentido inverso. En otras palabras, a valores altos de una de ellas le suelen corresponder valores bajos de la otra y viceversa. Cuánto más próximo a -1 esté el coeficiente de correlación más fuerte será esta covariación. Si $r = -1$ hablaremos de correlación negativa perfecta.

Si la correlación es mayor a 0 existe una correlación positiva es decir las dos variables se correlacionan en sentido directo. En otras palabras, a valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos. Cuánto más próximo a +1 esté el coeficiente de correlación más fuerte será esta covariación. Si $r = 1$ hablaremos de correlación positiva perfecta

Si la correlación es igual a 0 se dice que las variables están incorrelacionadas es decir no puede establecerse ningún sentido de covariación.

Tabla 21 Índice de correlación entre variables fisicoquímicas y microbiológicas. (Autor)

	Alcalinidad	Coliformes Fecales	Coliformes totales	Color Verdadero	Conductividad	DBO5	Dureza	Fósforo total	FUPS	Nitratos	Oxígeno Disuelto	pH	Sólidos Totales	Turbidez	Temperatura
Alcalinidad	1	-0,844	-0,708	0,601	0,997**	0,098	0,964**	0,675	0,427	0,876	-0,156	0,923*	0,998**	0,694	0,26
Coliformes fecales	-0,844	1	0,936*	-0,216	-0,819	0,05	-0,905*	-0,22	-0,486	-0,677	-0,063	-0,765	-0,821	-0,413	-0,145
Coliformes totales	-0,708	0,936*	1	-0,178	-0,661	0,140	-0,727	-0,174	-0,718	-0,407	-0,041	-0,683	-0,666	-0,377	-0,320
Color Verdadero	0,601	-0,216	-0,178	1	0,619	-0,333	-0,450	0,881*	0,277	0,382	0,077	0,791	0,624	0,968**	0,125
Conductividad	0,997**	-0,819	-0,661	0,619	1	0,091	0,967**	0,681	0,359	0,900*	-0,131	0,923*	1,000**	0,706	0,204
DBO5	0,098	0,050	0,140	-0,333	0,091	1	0,040	0,139	0,048	0,327	-0,903*	-0,266	0,084	-0,448	0,550
Dureza	0,964**	-0,905*	-0,727	0,450	0,967**	0,040	1	0,472	0,272	0,906*	0,004	0,873	0,966**	0,585	0,054
Fósforo total	0,675	-0,220	-0,174	0,881*	0,681	0,139	0,472	1	0,418	0,509	-0,398	0,701	0,684	0,795	0,488
FUPS	0,427	-0,486	-0,718	0,277	0,359	0,048	0,272	0,418	1	0,002	-0,382	0,434	0,369	0,334	0,817
Nitratos	0,876	-0,677	-0,407	0,382	0,900*	0,327	0,906*	0,509	0,002	1	-0,198	0,695	0,895*	0,436	0,022
Oxígeno disuelto	-0,156	-0,063	-0,041	0,077	-0,131	-0,903*	0,004	-0,398	-0,382	-0,198	1	0,126	-0,129	0,215	-0,833
pH	0,923*	-0,765	-0,683	0,791	0,923*	-0,266	0,873	0,701	0,434	0,695	0,126	1	0,926*	0,896*	0,118
Sólidos totales	0,998**	-0,821	-0,666	0,624	1,000**	0,084	0,966**	0,684	0,369	0,895*	-0,129	0,926*	1	0,711	0,209
Turbidez	0,694	-0,413	-0,377	0,968**	0,706	-0,448	0,585	0,795	0,334	0,436	0,215	0,896*	0,711	1	0,055
Temperatura	0,26	-0,145	-0,320	0,125	0,204	0,550	0,054	0,488	0,817	0,022	-0,833	0,118	0,209	0,055	1
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01.															
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05.															

5.3.6. Análisis multivariado discriminante canónico de los parámetros de calidad de agua contra el uso de suelo circundante a las captaciones.

En el **Anexo 4** podemos apreciar la prueba multivariante realizada, como variables dependientes los datos de los parámetros fisicoquímicos mientras que como variable independiente el uso de suelo; obteniendo como resultados para las pruebas de Traza de Pillai, Lambda de Wilks, Traza de Hotelling y Raíz mayor de Roy para la intersección un valor igual a 0.231 mientras que para el uso de suelo un valor de 0.792; en ambos casos se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula.

Para la prueba de igualdad de Levene **Anexo 4**, que evalúa la igualdad de varianzas nos dice que si el valor de significancia es menor a 0.05 rechazamos la hipótesis nula (homogeneidad de varianzas) y aceptamos la hipótesis alternativa (diferencias de varianzas). Por lo tanto, los parámetros fisicoquímicos aceptan la hipótesis alternativa son: DBO5 y Oxígeno disuelto, mientras que los demás parámetros aceptan la hipótesis nula.

En la prueba de efectos inter-sujetos **Anexo 4** en su sección de Intersección nos permite apreciar como ciertos parámetros fisicoquímicos presentan un valor de significancia menos a 0.05 lo cual nos indica que estos son afectados por el uso de suelo circundante al área de captación siendo estos parámetros: Sólidos totales = 0.007; Nitratos = 0.005; Fósforo total = 0.017; DBO5 = 0.017; pH = 0.000; Oxígeno disuelto = 0.000; Dureza = 0.005; Alcalinidad = 0.006 y conductividad = 0.007. Mientras que para las demás secciones los valores de significancia son mayores a 0.05 aceptando la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas.

Capítulo VI

6. Conclusiones.

- Al analizar la Fórmula Universal de Pérdida de Suelo y relacionarlo con el uso y cobertura de suelo circundante a las captaciones se determina que la media que corresponde al uso de suelo de pastizal (3,97) es mayor a la correspondiente de vegetación arbustiva (3,42), indicando que el grado de erosión hídrica es menor en las zonas que presenta un grado de conservación, en comparación con las zonas que han tenido intervención antrópica.
- Al observar los datos de los análisis fisicoquímicos podemos apreciar que en la quebrada Condoryacu los parámetros fisicoquímicos presentan los niveles más bajos con relación a las otras quebradas debido a que presenta mayor extensión de terreno con vegetación arbustiva y además tiene en la parte alta de la microcuenca una extensión considerable de páramo influyendo en su buena calidad del agua, además se aprecia que el parámetro de color es el único que supera la normativa del TULSMA que es de 100 UC.
- Por otro lado, la quebrada de Llaucay es la más extensa dentro de la microcuenca del río Tabacay y a su vez tiene la mayor extensión de pastizal, esto influye de manera directa en los altos niveles de concentración de Coliformes Totales y Fecales debido a que en la zona se encuentra el área ganadera de la microcuenca, presenta valores que exceden a la normativa vigente en el TULSMA que es de 3000 y 600 (NMP/100ml) para los coliformes totales y fecales respectivamente.
- Otro de los parámetros fisicoquímicos que presenta un alto nivel de concentración es el color verdadero, este parámetro se excede en las quebradas de Condoryacu, Llaucay, Nudpud y Mapayacu, a lo establecido en la normativa que es de 100 UC, pero a su vez la quebrada de Mapayacu es la que presenta un valor mucho más elevado y esto se debe principalmente a que en la quebrada existe extracción de áridos.
- Se puede asegurar que en la microcuenca del río Tabacay, en general, no existen problemas de erosión ya que la mayor parte de su territorio se encuentra en categoría leve o moderada, según la clasificación establecida por FAO-UNESCO-PNUMA en 1980. Al estar en un rango menor a 50 Ton/ha/año. Pero, por otro lado, se puede apreciar que en ciertas zonas este valor se incrementa superando las 50 Ton/ha/año, que representa un rango alto, especialmente en zonas donde se encuentra el cauce del río.
- Se puede asegurar que el tipo de cobertura asociado directamente al área circundante donde se encuentra la captación pastizal o vegetación arbustiva no influye de manera significativa en la calidad del agua.
- Como conclusión final la hipótesis “El uso de suelo circundante a las captaciones de la empresa EMAPAL Ep. no influyen en los parámetros de la calidad del agua” es aceptada como nula.



7. Discusión

- El aumento de la frontera agrícola en las cotas superiores de las que se hallan emplazadas las captaciones de agua de la empresa EMAPAL Ep. influye de manera significativa en los parámetros de color, coliformes totales y coliformes fecales.
- Según el estudio realizado por Manuel Guerrero en el año 2011 en San José de Costa Rica identifico que en la cuenca del río Sarapiquí no hay agentes naturales que influyeran de manera negativa la calidad del agua a nivel de aguas superficiales y que al igual que en la microcuenca del río Tabacay la principal causa de contaminación en las aguas superficiales son las actividades antropogénicas que cambian el uso de suelo de bosque nativo a pastizal producidos por un aumento de la actividad agrícola.
- Dentro de la microcuenca del río Tabacay la FUPS presenta un leve o moderado grado de erosión hídrica superficial con valores menores a $50 \text{ Ton} * \text{ha}^{-1} * \text{año}^{-1}$ mientras que Jaramillo Julio en el 2010, al estudiar y calcular la FUPS para la subcuenca del río Portoviejo encontró que aproximadamente el 96 % de subcuenca tenía un grado de erosión hídrica superficial entre leve y bajo. Lo que indica que en las zonas donde se encuentre el suelo cubierto por algún tipo de vegetación la erosión hídrica será baja.
- Por esta razón, los factores que influyen directamente sobre la calidad del agua en las quebradas; como el uso del suelo y el grado de pérdida del suelo asociado a la escorrentía superficial, no pueden ser analizados por separado. De ser así, dichos factores no jugarían un papel determinante en la calidad.

8. Recomendaciones.

- Los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la quebrada de Condoryacu es debido al estado de conservación presente en la misma, y por ello es recomendable que se amplíe la franja de protección que circunda al cauce del agua con la finalidad de crear un filtro natural que ayude a mejorar la calidad del agua.
- Es necesario contar con un monitoreo constante de las captaciones, de aumentar los sitios de muestreo, expandirlos a las áreas donde se está dando un proceso de reforestación y áreas de cultivo.
- Proteger las áreas con paramo, bosques nativos y humedales con la finalidad de asegurar el recurso hídrico para las futuras generaciones.
- Compra de zonas de recarga acuífera con la finalidad de volverlas intangibles por medio de la creación de un área protegida por parte de las autoridades cantonales.
- La empresa pública municipal de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental del cantón azogues EMAPAL EP, con su unidad de gestión ambiental, deberían tomar en consideración este estudio y otros relacionados con la finalidad de fortalecer los "Acuerdos Recíprocos por el Agua".
- Colocación de sistemas de tratamiento o transporte de aguas residuales para las comunidades que se encuentran en la zona alta de la microcuenca con la finalidad de que no se incremente el valor de los parámetros en el agua de las quebradas.
- Dicho fenómeno si ocurre, en cierta medida, en áreas de recarga acuífera con presencia de cultivos o de zonas con viviendas, por lo que, es necesario enfocarse en la protección y recuperación de zonas aledañas a los cauces de las quebradas.



REFERENCIAS

- Aguilar, F. (2006). *Síntesis de Tesis de Ordenamiento Territorial en la Subcuenca del Río Matahambre ciudad Turística Valle de Ángeles, Honduras*. Turrialba, Costa Rica.
- Arnoldus, H. M. (1978). *Assessment of erosion*. Chichester, Gran Bretaña: Jhon Wiley y Sons, Inc.
- Barrenechea Martel, A. (2004). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*.
- Brooks, G., Butel, J., & Ornston, L. (1995). *Microbiología médica de JAWETZ, MELNICK Y ADELBURG* (15 ed.). Mexico: Manual Moderno.
- Cenicafé. (1975). *Manual de Conservación de suelos de ladera* (1era ed.). Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé).
- CEPIS, & OPS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima.
- Constituyente, A. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi: Registro Oficial.
- Emapal Ep. (16 de Noviembre de 2016). *EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES*. Obtenido de http://www.emapal.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=115:captacion-es&catid=64
- Emapal Ep, Municipio de Azogues, CG Paute, & PROMAS. (2003). *PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY*. Azogues.
- FAO. (1993). *Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines*. Roma, Italia.
- FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Roma, Italia: Publicaciones FAO.
- FAO. (2001). *An Assessment of the Impact of Cassava Production and Processing on the Environment and Biodiversity* (Vol. 5). Roma, Italia: Strategic Environmental Assessment.
- FAO. (2003). *State of the World's Forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Roma, Italia. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/005/y7581e/y7581e00.htm>
- FAO. (2005). *Forest and Floods*. Roma, Italia: CIFOR.
- FAO. (2016). *Propiedades Físicas*. Recuperado el 2 de agosto de 2016, de <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO, Cubero, D., & MAG. (1996). *Manual de manejo Y Conservación de Suelos y Aguas*. San José, Costa Rica: UNED.
- FAO, Cubero, D., & MAG. (2000). *Manual de manejo y conservación de suelos y aguas*. San José, Costa Rica: Publicaciones FAO.

- FAO, O. d. (2016). Casos ejemplares de manejo forestal sostenible en Chile, Costa Rica, Guatemala y Uruguay. Santiago de Chile: Publicacione FAO.
- Fassbender, H. (1993). *Modelos edafológicos de sistemas agroforestales*. Turrialba, Costa Rica: CATIE, GTZ.
- Fournier, F. (1960). *Climat et érosion*. Paris: Presses Universitaires de France.
- García, L. (2003). *Indicadores Técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del Río Tascalapa Yoro*. Honduras: Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE.
- Gaspari, F. (2007). *Plan de ordenamiento territorial en Cuencas serranas degradadas utilizando sistemas de información geográfica (SIG)*. Buenos Aires. Argentina: Universidad internacional de Andalucía.
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2013). *ELEMENTOS METODOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS* (1era ed.). La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Gisbert Blanquer, J. M., Ibáñez Asensio, S., & Moreno Ramón, H. (2010). *La textura en un suelo*. Valencia, España.
- Guapán, G. (2015). *Actualización del PDYOT de la parroquia Guapán*. Azogues.
- Haan, C. T., Johnson, H. P., & Brakensiek, D. L. (1982). *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. USA: ASAE.
- Henao, J. E. (1988). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Bogota, Colombia: Centro de enseñanza desescolarizada. Universidad Santo Tomás.
- IGM, I. (2016). *En apoyo a la Seguridad, Defensa, Desarrollo Nacional y Gestión de Riesgos*. Quito: Pagina web oficial. Obtenido de <http://www.igm.gob.ec/index.php/en/>
- INEN. (1998). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98* (1era ed.). Quito: Instituto Técnico de Normalización.
- INEN. (2000). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 226:98*. Quito: Instituto Técnico de Normalizacion.
- Jaramillo Velez, J. J. (2015). *Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo U.S.L.E, mediante herramientas S.I.G, aplicado en la subcuenca Río Portoviejo, provincia de Manabí*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Lenntech. (2007). *River Water Quality and Pollution*. Delft. Holanda: (En linea). Recuperado el 10 de 10 de 2016, de <http://www.lenntech.com/rivers-pollution-quality.htm>
- MAE. (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA)*. Quito, Ecuador: Registro Oficial.



- MAE. (23 de 03 de 2017). *MAE-SUIA*. Obtenido de <http://sui.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+V+I+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
- MAGAP. (13 de Noviembre de 2016). *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca : <http://www.agricultura.gob.ec/sigtierras/>
- Mancilla Escobar, G. A. (2008). *Uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (FUPS) en el campo forestal*. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura.
- Master, G., & Ela, W. (2008). *Introducción a la Ingeniería Medioambiental* (3 ed.). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Mintegui Aguirre, J. A., & López Unzué, F. (1990). *La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación*. Madrid: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Nearing, M. A., Foster, G. R., Lane, L. J., & Finkner, S. C. (1989). *A Process-based soil erosion model for USDA Water Erosion Prediction Project Technology*. USA: American Society of Agricultural Engineers.
- OMS. (1998). *Guías para la calidad del agua potable* (2da ed., Vol. Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad). Ginebra, Suiza.
- PPDigital. (01 de Noviembre de 2012). *PP Digital*. Obtenido de PP Digital: <http://www.ppdigital.com.ec/noticias/economia/6/sigtierras-firma-convenio-para-el-catastro-rural>
- Reyes, K. (2006). *Análisis del estado de las fuentes de agua para consumo humano y funcionamiento de los acueductos rurales en la cuenca del río la Soledad*. Honduras: Tesis Mag. Sc. Turrialba, CATIE.
- RIPDA-CYTED. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Buenos Aires, Argentina: Libro Digital. Obtenido de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/#>
- Sánchez, J. (2004). *Ciclo Hidrológico*. Salamanca, España: Dpto. Geología Universidad Salamanca. Obtenido de <http://web.usal.es/javisan/hidro>.
- Sánchez, J. G. (1993). *Pérdida de Suelo en Cuencas*. Recuperado el 1 de agosto de 2016, de http://eias.utalca.cl/isi/publicaciones/unam/perdida_de_suelo%20en_cuencas.pdf
- Sargadoy, J. (1993). *Una visión global de la contaminación del agua por la agricultura* (Vol. Informe sobre temas hídricos no.1). Roma, Italia: En FAO. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines.
- Sastre, P. (2010). *Sistema de Información Geográfica (SIG) Técnicas básicas para el estudio de la diversidad*. España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *CALIDAD DEL AGUA Evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín, Ediciones de la U.



Unidad de Gestión Nacional Costa Rica. (1999). *Plan General de Ordenamiento Territorial del Río Reventazón*. San José, Costa Rica: Gobierno de Costa Rica.

Universidad Nacional de Cordova. (20 de 04 de 2017). *Infostat software estadístico*. Obtenido de <http://www.infostat.com.ar/>

Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning*. USA: USDA.

ANEXOS

Anexo 1 *Análisis de calidad de agua de las 5 captaciones pertenecientes a la Empresa Emapal Ep dentro de la Microcuenca del río Tabacay.*

Análisis de calidad de agua de la captación de Llaucay														
Fecha	Sólidos totales	turbidez	nitratos	fósforo total	temperatura	DBO (5 días)	pH	coliformes totales	coliformes fecales	oxígeno disuelto	dureza	alcalinidad	color verdadero	conductividad
ago-15	51,8	17,2	0,26	0,13	11,3	0,3	7,8	410	122,3	7,35	35	50	236	103,6
sep-15	52,2	13,5	0,13	0,1	7,8	0,55	7,8	68637	275,5	7,15	40	52	189	126,5
oct-15	52,5	18,7	0,12	0,1	12,6	0,25	7,8	613,1	133,3	7,15	30	50	176	105
nov-15	115	3,3	0,09	0,1	15,2	0,73	7,8	387,3	121,1	6,55	70	88	19	230
dic-15	56,3	10,3	0,15	0,02	15,1	0,55	7,7	920,8	75,4	7	48	53	104	112,6
ene-16	90,8	9,22	0,11	0,1	13,7	1,5	7,6	435,2	159,7	7,4	57	61	94	181,6
feb-16	71,2	13,3	0,07	0,1	13,2	0,68	7,6	2419,6	1413,6	7,1	54	58	127	142,5
mar-16	56,7	30,3	0,14	0,1	9,9	0,25	7,6	261,3	118,7	7,2	55	50	280	113,3
abr-16	46,1	32	0,15	0,1	14,1	0,2	7,6	2419,6	248,1	6,8	38	45	326	92,3
may-16	48,1	39,4	0,22	0,1	11,6	0,38	7,6	9200	5400	7,05	47	50	337	96,2
jun-16	48,2	20	0,26	0,45	10,1	1,5	7,6	2419,6	1986,3	7,3	48	48	2160	96,5
jul-16	57	20,3	0,14	0,1	11,6	0,18	7,8	2419,6	261,3	7,3	60	50	165	115
ago-16	56,9	8,81	0,07	0,16	10,4	0,5	7,4	2419,6	90,6	7,4	35	42	116	113,8
Anual	61,754	18,179	0,147	0,128	12,046	0,582	7,7	7150,977	800,454	7,135	47,462	53,615	333	125,3

Análisis de calidad de agua de la captación de Nudpud														
Fecha	Sólidos totales	turbidez	nitratos	fósforo total	temperatura	DBO (5 días)	pH	coliformes totales	coliformes fecales	oxígeno disuelto	dureza	alcalinidad	color verdadero	conductividad
ago-15	66,6	13,3	0,14	0,23	11,6	0,4	7,6	613,1	86,2	7,25	60	60	173	133,2
sep-15	64,3	22,9	0,1	0,1	13,6	0,5	7,8	1986,3	298,7	7,1	56	60	263	128,6
oct-15	68,2	16,6	0,07	0,1	12,7	0,85	7,8	2419,6	307,6	7,1	42	60	133	136,5
nov-15	76	10,8	0,1	0,02	14,8	0,7	7,8	1732,9	1553,1	7	46	65	95	152
dic-15	74,2	10,5	0,1	0,02	15	0,7	7,8	307,6	86	7	46	70	108	148,5
ene-16	89,3	10,2	0,07	0,1	13,8	0,8	7,8	613,1	191,8	7	70	86	101	178,6
feb-16	87,2	8,32	0,02	0,1	13	0,5	7,8	770,1	95,9	7	70	84	95	175
mar-16	61,1	19	0,05	0,1	10,4	0,45	7,8	272,3	127,4	7,1	52	58	198	122,2
abr-16	66,6	11,6	0,07	0,1	13,6	0,2	7,8	2419,6	1119,9	6,75	52	65	125	133,3
may-16	56,4	19,8	0,16	0,1	11,7	0,5	7,6	330	330	7	52	56	170	112,8
jun-16	53	32,9	0,28	0,11	10,2	0,6	7,6	2419,6	325,5	7,35	50	52	284	106,1
jul-16	61	12,8	0,12	0,24	11,4	0,2	7,8	2419,6	770,1	7,2	58	55	110	122
ago-16	58	21,7	0,07	0,16	10,9	0,5	7,7	2419,6	290,9	7,4	37	48	218	116,2
Anual	67,838	16,186	0,104	0,114	12,515	0,531	7,7	1440,262	429,469	7,096	53,154	63	159,462	135,769

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Análisis de calidad de agua de la captación de Rosario														
Fecha	Sólidos totales	turbidez	nitratos	fósforo total	temperatura	DBO (5 días)	pH	coliformes totales	coliformes fecales	oxígeno disuelto	dureza	alcalinidad	color verdadero	conductividad
ago-15	109	7,07	0,055	0,16	12	5	7,9	435,2	54,6	7,1	85	88	96	218
sep-15	110	9,1	0,4	0,1	13,6	0,45	7,9	261,3	26,9	7,05	99	88	99	220
oct-15	110,5	11,12	0,32	0,1	12	0,45	8	1730,9	285,2	7	94	98	34	235
nov-15	119	7,45	0,24	0,1	16,3	0,93	7,8	416,1	167,4	6,5	90	100	40	239
dic-15	128	6,72	0,33	0,02	14,6	0,6	7,8	49,6	18,7	6,9	128	108	66	256
ene-16	126	5,16	0,19	0,1	13,2	0,45	7,7	461,1	20,1	7,2	102	114	56	253
feb-16	136	6,75	0,15	0,1	12,7	0,7	7,8	248,9	38,8	7	112	116	57	273
mar-16	131	9,96	0,17	0,1	10,3	0,15	8	117,8	22,8	7,35	103	108	105	262
abr-16	130,3	7,81	0,25	0,1	12,7	0,55	8	2419,6	179,3	6,85	98	110	73	260
may-16	117	22,9	0,26	0,1	11,4	1,05	7,8	330	330	6,75	105	108	164	235
jun-16	88,9	39	0,6	0,64	10,0	0,3	7,8	2419,6	86,2	7,2	79	80	355	177,8
jul-16	104,0	6,4	0,23	0,1	11,1	0,2	7,8	2419,6	193,5	7,2	97	85	58	207,0
ago-16	108	4,98	0,03	0,1	11,1	0,6	8	2419,6	185	7,3	65	80	63	216
Anual	116,746	11,109	0,248	0,14	12,385	0,879	7,9	1056,1	123,731	7,031	96,692	98,692	97,385	234,754

Análisis de calidad de agua de la captación de Condoryacu														
Fecha	Sólidos totales	turbidez	nitratos	fósforo total	temperatura	DBO (5 días)	pH	coliformes totales	coliformes fecales	oxígeno disuelto	dureza	alcalinidad	color verdadero	conductividad
ago-15	33,7	879	0,36	0,12	10	0,28	8	2419,6	1046,2	7,6	51	30	6240	67,4
sep-15	123	1,9	0,14	0,04	13,2	0,34	8,1	16,4	8,6	7,46	112	100	49	246
oct-15	122	1,63	0,18	0,1	12,2	0,1	8	42	26,2	7,3	98	96	0	245
nov-15	130	2,83	0,16	0,1	16,5	0,3	8	137,6	85,7	6,6	94	104	14	261
dic-15	138	1,59	0,17	0,1	12,7	0,3	8	32,3	12,1	7,1	135	115	1,59	276
ene-16	156	1,45	0,23	0,1	13,1	0,38	7,9	23,1	4,1	7,45	133	138	0	312,0
feb-16	143	1,38	0,09	0,1	12,4	0,43	7,8	113,4	29,5	7,15	122	128	16	287
mar-16	88	3,02	0,17	0,1	9,5	0,15	8,2	35,9	26,2	7,35	75	78	78	176
abr-16	95,5	1,46	0,17	0,1	12,4	0,1	8	43,6	7,3	7	78	81	22	190,8
may-16	88,8	2,5	0,26	0,1	11,2	0,2	7,8	63	21	7,1	79	80	22	177,6
jun-16	80,2	10,1	0,4	0,28	9,4	0,28	8	1203,3	27,5	7,55	75	70	129	160,5
jul-16	105,0	1,56	0,18	0,1	10,8	0,13	8	488,4	72,7	7,4	98	83	34	210,0
ago-16	105	1,07	0,05	0,1	11,3	0,25	8,2	248,1	1	7,5	68	78	27	211
Anual	108,323	69,960	0,1967	0,112	11,9	0,249	8	374,362	105,238	7,274	93,692	90,846154	510,199	216,946

Análisis de calidad de agua de la captación de Mapayacu														
Fecha	Sólidos totales	turbidez	nitratos	fósforo total	temperatura	DBO (5 días)	pH	coliformes totales	coliformes fecales	oxígeno disuelto	dureza	alcalinidad	color verdadero	conductividad
ago-15	119	56,6	0,21	0,29	11,8	0,4	8	290,9	129,1	7,3	86	90	1110	238
sep-15	125	169	0,26	0,29	14,4	0,5	8,1	1119,9	118,7	7,1	90	98	1866	250
oct-15	137	55,2	0,19	0,15	12,4	0,75	8	461,1	58,3	7,2	89	108	555	274
nov-15	138	44,8	0,48	0,1	16,9	0,63	8	410,6	93,3	6,3	85	110	460	276
dic-15	152	42,3	0,23	0,2	13,6	1,05	8,2	579,4	104,3	6,9	132	132	390	304
ene-16	166	35	0,29	0,14	14,3	0,7	8,2	2419,6	1046,2	6,9	118	145	399	332
feb-16	178	37,8	0,1	0,1	13,2	0,6	8,2	816,4	56,5	7,1	123	158	319	349
mar-16	149	42	0,24	0,18	9,7	0,2	8,2	135,4	39,9	7,2	102	120	435	298
abr-16	136,6	61,4	0,2	0,3	13,7	0,4	8,2	980,4	115,3	6,9	95	116	532	273
may-16	126,0	80,5	0,23	0,33	11,2	0,35	8	1100	330	7,05	100	110	744	252,0
jun-16	121,0	666	0,34	0,7	9,4	0,8	8,2	2419,6	579,4	7,4	98	108	6300	241,0
jul-16	111	274	0,19	0,61	10,6	0,2	8,1	2419,6	90,6	7,2	98	85	2436	222
ago-16	109	19,5	0,03	0,1	11,2	0,55	8,3	1413,6	30,5	7,45	58	83	246	219
Anual	135,969	121,854	0,23	0,269	12,492	0,549	8,1	1120,5	214,777	7,077	98	112,539	1214,769	271,385

Anexo 2 Resumen estadístico y análisis de varianza entre la FUPS y el uso y cobertura de suelo.

Cobertura	Pastizal	Vegetación Arbustiva
Variable	FUPS	FUPS
n	3	2
Media	3,97	3,42
Desviación estándar (D.E)	2,02	0,39
Error Estándar (E.E)	1,17	0,27
Coefficiente de Variación (CV)	50,96	11,30
Valor Mínimo (Min)	1,64	3,14
Valor Máximo (Max)	5,28	3,69
Mediana	4,99	3,42
Suma	11,92	6,83
Asimetría	-1,69	Sd
Kurtosis	Sd	Sd
Rango	2,14	2,04
Nivel de confianza 95%	1,31	2,01
Cuenta	3	2

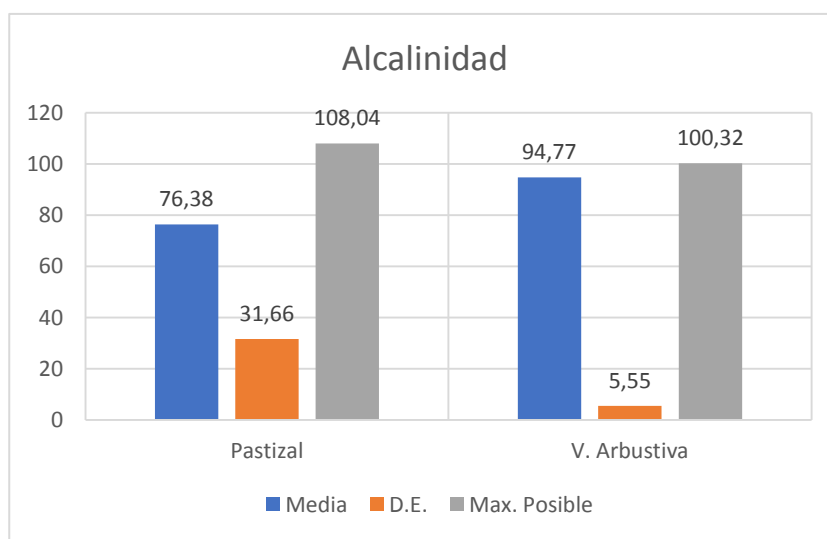
RESUMEN:				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Pastizal	3	11,92	3,97	4,096
Vegetación Arbustiva	2	6,83	3,42	0,149

Análisis de varianza:					
Origen de variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Entre grupos	0,37	1	0,37	0,13	0,74
Dentro de los grupos	8,34	3	2,78		
Total	8,71	4			

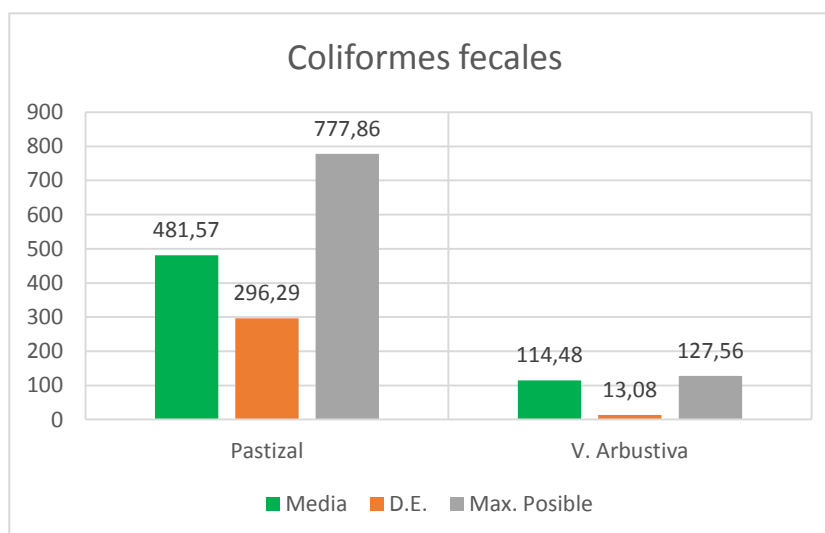
Análisis de varianza entre la FUPS versus el uso y cobertura de suelo					
Variable	N	R2	R2 Aj	CV	
FUPS	5	0,04	0,00	44,47	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,37	1	0,37	0,13	0,7396
Cobertura	0,37	1	0,37	0,13	0,7396
Error	8,34	3	2,78		
Total	8,71	4			
Test: Tukey					
Alfa=0,05 DMS=4,84469					
Error: 2,7809 gl:3					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	3,42	2	1,18	A	
Pastizal	3,97	3	0,96	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

Anexo 3 Análisis de varianza de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos versus el uso de suelo.

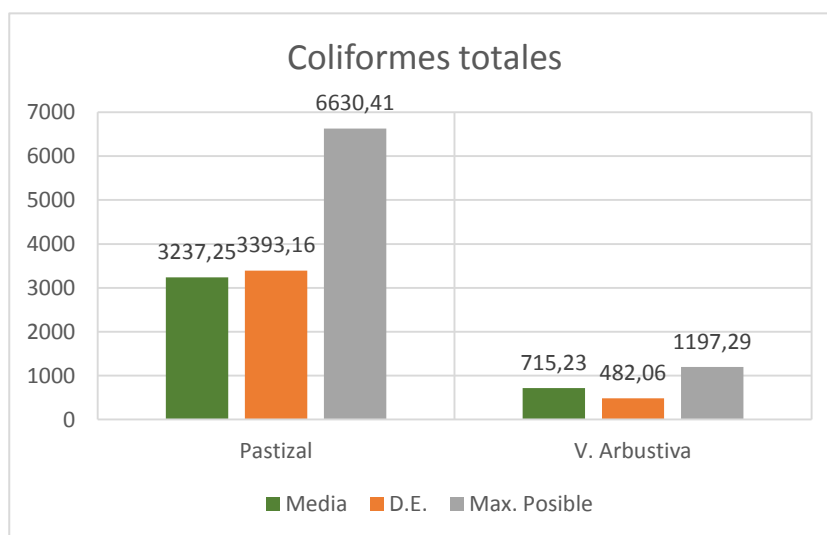
Análisis de varianza Alcalinidad.					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Alcalinidad	5	0,17	0,00	31,11	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	405,59	1	405,59	0,60	0,4958
Cobertura	405,59	1	405,59	0,60	0,4958
Error	2035,47	3	678,49		
Total	2441,06	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3 DMS= 75,67317 Error: 678,4892					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	94,77	2	18,42	A	
Pastizal	76,38	3	15,04	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



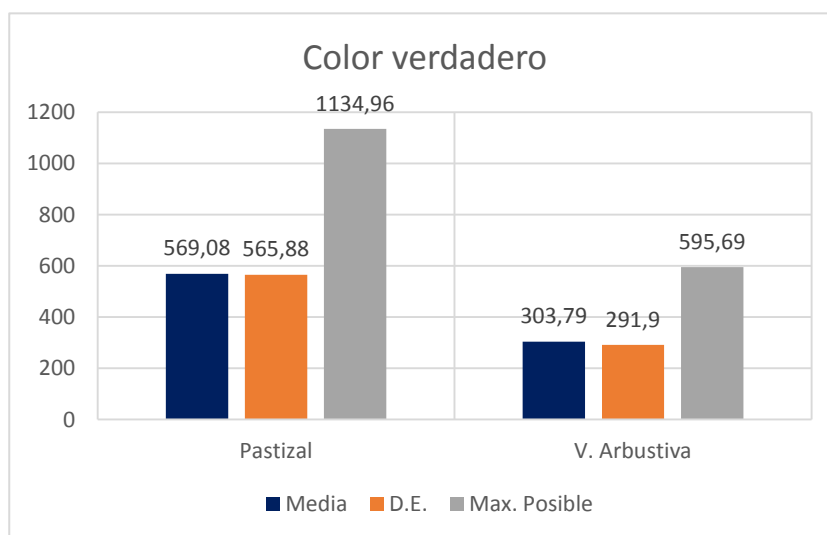
Análisis de varianza Coliformes fecales.					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Coliformes fecales	5	0,48	0,31	72,31	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	161699,08	1	161699,08	2,76	0,1952
Cobertura	161699,08	1	161699,08	2,76	0,1952
Error	175750,93	3	58583,64		
Total	337450,00	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 703,16727 Error= 58583,6420					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	114,48	2	171,15	A	
Pastizal	481,57	3	139,74	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



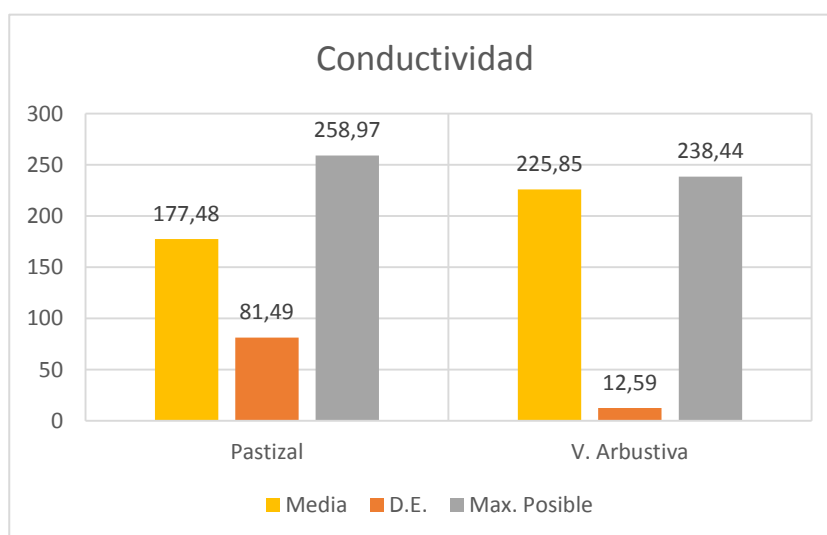
Análisis de varianza Coliformes totales					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Coliformes totales	5	0,25	0,00	124,95	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7632673,92	1	7632673,92	0,98	0,3942
Cobertura	7632673,92	1	7632673,92	0,98	0,3942
Error	23259440,19	3	7753146,73		
Total	30892114,11	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 8089,27246 Error: 7753146,7293					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	715,23	2	1968,90	A	
Pastizal	3237,25	3	1607,60	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



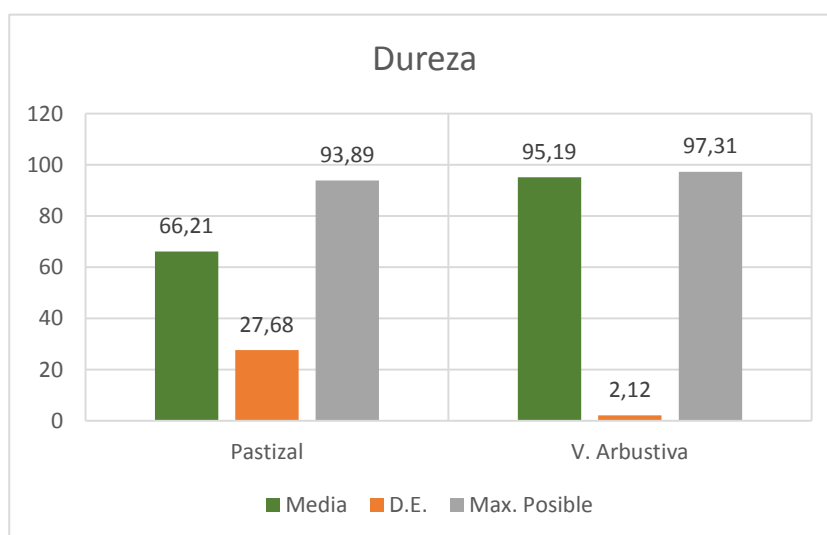
Análisis de varianza Color verdadero.					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Color verdadero	5	0,10	0,00	106,23	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	84451,36	1	84451,36	0,35	0,5962
Cobertura	84451,36	1	84451,36	0,35	0,5962
Error	725643,59	3	241881,20		
Total	810094,94	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 1428,80024 Error= 241881,1956					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	303,79	2	347,77	A	
Pastizal	569,08	3	283,95	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



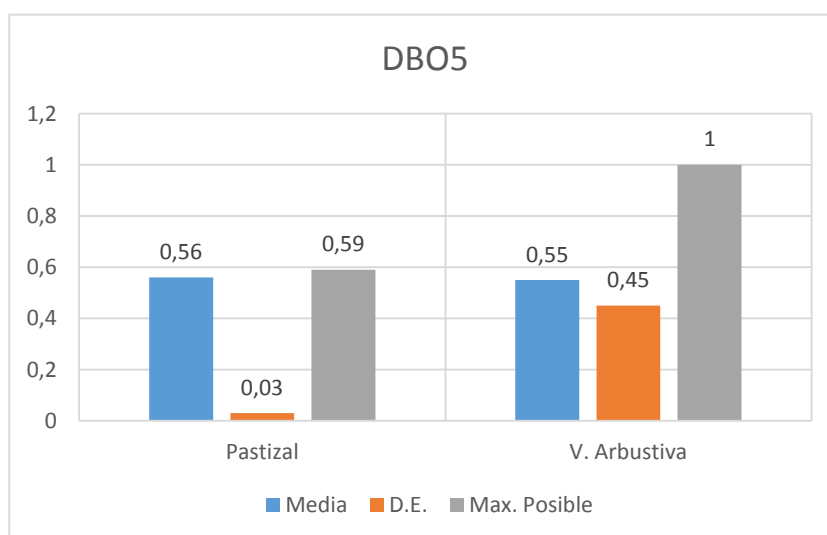
Análisis de varianza Conductividad.					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Conductividad	5	0,17	0,00	34,00	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2807,05	1	2807,05	0,63	0,4864
Cobertura	2807,05	1	2807,05	0,63	0,4864
Error	13439,17	3	4479,72		
Total	16246,23	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 194,44471 Error= 4479,7248					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	225,85	2	47,33	A	
Pastizal	177,48	3	38,64	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



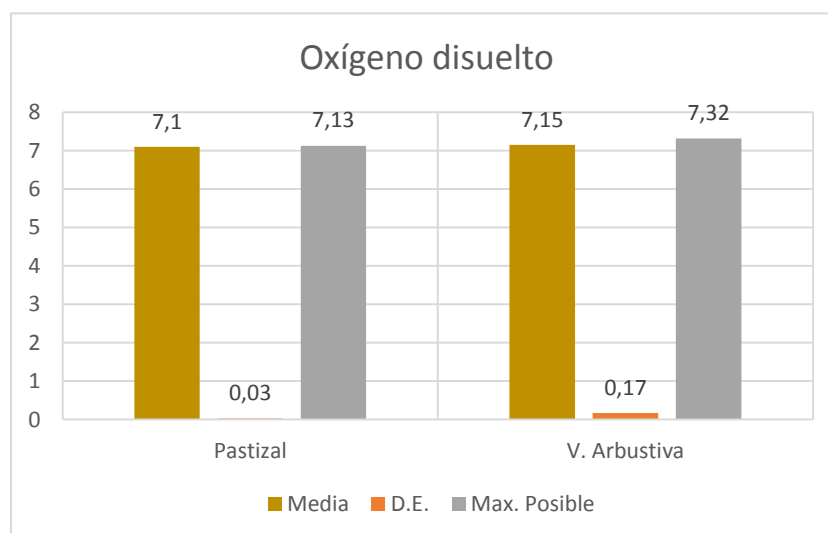
Análisis de varianza Dureza					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Dureza	5	0,40	0,19	29,09	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1008,31	1	1008,31	1,97	0,2552
Cobertura	1008,31	1	1008,31	1,97	0,2552
Error	1537,07	3	512,36		
Total	2545,38	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 65,75926 Error: 512,3573					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	95,19	2	16,01	A	
Pastizal	66,21	3	13,07	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



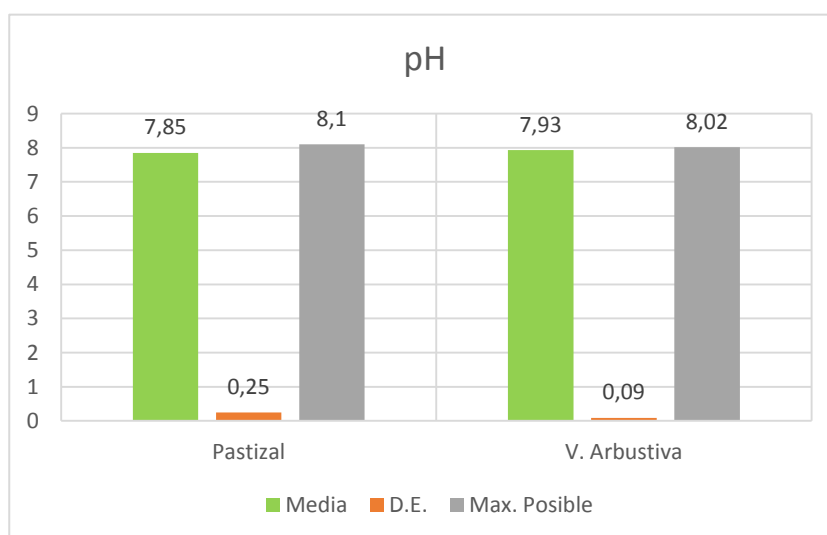
Análisis de varianza DBO5					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
DBO5	5	6,5E-04	0,00	46,25	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,3E-04	1	1,3E-04	1,9E-03	0,9676
Cobertura	1,3E-04	1	1,3E-04	1,9E-03	0,9676
Error	0,20	3	0,07		
Total	0,20	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 0,74978 Error: 0,0666					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	0,55	2	0,15	A	
Pastizal	0,56	3	0,18	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



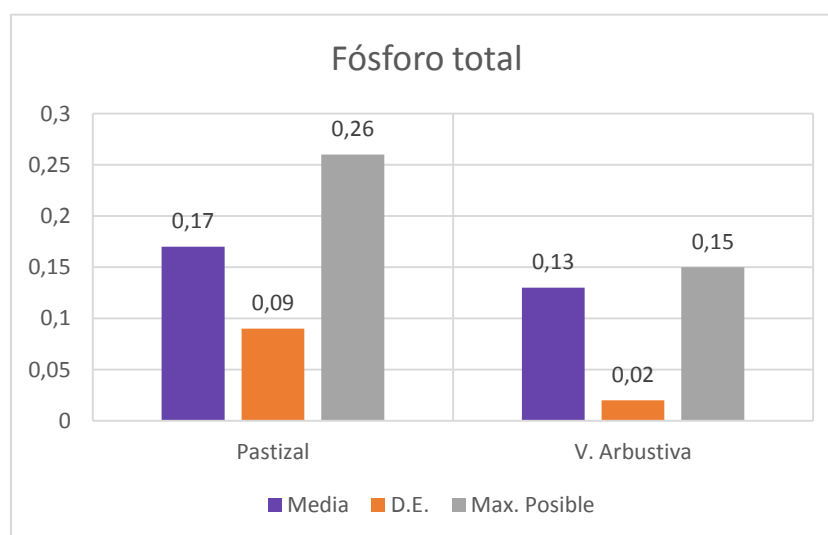
Análisis de varianza Oxígeno disuelto					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Oxígeno disuelto	5	0,09	0,00	1,43	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,0E-03	1	3,0E-03	0,28	0,6305
Cobertura	3,0E-03	1	3,0E-03	0,28	0,6305
Error	0,03	3	0,01		
Total	0,03	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3 DMS= 0,29660 Error: 0,0104					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	7,15	2	0,07	A	
Pastizal	7,10	3	0,06	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



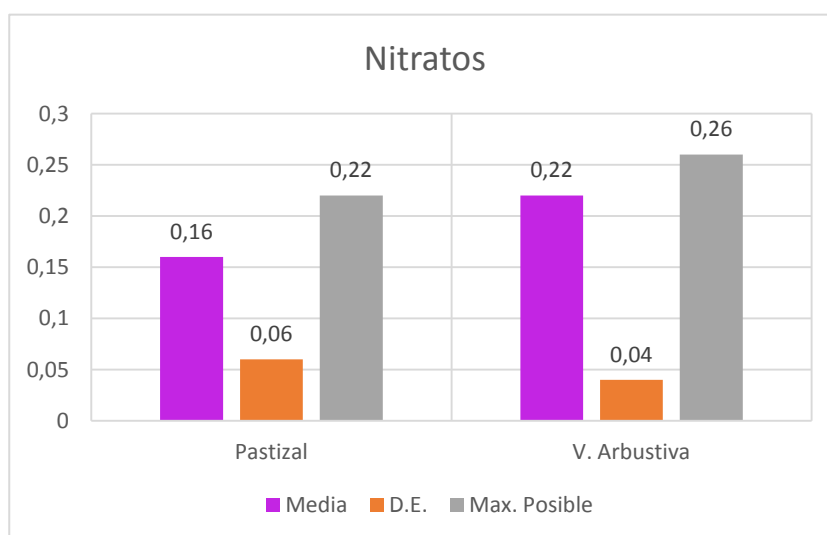
Análisis de varianza pH					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
pH	5	0,06	0,00	2,65	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	1	0,01	0,20	0,6829
Cobertura	0,01	1	0,01	0,20	0,6829
Error	0,13	3	0,04		
Total	0,14	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 0,60670 Error: 0,0436					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	7,93	2	0,12	A	
Pastizal	7,85	3	0,15	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



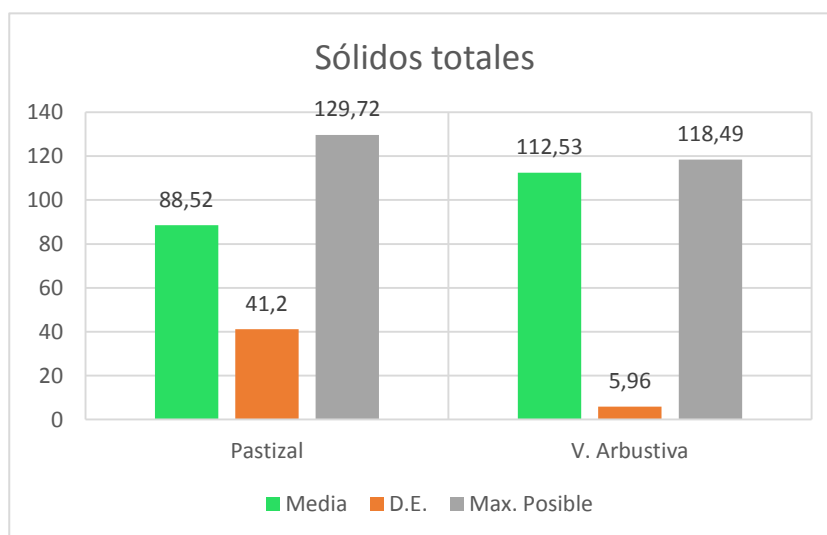
Análisis de varianza Fósforo total					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Fósforo total	5	0,14	0,00	46,57	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,4E-03	1	2,4E-03	0,48	0,5400
Cobertura	2,4E-03	1	2,4E-03	0,48	0,5400
Error	0,02	3	0,01		
Total	0,02	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 0,20587 Error: 0,0050					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	0,13	2	0,05	A	
Pastizal	0,17	3	0,04	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



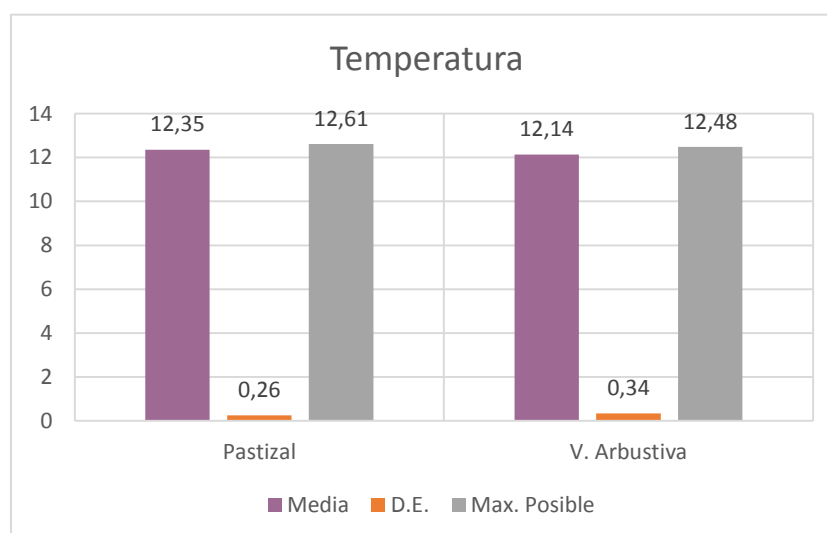
Análisis de varianza Nitratos					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Nitratos	5	0,33	0,10	30,44	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,6E-03	1	4,6E-03	1,46	0,3131
Cobertura	4,6E-03	1	4,6E-03	1,46	0,3131
Error	0,01	3	3,2E-03		
Total	0,01	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 0,16376 Error: 0,0032					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	0,22	2	0,04	A	
Pastizal	0,16	3	0,03	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



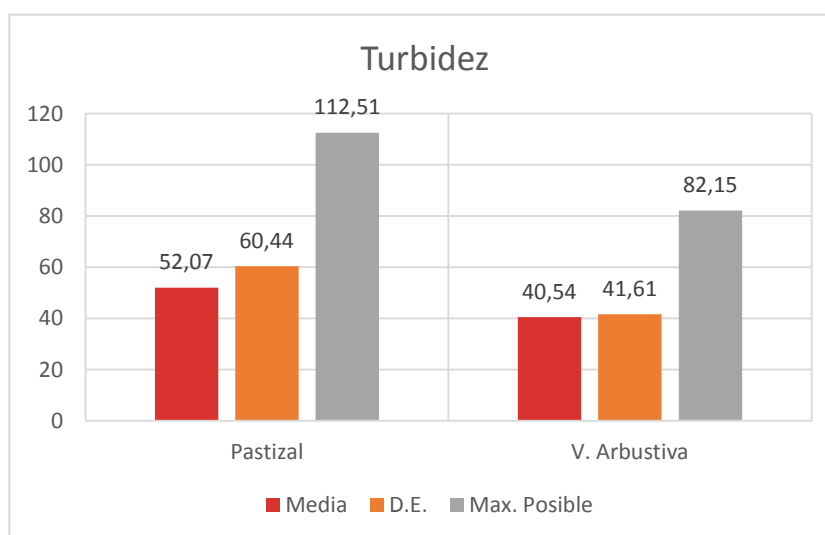
Análisis de varianza Sólidos totales					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Sólidos totales	5	0,17	0,00	34,46	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	692,01	1	692,01	0,61	0,4934
Cobertura	692,01	1	692,01	0,61	0,4934
Error	3431,06	3	1143,69		
Total	4123,07	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 98,24805 Error: 1143					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	112,53	2	23,91	A	
Pastizal	88,52	3	19,53	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



Análisis de varianza Temperatura					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Temperatura	5	0,17	0,00	2,39	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,05	1	0,05	0,61	0,4915
Cobertura	0,05	1	0,05	0,61	0,4915
Error	0,26	3	0,09		
Total	0,31	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 0,85088 Error: 0,0858					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	12,14	2	0,21	A	
Pastizal	12,35	3	0,17	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



Análisis de varianza Turbidez					
Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Turbidez	5	0,02	0,00	115,65	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	159,75	1	159,75	0,05	0,8327
Cobertura	159,75	1	159,75	0,05	0,8327
Error	9037,77	3	3012,59		
Total	9197,52	4			
Test: Tukey Alfa=0,05 gl:3					
DMS= 159,45587 Error: 3012,5905					
Cobertura	Medias	n	E. E		
Vegetación Arbustiva	40,54	2	38,81	A	
Pastizal	52,07	3	31,69	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					



Anexo 4 Prueba multivariante.**Pruebas multivariante^a**

Efecto		Valor	F	Gl de hipótesis	gl de error	Sig.
Intersección	Traza de Pillai	,967	9,644 ^b	3,000	1,000	,231
	Lambda de Wilks	,033	9,644 ^b	3,000	1,000	,231
	Traza de Hotelling	28,932	9,644 ^b	3,000	1,000	,231
	Raíz mayor de Roy	28,932	9,644 ^b	3,000	1,000	,231
Uso de suelo	Traza de Pillai	,540	,392 ^b	3,000	1,000	,792
	Lambda de Wilks	,460	,392 ^b	3,000	1,000	,792
	Traza de Hotelling	1,175	,392 ^b	3,000	1,000	,792
	Raíz mayor de Roy	1,175	,392 ^b	3,000	1,000	,792

a. Diseño: Intersección + Uso de suelo

b. Estadístico exacto

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error^a

	F	df1	df2	Sig.
Sólidos Totales	6,875	1	3	,079
Turbidez	1,293	1	3	,338
Nitratos	,906	1	3	,411
Fósforo total	5,476	1	3	,101
Temperatura	,345	1	3	,598
DBO5	1082,168	1	3	,000
pH	3,339	1	3	,165
Coliformes Totales	7,113	1	3	,076
Coliformes fecales	3,722	1	3	,149
Oxígeno disuelto	101,434	1	3	,002
Dureza	7,562	1	3	,071
Alcalinidad	5,598	1	3	,099
Color verdadero	2,138	1	3	,240
Conductividad	6,809	1	3	,080

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

a. Diseño: Intersección + Uso de suelo

Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen	Variable dependiente	Tipo I de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Sólidos Totales	692,013 ^a	1	692,013	,605	,493
	Turbidez	159,753 ^b	1	159,753	,053	,833
	Nitratos	,005 ^c	1	,005	1,463	,313
	Fósforo total	,002 ^d	1	,002	,476	,540
	Temperatura	,052 ^e	1	,052	,611	,491
	DBO5	,000 ^f	1	,000	,002	,968
	pH	,009 ^g	1	,009	,203	,683
	Coliformes Totales	7632673,919 ^h	1	7632673,919	,984	,394
	Coliformes fecales	161699,079 ⁱ	1	161699,079	2,760	,195
	Oxígeno disuelto	,003 ^j	1	,003	,285	,631
	Dureza	1008,308 ^k	1	1008,308	1,968	,255
	Alcalinidad	405,593 ^l	1	405,593	,598	,496
	Color verdadero	84451,358 ^m	1	84451,358	,349	,596
	Conductividad	2807,053 ⁿ	1	2807,053	,627	,486
Intersección	Sólidos Totales	48143,701	1	48143,701	42,095	,007
	Turbidez	11261,236	1	11261,236	3,738	,149
	Nitratos	,171	1	,171	53,945	,005
	Fósforo total	,116	1	,116	23,051	,017
	Temperatura	752,481	1	752,481	8771,981	,000
	DBO5	1,557	1	1,557	23,373	,017
	pH	310,715	1	310,715	7124,395	,000
	Coliformes Totales	24829724,166	1	24829724,166	3,203	,171
	Coliformes fecales	560233,739	1	560233,739	9,563	,054
	Oxígeno disuelto	253,647	1	253,647	24335,318	,000
	Dureza	30264,200	1	30264,200	59,069	,005
	Alcalinidad	35060,650	1	35060,650	51,675	,006
	Color verdadero	1071673,341	1	1071673,341	4,431	,126
	Conductividad	193711,759	1	193711,759	43,242	,007
Uso de suelo	Sólidos Totales	692,013	1	692,013	,605	,493
	Turbidez	159,753	1	159,753	,053	,833
	Nitratos	,005	1	,005	1,463	,313
	Fósforo total	,002	1	,002	,476	,540
	Temperatura	,052	1	,052	,611	,491
	DBO5	,000	1	,000	,002	,968
	pH	,009	1	,009	,203	,683

	Coliformes Totales	7632673,919	1	7632673,919	,984	,394
	Coliformes fecales	161699,079	1	161699,079	2,760	,195
	Oxígeno disuelto	,003	1	,003	,285	,631
	Dureza	1008,308	1	1008,308	1,968	,255
	Alcalinidad	405,593	1	405,593	,598	,496
	Color verdadero	84451,358	1	84451,358	,349	,596
	Conductividad	2807,053	1	2807,053	,627	,486
Error	Sólidos Totales	3431,059	3	1143,686		
	Turbidez	9037,772	3	3012,591		
	Nitratos	,010	3	,003		
	Fósforo total	,015	3	,005		
	Temperatura	,257	3	,086		
	DBO5	,200	3	,067		
	pH	,131	3	,044		
	Coliformes Totales	23259440,188	3	7753146,729		
	Coliformes fecales	175750,926	3	58583,642		
	Oxígeno disuelto	,031	3	,010		
	Dureza	1537,072	3	512,357		
	Alcalinidad	2035,467	3	678,489		
	Color verdadero	725643,587	3	241881,196		
	Conductividad	13439,174	3	4479,725		
Total	Sólidos Totales	52266,774	5			
	Turbidez	20458,760	5			
	Nitratos	,186	5			
	Fósforo total	,133	5			
	Temperatura	752,791	5			
	DBO5	1,757	5			
	pH	310,854	5			
	Coliformes Totales	55721838,273	5			
	Coliformes fecales	897683,744	5			
	Oxígeno disuelto	253,682	5			
	Dureza	32809,580	5			
	Alcalinidad	37501,710	5			
	Color verdadero	1881768,285	5			
	Conductividad	209957,985	5			
Total corregido	Sólidos Totales	4123,073	4			
	Turbidez	9197,524	4			
	Nitratos	,014	4			
	Fósforo total	,017	4			

Temperatura	,310	4		
DBO5	,200	4		
pH	,140	4		
Coliformes Totales	30892114,107	4		
Coliformes fecales	337450,005	4		
Oxígeno disuelto	,034	4		
Dureza	2545,380	4		
Alcalinidad	2441,060	4		
Color verdadero	810094,944	4		
Conductividad	16246,227	4		

- a. R al cuadrado = ,168 (R al cuadrado ajustada = -,110)
- b. R al cuadrado = ,017 (R al cuadrado ajustada = -,310)
- c. R al cuadrado = ,328 (R al cuadrado ajustada = ,104)
- d. R al cuadrado = ,137 (R al cuadrado ajustada = -,151)
- e. R al cuadrado = ,169 (R al cuadrado ajustada = -,108)
- f. R al cuadrado = ,001 (R al cuadrado ajustada = -,332)
- g. R al cuadrado = ,063 (R al cuadrado ajustada = -,249)
- h. R al cuadrado = ,247 (R al cuadrado ajustada = -,004)
- i. R al cuadrado = ,479 (R al cuadrado ajustada = ,306)
- j. R al cuadrado = ,087 (R al cuadrado ajustada = -,218)
- k. R al cuadrado = ,396 (R al cuadrado ajustada = ,195)
- l. R al cuadrado = ,166 (R al cuadrado ajustada = -,112)
- m. R al cuadrado = ,104 (R al cuadrado ajustada = -,194)
- n. R al cuadrado = ,173 (R al cuadrado ajustada = -,103)