



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA**

**INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE**

**CARRERA DE INGENIERIA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS  
GENÉTICOS**

**TEMA:**

---

**EVALUACIÓN DE ENMIENDA EDÁFICA EN BASE AL TRATAMIENTO  
MADERA RAMEAL FRAGMENTADA EN SUELOS DEGRADADOS DE  
LOS ANDES, CASO VOLCÁN ILALÓ**

---

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en  
Biodiversidad y Recursos Genéticos.

**Autor:**

Muñoz Lara Kevin Augusto

**Tutor:**

Dr. Bonilla Bedoya Santiago Patricio

QUITO – ECUADOR

2020

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA  
DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo Muñoz Lara Kevin Augusto declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “EVALUACIÓN DE ENMIENDA EDÁFICA EN BASE AL TRATAMIENTO MADERA RAMEAL FRAGMENTADA EN SUELOS DEGRADADOS DE LOS ANDES, CASO VOLCÁN ILALÓ”, como requisito para optar al grado de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 18 días del mes de febrero del 2020, firmo conforme:

Autor: Kevin Augusto Muñoz Lara



Firma:

Número de Cédula: 1718990547-2

Dirección: Pichincha, Quito, Calderón,

Correo Electrónico: [kevin711998@gmail.com](mailto:kevin711998@gmail.com)

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “EVALUACIÓN DE ENMIENDA EDÁFICA EN BASE AL TRATAMIENTO MADERA RAMEAL FRAGMENTADA EN SUELOS DEGRADADOS DE LOS ANDES, CASO VOLCÁN ILALÓ” presentado por Kevin Augusto Muñoz Lara, para optar por el Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos.

### **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 08 de mayo del 2020.

*Santiago Bonilla Bedoya*  
.....

PhD. Bonilla Bedoya Santiago Patricio

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 08 de mayo del 2020.



Kevin Augusto Muñoz Lara

C.I.:1718905472

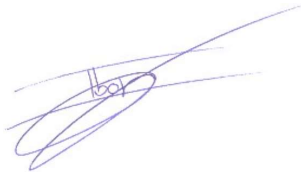
## APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: EVALUACIÓN DE ENMIENDA EDÁFICA EN BASE AL TRATAMIENTO MADERA RAMEAL FRAGMENTADA EN SUELOS DEGRADADOS DE LOS ANDES, CASO VOLCÁN ILALÓ, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 08 de mayo del 2020.



.....  
PhD. Salazar Cotugno Laura Ines  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



PhD. Tobes Sesma Ibon  
VOCAL



MSc. Falconi Lopez Ana Sofia  
VOCAL

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, quien me dio la fortaleza e impulso, permitiéndome llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Debo consignar mi gratitud eterna a mis padres por su apoyo incondicional frente a todos los obstáculos que se han presentado en el camino, su cariño y su confianza fue fundamental para culminar este proceso.

Por último, dedico esta investigación a mis maestros y tutor por el conocimiento impartido, el tiempo dedicado a mi formación y el haberme brindado las herramientas necesarias para culminar esta etapa académica con éxito.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme guiado en cada etapa de mi formación académica, dándome fuerza y el valor para culminar esta importante etapa de mi vida.

Agradezco a mi madre por su cariño y apoyo incondicional. A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme a lo largo de mi carrera. A mis compañeros por las experiencias y vivencias compartidas. A mis profesores por su dedicación para ofrecernos una educación de calidad.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>PORTADA.....</b>	<b>i</b>
<b>APROBACIÓN DEL TUTOR.....</b>	<b>ii</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....</b>	<b>iii</b>
<b>APROBACIÓN TRIBUNAL.....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>2</b>



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de suelo de la parroquia Guangopolo.....	9
Tabla 2: Categorías del pH del suelo.....	19
Tabla 3: Condición del suelo, por su contenido de materia orgánica.....	21
Tabla 4: Tabla para la interpretación de análisis de suelos.....	23
Tabla 5: Prueba de Shapiro – Wilk en el tratamiento A, en donde muestra los valores de P de cada variable para determinar si los datos provienen de una distribución normal o no.....	27
Tabla 6: Prueba de Shapiro – Wilk para la parcela control, en donde muestra los valores de P de cada variable para determinar si los datos provienen de una distribución normal o no.....	28
Tabla 7: Análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables.....	29
Tabla 8: Variación espacio - temporal del pH considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.....	31
Tabla 9: Variación espacio - temporal de la MO considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.....	32
Tabla 10: Variación espacio - temporal del K considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.....	33

Tabla 11: Variación espacio - temporal del Ca considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.....34

Tabla 12: Variación espacio - temporal del Mg considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.....35

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Mapa de ubicación del sitio donde se desarrolló el trabajo .....	6
Gráfico 2: Croquis de las dos parcelas, en donde los puntos separados cada 5 metros con su respectiva numeración, representan las muestras de suelo tomadas en campo.....	16
Gráfico 3: Diagrama de cajas de la variación temporal del pH entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	31
Gráfico 4: Diagrama de cajas de la variación temporal de la MO entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	32
Gráfico 5: Diagrama de cajas de la variación temporal del K entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	33
Gráfico 6: Diagrama de cajas de la variación temporal del Ca entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	34
Gráfico 7: Diagrama de cajas de la variación temporal del Mg entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	36

## INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Fotografía del lado noroeste del Volcán Ilaló.....	6
Imagen 2: Fotografía de la máquina trituradora de madera y fotografía del traslado de las ramas de eucalipto.....	15
Imagen 3: Fotografía del momento que se midió las parcelas y se extrajo la muestra de suelo.....	16
Imagen 4: Variación espacial IDW del pH entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	31
Imagen 5: Variación espacial IDW de la MO entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	32
Imagen 6: Variación espacial IDW del K entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	33
Imagen 7: Variación espacial IDW del Ca entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	34
Imagen 8: Variación espacial IDW del Mg entre la parcela tratamiento y la parcela control.....	35

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS**  
**GENÉTICOS**

**THEME: EVALUACIÓN DE ENMIENDA EDÁFICA EN BASE AL  
TRATAMIENTO MADERA RAMEAL FRAGMENTADA EN SUELOS  
DEGRADADOS DE LOS ANDES, CASO VOLCÁN ILALÓ**

**AUTOR: Muñoz Lara Kevin Augusto.**

**TUTOR: Dr. Bonilla Bedoya Santiago Patricio.**

**RESUMEN EJECUTIVO**

El suelo es un elemento fundamental para la dinámica de los ecosistemas, ofreciendo servicios ambientales de los que depende la sociedad humana. Su degradación se debe principalmente a factores antropogénicos, dando como resultado una disminución en su productividad y una pérdida de fertilidad en la capa superior del suelo. Por ende, es importante desarrollar proyectos de restauración de suelos degradados, en este caso en los suelos del volcán Ilaló, usando la madera rameal fragmentada como enmienda de restauración para cuantificar los efectos físicos y químicos en algunos indicadores de calidad del suelo, con la finalidad de generar algunas consideraciones para la restauración de suelos degradados en los paisajes andinos. De este modo se realizó dos parcelas, una con tratamiento y una sin tratamiento para la toma de muestras de suelo. Posteriormente se realizó un análisis de fertilidad para calcular la variación temporal

usando Anova y se obtuvo que después de 4 años de haber implementado el tratamiento, si existe diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los indicadores de calidad del suelo, a excepción del calcio. Así mismo, para calcular la variación espacial, se realizó una ponderación de distancia inversa (IDW) y como resultado los mapas muestran una mejor condición y calidad del suelo en la parcela con tratamiento. Estos resultados demuestran eficacia en el uso de la madera rameal fragmentada como enmienda para restaurar suelos degradados en los paisajes andinos como el volcán Ilaló.

### **DESCRIPTORES:**

Madera rameal fragmentada (MRF)

Servicios ecosistémicos.

Degradación de suelo.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS**  
**GENÉTICOS**

**TEMA: EVALUACIÓN DE ENMIENDA EDÁFICA EN BASE AL  
TRATAMIENTO MADERA RAMEAL FRAGMENTADA EN SUELOS  
DEGRADADOS DE LOS ANDES, CASO VOLCÁN ILALÓ**

**AUTOR: Muñoz Lara Kevin Augusto.**

**TUTOR: PhD. Bonilla Bedoya Santiago Patricio.**

**ABSTRACT**

Soil is a fundamental element for the dynamics of ecosystems, offering environmental services on which human society depends. Its degradation is mainly due to anthropogenic factors, resulting in a decrease in its productivity and a loss of fertility in the upper soil layer. Therefore, it is important to develop projects for the restoration of degraded soils, in this case on the soils of the Ilaló volcano, using fragmented rameal wood as a restoration amendment to quantify the physical and chemical effects on some soil quality indicators, in order to generate some considerations for the restoration of degraded soils in Andean landscapes. In this way, two plots were made, one with treatment and one without treatment for taking soil samples. Subsequently, a fertility analysis was carried out to calculate the temporal variation using Anova and it was

obtained that after 4 years of having implemented the treatment, there are significant differences ( $p < 0.05$ ) in the soil quality indicators, an exception of calcium. Likewise, to calculate the spatial variation, an inverse distance weighting (IDW) was performed and as a result the maps show a better condition and quality of the soil in the plot with treatment. These results show efficacy in the use of fragmented rameal wood as an amendment to restore degraded soils in andean landscapes such as the Ilaló volcano.

**KEYWORDS:**

Fragmented rameal wood (MRF)

Ecosystem services.

Soil degradation.





## **1. Introducción.**

El suelo está definido como un recurso natural finito no renovable que presta diferentes servicios ambientales o ecosistémicos, entre ellos y a forma de ejemplo, el referente con su participación en los ciclos biogeoquímicos de algunos elementos clave para la vida. Y por efecto de la energía disponible, estos elementos pueden pasar de los sistemas vivos a los sistemas no vivos del planeta. Sin embargo, lo más habitual, es que el suelo es un recurso natural indispensable para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad humana (CONABIO, 2016; Silva y Correa, 2009; OBIO, 2016; Montanarella, 2015).

Además, el suelo es una estructura formada por cuatro componentes principales que son: material orgánico, mineral, líquido y gaseoso. (Trinidad y Velasco, 2016). Se encuentra en la corteza terrestre y es un soporte vital para las plantas ya que le proporciona los elementos nutritivos necesarios para su óptimo desarrollo (Vargas y Baquero, 2003). Existen 5 factores que influyen en la formación del suelo: el primero es el que se forma a partir del fraccionamiento de las rocas, el segundo proviene de restos vegetales y animales, el tercero es la influencia del clima, el cuarto es la variación altitudinal de los suelos en el paisaje y por último es el tiempo que toma a la roca transformarse en suelo. Por lo tanto, el suelo es la combinación de estos factores formadores (Jenny, 1940)

Si estos factores son alterados, se puede producir la desertificación y erosión con el transcurso del tiempo, dando como resultado una pérdida de macro y micronutrientes, además de la reducción en la descomposición de la materia orgánica, y de la biodiversidad del suelo (Ibañez et al., 2004). La degradación del suelo se define como la disminución de la capacidad

que ofrece el suelo para proveer de bienes y servicios ecosistémicos y asegurar sus funciones a los beneficiarios de este recurso (Nachtergaele, 2009; Piscitell, 2015).

En este sentido la principal causante son las acciones antrópicas directas e indirectas que provocan el deterioro de las propiedades físicas y como resultado afectan directamente al desarrollo y crecimiento de las plantas (Porta et al. 2003). Por lo tanto, la desertificación del suelo es un problema global que afecta principalmente a los ecosistemas tropicales y subtropicales (Lal, 2015); como consecuencia directa del cambio de cobertura y uso de la tierra a lo largo del tiempo provocado por las actividades productivas como la agrícola, ganadera, forestales, agroquímicas, desechos de residuos industriales, entre otras (Ortiz et al., 2007). Como resultado, la productividad del suelo disminuye e implica la pérdida de fertilidad en la capa superior del suelo (Ortiz et al., 2007).

Un estudio desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO y el Panel Técnico intergubernamental sobre suelos (FAO y ITPS, 2015), muestra el estado del suelo alrededor del mundo, mencionando que gran parte del suelo del planeta se encuentra en mala o muy mala situación, y sus principales amenazas para su función son la erosión, acidificación, compactación, salinización, sellado y anegamiento, contaminación, pérdida de carbono orgánico asociada a la producción de los gases de efecto invernadero, desequilibrio de los nutrientes (por deficiencia o exceso de estos) y pérdida de biodiversidad (FAO y ITPS, 2015).

Existen alrededor de 3600 millones de hectáreas (ha) que se encuentran afectadas por la degradación del suelo, este valor representa el 25% de las tierras a nivel mundial. Además,

en las tierras productivas principalmente agrícolas, se estima que el 2/3 de las mismas, han sido afectadas por la degradación del suelo en los últimos 50 años (Sentís, 2010).

El suelo es un elemento fundamental para la dinámica de un ecosistema, ya que este recurso natural contribuye al bienestar del planeta y la sociedad, proporcionando bienes y servicios fundamentales para su óptimo funcionamiento (Verheijen et al., 2009). Además, el suelo se encuentra en una estrecha relación con la biodiversidad, composición de plantas, retención de agua, secuestro de carbono, productividad del ecosistema, entre otros (Van Oost et al., 2000).

En el caso del volcán Ilaló en Quito - Ecuador, la degradación del suelo se debe principalmente al crecimiento demográfico de los pueblos aledaños y de las actividades que se desarrollan como la tala indiscriminada del bosque, crecimiento de la frontera agrícola y ganadera en el que genera suelos infértiles, la presencia de botaderos de basura y escombreras que son parte de la contaminación en el territorio, además de incendios forestales que consumen los pocos remanentes de bosque y como consecuencia aumenta la pérdida de biodiversidad (Fundación Futuro Latinoamericano, 2015).

Debido a la degradación de los suelos andinos y a la importancia del mismo en el mantenimiento de los ecosistemas, es de fundamental importancia realizar proyectos de restauración de suelos degradados (Jackson y Hobbs, 2009). Para la restauración del suelo es indispensable entender su funcionamiento, como un sistema vivo, que puede mantener la productividad biótica y los servicios del ecosistema (Doran y Zeiss, 2000), tales como su capacidad de captación y retención de agua (Espinosa, 2008). En términos generales, las tecnologías de restauración de suelos requieren tres pasos: el primero es especificar el lugar

en el que se va a realizar el proceso de restauración, luego definir la estrategia de remediación y, por último, el tipo de tratamiento que se va a aplicar (Loya Del Angel, 2013).

Es importante tener en cuenta la brecha de conocimiento de las nuevas tecnologías para la restauración de suelos por parte de los campesinos, quienes poseen una larga historia de conocimiento agrícola y una comprensión íntima y compleja de sus tierras (Fonte et al., 2012). Muchas veces las necesidades del campesino no se ajustan a los objetivos del investigador, por lo que el agricultor no implementa estas nuevas tecnologías en sus cultivos (Bentley et al., 2007).

Uno de los métodos utilizados para restaurar el suelo, es el uso de la madera rameal fragmentada (MRF), esta técnica consiste en obtener madera de las ramas forestales con diámetro inferior a 7cm (Lemieux et al., 1988). En esta sección de los árboles o arbustos se almacena el 75% de los nutrientes de toda la planta (Noël, 2006). Además, se localiza la celulosa, hemicelulosas, aminoácidos, lignina, enzimas, fitohormonas, glúcidos, entre otros; que pueden servir como alimento para los organismos del suelo. Estos individuos descomponen el material fragmentado en sustancias más simples para que nuevamente sean asimilados por las plantas (Gruda, 2008; Lemieux et. al, 2000). Este proceso permite desencadenar la formación del suelo fértil (Soumare et. al, 2002). Es por esta razón que el uso de esta técnica de restauración es una herramienta eficaz para la remediación del suelo ya que favorece también a la mineralización gradual de los nutrientes que se encuentran en el suelo, y permite la humificación del carbono (Lemieux et al., 1988).

Para aplicar estas tecnologías en un lugar específico para la restauración, es esencial conocer el estado inicial del mismo, con variables que permitan evaluar las condiciones del suelo.

Dichas variables, pueden ser indicadores establecidos que representan una condición y abarcan información de los cambios y las tendencias de la condición en la que están los suelos (Dumanski et al., 1998). Estos indicadores son instrumentos que nos permiten realizar análisis para cuantificar, comunicar y simplificar fenómenos complejos (Adriaanse, 1993). Y pueden ser medidos por medio de propiedades o indicadores físicos, químicos y biológicos (SQI, 1996).

Los indicadores físicos del suelo, son aquellos que pueden reflejar si este recurso acepta, retiene o transmite agua a las plantas y estos son: capacidad de almacenamiento de agua, estructura, densidad aparente, infiltración, estabilidad de agregados, profundidad del suelo superficial, conductividad hidráulica. (SQI, 1996). Los indicadores químicos se refiere a las condiciones que afectan la relación suelo - planta, así como la calidad y la disponibilidad de nutrimentos y agua para las plantas y microorganismos (Romero, et al. 2009).

Finalmente, los indicadores biológicos, integran varios factores que afectan la calidad de suelos como la abundancia y los subproductos de micro y macroorganismos, en el que se incluyen los nematodos, lombrices, hongos, bacterias, anélidos y artrópodos. Dentro de este indicador, también influye mucho las funciones como ergosterol y otros subproductos de los hongos, la tasa de respiración, tasas de descomposición de residuos vegetales y, N y C de la biomasa microbiana (SQI, 1996; Karlen et al., 1997).

**Objetivo general:**

- Cuantificar los efectos físicos y químicos del método conocido como: madera rameal fragmentada (MRF), en algunos indicadores de calidad del suelo en el volcán Ilaló, con

la finalidad de generar algunas consideraciones para la restauración de suelos degradados en los paisajes andinos.

**Objetivos específicos:**

- Cuantificar la variación temporal de algunos atributos de calidad del suelo después de la aplicación de un tratamiento de madera rameal fragmentada.
- Cuantificar la variación espacial de algunos atributos de calidad del suelo después de la aplicación de un tratamiento de madera rameal fragmentada.

**2. Materiales y Métodos**

**2.1. Descripción del Área de Estudio.**

**2.1.1. Ubicación del Área de Estudio.**

El área de estudio se encuentra en las faldas del volcán Ilaló, al noroeste del mismo, dentro del territorio de la parroquia de Guangopolo, aproximadamente a 2.5 km del centro poblado (Figura 1).



## MAPA DEL SITIO DE MUESTRA

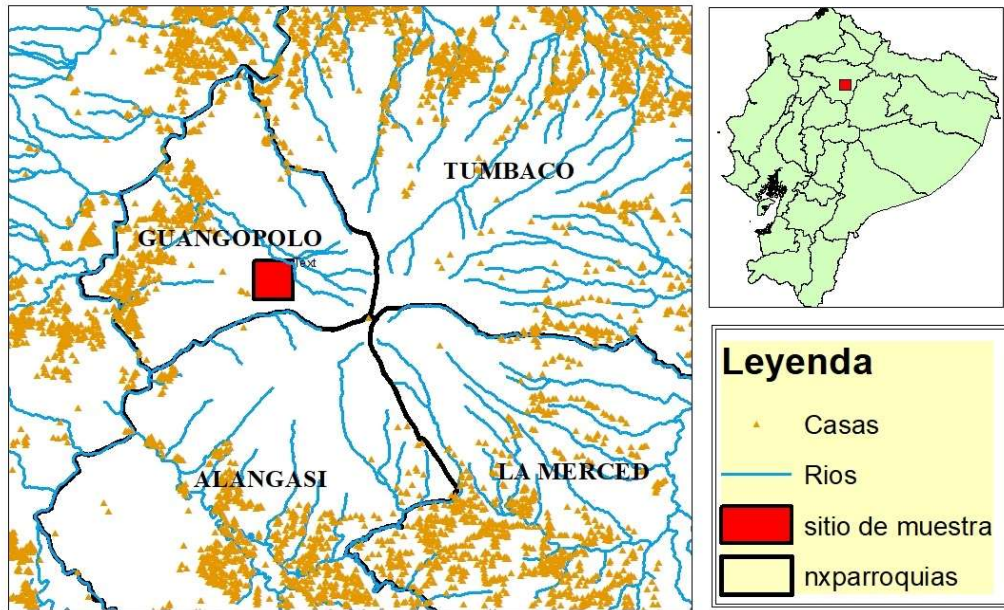


Gráfico 1: Mapa de ubicación del sitio donde se desarrolló el trabajo.



Imagen 1: Fotografía del lado noroeste del Volcán Ilaló.

### 2.1.1. Climatología.

El clima que predomina en el volcán Ilaló es templado, característico de los valles interandinos, presentando dos variaciones de precipitación y humedad relativa. El “clima



ecuatorial mesotérmico húmedo” es el más húmedo y predomina en las laderas del Valle de los Chillos, con precipitaciones que oscilan entre 1.000 – 2.000 mm/año. El “clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo” es característico del Valle de Tumbaco y de las laderas orientales del volcán, en comparación es más seco, con menor cantidad de lluvia (600 – 900 mm/año). En ambos casos, la temperatura media oscila entre 12 – 20°C, y sus precipitaciones ocurren en dos estaciones lluviosas, la primera es en el invierno que va de febrero a mayo y la segunda de octubre a noviembre; la época seca o de verano, ocurre entre los meses de junio a septiembre. Los gradientes altitudinales del volcán influyen en la precipitación, temperatura y la humedad relativa, y por lo tanto las partes más altas son más húmedas y frías, esto se debe a las habituales neblinas, mientras que en las zonas más bajas son más cálidas y secas, principalmente en su parte oriental (Curipoma, 2015).

### **2.1.2. Geología.**

Según varios estudios, el Volcán Ilaló se originó en la época del Holoceno, esto se confirma con una datación radiométrica realizada con la lava del Ilaló y como resultado, su edad es estimada en 1.62 millones de años (Curipoma, 2015). El Volcán Ilaló es clasificado como de tipo estratovolcán, con cono imperfecto, y está formado principalmente por brechas y lavas, además está ubicado en el interior del valle interandino (Villareal, 2006). La base del volcán tiene un diámetro de aproximadamente 8 km, y la diferencia que existe entre el cono y la base del volcán es de aproximadamente 690 m (Curipoma, 2015). Se cree que el Volcán pasó por una Fase de colapso, en el que se formó una caldera de aproximadamente entre 15-20 km de diámetro ubicada hacia el lado oeste (Curipoma, 2015)

El volcán Ilaló ha pasado por tres fases tectónicas, en la primera obtuvo un carácter de tipo tensional, en donde la fase más antigua presentó fracturas en sentido norte-sur y muy pocas en sentido este-oeste. En la segunda fase se produjo un tipo de compresiones que originaron fracturas en sentido noroeste-sureste y del noreste-suroeste, y en la tercera fase corresponde a un evento más joven de tipo tensional (Villareal, 2006).

### **2.1.3. Geomorfología**

El volcán Ilaló es una estructura antigua, cubierta por depósitos jóvenes, además presenta erosión fluvial, esto nos permite deducir su antigüedad. Hace 16.700 años A.C. presentó un proceso de desglaciación, posteriormente, se deduce que el volcán estuvo cubierto por pajonales, con parches de arbustos y con precipitación elevada (Curipoma, 2015)

Se puede deducir que el volcán ha tenido actividad volcánica reciente, por lo que existe afloramiento de rocas Plio-cuaternarias, además de la presencia de depósitos coluviales, andesita y cangahua (Carrera y Mosquera, 1997). En el territorio parroquial de Guangopolo, la cangahua predomina en un 87,68% de la superficie del suelo del volcán Ilaló (PDOTG, 2012).

En el volcán ha existido eventos volcánico posteriores a la de su formación, esto se evidencia en la ribera del río Chiche ya que existe afloramiento de material clástico con origen posiblemente del volcán Cotopaxi, Rumiñahui y Pasochoa, además de que los flujos encontrados en este río al parecer son jóvenes (1.6 a 1 millones de años) a comparación de la edad estimada del volcán Ilaló (Villareal, 2006). Por otro lado, en la parte oeste, existe

presencia de lahares, provocados por los desprendimientos de hielo del volcán Cotopaxi con un espesor entre 1 – 4 metros (Villareal, 2006).

#### **2.1.4. Suelos.**

Gran parte de los suelos de la parroquia Guangopolo son de tipo mollisoles en un 46%, la principal característica es que son suelos suaves y oscuros que se desarrollaron bajo una vegetación herbosa; el horizonte superficial es rico en humus, es decir que el calcio y el magnesio son muy abundantes. También hay presencia de Mollisoles-Inceptisoles en un 32%; seguido por suelos misceláneos con un 14%; y por último los entisoles suelo joven, afloramiento rocoso, inceptisoles, área urbana consolidada, ríos dobles y área en proceso de urbanización con un 8% (Tabla 1) (PDOTG, 2012).

**Tabla 1:** Tipos de suelo de la parroquia Guangopolo.

<b>TIPO</b>	<b>SUPERFICIE</b>	<b>%</b>
Entisoles	0,4410	<b>4,00</b>
Molisoles	4,6080	<b>46,00</b>
Molisoles - Inceptisoles	3,1830	<b>32,00</b>
Inceptisoles	0,1150	<b>1,00</b>
Afloramiento rocoso	0,0000	<b>0,00</b>
Área urbana consolidada	0,0630	<b>1,00</b>
Área en proceso de urbanización	0,1480	<b>1,00</b>
Ríos Dobles	0,1180	<b>1,00</b>
Suelo Miselaneo	1,3570	<b>14,00</b>

---

<b>TOTAL</b>	<b>10,033</b>	<b>100,00</b>
--------------	---------------	---------------

---

**Fuente:** GPP-DIPLA, 2010.

Además, existe presencia de cangahuas que significa “tierra dura esteril” y es una serie de cenizas volcánicas antiguas que se han endurecido con el tiempo, se estima que fue hace más de 10.000 años (Zebrowski, 1997) y se la define como suelos volcánicos endurecidos (Custode, 1992). En Ecuador, este tipo de suelo cubre aproximadamente 800 km<sup>2</sup>, y el 15% de la superficie cultivada de la sierra (Zebrowski, 1997).

Las cangahuas son capas volcánicas compactadas y alteradas por los procesos geológicos y edafológicos, su consistencia es dura debido a la presencia de silicio, carbonatos, hierros, aluminio y falta de precipitación (Hidrobo et al., 2015). El agua que penetra este suelo es muy poca, una simulación demostró que el escurrimiento del agua puede alcanzar hasta un 80% si la intensidad de la lluvia es de 20 mm/h, esto la puede hacer bastante susceptible a la erosión hídrica (Custode, 1992).

Por otro lado, las cangahuas, desde el punto de vista químico, se caracterizan por tener contenidos muy bajos de nitrógeno y materia orgánica (MO) (Hidrobo et al., 2015), además, el ph de estos suelos derivados de la cangahua son neutros y contienen potasio de intercambio (0.81 – 1.94 meq/100g) y calcio (9.5 – 14.4 meq/100g) (Custode, 1992).

#### **2.1.5. Uso de la tierra.**

A lo largo del tiempo, los paisajes y ecosistemas nativos del Ilaló han sido alterados casi en su totalidad, como consecuencia de factores antropológicos. Estudios afirman que los primeros pobladores del Ilaló se remontan en los años 14.000 A.C. durante el Pleistoceno,

esto demuestra que estuvieron alimentándose y conviviendo con los últimos ejemplares de la flora y fauna de esa época (Sarmiento, 2001). Esta hipótesis es evidenciada de los restos encontrados del mamut en las faldas del Ilaló, por el sector del actual Alangasí, en cuyos restos se encontraron puntas de flechas de obsidiana en el cráneo del animal (GAD La Merced, 2012).

En la zona además se han encontrado vestigios de asentamientos humanos probablemente los más antiguos de todo el Ecuador y quizás los más antiguos del continente americano (Mora, 1999). Existe evidencia de la presencia de la cultura “El Inga” hace 11.000 años A.C., formada por asentamientos tempranos que se habían desarrollado en la zona oriental del volcán. En ese sitio se presume que existían cazadores – recolectores semi-nómadas, que contenían campamentos o talleres para la fabricación de armas de cacerías y otros utensilios para la recolección (Mora, 1999).

Tiempo después, estos asentamientos fueron convirtiéndose en permanentes debido a que sus habitantes podían sobrevivir de los recursos que les ofrecía el cerro, ya que existía abundante agua y alimento provenientes de los bosques densos, además de materiales para el desarrollo de estas comunidades. Estos asentamientos según los análisis de carbono de los artefactos encontrados en el sitio, muestran que estos asentamientos se remontan en el año 7080 A.C. y han sido poblados ininterrumpidamente hasta los años 1969 a.C. Estas culturas están ubicadas en el periodo paleolítico (PNUMA, DMQ y FLACSO, 2011).

Posteriormente, la cultura Inca estuvo establecida en esta región durante 48 años entre los años de 1487 y 1535, hasta la conquista española (Cabezas, 2016). A partir de entonces empieza el periodo colonial y junto a ello los españoles empezaron a desarrollar la estructura

de explotación de la tierra. Para dicha actividad habían creado las siguientes instituciones: las doctrinas, las encomiendas y mercedes de tierras en las cuales podían ser asignadas a actividades ganaderas, agrícolas o de textil (Cabezas, 2016).

Estas instituciones, después de la independencia, fueron evolucionando y pasaron a convertirse en haciendas, las cuales estaban a cargo de la burguesía, élites políticas y de la iglesia católica, en la que mantenían una lógica de sistema de exclusión y explotación colonial (SIPAE, 2013). A partir de 1908 todas estas propiedades pasaron a manos del estado para así desarrollar una redistribución de la propiedad rural. Con el levantamiento y manifestación indígena y campesina, estas haciendas empiezan a ser fraccionadas (SIPAE, 2013).

En el año de 1937, se aplica la Ley de Organización y Régimen de Comunas (LORC), que consiste en que las comunas que se encontraban asociadas a los ex-huasipungueros y trabajadores campesinos, puedan adquirir los títulos de propiedad sobre las tierras en las que por varias generaciones habían cultivado. Debido a esta ley, las comunidades ancestrales de las faldas del volcán Ilaló obtienen legalmente la posesión de sus tierras (GAD La Merced, 2012).

Posteriormente, en 1964 se estableció las leyes de Reforma Agraria y en 1979, la Ley de Fomento y Desarrollo Humano Agropecuario, y es aquí donde empieza un proceso de desestructuración de las propiedades comunitarias, esto a favor de la privatización de las tierras y de la modernización rural, la cual se consolida aún más con el Ley de Desarrollo Agrario de 1994 (Cabezas, 2016).

Actualmente, gran parte de la población que habita el Ilaló es de origen indígena, y provienen del pueblo Kitu-Kara (PKK), los cuales son de nacionalidad Kichwa. Los PKK están integrados por 80.000 personas, que se encuentran agrupadas en 64 comunidades dispersas por toda la provincia de Pichincha (Gómez, 2008). En el Ilaló coexisten 11 comunas que tratan de mantener sus cosmovisiones y tradiciones ancestrales, como sus prácticas agrícolas y de manejo ambiental para su subsistencia (Cabezas, 2016). Además de que aún desarrollan actividades como el trabajo comunitario o también llamadas mingas, para así mantener los caminos, acequias y los intercambios no monetarios (Prestar mano de obra para la agricultura o construcción) o trueques de productos locales (Cabezas, 2016).

En la actualidad, la vegetación nativa del volcán Ilaló consiste en los pocos remanentes de vegetación ubicados principalmente en sus quebradas. Según los datos de la Secretaría del Ambiente (2013), la vegetación que predomina en la superficie del Ilaló es de pastos exóticos (*Pennisetum clandestinum*) en un 32%, de cultivos tradicionales es 23% y de vegetación natural en un 24%, y entre otros, pero en menor cantidad en un 21%. La cobertura vegetal predominante es vegetación arbustiva seca, combinada con pastos nativos y de vegetación arbustiva húmeda. Existe un alto porcentaje de plantaciones de eucalipto, pino y ciprés. Los sistemas de cultivo se encuentran en las partes altas del volcán, aunque existen malas prácticas agrícolas (arado intensivo con tractor, monocultivos, entre otros), en sus suelos profundos aún siguen produciendo abundantes cosechas (Cabezas, 2016).

Evidentemente las actividades agrícolas es una de las principales actividades de uso del suelo en la zona, sin embargo, hay que recalcar que, con el tiempo, el rendimiento y la productividad de estas tierras han ido disminuyendo, esto debido a la sobreexplotación,

ganadería intensiva y la poca aplicación de prácticas sostenibles para la conservación y la regeneración de los suelos (Cabezas, 2016).

## 2.2. Aplicación del tratamiento (MRF).

La implementación del tratamiento MRF es parte del proyecto “Diseño y puesta en marcha de una nueva estrategia de agradación de suelos y ambiente en el Ilaló”, presentado a la secretaría de ambiente por el coordinador agro-forestal Paul Dehousse y la comunidad Toglla de la parroquia Guangopolo del cantón Quito. El proyecto fue puesto en marcha en Mayo del 2016. La comunidad “La Toglla” ocupa 551 hectáreas en las faldas del Ilaló, de las cuales cedieron dos hectáreas y media para la implementación de este proyecto.

Los principales requerimientos de este proyecto, fue adquirir desde Italia, una máquina trituradora de madera, que tiene una capacidad de trabajo de siete metros cúbicos por hora (Figura 3). Y las ramas de eucalipto fueron traídas de Paluguillo y del sur de Quito, específicamente de la tala de árboles para la construcción del metro de Quito (Figura 3). Las ramas escogidas para triturar tienen un diámetro menor a siete centímetros.



Imagen 2: Fotografía de la máquina trituradora de madera y fotografía del traslado de las ramas de eucalipto.



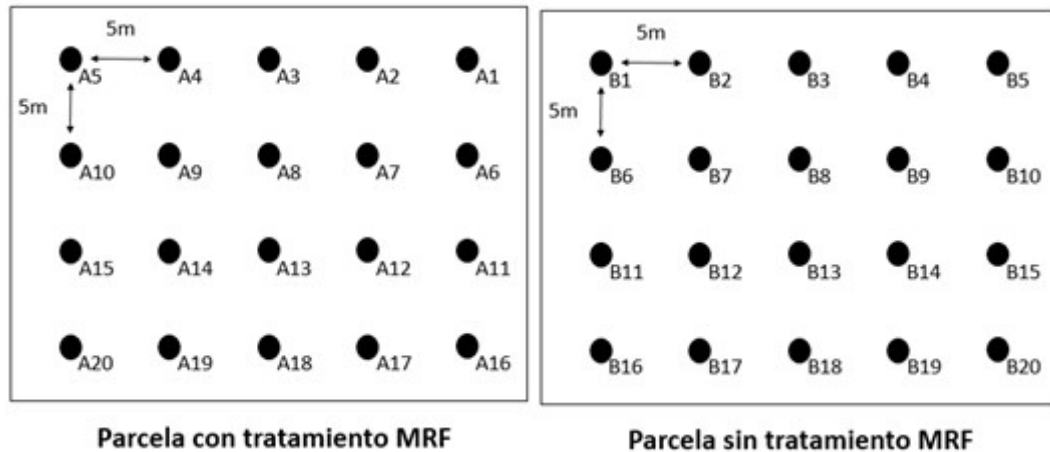
A inicios de Agosto del 2016, se inició el traslado de la madera triturada a las parcelas y se implementó cinco centímetros de MRF, lo que corresponde a 500 metros cúbicos por cada hectárea, es decir que se aplicó en total 1.250 metros cúbicos en las 2.5 hectáreas asignadas para la implementación de este proyecto. Posteriormente, la comunidad en los últimos años ha realizado trabajos con mingas, reforestación y vigilancia.

### **2.3. Diseño de muestreo.**

El diseño de muestreo consideró 2 parcelas, una parcela (A) donde se aplicó el tratamiento MRF y una parcela (B) de control, el cual nos permite comparar el efecto del tratamiento MRF en el suelo. Para el diseño muestral de la interpolación a partir de puntos se usó el diseño de muestreo regular para ambas parcelas, en donde los puntos de muestreo se ordenan siguiendo una malla regular (Figura 4), el mismo que es adecuado cuando no se tiene conocimiento acerca de la estructura de variación (Alonso, 2006).

A continuación se realizó una parcela de 20 metros de ancho por 15 metros de largo dentro del terreno donde está aplicado el tratamiento, dicha parcela la definimos como la parcela “A” o “tratamiento”, y se encuentra a una altura de 2.546,90 msnm. Sus coordenadas de ubicación son: S0 15.517 W78 25.928.

Posteriormente se realizó otra parcela con las mismas medidas dentro del terreno donde no ha sido aplicado el tratamiento, y la definimos como la parcela “B” o “Control”, y se encuentra a 2.613,50 msnm. Sus coordenadas son: S0 15.507 W78 25.943. La parcela A y la parcela B se encuentran separadas a 32 m de distancia.



**Gráfico 2.** Croquis de las dos parcelas, en donde los puntos separados cada 5 metros con su respectiva numeración, representan las muestras de suelo tomadas en campo.

Por lo tanto se tomaron muestras de suelo en el horizonte A, con una profundidad de 15 cm, cada punto tuvo un distanciamiento de 5 metros cada una, tanto de largo como de ancho (Figura 4 y 5), y se obtuvieron 20 muestras de suelo en cada parcela, en total 40 muestras de suelo en ambas parcelas.



Imagen 3: Fotografía del momento que se midió las parcelas y se extrajo la muestra de suelo.

Cada muestra fue colocada en una funda ziploc, atribuyéndole una etiqueta única, estas fueron nombradas con la letra “A” para la parcela con el tratamiento y la letra “B” para la parcela sin tratamiento, cada una con su respectivo número. La toma de muestras para este trabajo, se realizó el 16 de enero de 2020. En la parroquia de Guangopolo, en las faldas del volcán Ilaló.

#### **2.4. Análisis de Fertilidad.**

Las muestras fueron analizadas en la dirección general de investigación (DGI) de la Universidad de las Américas (UDLA). Se realizó un estudio multi-elemento de Potasio (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe) y Aluminio (Al), usando los siguientes parámetros:

- Protocolo de digestión por microondas basado en metodología EPA 3015b Digestión de sólidos (Digestor CEM, Modelo MARS 6).
- Protocolo de análisis: Corrida en ICP OES Thermo 7400, usando vista axial y radial de acuerdo a la longitud de onda de los metales. Se realiza una curva de calibración con el estándar multielemento para cuantificar las cantidades obtenidas. Se recorre un control de calidad después de la corrida de las muestras para medir la reproducibilidad de los datos obtenidos.
- Estándar Multielemento: Periodic Table Mix 1 para ICP, traceCERT, Sigma-Aldrich, Código 10197588; Fecha Expiración: Ene/2022.

Además, se empleó un análisis de materia orgánica usando el método gravimétrico a una temperatura de 500°C, y los resultados se obtienen en %. Finalmente se obtuvo el valor de ph y conductividad del suelo añadiendo 2,5g en 50 ml de agua destilada y se procede a medir usando un ph-metro.

### **2.4.3. Propiedades químicas del suelo.**

#### **2.4.3.1. pH, Aluminio y Hierro.**

El potencial de hidrógeno (pH) del suelo es una medida usada para mostrar la acidez o la alcalinidad de la solución del suelo. Se expresa usando la escala de pH, que va desde 0 hasta 14. Los suelos con pH menores a 7 ( $\text{pH} < 7$ ) se consideran ácidos. Los suelos con pH mayores a 7 ( $\text{pH} > 7$ ) se consideran alcalinos (Rivera et al., 2018) (Tabla 2). El valor del pH es importante ya que influyen en el aprovechamiento de los nutrientes mayores y menores (Perez, 2017).

<b>pH</b>	<b>Categoría</b>	<b>Interpretación</b>
< 4,5	Extremadamente ácido	pH alcanzado por suelos turbosos. Uso problemático. Poca actividad microbiana.
4,5 - 5,0	Muy fuertemente ácido	Suelos minerales ácidos. Toxicidad por el exceso de Al y Mn.
5,0 - 5,5	Fuertemente ácido	El bajo pH origina deficiencia en N, P, K, S, Ca, Mg, y Mo; y exceso de Fe, Mn, Cu y Zn.
5,5 - 6,0	Moderadamente ácido	Sus características lo hacen apropiado para muchos cultivos. Nutrición vegetal equilibrada.
6,0 - 6,5	Débilmente ácido	Ph considerado idóneo para la máxima disponibilidad de nutrientes esenciales.
6,5 - 7,5	Neutralidad	No hay toxicidad de nutrientes.
7,5 - 8,0	Moderadamente básico	pH común para la mayoría de los suelos minerales de regiones áridas. Poca disponibilidad de P y B. Deficiencia de micronutrientes: Fe, Mn, Cu y Zn.
8,0 - 8,5	Fuertemente básico	
8,5 - 9,0	Ligeramente alcalino	La Alcalinidad puede ser debida a la presencia importante de MgCO si no hay Na en complejo de cambio.
9,00 - 10,0	Moderadamente alcalino	El responsable es el carbonato sódico; provoca que el Na del complejo de cambio sea alto.
> 10,0	Fuertemente alcalino	Cuando el Na de cambio supera el 15%. Poca actividad microbiana. MO muy disponible.

Tabla 2: Categorías del pH del suelo (Navarro y Navarro, 2013).

Los valores de pH que se encuentran entre 6,0 y 7,5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Adicionalmente, el pH del suelo puede afectar la actividad de los microorganismos beneficiosos (Luters y Salazar, 1999).

La acidez del suelo se refiere a los iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>) que se encuentra en la solución del suelo y se la denomina como acidez activa. Mientras haya mayor cantidad de iones de

hidrógeno en la solución del suelo, mayor es su acidez. (Navarro et al, 2013). Esta acidificación se debe a las reacciones del agua con Al, Fe, Mn, entre otros; que liberan H<sup>+</sup> a la solución (Fassbender y Bornemisza, 1994; Ji et al., 2014). Las altas cantidades de aluminio y hierro en el suelo son un factor negativo para el desarrollo de las plantas ya que son elementos que por su relación al pH inhiben la absorción de los demás nutrientes (DICTA, 2016).

Cuando el Al y Fe está disuelto en un pH bajo, el suelo disminuye su capacidad de retener los iones de Ca y Mg, por lo que existe una mayor tendencia de lixiviarse del suelo y como resultado el Al y Fe competirán con el Ca y Mg por los sitios de intercambio, dando como resultado una mayor cantidad de Al y Fe disponible en el suelo para la absorción de la planta. (Castellanos et al., 2000; Aguirre, 2001; Casierra y Aguilar, 2007), por el contrario, si las concentraciones de Al y Fe en el suelo están disueltas en un pH alto, no habría deficiencias de Ca y Mg (Acevedo, 2007).

El Al es tóxico para las raíces de las plantas por lo que inhibe la división celular y como resultado las plantas presentan raíces cortas y gruesas. Esto se debe a que existe una formación de enlace estable entre el Al y el núcleo de las células en las puntas de crecimiento radicular. Todo esto provoca una disminución en la capacidad para absorber agua y nutrientes (Aguirre, 2001).

#### **2.4.3.2. Materia orgánica.**

La materia orgánica (MO) es un material de origen animal o vegetal de composición química variable que juega un papel clave para la fertilidad de los suelos, ya que en su fase de

mineralización puede aportar nutrientes para el desarrollo y rendimiento de las plantas. (Sales 2006; Trinidad y Velasco, 2016). Además la MO facilita la proliferación de los microorganismos benéficos, como los hongos, bacterias, y actinomicetos. Dichos microorganismos participan en los procesos de degradación de la materia orgánica, como la oxidación y la reducción de nutrientes e inhibición de ciertos patógenos del suelo (Trinidad y Velasco, 2016)

En la tabla 3 nos muestra las condiciones del suelo dependiendo la proporción de materia orgánica que contiene.

<b>Materia orgánica %</b>	<b>Condición del suelo</b>	<b>Interpretación</b>
< 1	Muy pobre	Conduce a la pérdida de los suelos y limita el desarrollo de los cultivos, debido a la baja presencia de MO humificada en el suelo.
1 - 1,99	Pobre	Restringe con severidad la conservación y productividad de los suelos, con riesgo a la pérdida del suelo; la pobre fertilidad disminuye el desarrollo de los cultivos.
2 - 2,99	Medio	contribuyen con una regular fertilidad para el desarrollo de los cultivos, limitando la conservación y productividad de los suelos.
3 - 3,99	Rico	Se asocian con una fertilidad adecuada de los suelos y contribuyen a su conservación, así como al buen desarrollo y productividad de los cultivos.
> 4	Muy rico	Alta fertilidad, la cual contribuye de manera significativa a la conservación y productividad de los suelos, mejora sus características de aprovechamiento, e incrementa la productividad y el desarrollo de los cultivos

Tabla 3: Condición del suelo, por su contenido de materia orgánica (Castillo et al., 2007).

### 2.4.3.3. BASES

El rol de la presencia del K en el suelo es bastante importante para la planta que lo absorbe ya que este es el principal activador de 80 enzimas que actúan en los diversos procesos metabólicos, reducción de nitrato, degradación de azúcares, síntesis de almidón y proteína (Ruiz y Sadzawka, 2005). En términos generales, el potasio es indispensable para el crecimiento vegetativo, maduración, fructificación y calidad de los frutos (INTAGRI, 2017).

El rol que cumple la presencia del Ca en el suelo y que sea aprovechado por las plantas, hace que esté estrechamente relacionado con el crecimiento de la raíz y la calidad de los frutos (INTAGRI, 2018). Además promueve un buen desarrollo en las hojas y nódulos de las raíces de leguminosas. La deficiencia de Ca puede afectar la consistencia de la raíz, y que es un componente estructural que se encuentra dentro de los tejidos de la planta.(INTAGRI, 2017).

La presencia del Mg en el suelo es de vital importancia para las plantas que lo absorben, ya que se ha comprobado que interviene en varios procesos fisiológicos como la fijación fotosintética del CO<sub>2</sub>, la fosforilación (formación de ATP en los cloroplastos), formación de clorofila, síntesis de proteínas, partición y asimilación de productos de la fotosíntesis, recarga del floema y foto-oxidación de los tejidos de las hojas. Además la enzima RuBisco (ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa), solo se activa ante la presencia de Mg, esta enzima es importante para el proceso de la fotosíntesis (Fageria, 2013).

	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Alto</b>
<b>K</b>	< 78,2	78,2 - 195,5	195,5 - 312,8	> 312,8
<b>Ca</b>	< 801,6	801,6 - 1202,3	1202,3 - 3005,9	> 3005,9



**Mg** < 121,5   121,5 - 364,6   364,6 - 729,1   > 729,1

---

Tabla 4: Tabla para la interpretación de análisis de suelos (Molina y Melendez, 2002).

## **2.5. Análisis de datos.**

Para cuantificar la variación temporal de los atributos del suelo realizamos un análisis de varianza ANOVA, y en el caso de la cuantificación de la variación espacial usamos una técnica de interpolación espacial.

### **2.5.1. Anova para la variación temporal.**

El ANOVA es una técnica estadística propuesta por el genetista Ronald Aymer (1890 – 1962) y es bastante útil, donde más de dos grupos necesitan ser comparados, también cuando los sujetos pueden variar por una o más características que afectan el resultado o cuando se desea analizar la efectividad de dos o más tratamientos diferentes, tanto el efecto de cada uno por separado como su posible interacción (Dagnino, 2014). El objetivo principal del ANOVA, es comparar varios valores medios para poder determinar si alguno difiere significativamente del resto (Boqué y Maroto, 2004).

En el ANOVA, el término factor hace referencia a la variable que determina los grupos en el estudio que se realiza, a esta la conocemos como la variable independiente o predictora. La cantidad de grupos definido por un factor, se lo conoce como el número de niveles del factor. Cuando existe el caso donde hay un solo factor de clasificación de los datos, hablamos de un

ANOVA de una vía o de un sentido, más comúnmente como ANOVA de un factor (Dagnino, 2014).

El raciocinio detrás del ANOVA está basado en que la hipótesis nula no muestra una diferencia significativa entre ambos grupos; es decir que, si la hipótesis nula es verdadera, la variabilidad entre los grupos no es significativa, por otro lado, si rechazo la hipótesis nula, significa que si existe variabilidad entre ambos grupos (Terrádez y Juan, 2003). El ANOVA requiere el cumplimiento de los siguientes supuestos:

- Las poblaciones deben tener distribución normal.
- Las diferentes muestras de las poblaciones deben ser independientes.
- Las poblaciones deben tener igual varianza (homoscedasticidad).

Para comprobar si una población tienen o no distribución normal en sus datos, es recomendable hacer uso de la prueba Shapiro-Wilk (SW), que fue propuesta por primera vez en 1965 (Shapiro y Wilk, 1965), en el que se ha demostrado su capacidad para detectar la no normalidad en una amplia variedad de distribuciones estadísticas, además, se incluye aquellas con valores de curtosis gaussiana (Seier, 2002). Así mismo, es muy recomendada como una potente prueba de normalidad omnibus (Gan y Koehler, 1990).

Muchos estudios revelan la eficacia de la prueba SW para contrastar normalidad, por tanto, esta prueba maximiza las probabilidades de acertar en el sentido de rechazar la hipótesis de normalidad dado que teóricamente esta es falsa. Su potencia es óptima siempre y cuando el tamaño de la muestra sea menor de 50 ( $n < 50$ ) (Razali y Wah, 2011).

Dada la muestra aleatoria ordenada  $y_1 < y_2 < \dots < y_n$ , la estadística de prueba de SW se define como:

$$w = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Donde  $y_i$  es la estadística de orden  $i$ ,  $\bar{y}$  es la media muestral,

$$a_i = (a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T v^{-1}}{(m^T v^{-1} v^{-1} m)^{1/2}}$$

Y  $m = (m_1, \dots, m_n)^T$  son los valores medios del estadístico ordenado de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, muestreadas de la distribución normal estándar y  $V$  es la matriz de covarianza de esas estadísticas de orden  $n$  (Razali y Wah, 2011). Para el valor  $W$ , se encuentra entre cero y uno. Los valores pequeños de  $W$  tienden a rechazar la normalidad, mientras que los valores de uno muestran la normalidad de los datos. La hipótesis nula ( $H_0$ ) significa que los datos provienen de una distribución normal; y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) significa que los datos no provienen de una distribución normal (Echeverri, et al., 2015).

Para este trabajo se usó un nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, los valores de  $p$  superiores a este valor se acepta la hipótesis nula, de lo contrario, si el valor de  $p$  es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula.

### **2.5.3. Ponderación de distancia inversa (IDW) para variación espacial.**

Para cuantificar la variación espacial se usó el método Inverse Distance Weighting (IDW) ó ponderación de distancia inversa (Wise, 2000), el cual es un método de interpolación que permite realizar el cálculo del valor de una variable en una posición del espacio desconocido,

teniendo en cuenta los valores conocidos de esa misma variable, pero en otras posiciones del espacio (Bosque, 2000); es decir, parte del supuesto de que las cosas que se encuentran más cerca, son más parecidas, por lo cual, tienen más influencia y peso sobre el punto que se quiere estimar (Cañada et al. 2008).

Este modelo sugiere que el resultado que se desea predecir reduce su incidencia a medida que aumenta la distancia entre el punto que queremos evaluar y los puntos que se encuentran en su entorno. Por lo tanto, los puntos más cercanos al punto a evaluar influyen más en el cálculo del valor definitivo para ese punto. Y matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$z = (\sum (\frac{Z_i}{d^n})) / (\sum (\frac{1}{d^n}))$$

Donde (Z) es el valor a interpolar; (Z<sub>i</sub>) son los valores de elevación de los puntos vecinos; (d) es la distancia entre los puntos vecinos y el punto a predecir; (n) es la potencia a la que se eleva la distancia, y oscila entre 0,5 - 4.

Este método de interpolación toma en cuenta la definición de la zona circundante del punto que se quiere interpolar, la cantidad de puntos que se utiliza al interior de la zona circundante y la elección de la función matemática a la que se ajusta la variación sobre la cantidad de puntos que se ha seleccionado (Garzón, 2013).

### **3. Resultados.**

Nuestro proceso metodológico cuantificó el efecto que tuvo del tratamiento madera rameal fragmentada en algunos indicadores de calidad del suelo en la parroquia Guangopolo del volcán Ilaló, a continuación presentamos las siguientes consideraciones:

### 3.1. Resultados de la variación temporal.

Mediante la prueba Shapiro - Wilk realizada, las variables del tratamiento obtuvieron un valor de P superior a 0,05, por lo tanto, las distribuciones de los datos de cada variable en este tratamiento son normales a excepción del Fe (tabla 5). En las variables control, todas obtuvieron un valor de P superior a 0,05 mostrando normalidad en los datos, a excepción del Fe (Tabla 6). El Fe al mostrar un valor de p inferior a 0,05 en ambas parcelas, sus datos no tienen una distribución normal, por lo tanto no se tomarán en cuenta para el análisis de varianza (ANOVA), ni para las interpolaciones IDW. En el caso del Al, todos los valores muestran niveles muy altos debido a un error de contaminación al momento del análisis del suelo según la dirección general de investigación (DGI) de la Universidad de las Américas (UDLA) por lo tanto no se realizó las interpolaciones IDW pero si se tomó en cuenta para la toxicidad de suelos por exceso de Al.

**Tabla 5:** Prueba de Shapiro – Wilk en el tratamiento A, en donde muestra los valores de P de cada variable para determinar si los datos provienen de una distribución normal o no.

Tratamiento - SW	Valor - p	Ho	Distribución
pH	0,5766	Acepto	Normal
MO%	0,08461	Acepto	Normal
K	0,5915	Acepto	Normal
Ca	0,07657	Acepto	Normal
Mg	0,7019	Acepto	Normal

Fe	0,0394	Rechazo	No normal
Al	0,06822	Acepto	Normal

---

**Tabla 6:** Prueba de Shapiro – Wilk para la parcela control, en donde muestra los valores de P de cada variable para determinar si los datos provienen de una distribución normal o no.

Control - SW	Valor - P	Ho	Distribución
pH	0,1602	Acepto	Normal
MO%	0,1961	Acepto	Normal
K	0,4224	Acepto	Normal
Ca	0,5059	Acepto	Normal
Mg	0,1971	Acepto	Normal
Fe	0,0007197	Rechazo	No normal
Al	0,5638	Acepto	Normal

---

Una vez verificado que los datos de cada una de las variables de ambos tratamientos provengan de una distribución normal, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) para encontrar si existen diferencias significativas de fertilidad entre la parcela A

y la parcela B. Para esto, se obtuvo la media y la desviación estándar de los datos de cada tratamiento por separado para cada una de las variables; además, se obtuvo el valor de p de ambos tratamientos juntos de cada una de las variables. Por lo que se usó un nivel de significancia de 0.05, lo que significa que, si es menor a este valor, existe una diferencia significativa entre ambas parcelas.

**Tabla 7:** Análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables.

<b>Indicadores</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Sd</b>	<b>Valor - p</b>
pH	Tratamiento	5,9	0,11	0,00194 **
	Control	6,05	0,16	
Mo	Tratamiento	1,41	0,28	0,000000333 ***
	Control	0,99	0,09	
K	Tratamiento	610,67	133,54	0,0362 *
	Control	514,71	145,70	
Ca	Tratamiento	2676,53	450,47	0,894
	Control	2659,10	364,27	

Mg	Tratamiento	1206,02	103,45	0,0495 *
	Control	1317,59	223,10	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

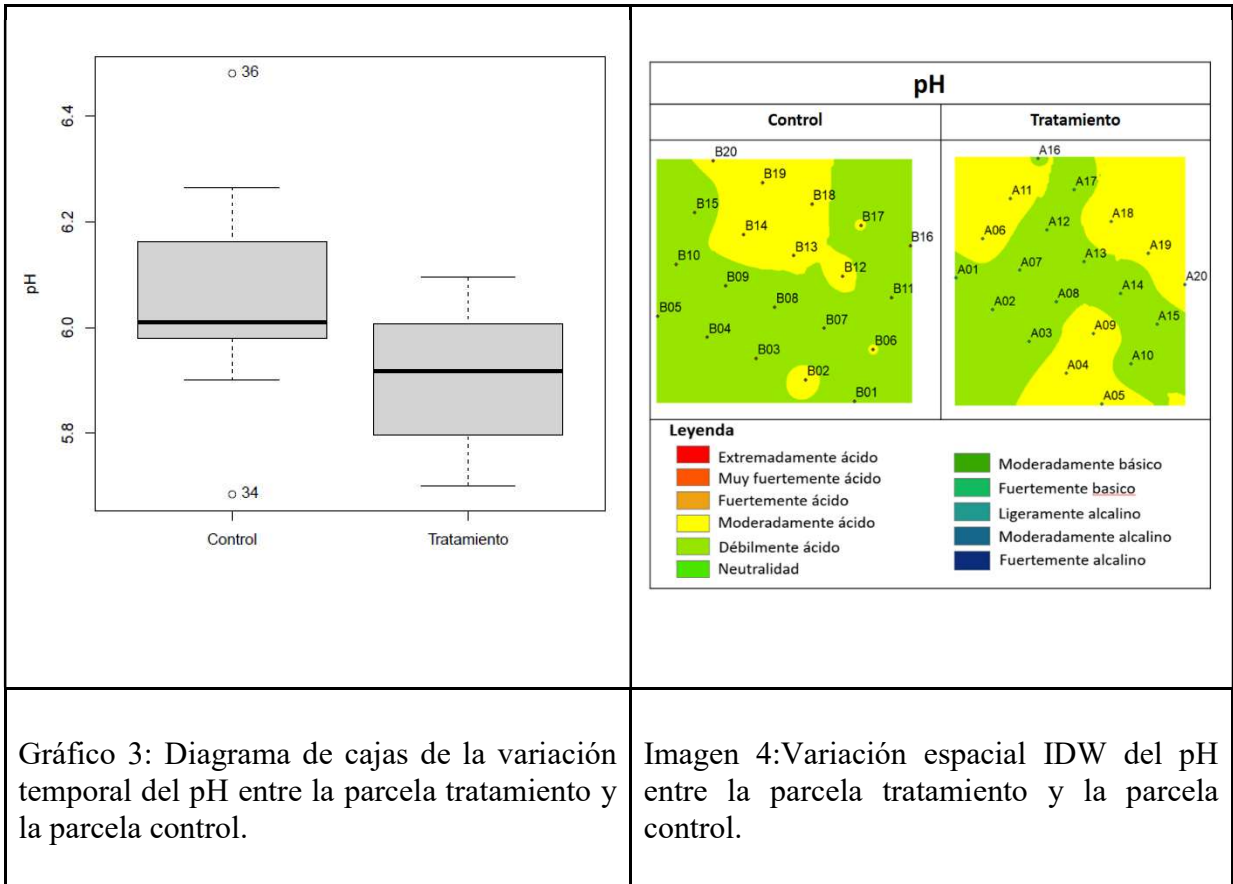
### 3.2. Resultados de la variación espacial.

Para observar la variación temporal de cada variable considerando la parcela tratamiento y la parcela control, se procedió a realizar un diagrama de cajas para comparar las medias de los datos. Asimismo, para observar la variación espacial de cada variable se realizaron los mapas de interpolación IDW de cada parcela. A continuación presentamos las siguientes resultados:

En el caso del pH se observó variaciones temporales significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 7), existiendo un descenso significativo (valor -  $p < 0,05$ ). La media de la parcela control es  $6,05 \pm 0,16$ ; y la media de la parcela de tratamiento fue de  $5,9 \pm 0,11$ . En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial más homogénea del pH en la parcela control (Figura 6).

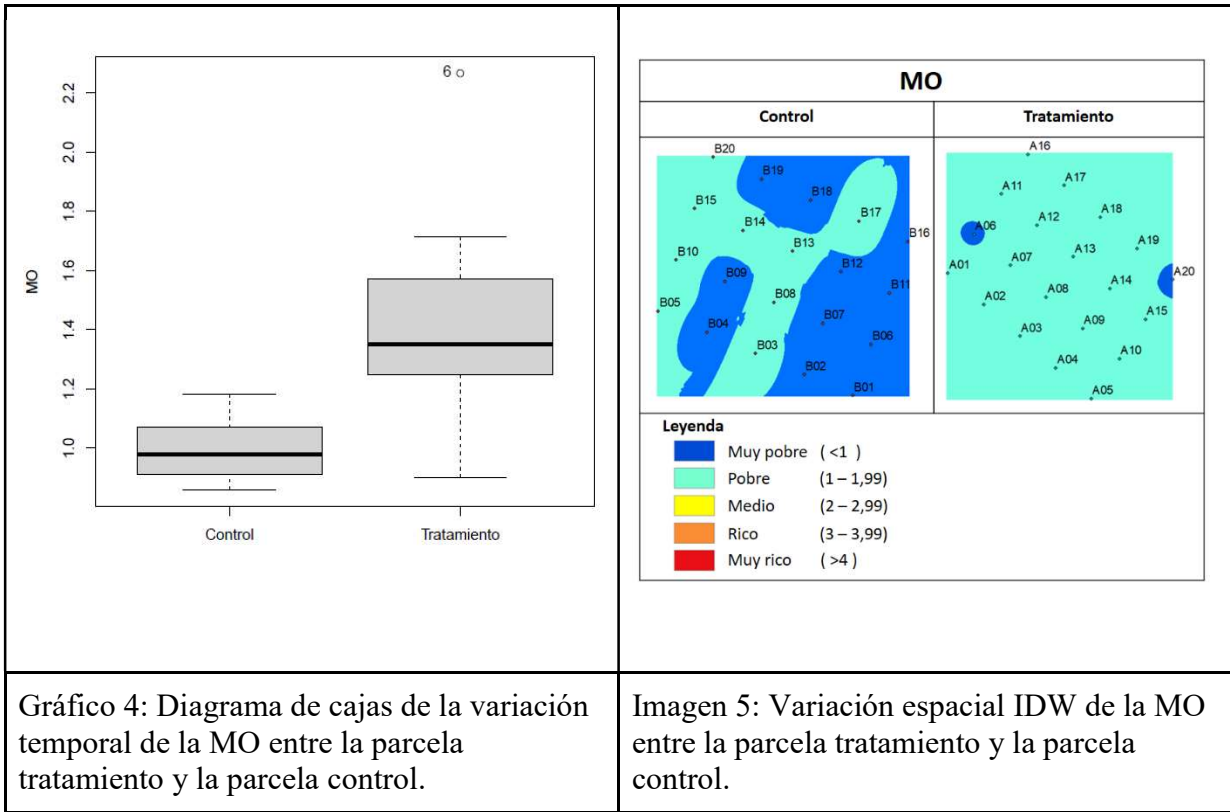
<p>Tabla 8: Variación espacio - temporal del pH considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.</p>
---





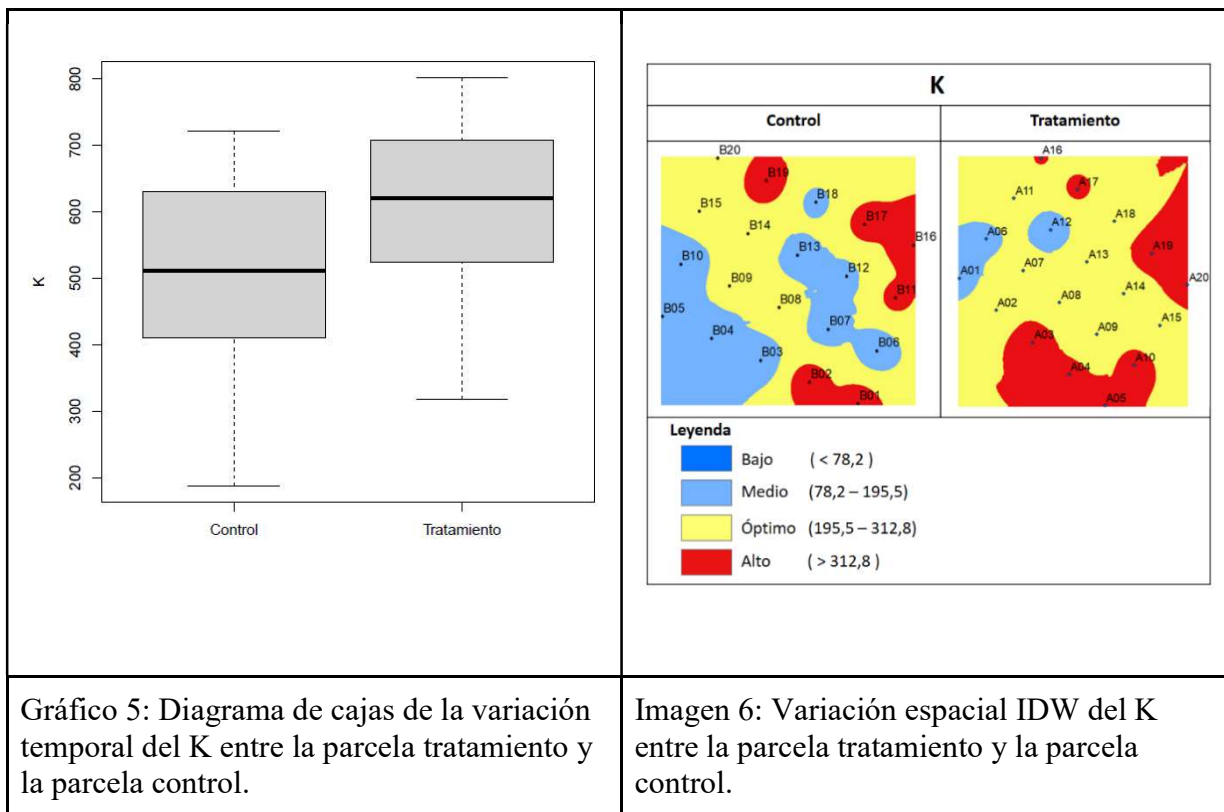
En el caso de la MO se observó variaciones temporales significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 7), existiendo un incremento significativo (valor -  $p < 0,05$ ). La media de la parcela con tratamiento fue de  $1,41 \pm 0,28$ ; y la media de la parcela control es  $0,99 \pm 0,09$ . En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial más homogénea de la MO en la parcela tratamiento (Figura 7).

Tabla 9: Variación espacio - temporal de la MO considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.



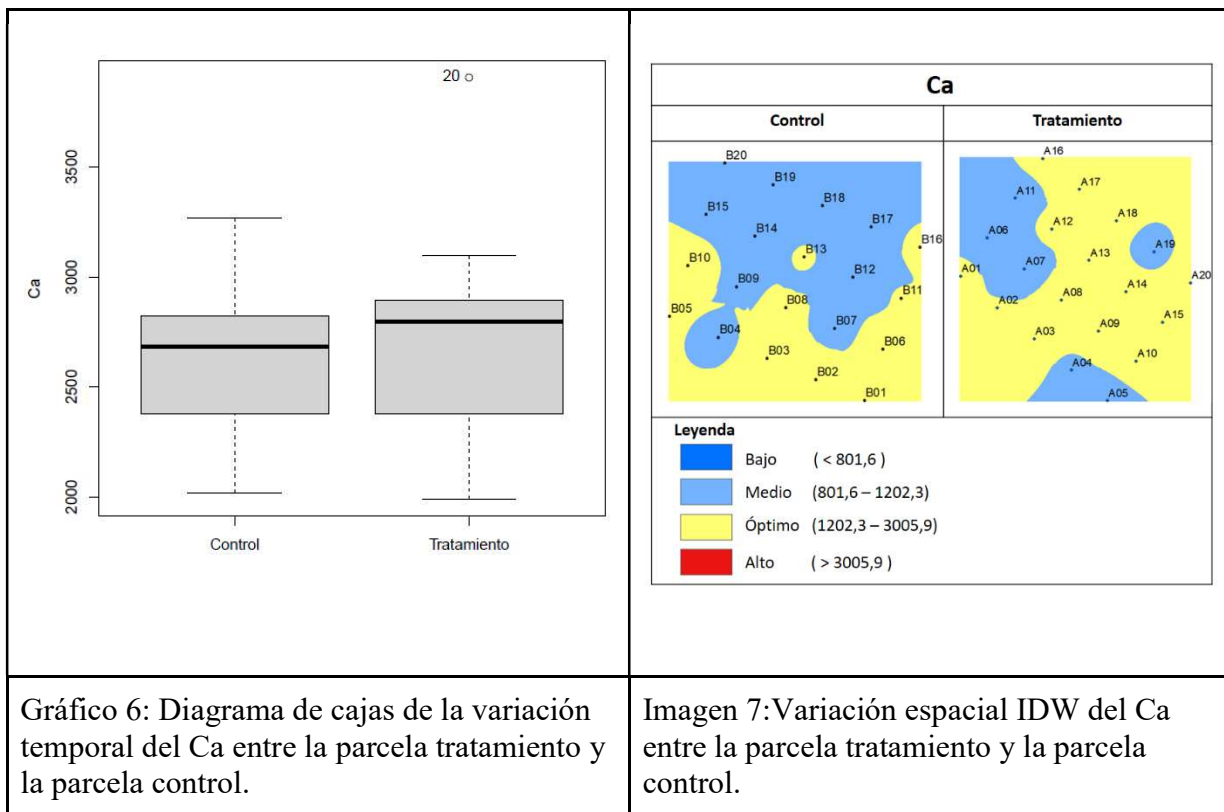
En el caso del K se observó variaciones temporales significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 7), existiendo un incremento significativo (valor -  $p < 0,05$ ). La media de la parcela con tratamiento fue de  $610,67 \pm 133,54$ ; y la media de la parcela control es de  $514,71 \pm 145,70$ . En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial bastante homogénea del K en la parcela con tratamiento (Figura 8).

Tabla 10: Variación espacio - temporal del K considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.



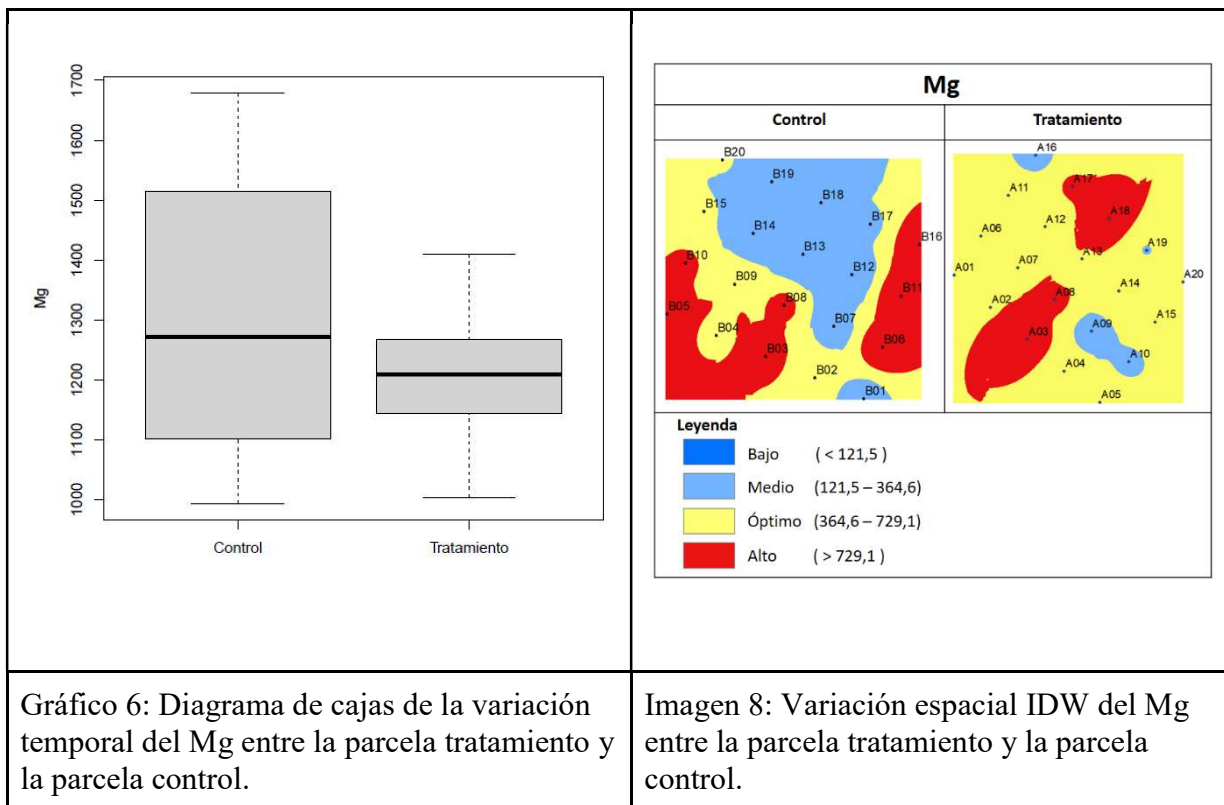
En el caso del Ca se observó variaciones temporales no significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 7), existiendo un aumento no significativo (valor -  $p > 0,05$ ). La media de la parcela con tratamiento fue de  $2676,53 \pm 450,47$ ; y la media de la parcela control es de  $2659,10 \pm 364,27$ . En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial más homogénea del Ca, tanto en la parcela tratamiento como en la parcela control (Figura 9).

Tabla 11: Variación espacio - temporal del Ca considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.



En el caso del Mg se observó variaciones temporales significativas entre la parcela tratamiento y la parcela control (Tabla 7), existiendo un descenso significativo (valor -  $p < 0,05$ ). La media de la parcela con tratamiento fue de  $1206,02 \pm 103,45$ ; y la media de la parcela control es de  $1317,59 \pm 223,10$ . En el caso de la variación espacial se observó una distribución espacial más homogénea del Mg en la parcela tratamiento (Figura 10).

Tabla 12: Variación espacio - temporal del Mg considerando la parcela tratamiento y la parcela control del volcán Ilaló en la parroquia Guangopolo.



## 4. Discusión

Nuestro estudio demuestra que la incorporación de un tratamiento de Madera Rameal Fragmentada en los suelos del Volcán Ilaló resulta efectivo para generar mejoras en algunos indicadores de calidad del suelo como el pH, la materia orgánica y el potasio.

### 4.1 pH, Aluminio y Hierro

Después de cuatro años de la aplicación del tratamiento, observamos que el pH de los suelos se mantuvo entre moderadamente ácido (5,5 - 5,9) y débilmente ácido (6,0 - 6,4) tanto en la parcela donde se aplicó el tratamiento como en el control. Esto quiere decir que los suelos presentan una adecuada condición en la disponibilidad de los nutrientes en las plantas (Osorio, 2012) y una nutrición vegetal equilibrada (García y Navarro, 2013).

Un resultado favorable fue una distribución espacial más homogénea del pH moderadamente ácidos (Figura 6), que ocupan un mayor espacio en la parcela donde fue aplicado el tratamiento. Esto indicaría una mayor disponibilidad del pool de nutrientes en toda la parcela lo que tendría un mejor resultado en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Olmo, 2016). Sin embargo, el pequeño grado de acidez que presenta se debe al alto contenido de Al y Fe en el suelo (Casierra y Aguilar, 2007). Además se sabe que la acidez del suelo se debe a la descomposición de la materia orgánica ya que este tiene un efecto acidificante mientras ocurre este proceso (Acevedo, 2007).

Estos resultados concuerda con Martínez (2015) y Rivera (2019), quienes observaron que el pH va disminuyendo conforme va pasando el tiempo una vez aplicada la enmienda edáfica al suelo; así mismo ocurrió con Quenallata (2017), quien observó que al incorporar la MRF en los suelos, disminuye el pH en comparación al suelo testigo. Sin embargo estos resultados mantienen sus valores dentro del rango de pH óptimo para que los nutrientes se mantengan disponibles para la absorción de las plantas, además son muy apropiados para muchos cultivos y tengan una nutrición vegetal equilibrada.

#### **4.2 Materia Orgánica.**

Por otro lado, observamos que la materia orgánica de los suelos tiene condiciones muy pobres (< 1%), pobres (1% - 1,99%) y medianas (2% - 2,99%). Tanto en la parcela donde se aplicó el tratamiento como en el control. Las condiciones muy pobres (< 1%) limita el desarrollo de los cultivos y conducen a la pérdida de los suelos por la baja presencia de MO humificada en el suelo. Las condiciones pobres (1% - 1,99%) restringe con severidad la productividad y conservación de los suelos, su fertilidad disminuye el desarrollo de los cultivos y se

caracteriza por tener riesgo en la pérdida del suelo. Y las condiciones medianas (2% - 2,99%) se caracterizan por tener una regular fertilidad para el desarrollo de los cultivos, pero se limita la productividad de los suelos y su conservación (Castillo et al. 2007).

Sin embargo, se observó una distribución espacial más homogénea de la materia orgánica con condiciones pobres (1% - 1,99%) y medianas (2% - 2,99%) en la parcela donde se aplicó el tratamiento (Figura 7). Por lo tanto, al comparar la condición de la materia orgánica del suelo de ambas parcelas, podemos concluir que los suelos de la parcela con tratamiento cuentan con mejor distribución espacial, lo que permite una mayor disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes. Por lo tanto, estos valores pueden registrar una mayor capacidad de intercambio catiónico y energía para los microorganismos; esto se puede ver reflejado en la sostenibilidad del recurso suelo y en un mejor rendimiento y desarrollo en las plantas (Trinidad y Velasco, 2016).

Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Quenallata (2017), quien observó que al incorporar la MRF al suelo favorece los niveles de MO, pasando de un nivel medio a nivel rico en MO. Así mismo lo confirman varios estudios como Díaz (2017); Fiallos et al. (2015) y Cuenca (2019), quienes confirman que al aplicar enmiendas edáficas al suelo, aumentan la materia orgánica conforme pasa el tiempo.

#### **4.3 Bases.**

Por otra parte, se observó que el K de los suelos se mantuvo entre medio (78,2 - 195,5 ppm), óptimo (195,5 - 312,8 ppm) y alto (> 312,8 ppm), tanto en la parcela donde se colocó el tratamiento como en la parcela control. En este caso observamos una distribución espacial

homogénea en los suelos con potasio óptimo (195,5 - 312,8 ppm) en la parcela donde se aplicó el tratamiento. (Figura 8).

Estos resultados concuerdan con un estudio realizado en Colombia por Major et al. (2010), donde observó un incremento significativo del K después de 4 años de haber sido implementado el biochar. Resultados similares se obtuvieron en un estudio hecho en Pastaza - Ecuador por Quiguiri y Robalino (2019) donde el incremento de K es significativo después de 1 año de implementar el biochar.

En el caso del Ca, observamos que los suelos se mantuvieron entre medio (801,6 - 1202,3 ppm) y óptimo (1202,3 - 3005,9 ppm) tanto en la parcela donde se colocó el tratamiento como en el control. Sin embargo, se observó una distribución espacial más homogénea de los suelos con Ca óptimo (1202,3 - 3005,9 ppm) en la parcela donde se aplicó el tratamiento (Figura 9). Estos resultados concuerdan con un estudio realizado en Brasil según Quiguiri y Robalino (2019), donde se utilizó biochar a base de eucalipto, el cual mostró un incremento de Ca en el suelo después del periodo de un año. Así mismo demuestra un estudio por Freire et al. (2017), en el que se aplicó biochar con cáscara de café y mostró incrementos en Ca del 2%.

Por otro lado, se observó que el Mg de los suelos se mantuvieron entre medio (12,2 - 60,8 ppm), óptimo (60,8 - 97,2 ppm) y alto ( $> 97,2$  ppm), tanto en la parcela donde se colocó el tratamiento como en el control. En este caso observamos una distribución espacial más homogénea de los suelos óptimos en la parcela donde se aplicó el tratamiento (Figura 10). Estos resultados concuerdan con un estudio realizado por Díaz (2017), donde se observó una disminución de Mg al usar biochar a base de acícula de pino.



## **5. Conclusiones.**

Lo expuesto a lo largo de este trabajo, nos permite concluir lo siguiente:

La degradación del suelo es un problema global causado principalmente por las acciones antrópicas que deterioran las propiedades físicas y químicas del suelo, provocando una disminución en la productividad del suelo y pérdida de la fertilidad en la capa superior del suelo. Debido a esta degradación del suelo y la importancia en los ecosistemas se proponen métodos para la restauración de suelos, entre ellos la madera rameal fragmentada.

Por lo tanto, la aplicación de esta enmienda Edáfica (MRF) en los suelos del volcán Ilaló nos permite demostrar un resultado favorable en algunos indicadores de calidad del suelo como el pH, materia orgánica, potasio y magnesio.

Los resultados del pH disminuyeron al paso del tiempo después de aplicarse el tratamiento al suelo, sin embargo, esto se debe a la eficaz descomposición de la materia orgánica, el cual tiene un efecto acidificante mientras ocurre este proceso. Asimismo, la materia orgánica presentó un aumento y una excelente distribución en la parcela tratamiento lo que permite ofrecer una mayor disponibilidad del pool de nutrientes a lo largo de la parcela. En cuanto al potasio y calcio también tuvieron resultados favorables, con el paso del tiempo existe un aumento de estos nutrientes hasta un estado óptimo para el suelo, de igual modo su distribución en la parcela tratamiento es más homogénea, lo que permite que haya mayor disponibilidad de estos nutrientes a lo largo de la parcela. Respecto al magnesio, sus resultados mostraron una disminución de la cantidad de este nutriente con el transcurso del tiempo, sin embargo, es un resultado favorable ya que en la parcela control tenemos zonas

con niveles altos de magnesio, que a comparación de la parcela tratamiento tenemos menos zonas con niveles altos de magnesio y más zonas con niveles óptimos, lo que permite que haya buena disponibilidad de este nutriente a lo largo de la parcela.

## **6. Recomendaciones.**

Esta conclusión nos permite dar las siguientes recomendaciones:

Una vez incorporado la enmienda edáfica, es aconsejable reforestar las parcelas con especies de plantas nativas de la zona del volcán Ilaló, con el objetivo de que los nutrientes sean aprovechados por las plantas para su crecimiento y desarrollo, y así evitar una posible lixiviación de nutrientes en el suelo.

Además, los mapas IDW presentados en este trabajo, nos permite identificar a detalle las zonas donde hay deficiencias nutricionales, con el objetivo de mejorar o corregir los nutrientes en sitios específicos de la parcela en caso de que ésta sea utilizada para la agricultura.

Los resultados de este trabajo da paso a futuros estudios, como el efecto de la disponibilidad de nutrientes en suelos restaurados con madera rameal fragmentada en plantas nativas del volcán Ilaló, así como recolectar nuevas muestras de suelo al cumplir los 10 años de ser aplicado el tratamiento para verificar el efecto del tratamiento del suelo a largo plazo.

## **Literatura citada:**

- Acevedo O. (2007). Aluminio, un indicador de calidad ambiental en suelos de carga variable. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Adriaanse, A. (1993). Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, the Netherlands.
- Aguirre G. A. (2001). Química de los suelos ácidos, templados y tropicales. Facultad de Estudios Superiores Cuaititlán, UNAM. México.
- Alonso (2006). Diseño muestral para interpolación a partir de puntos.
- Bentley, J., Velasco, C., Rodríguez, F., Oros, R., Botello, R., Webb, M., Devaux, A., and Thiele, G. (2007). Unspoken demands for farm technology. *Int. J. Agric. Sustain.* 5, 70–84.
- Boqué, R., & Maroto, A. (2004). El análisis de la varianza (ANOVA) 1. Comparación de múltiples poblaciones. *Téc. Lab*, 294, 680-683.
- Bosque Sendra, J. (2000). *Sistemas de Información Geográfica*, Ediciones Rialp, Madrid.
- Cabezas J. G. (2016). *Ilaló en transición, experiencias de planificación y gestión territorial participativa (2013-2015)*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, Ecuador.

- Carrera, M., y Mosquera M. (1997). Diseño Vial de la Comunidad La Toglla – Guangopolo. Tomo I. Facultad de Ingeniería. Unidad Académica de Transportes. Quito. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Casierra, F., & Aguilar, O. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 1(2), 246-257.
- Castellanos, J.Z., Uvalle-Bueno, Aguilar-Santelises (2000). Curso de interpretación de análisis de suelo, agua y planta (savia) con la finalidad de determinar los programas de fertilización. Universidad Autónoma Chapingo. Chapando, Edo. de México.
- Cañada R, et al. (2008). “Sistemas y análisis de la información geográfica”. Alfaomega.
- Castillo, D. I., Corral, J. A. R., Garnica, J. G. F., y Eguiarte, D. R. G. (2007). Distribución espacial del contenido de materia orgánica de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco. Terra Latinoamericana, 25(2), 187-194.
- CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (2016). Biodiversidad Mexicana. En: Ecosistemas. Procesos ecológicos. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/procesose.htm>; consulta: enero.
- Curipoma Heredia, S. G. (2015). Ecología forestal de dos remanentes de Bosque Andino Montano Alto en el Volcán Ilaló, Pichincha, Ecuador (Bachelor's thesis, PUCE).

- Cuenca Rivera, J. A. (2019). Evaluación de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en dos tiempos de incubación.
- Díaz C. G. (2017). Uso de biochar de acícula de pino como enmienda de suelo negro andino (Andosol). Cuenca, Ecuador.
- DICTA (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). Tegucigalpa, Honduras.
- Doran, J.W., y Zeiss, M.R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied soil ecology*. Vol. 15, pp. 3–11.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. (1998). Indicators of land quality and sustainable land management: an annotated bibliography. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-4208-8>
- Echeverri, L. I., Arroyave, E. A., & Barajas, F. H. (2015). Comparación De Pruebas De Normalidad. XXI Simp. Int. Estad, 8-11.
- Edmonds, R.L. (1987). Decomposition rates and nutrient dynamic in small-diameter woody litter in four forest ecosystems in Washington, U.S.A.. *Can. J. For. Res.* 17:499-509.

- Espinosa, J. (2008). Distribución, uso y manejo de los suelos de la Región Andina. In XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador.
- Fassbender, H., & Bornemiza, E. (1994). Química de suelos: con énfasis en América Latina (2.a Ed.). San José, Costa Rica: IICA
- Fageria, N. K. (2013). Magnesium. The Role of Plant Roots in Crop Production. Editorial CRC Press. pp 325-326.
- Fonte, S. J., Vanek, S. J., Oyarzun, P., Parsa, S., Quintero, D. C., Rao, I. M., & Lavelle, P. (2012). Pathways to agroecological intensification of soil fertility management by smallholder farmers in the Andean highlands. In Advances in agronomy (Vol. 116, pp. 125-184). Academic Press.
- Freire, M., Lima, T., Lima, A., Ribeiro, J., & Trugilho, P. (2017). Different plant biomass characterizations for biochar production. CERNE, 23(4), 529 – 536
- F. F. Gan and K. J. Koehler (1990). “Goodness of fit tests based on P-P probability plots,” Technometrics, vol. 32, pp. 289–303.
- Fundación Futuro Latinoamericano. (2015). Análisis de Conflictividad del proceso de declaratoria del AIER Ilaló Lumbisí y de la propuesta de ordenanza para la declaratoria. FFLA.  
<http://www.fondoambientalquito.gob.ec/sites/default/files/documentacion->

proyectos/2018-07/IIal%C3%B3%20-%20Lumbis%C3%AD%20Diagnostico%20Conflictividad%20-%20VF.pdf

García, G. N., & Navarro García, S. (2013). Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Mundi-Prensa Libros.

Garzón Barrero, J. (2013). Validación ceuzada como método de investigación en la calidad de modelos digitales de elevación (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2013).

Gomez, Á. (2008). Indígenas urbanos en Quito: el proceso de etnogénesis del pueblo KITUKARA. In F. García (Ed.), Identidades, etnicidad y racismo de América Latina (pp.107-119). Quito: FLACSO.

Gruda, N., 2008. The effect of wood fiber mulch on water retention, soil temperature and growth of vegetable plants. Journal of sustainable agriculture, 32(4), pp.629-643.

Hidrobo J., Da Costa M., Prat C., Trujillo G., Moreno J y Ortega C., (2015). “Sistemas de producción en áreas con cangahua habilitada en la Sierra Norte del Ecuador,” Siembra, vol. 2, pp. 116–127.

Hewitt, A., Dominati, E., Webb, T., Cuthill, T. (2015). Soil natural capital quantification by the stock adequacy method. Geoderma. Pp. 241–242, 107–114.

Ibáñez C., Palomeque S., Fontúrbel F. (2004). “Elementos principales del suelo, geodinámica y dinámica de los principales componentes del suelo,” El recurso

suelo: Bases edafológicas, problemática, administración y contaminación, Ed. La Paz: Publicaciones integrales, pp. 01-02.

INTAGRI (2017). Fijación de Potasio en el Suelo. Serie Suelos Núm. 31. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p

INTAGRI (2017). Fósforo y Calcio en el Crecimiento de la Raíz. Serie Nutrición Vegetal. Núm. 104. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.

INTAGRI (2018). Funciones del Calcio (Ca) en la Nutrición Vegetal. Serie Nutrición Vegetal, Núm. 122. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.

Jackson, S.T., Hobbs, R.J., (2009). Ecological restoration in the light of ecological history. *Science*. Vol. 325, pp. 567–569. DOI: 10.1126/science.1172977.

Jenny (1940). El suelo: Concepto y formación. Factores de formación.

Ji, C., Yang, Y., Han, W., He, Y., Smith, J., & Smith, P. (2014). Climatic and edaphic controls on soil pH in alpine grasslands on the Tibetan Plateau, China: A quantitative analysis. *Pedosphere* 24(1), 39-44

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.



Lal, R. (2015). Restauración de la calidad del suelo para mitigar la degradación del suelo. *Sostenibilidad*, 7 (5), 5875-5895.

Lemieux, G. y Tétreault, J.-P. (1993). Les actes du quatrième colloque international sur les bois raméaux fragmentés» édité par le Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Département des Sciences forestières, Université Laval, Québec (Canada) ISBN 2- 550-28792-4 FQ94-3014, 187 pages.

Lemieux, G., Germain, D. y Environnement, H., (2000). Ramial Chipped Wood: the Clue to a Sustainable Fertile Soil. Laval University, Coordination Group on Ramial Wood.

Lemieux, G., Lachance, L. y Lapointe, A.R. (1988). L'importance du bois raméal dans la synthèse de l'humus. Groupe de coordination sur les bois raméaux, edit., Ministère de l'énergie et des ressources et Fac. de For. Univ. Laval, publ. pp. 29.

Li, L., Du, S., Wu, L., Liu, G. (2009). An overview of soil loss tolerance. *Catena* 78, 93–99.

Liébault, F., Piégay, H. (2002). Causes of the 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surf. Process. Landf.* 27, 425–444.

- Loya Del Angel, D. I. (2013). Tecnologías para la restauración de suelos contaminados por hidrocarburos. Universidad Veracruzana, Tuxpan, México.
- Luters A., y Salazar J, C. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica USDA, Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola Servicio de Conservación de Recursos Naturales e Instituto de Calidad de Suelos, pp. 14-15, 33,59-67, 1999.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil* 333 (1-2), 117-128.
- Martínez, C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58. (Tesis de Maestría). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Montanarella, L. 2015. Agricultural policy govern our soils. *Nature*. 528:32 - 33.
- Mora, A. E. (1999). Resumen de Historia del Ecuador. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar del Ecuador.
- Nachtergaele F, Biancalani R, Bunning S (2009). The Land Degradation Assessment in Drylands (LADA) project 2009. En Im-Erb R, Niino Y, Sombatpanit S, Biancalani R (Eds.) 27- 30/04/2009. RAP Publication 2009/16. Regional Office for Asia and the Pacific. FAO. Bangkok, Tailandia. pp. 7-15. [www.fao.org/docrep/012/i1067e/i1067e00.htm](http://www.fao.org/docrep/012/i1067e/i1067e00.htm)

- Navarro, G; Navarro, S. (2013). Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. 3 ed. Madrid, ES. Mundi Prensa. p. 45-48.
- Noël, I.B. (2006). Le Bois Raméal Fragmenté (BRF), un nouvel élan pour l'agriculture bio wallonne? Revue Aggra, #4. pp. 4-7.
- OBIO. OBSERVATORIO NACIONAL DE BIODIVERSIDAD. (2016). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. Suelos. Buenos Aires, Argentina. En: [http:// obio.ambiente.gob.ar/suelos](http://obio.ambiente.gob.ar/suelos); consulta: enero.
- Olmo M. P., (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Universidad de Córdoba, 143 - 144.
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal, 1(4), 1-4.
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M. y Villar, S. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). Madrid, España.
- PDOTG. (2012). Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Guangopolo. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Guangopolo.
- Perez, A. I. (2017). Evaluación de la calidad del suelo a la aplicación de madera rameal fragmentada de árboles leguminosos y no leguminosos, comunidad Combuyo del municipio de vinto-Cochabamba (Doctoral dissertation).

Piscitelli M., (2015). Degradación de suelos. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN).

PNUMA, DMQ Y FLACSO. (2011). Perspectivas del ambiente y cambio climático en el medio urbano: ECCO Distrito Metropolitano de Quito. Quito: PNUMA/FLACSO.

Porta, C. J.; R. M. López Acevedo y C. Roquero de Laburu (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. España. p. 91, 407, 778, 826.

Quiguiri Chugñay, M. R., & Robalino Zambrano, D. A. (2019). Variación de condiciones edáficas en el proceso de restauración con enmiendas de biocarbón (Bachelor's thesis, Universidad Estatal Amazónica).

Razali, NM y Wah, YB (2011). Comparaciones de poder de las pruebas shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors y anderson-darling. Revista de modelado estadístico y análisis , 2 (1), 21-33.

Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. Revista de Iniciación Científica, 4, 101-105.

S. S. Shapiro and M. B. Wilk (1995). "An analysis of variance test for normality (complete samples)," *Biometrika*, vol. 52, no. 3/4, pp. 591–611.

Ruiz, S. R.; Sadzawka R. A. (2005). Nutrición y Fertilización Potásica en Frutales y Vides. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. 80 p.

SADMQ. (2013). Consultoría para Impulsar Acciones de Intervención Coordinada en el área de Intervención Especial y Recuperación Ilaló. (Resolución No.050-2012). Quito sin Publicar.

Salazar, E. (1979). El Hombre Temprano en la Región del Ilaló Sierra del Ecuador. Departamento de Difusión Cultural de la Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. Talleres Gráficos.

Sales B. D. (2006). Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbono. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Sevilla.

Sarmiento, F. (2001). Ecuador. In M. Kappelle y A. D. Brown (Eds.), Bosques nublados del neotrópico (pp.498-547). Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad, inBIO.

Sentís, I. P. (2010). Problemas de degradación de suelos en el mundo: causas y consecuencias. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Congreso llevado a cabo en Quito, Ecuador. Recuperado 01/06/2015 de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1>.

Sheffer, T. y Cowling, E.B. (1966). Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Ann. Rev. Phytopatho.* 4:147-170.

Silva, S.; Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico.* 23:13-34.

SIPAE. (2013). Plan Nacional del Buen Vivir 2009 – 2013: Construyendo un estado plurinacional e intercultural. Quito: SENPLADES.

SQI-Soil Quality Institute. (1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.

Terrádez, M., & Juan, A. A. (2003). Análisis de la varianza (ANOVA). línea]. Disponible en: <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/ANOVA.pdf>. [Último acceso: 07 08 2014].

Trinidad S. A., Velasco V. J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. La materia orgánica en el suelo. Texcoco - México. Vol 9, Núm 8, pp 52-58.

Van Deuren, J., Wang, Z. y Ledbetter, J. (1997). Remediation technologies screening matrix and reference Guide. 3ª Ed. Technology Innovation Office, EPA. <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>

Van Oost, K., Govers, G. y Desmet, P. (2000). Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landsc. Ecol.* 15, 577–589.

Vargas W., y Baquero F. (2003). “Variabilidad espacial y caracterización de los suelos de la cuenca alta del río blanco (paramo de Sumapaz), Parámetros físicos, químicos y vegetales,” Pregrado, Ingeniería Forestal, Univ. Distrital.

Verheijen, F.G.A., Jones, R.G.A., Rickson, R.J. y Smith, C.J. (2009). Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth Sci. Rev.* 94, 23–38.

Villareal, V. (2006). Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero del Valle de los Chillos en base de parámetros hidrogeológicos. Tesis de grado previa la obtención del título de ingeniera geóloga. Escuela de Ingeniería en Geología. Quito. Universidad Central del Ecuador.

Washington DC, USA. FAO - ITPS. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. (2015). Status of de world's soil resources. Italy Technical Summary. Food and Agricultural

Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. 79 p.

Wise, S. (2000). "Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours", *Hydrological Processes*, no. 14, pp. 1909-1929.

Zebrowski, C., (1997). Los suelos con cangahua en el Ecuador. In: Zebrowski, C., Quantin, P., Trujillo, G., (Eds.), *Memoria del III Simposio Internacional sobre Suelos Endurecidos* (Quito, diciembre de 1996) IRD, PUCE, UCE, Quito, pp. 128–137.