



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**Efecto de la modificación del pH sobre la lixiviación de cationes en
columnas de suelos calcáreos de la Provincia de El Oro**

**MOROCHO CASTILLO ANTHONY PATRICIO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**Efecto de la modificación del pH sobre la lixiviación de cationes en
columnas de suelos calcáreos de la Provincia de El Oro**

**MOROCHO CASTILLO ANTHONY PATRICIO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Efecto de la modificación del pH sobre la lixiviación de cationes
en columnas de suelos calcáreos de la Provincia de El Oro**

**MOROCHO CASTILLO ANTHONY PATRICIO
INGENIERO AGRONOMO**

CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

**MACHALA
2022**

EFFECTO DE LA MODIFICACIÓN DEL pH SOBRE LA LIXIVIACIÓN DE CATIONES EN COLUMNAS DE SUELOS CALCÁREOS DE LA PROVINCIA DE EL ORO

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

vsip.info

Fuente de Internet

2%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

encolombia.com

Fuente de Internet

1%

4

investigacion.utmachala.edu.ec

Fuente de Internet

1%

5

www.fertilab.com.mx

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, MOROCHO CASTILLO ANTHONY PATRICIO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Efecto de la modificación del pH sobre la lixiviación de cationes en columnas de suelos calcáreos de la Provincia de El Oro, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



MOROCHO CASTILLO ANTHONY PATRICIO

0750019036

DEDICATORIA

El presente trabajo primero dedico a Dios, por tenerme con salud y vida, por guiarme por el camino del bien y darme los impulsos para no rendirme ante los problemas que se presentaban y seguir cumpliendo mis metas.

A mis padres Jorge Segundo Morocho Pedreros y Jenny del Rocío Castillo Asanza, por darme paz, tranquilidad, amor y ser mi pilar, ser mi motivación para seguir cosechando metas y triunfos porque todo lo que soy se los debo a ellos.

A mis hermanos, Jorge y Jennifer que me apoyaron todo el tiempo y están presentes en todo momento, gracias por todos los consejos que me dan que me han servido para seguir adelante y nunca rendirme.

A mis tíos Eduardo, Ligia y abuela, personas importantes en mi vida que me han enseñado a mantener mis metas establecidas con valores.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias por haberme abierto sus puertas y brindarme los conocimientos que he adquirido durante toda mi etapa universitaria, que me servirán para ser un gran profesional.

A mi tutor Ing. Julio Enrique Chabla Carrillo, PhD y asesores por ser guías y apoyar durante la elaboración de este trabajo de investigación.

A mis grandes amigos Cristhel Paulette Mora Encalada y Mathew Alexander Mora Coello, con quienes he compartido toda esta experiencia de forma más cercana, apoyándome y alentándome siempre para seguir adelante, los quiero.

A mis compañeros de curso que de alguna u otra forma nos hemos apoyado mutuamente, gracias a su ayuda he culminado con éxito este proceso de formación

A mis amigos, Cristhopher Alexander Méndez Guerrero y Marlon Ricardo Añazco Lima, quienes a pesar de no haber compartido este proceso conmigo siempre me demostraron su apoyo y cariño para no rendirme.

RESUMEN

El suelo es considerado un medio natural indispensable para la vida, según investigaciones realizadas por varios científicos, se pueden desarrollar diversos cultivos con estándares de productividad adecuados. Los suelos calizos presentan un problema para algunos cultivos, ya que al tener un pH elevado provoca la aparición de clorosis férrica, y por consiguiente amarilleamiento foliar, disminución en la producción, etc.

Para la corrección del pH de los suelos calizos estudiados se utilizó Sulfato Ferroso Monohidratado (SFM). Este producto suele contener un alto porcentaje de hierro (15 – 30%) y de ácido sulfúrico (18%), siendo estos sus dos componentes principales. El objetivo de esta investigación fue determinar la evolución de la reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (C.E.), Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ en aguas lixiviadas en columnas de distintos suelos calcáreos de la Provincia de El Oro tras la aplicación del Sulfato Ferroso Monohidratado (SFM). El desarrollo de la investigación se realizó en 4 fincas ubicadas en las Provincia de El Oro. Se realizaron mini calicatas hasta 60 cm de profundidad, en las cuales se tomaron muestras de suelo a las profundidades de 0 – 15, 15 – 30, 30 – 45 y 45 – 60 cm; posteriormente las muestras fueron homogeneizadas para garantizar su representatividad y después se enviaron al Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas de la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP, ubicado en el Km. 26 vía Durán Tambo, parroquia Virgen de Fátima, cantón Yaguachi, provincia del Guayas para realizarse las determinaciones de cationes del suelo. Para conocer si se presentan o no diferencias estadísticas significativas entre las medias de las variables Reacción del suelo (pH), Conductividad Eléctrica (C.E.), Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+) en función de los distintos tratamientos se realizó una prueba ANOVA factorial Inter grupos. Luego se realizó las pruebas post-hoc de Tukey para determinar en qué tratamientos se presentaban las diferencias significativas. El procesamiento de los datos se realizó con el programa estadístico SPSS versión 25 de prueba para Windows 10 con una confiabilidad de 95%, o sea, un nivel de significación $\alpha=0,05$. A través de los análisis estadísticos estudiados en las variables Reacción del suelo (pH), Conductividad eléctrica (C.E.) y Potasio (K^+) se presentaron diferencias significativas al menos en un tratamiento. De los datos obtenidos se puede concluir que los suelos estudiados deben su valor de pH a sales del Calcio (Ca^{++}) que actúa dominando todo el proceso hidroquímico. El Ca^{++} inició con un valor promedio de $186,03 \text{ mg L}^{-1}$, el cual luego de las aplicaciones de SFM presentó un valor promedio de $164,72 \text{ mg L}^{-1}$. El Mg^{++} presentó cambios significativos en esta investigación, empezando con un valor promedio de $111,56 \text{ mg L}^{-1}$

¹, para después de la aplicación de los distintos tratamientos de SFM terminar con un valor promedio de 85,90 mg L⁻¹, poniendo de manifiesto que probablemente las arcillas con alto componente cálcico no son las que predominan en los procesos químicos e hidroquímicos. El K⁺ empezando con un valor promedio de 113,77 mg L⁻¹ y terminando con un valor promedio de 112,13 mg L⁻¹ después de las aplicaciones de SFM, es prácticamente independiente del proceso establecido en esta investigación, haciendo pensar que la posición del intercambio en las arcillas, donde se encuentra situado no se ve alterado por el proceso del ataque con SFM, por lo menos a las dosis aquí empleadas. El Na⁺ a dosis altas es el que se ve más afectado, ya que empezó con un valor promedio de 54,25 mg L⁻¹ y luego de las aplicaciones de SFM termino con un valor promedio de 66,17 mg L⁻¹, debido a que va a ser desplazado de sus posiciones de adsorción a partir de un determinado punto de pH y con esto sus valores van a incrementar. El uso de SFM no solo baja el pH, por lixiviados del Ca⁺⁺ en suelos que lo tienen en exceso, sino que además no se afecta al proceso de intercambio de iones como el K⁺ necesario para una correcta alimentación de la planta. De los datos obtenidos se podría concluir que estos suelos calizos deben su valor de pH a sales del ión calcio que actúa dominando todo el proceso hidroquímico. El uso de SFM no solo baja el pH, por lixiviados del Ca⁺⁺ en suelos que lo tienen en exceso, sino que además no se afecta al proceso de intercambio de iones como el K⁺ necesario para una correcta alimentación de la planta.

Palabras claves: calcareos, sulfato ferrosol monohidratado, reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (C.E.), cationes del suelo.

ABSTRACT

The soil is considered an indispensable natural environment for life, and according to research carried out by several scientists, various crops can be grown with adequate productivity standards. Lime soils present a problem for some crops, since having a high pH causes the appearance of iron chlorosis, and consequently leaf yellowing, decreased production, etc.

Ferrous sulfate monohydrate (SFM) was used to correct the pH of the limestone soils studied. This product usually contains a high percentage of iron (15-30%) and sulfuric acid (18%), these being its two main components. The objective of this research was to determine the evolution of the soil reaction (pH), electrical conductivity (C.E.), Calcium (Ca^{++}), Magnesium (Mg^{++}), Sodium (Na^+) and Potassium (K^+) in water leached in columns of different calcareous soils of El Oro Province after the application of ferrous sulfate monohydrate (SFM). The research was carried out in 4 farms located in El Oro Province. Soil samples were taken at depths of 0 - 15, 15 - 30, 30 - 45 and 45 - 60 cm; later the samples were homogenized to guarantee their representativeness and then they were sent to the Soil, Plant Tissues and Water Laboratory of the Litoral Sur Experimental Station of INIAP, located at Km. 26 via Durán Tambo, Virgen de Fátima parish, Yaguachi canton, Guayas province, for soil cation determinations. To determine whether or not there are significant statistical differences between the means of the variables soil reaction (pH), electrical conductivity (C.E.), Calcium (Ca^{++}), Magnesium (Mg^{++}), Sodium (Na^+) and Potassium (K^+) according to the different treatments, an intergroup factorial ANOVA test was carried out. Tukey's post-hoc tests were then performed to determine in which treatments the significant differences were present. Data processing was performed with the statistical program SPSS version 25 test for Windows 10 with a reliability of 95%, that is, a significance level $\alpha=0.05$. Through the statistical analyses studied in the variables Soil reaction (pH), Electrical conductivity (C.E.) and Potassium (K^+) significant differences were presented in at least one treatment. From the data obtained, it can be concluded that the soils studied owe their pH value to calcium salts (Ca^{++}), which dominate the entire hydrochemical process. Ca^{++} began with an average value of 186.03 mg L^{-1} , which after the SFM applications presented an average value of 164.72 mg L^{-1} . Mg^{++} presented significant changes in this research, starting with an average value of 111.56 mg L^{-1} , and after the application of the different SFM treatments ended with an average value of 85.90 mg L^{-1} , showing that clays with a high calcium component are probably not the ones that predominate in the chemical and hydrochemical processes. The

K^+ starting with an average value of 113.77 mg L^{-1} and ending with an average value of 112.13 mg L^{-1} after the SFM applications, is practically independent of the process established in this research, suggesting that the position of the exchange in the clays, where it is located, is not altered by the process of attack with SFM, at least at the doses used here. Na^+ at high doses is the most affected, since it started with an average value of 54.25 mg L^{-1} and after the SFM applications it ended up with an average value of 66.17 mg L^{-1} , due to the fact that it will be displaced from its adsorption positions after a certain pH point and with this its values will increase. The use of SFM not only lowers the pH, due to Ca^{++} leaching in soils that have it in excess, but also does not affect the ion exchange process, such as K^+ , which is necessary for proper plant nutrition. From the data obtained it could be concluded that these calcareous soils owe their pH value to salts of the calcium ion, which dominates the whole hydrochemical process.

Keywords: calcareous, ferrosol sulfate monohydrate, soil reaction (pH), electrical conductivity (C.E.), soil cations.

INDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
CAPITULO I	11
I. INTRODUCCIÓN.....	11
Objetivo General:	12
Objetivos Específicos:.....	12
CAPÍTULO II	13
II. REVISION DE LITERATURA	13
2.1 Tipos de suelo de Ecuador	13
2.1.1 Inceptisoles	13
2.1.2 Andisoles	14
2.1.3 Molisoles.....	14
2.1.4 Alfisoles	14
2.1.5 Etisoles.....	14
2.2 Tipos de suelo de la provincia de El Oro	14
2.3 Reacción del suelo (pH)	14
2.4 Conductividad eléctrica (C.E.).....	17
2.5 El calcio en el suelo.....	17
2.6 Características principales de los suelos calcáreos	18
2.7 Características químicas de suelos calcáreos	18
2.7.1 pH de suelos calcáreos	19
2.8 Elementos químicos del suelo.....	19
2.8.1 Magnesio (Mg)	19
2.8.2 Sodio (Na).....	19
2.8.3 Potasio (K)	20
2.8 Sulfato Ferroso Monohidrato	20
CAPITULO III.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Localización del área de estudio	21
3.2 Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	21
3.3 Descripción general del área de estudio.....	22
3.3.1 Cantón Arenillas	22
3.3.2 Cantón Palmales	22
3.3.3 Cantón Buena Vista	22

3.4	Equipos y materiales	23
3.4.1	Materiales y equipos de campo.....	23
3.4.2	Materiales y equipos de laboratorio.....	23
3.4.3	Materiales de oficina y equipos	23
3.5	Métodos.....	23
3.5.1	Procedimiento de toma de muestras	23
3.5.2	Variables analizadas	24
3.5.3	Reacción del suelo (pH).....	25
3.5.4	Conductividad Eléctrica (C.E.).....	26
3.5.5	Cationes analizados.....	27
3.5.5.1	Calcio.....	27
3.5.5.2	Magnesio	27
3.5.5.3	Sodio.....	28
3.5.5.4	Potasio	28
3.5.6	Tratamientos	29
3.5.7	Proceso estadístico	30
CAPITULO IV		30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	30
4.1	Análisis exploratorio de las variables estudiadas.....	30
4.2	Estadística descriptiva.....	31
4.3	ANOVA factorial Inter grupos.....	32
4.4	Pruebas post-hoc de Tukey	33
V.	CONCLUSIONES.....	39
VI.	RECOMENDACIONES.....	40
VII.	BIBLIOGRAFÍA	41

INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Órdenes de los suelos.....	13
Tabla 2. pH extremos para la mayoría de los suelos minerales de regiones húmedas y áridas.....	16
Tabla 3. Composición media del SFM	20
Tabla 4. Variables a utilizar dentro del estudio	24
Tabla 5. Rangos de pH en una solución de suelo de las muestras obtenidas.....	25
Tabla 6. Distribución del contenido de Sal presente en el suelo	26
Tabla 7. Clasificación de los niveles de Calcio en el suelo	27
Tabla 8. Clasificación de los niveles de Magnesio en el suelo.....	27
Tabla 9. Clasificación de los niveles de Sodio en el suelo	28
Tabla 10. Clasificación de los niveles de Potasio en el suelo.....	28
Tabla 11. Prueba de homogeneidad de varianzas para las variables estudiadas.....	31
Tabla 12. Estadística descriptiva en función de las variables de estudio.....	32
Tabla 13. Efecto del factor de estudio sobre las variables medidas.....	33
Tabla 14. Prueba post-hoc de Tukey en función de las variables de estudio.....	33

INDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	22
Figura 2. Toma de muestras.....	24
Figura 3. Pesado de muestras para la toma de pH	25
Figura 4. Toma de valores de pH.....	26
Figura 5. Preparación de los distintos tratamientos para realizar el riego	29
Figura 6. Distribución de las muestras en base a los tratamientos	30
Figura 7. Valores medios de Reacción del Suelo (pH), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas	34
Figura 8. Valores medios de Conductividad Eléctrica (C.E) (dS m ⁻¹), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas.....	35
Figura 9. Valores medios de Calcio (Ca ⁺⁺), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas	36
Figura 10. Valores medios de Magnesio (Mg ⁺⁺), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas.....	36
Figura 11. Valores medios de Sodio (Mg ⁺), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas	37
Figura 12. Valores medios de Potasio (K ⁺), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas	38

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes debido a que en base a su estudio se pueden desarrollar distintos cultivos exitosamente. Los estudios referidos al suelo, sirven para evitar el deterioro de los mismos, y la sobre explotación de este recurso (Castillo, 2015).

Los suelos calcáreos contienen un alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3). La elevada presencia de carbonatos de calcio en el suelo determina un pH básico, a su vez bajos contenidos de materia orgánica y generalmente se presentan en zonas áridas o semiáridas de todo el planeta. Son suelos minerales cuyo desarrollo a estado condicionado por el clima, estos han sido clasificados como calcisoles y se caracterizan por la acumulación secundaria de carbonatos y altos contenidos de limo (Gómez, 2019).

En este sentido, (Hernández et al., 2003) menciona que el calcio juega un papel fundamental en la química del suelo, debido a que neutraliza la acidez de las soluciones del suelo. Elevando así el pH y favoreciendo el aumento del porcentaje de saturación de bases del complejo absorbente, reduciendo la acidez potencial del suelo, estimulando la acción de microorganismos simbióticos y no simbióticos de nitrógeno atmosférico, favorece la respiración radicular, interviene en los mecanismos de intercambio catiónico entre la solución y el complejo, con el consiguiente efecto sobre la fertilidad del suelo y nutrición de los vegetales y eleva el potencial redox del suelo, es antagonista de algunos elementos minerales (K, Mn, Fe, B y Zn) dificultando su asimilación y reduciendo su fitotoxicidad (Mn, B y Zn).

No solo se debe tomar en consideración el papel fundamental de la química en el suelo sino también comprender que las aguas drenadas con un valor de pH superior a 7,5 ocasiona problemas en la asimilación de nutrientes por parte de las plantas, debido a que ese valor de pH produce bloqueos y cambios químicos en elementos que los convierten en no asimilables para las plantas (Orihuela et al., 2000).

En este contexto, Andrades & Martínez (2014) afirman que una forma de determinar la salinidad del suelo es mediante la conductividad eléctrica (CE) de una solución de suelo.

Esta contiene sales solubles en mayor o menor proporción, pero si esta cantidad aumenta y alcanza un límite, la vegetación no podrá subsistir. Sin embargo, hay que destacar que no todos los cultivos presentan la misma resistencia al medio salino, por lo que para realizar una correcta interpretación de la CE deberá siempre ir referida a un cultivo determinado y al tipo de agua con que se riega.

De esta manera, Furet et al. (2002) indica que las condiciones de uso agrícola de los suelos con elevado pH se mejoran en gran escala disminuyendo el pH con productos que consigan bajar la acidez como puede ser el Sulfato Ferroso Monohidratado (SFM). Pero la aplicación de estos productos requiere un conocimiento preciso del mismo debido a las implicaciones ambientales y agronómicas que ello podría suponer (Orihuela et al., 2000)

Objetivo General:

Determinar la evolución de la reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (C.E.), Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ en aguas lixiviadas en columnas de distintos suelos calcáreos de la Provincia de El Oro tras la aplicación del Sulfato Ferroso Monohidratado (SFM).

Objetivos Específicos:

- Realizar un análisis de varianzas y pruebas post hoc de las diversas variables estudiadas tras la aplicación del Sulfato Ferroso Monohidratado.
- Evaluar el efecto del Sulfato Ferroso Monohidratado en el nivel del Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ de los diferentes suelos calcáreos de la Provincia del Oro.

CAPÍTULO II

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Tipos de suelo de Ecuador

Actualmente se conoce que existen doce Órdenes establecidos en *Soil Taxonomy*, referidos en una secuencia jerárquica con fines taxonómicos, son los siguientes:

Tabla 1. Órdenes de los suelos.

Orden	Derivación	Connotación
Espodosol	(spodos, ceniza)	Suelo ácido, queluviación, espódico
Oxisol	(oxide, óxido)	Suelos ácidos endopedión óxico
Aridisol	(aridus, árido)	Régimen de humedad arídico
Ultisol	(ultimus, último)	Suelos ácidos, con horizonte argílico o kándico
Mollisol	(mollis, mullido)	Epipedón móllico, SB \geq 50%
Gelisol	(gelu, hielo)	Suelo congelado
Histosol	(histos, tejido)	Turba, suelo orgánico
Andisol	(ando, negro)	Propiedades ándicas y suelos volcánicos
Vertisol	(vertere, voltear)	Arcillas expansibles
Alfisol	(pedalfer, Al, Fe)	Horizonte argílico o nátrico o kándico
Entisol	(recent, reciente)	Perfil poco desarrollado
Inceptisol	(inceptum)	Grado de desarrollo incipiente o pobre

Fuente: Porta, J., López-Acevedo, Marta y Poch, Rosa M. (2008)

Dentro de los cuales los de más predominancia se encuentra los suelos:

2.1.1 Inceptisoles

Son suelos poco desarrollados, se los considera inmaduros y todavía en evolución. Se localizan cerca de las montañas que tienen o tuvieron actividad volcánica. En nuestro país los encontramos, principalmente, al norte y sur del Litoral y en la Amazonía.

2.1.2 Andisoles

Son suelos de origen volcánico, ricos en materia orgánica, de color oscuro y muy porosos. Posen gran capacidad para retener el agua. Se localizan en regiones húmedas. En nuestro país los encontramos en la región Interandina.

2.1.3 Molisoles

Son suelos oscuros, ricos en materia orgánica y presentes en los pastizales, tanto de la región Litoral como Interandina.

2.1.4 Alfisoles

Son suelos presentes en bosques caducifolios, por lo que poseen un buen contenido de materia orgánica. Tienen alta presencia de arcilla y son susceptibles a la erosión. Están presentes, sobre todo, en la península de Santa Elena y en Manabí.

2.1.5 Etisoles

Son suelos sin horizontes definidos. Generalmente se localizan sobre grandes pendientes, donde la pérdida de suelo es más rápida que su formación o donde la acumulación de materiales es continua. Encontramos estos suelos al noreste de la provincia de Pichincha, Loja y Morona Santiago.

2.2 Tipos de suelo de la provincia de El Oro

En cuanto a la provincia el estudio de los tipos de suelo (Villaseñor et al., 2016) los describe indicando que en la primera zona como llanura aluvial y a la segunda zona como el piedemonte costanero de la provincia de El Oro. Se encontraron Inceptisoles y Alfisoles formados a partir de material parental sedimentario consolidado carbónico Entisoles e Inceptisoles de origen sedimentario no consolidado, generados por depósitos frecuentes de carácter fluvial.

2.3 Reacción del suelo (pH)

El pH es un parámetro que determina cuán ácida o alcalina es la solución del suelo, ya que las raíces de las plantas absorben los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. La escala del pH es de 0,0 a 14,0 (Rivera et al., 2018).

Un valor de pH dentro de un cierto rango ayuda a la mayor o menor asimilación de los

elementos químicos que a su vez son esenciales para la planta, ya que la actividad microbiana se reduce cuando el pH es menor a 5,5, debido a que los microorganismos actúan mejor en suelos con valores de pH intermedio (Navarro Garcia & Navarro Garcia, 2013).

Un valor de pH dentro de un cierto rango ayuda a mantener la máxima disponibilidad de la mayoría de los nutrientes. Por debajo de este rango, puede haber una deficiencia de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre o magnesio, mientras que la disponibilidad de micronutrientes (hierro, manganeso, cobre o zinc) disminuye por encima de este rango. La adaptabilidad de cada especie a un rango de pH específico es un criterio importante con respecto a la dinámica de los nutrientes que serán absorbidos por sus raíces y afectarán su rendimiento (Sadeghian & Díaz Marín, 2020).

Tabla 2. pH extremos para la mayoría de los suelos minerales de regiones húmedas y áridas.

Condición de suelo		pH	Efecto en el suelo
Alcalinidad	Fuerte	> 10	Cuando el Na ⁺ de cambio supera el 15%. Poca actividad microbiana. MO muy disponible.
	Moderada	9 - 10	El responsable es el carbonato sódico; provoca que el Na ⁺ del complejo de cambio sea alto.
	Ligera	8,5 – 9	Alcalinidad puede ser debido a la presencia importante de MgCO ₃ si no hay Na ⁺ en complejo de cambio.
Basicidad	Fuerte	8 – 8,5	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.
	Moderada	7,5 - 8	
Neutralidad		6,5 – 7,5	No hay Toxicidad de nutrientes.
Acidez	Débil	6 – 6,5	pH considerado idóneo para la máxima disponibilidad de nutrientes esenciales.
	Moderada	5,5 – 6	Sus características lo hacen apropiado para muchos cultivos. Nutrición vegetal equilibrada.
	Fuerte	5 – 5,5	El bajo pH origina deficiencia de N, P, K, S, Ca, Mg y Mo; y exceso de Fe, Mn, Cu y Zn.
	Muy fuerte	4,5 – 5	Se considera pH extremo para suelos minerales ácidos. Toxicidad por el exceso de Al ³⁺ y Mn ²⁺ .
	Extrema	< 4,5	pH alcanzado por suelos turbosos. Uso problemático. Poca actividad microbiana.

Fuente: (Navarro & Navarro, 2013)

2.4 Conductividad eléctrica (C.E.)

La C.E. mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta; por lo tanto, la C.E. mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo.

La solución del suelo contiene siempre sales solubles en mayor o menor proporción, pero si la cantidad de éstas aumenta y alcanzan un límite, la vegetación no puede subsistir. No obstante, hay que destacar que no todos los cultivos presentan la misma resistencia al medio salino, por lo que una correcta interpretación de la conductividad eléctrica deberá ir siempre referida a un cultivo determinado y si es posible al tipo de agua con que se riega (Andrades & Martínez, 2014).

Los principales cationes que dan origen a la salinidad son: sodio, calcio, magnesio y potasio; y los principales aniones son: sulfatos, cloruros, carbonatos y bicarbonatos.

Los niveles óptimos en el suelo de Conductividad eléctrica son los siguientes: bajos (<2) suelos no salinos, medio (2 – 4) suelos ligeramente salinos, altos (4 - 8) suelos salinos, y muy altos (>8) suelos extremadamente salinos (Porta et al., 2003).

2.5 El calcio en el suelo

El calcio es un elemento químico que convierte un suelo estéril en fértil, debido a que es el responsable de crear y mantener la estructura de los suelos agrícolas. Con una correcta agrupación de partículas, el aire y el agua pueden entrar a través de los poros y favorecer el crecimiento y desarrollo de las raíces, ayudando a absorber los nutrientes y el agua del suelo. La presencia de calcio de forma útil en los suelos es fundamental tanto para el suelo como para obtener un sistema eficiente y sostenible (Revista agrícola, 2017).

Tradicionalmente el aporte de este elemento ha sido a través de:

- Carbonato de calcio, para corregir el pH ácido de los suelos. Su asimilación es tardía.
- Sulfato de calcio para corregir el pH de los suelos, salinidad y exceso de sodio. La liberación del calcio es lenta.
- Nitrato de calcio o cloruro de calcio, como aporte de calcio en suelos neutros o alcalinos y en sistemas de fertirrigación donde los cultivos no sean sensibles a la salinidad. Baja retención de calcio en el suelo y altas pérdidas por lixiviación.

2.6 Características principales de los suelos calcáreos

Los suelos de piedra caliza normalmente contienen más del 15% de carbonato de calcio del suelo, que puede presentarse en una variedad de formas (polvo, aglomerados, costras, etc.). Los suelos con un alto contenido de carbonato de calcio pertenecen a los Calcisoles WRB y subgrupos de calizas relacionados. Ocurren en regiones áridas del país (Matecka & Świtoniak, 2020).

El potencial de rendimiento del suelo calcáreo será alto si se dispone de agua y nutrientes adecuados. La alta saturación con calcio mantiene los suelos calizos en buena forma acumulativa y en buenas condiciones físicas. Sin embargo, si el suelo contiene una capa superficial impermeable (horizonte fosilizado), es recomendable excavar profundamente para eliminar esta capa después de que se haya instalado un sistema de drenaje eficaz. El riego por zanjas es más efectivo en suelos calizos desteñidos que la inmersión (De Carlo et al., 2020).

En terrenos montañosos, las curvas de nivel y el riego por aspersión son alternativas más efectivas a las inundaciones. También se puede introducir el riego por goteo. Los suelos calcáreos suelen ser pobres en materia orgánica y nitrógeno. Los fertilizantes nitrogenados se pueden aplicar en cualquier momento justo antes de plantar para que las plantas crezcan bien. Un método efectivo es aplicar nitrógeno a lo largo de la hilera. Tenga cuidado de no colocar nitrógeno cerca de las semillas, ya que esto puede evitar la germinación. Las fuentes de nitrógeno en forma de amoníaco y urea no deben dejarse en la superficie de los suelos calcáreos, ya que son posibles pérdidas significativas de amoníaco por evaporación y deben incorporarse al suelo (Mohammed-Nour et al., 2021).

2.7 Características químicas de suelos calcáreos

Este tipo de suelo contiene entre un 12 -30% de carbonato de calcio, es muy inestable y tiende a secarse muy rápido, son muy áridos y no retienen los oligoelementos. Contiene una gran cantidad de caliza, roca que podemos encontrar en diferentes tipos de suelo. Es un suelo poco profundo, normalmente pedregoso y de tonalidad es clara (Montaner, 2019).

Los suelos calcáreos o calcisoles generalmente presentan un horizonte superficial muy delgado (menos de 10 cm) de color castaño a castaño claro. Luego sigue un horizonte algo más oscuro o castaño amarillento salpicado de motitas blancas de calcita. A mayor profundidad puede presentarse una estructura en bloque con agregados mayores, a menudo de color rojizo o conformado de material parental.

Abundante en carbonatos de calcio u otros minerales, pertenecen al grupo de suelos calcisoles, color blanco o marrón, , son áridos, seco, bien drenados se encuentran en las zonas áridas o semiáridas, impiden el crecimiento de las plantas, su productividad es alta cuando los nutrientes y el agua están en cantidades, suelen ser pobres en materia orgánica o nitrógeno, deficiencia de micronutrientes como el zinc y el hierro, su determinación se realiza a través de un ensayo de laboratorio (Pineda, 2012)

2.7.1 pH de suelos calcáreos

Los suelos calcáreos tienen un pH de 7,6 o más, cuentan con un alto contenido de bases de cambio como el Ca^{++} , Mg^{++} , etc. Por la presencia de carbonato cálcico presentan bloqueos y antagonismos que dificultan la asimilación del hierro, manganeso y zinc. Si hay carbonato sódico aparecen problemas de impermeabilidad y compacidad, además en estos tipos de suelos se disminuye la asimilación de fósforo que precipita dando formas insolubles como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (Andrades & Martínez, 2014).

2.8 Elementos químicos del suelo

2.8.1 Magnesio (Mg)

Es uno de los elementos más abundantes en el suelo, cuenta con un contenido del 1.9%, con rangos que varían según el tipo de suelo, en los arenosos van desde el 0.1%, en las regiones húmedas llegan hasta el 4% con suelos de textura fina, el magnesio al igual que el calcio es un mineral soluble y puede perderse fácilmente por lixiviación, especialmente en zonas áridas (Navarro Garcia & Navarro Garcia, 2013).

2.8.2 Sodio (Na)

El sodio es responsable de la floculación o dispersión de las partículas (materia orgánica y arcillas), así como de la disminución de la permeabilidad o infiltración de agua a través del perfil, degradándolo físicamente. Las altas concentraciones de sodio en la solución del suelo reducen la absorción de potasio y calcio por las plantas (Hu & Schmidhalter, 2005).

2.8.3 Potasio (K)

El potasio es un elemento móvil que a su vez se encuentra afectado por las lixiviaciones y tiene a perderse con facilidad, en el suelo se encuentra de forma inorgánica en un 0.3 y 3%, además participa en el metabolismo de las plantas ayudando a la activación de enzimas (Borges et al., 2012).

2.8 Sulfato Ferroso Monohidrato

El SFM es el acrónimo del producto comercial Sulfato Ferroso Monohidratado, también conocido con los nombres comerciales de Oligosoil y SulfaFER, siendo un coproducto de la industria del titanio y cuya composición química media en el proceso industrial es la que se da a continuación:

Tabla 3. Composición media del SFM

Composición media del SFM			
Fe II	18 %	H₂SO⁴	18%
Mn	0.9 %	Ti	2%
Zn	1062 %	Se	0.03 p.p.m.
Ni	16 p.p.m.	Sb	0.01 p.p.m.
Pb	38 p.p.m.	As	1.5 p.p.m.
Hg	0.09 p.p.m.	Cd	0.02 p.p.m.
Cr	234 p.p.m.	Cu	0.5 p.p.m.

Fuente: Hernandez et al. (2003)

CAPITULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

El presente trabajo se realizó en cuatro fincas:

- Finca 1 “Margarita”, situada en la parroquia Arenillas del cantón Arenillas, provincia de El Oro.
- Finca 2 “INSANC”, situada en la parroquia Arenillas del cantón Arenillas, provincia de El Oro.
- Finca 3 “Tierra Nueva”, situada en la parroquia Palmales del cantón Arenillas, provincia de El Oro.
- Finca 4 “El diamante”, situada en la parroquia Bellavista del cantón Santa Rosa, provincia de El Oro.

3.2 Ubicación geográfica de la zona de estudio

El estudio experimental se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas (Figura 1)

Finca 1:

Latitud: 3°29'13.35''

Longitud: 80°1'52.08'

Altitud: 14 msnm

Finca 2:

Latitud: 3°32'40.59''

Longitud: 80°2'7.73'

Altitud: 15 msnm

Finca 3:

Latitud: 3°40'0.17''

Longitud: 80°7'7.48'

Altitud: 15 msnm

Finca 4:

Latitud: 3°30'58.34''

Longitud: 79°57'54.89'

Altitud: 12 msnm

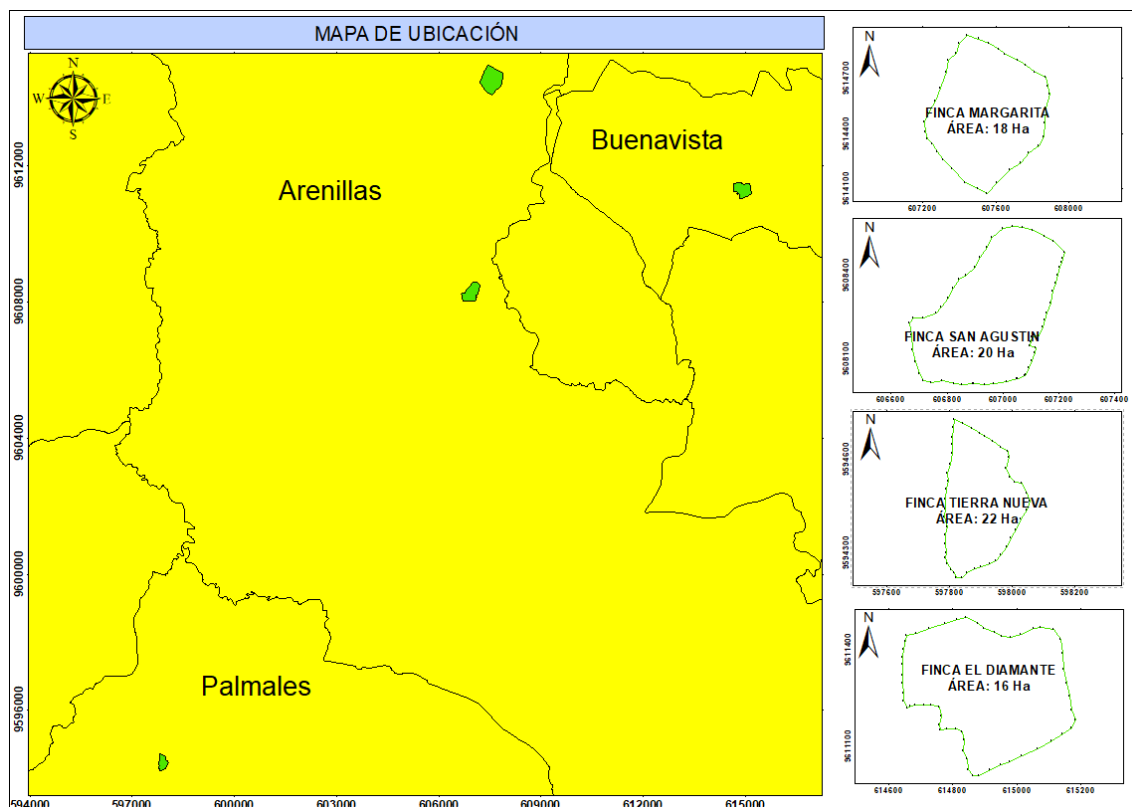


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

3.3 Descripción general del área de estudio

3.3.1 Cantón Arenillas

Arenillas se caracteriza por tener un déficit hídrico entre los 850 – 1000 mm., un promedio de pluviosidad entre 336 y 462 mm., 3.5 a 4 en promedio de horas sol, una temperatura que oscila entre los 24° C a 34° C, una precipitación media anual de 648 mm y una humedad relativa de 86% (Segarra, 2013).

3.3.2 Cantón Palmales

Palmales se caracteriza por tener un clima tropical seco, una temperatura promedio que varía de 18°C a 30°C, una precipitación que varía entre 750 – 1000 mm y una humedad relativa de 87% (Hidalgo Cumbicos et al., 2020).

3.3.3 Cantón Buena Vista

Buena vista se caracteriza por tener un clima templado seco, la temperatura que varía de 12,5° C a 24,9° C, una pluviosidad anual de 579 mm y una humedad relativa de 98 % (GAD Santa Rosa, 2012).

3.4 Equipos y materiales

3.4.1 Materiales y equipos de campo

- Herramientas para la toma de muestras

3.4.2 Materiales y equipos de laboratorio

- Equipos para la determinación de Reacción del suelo (pH) y conductividad eléctrica (C.E.) (dS m^{-1}).
- Potenciómetro, marca Hanna, modelo HI 98131

3.4.3 Materiales de oficina y equipos

- Software AutoCAD 2021
- Software ArcGis. 10.8
- Programa SPSS versión 25

3.5 Métodos

3.5.1 Procedimiento de toma de muestras

Para proceder a tomar las muestras de suelo se hizo un levantamiento topográfico total de los predios, estas coordenadas tomadas se llevaron a AutoCAD en el cual se diseñó el plano y se detalló cada uno de los puntos tomados, en el cual se pudo obtener un total de:

- Finca 1 “Margarita”, con 18 Ha.
- Finca 2 “INSANC”, con 20 Ha.
- Finca 3 “Tierra Nueva”, con 22 Ha.
- Finca 4 “El diamante”, con 16 Ha.

La toma de muestras se la realizó en 3 distintos puntos de cada finca a diferentes profundidades del suelo, a 0 – 15 cm, 15 – 30 cm, 30 – 45 cm y 45 – 60 cm, obteniendo un total de 48 muestras entre las 4 fincas.



Figura 2. Toma de muestras

3.5.2 Variables analizadas

La investigación fue de tipo experimental, donde las variables fueron alteradas. Las variables analizadas fueron:

- Reacción del suelo (pH)
- Conductividad eléctrica (C.E.) (dS m^{-1})
- Cationes del suelo: Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Potasio (K^+) y Sodio (Na^+)

Tabla 4. Variables a utilizar dentro del estudio

Variable	Método a utilizar
Reacción del suelo (pH)	Potenciómetro
Conductividad Eléctrica (dS m^{-1})	Potenciómetro
Calcio (mg L^{-1})	Icp-masa
Magnesio (mg L^{-1})	Icp-masa
Sodio (mg L^{-1})	Icp-masa
Potasio (mg L^{-1})	Icp-masa

Fuente: El autor.

3.5.3 Reacción del suelo (pH)

Para el indicador del potencial de hidrógeno se utilizó el potenciómetro Hanna Instruments (HI98131), con una solución saturada a relación de 1: 2 en base al protocolo establecido por (Sadzawka, 2006) en el cual se utilizaron los datos obtenidos con los rangos específicos para la determinación de pH en la Tabla 4.

Tabla 5. Rangos de pH en una solución de suelo de las muestras obtenidas

Descripción	Rangos (%)
Muy bajo	4,0 – 5,0
Bajo	5,0 – 5,5
Medio	5,5 – 6,5
Alto	6,5 – 7,5
Muy Alto	> 7,5

Fuente: (Instituto Geográfico “Agustin Codazzi”. (2005))



Figura 3. Pesado de muestras para la toma de pH



Figura 4. Toma de valores de pH

3.5.4 Conductividad Eléctrica (C.E.)

Se obtuvo los valores de conductividad eléctrica, utilizando el se utilizó el potenciómetro Hanna Instruments (HI98131), en una solución a relación de 1:2, con la unidad de medida de dS m^{-1} y de acuerdo al protocolo mencionado por (Sadzawka, 2006). Se utilizó los rangos descritos en la Tabla 5.

Tabla 6. Distribución del contenido de Sal presente en el suelo

Descripción	Rangos (dS m^{-1})
No salino	< 0,75
Ligeramente salino	0,75 – 2
Moderadamente salino	2 – 4
Fuertemente salino	4 – 8
Muy fuertemente salino	8 – 15
Extremadamente salino	> 15

Fuente: (USDA, 2009)

3.5.5 Cationes analizados

Para analizar los cationes presentes en las columnas de suelo, como Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Potasio (K^+) y Sodio (Na^+), se mandaron las muestras al Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas de la Estación Experimental Litoral Sur del INIAP.

3.5.5.1 Calcio

Un macronutriente secundario, por lo cual la planta lo toma en menor cantidad, normalmente los suelos contienen suficiente cantidad de Calcio, es un componente de minerales poco solubles ya que son lavados en los suelos en regiones húmedas (Iñiguez, 2007). Se utilizó los rangos descritos en la Tabla 6.

Tabla 7. Clasificación de los niveles de Calcio en el suelo

Descripción	Rangos (mg L^{-1})
Bajo	< 102
Medio	102 – 178
Alto	> 178

Fuente: (Iñiguez, 2007)

3.5.5.2 Magnesio

Presente en la clorofila, de esta depende la actividad fotosintética en las plantas, ya que participa en la generación de hidratos de carbono, azúcares, proteínas, vitaminas etc. (Guerrero, 2000). Se utilizó los rangos descritos en la Tabla 7.

Tabla 8. Clasificación de los niveles de Magnesio en el suelo

Descripción	Rangos (mg L^{-1})
Bajo	< 20,4
Medio	102 – 178
Alto	> 178

Fuente: (Iñiguez, 2007)

3.5.5.3 Sodio

El sodio es considerado un elemento beneficioso por tres aspectos: es esencial para ciertas especies, puede reemplazar funciones del potasio en las plantas y tiene un efecto positivo en el desarrollo vegetal (Flórez & Rodríguez, 2004). Se utilizó los rangos descritos en la Tabla 8.

Tabla 9. Clasificación de los niveles de Sodio en el suelo

Descripción	Rangos (mg L ⁻¹)
Muy bajo	< 0,50
Bajo	0,50 – 1,00
Medio	1,00 – 1,50
Alto	1,50 – 2,00
Muy alto	> 2,00

Fuente: (Iñiguez, 2007)

3.5.5.4 Potasio

Es el elemento que actúa como regulados de las funciones de la planta ayudando a la activación de enzimas, participación en tejidos jóvenes, en el proceso fotosintético de las plantas y la síntesis de proteínas, entre otras (Rincón Castillo, 2012). Se utilizó los rangos descritos en la Tabla 9.

Tabla 10. Clasificación de los niveles de Potasio en el suelo

Descripción	Rangos (mg L ⁻¹)
Muy bajo	< 50
Bajo	50 – 100
Medio	100 – 150
Alto	150 – 200
Muy alto	> 200

Fuente: (Iñiguez, 2007)

3.5.6 Tratamientos

Una vez las columnas colocadas e identificadas se procede a efectuar el tratamiento correspondiente a cada una de ellas:

- **Primera Columna (T1):** Se riega con agua de Red sin S.F.M.
- **Segunda Columna (T2):** Se riega con agua destilada.
- **Tercera Columna (T3):** Se riega con agua destilada y el equivalente a 1000 kg/ha de S.F.M.
- **Cuarta Columna (T4):** Se riega con agua destilada y el equivalente a 2000 kg/ha de S.F.M.
- **Quinta Columna (T5):** Se riega con agua destilada y el equivalente a 3000 kg/ha de S.F.M.

Los tratamientos de SFM corresponderán a 0,77 g/columna, 1,54 g/columna y 2,31 g/columna respectivamente.

Las columnas se someten a varios riegos equivalente a una lluvia de 1200 mm (que corresponde aproximadamente a la pluviometría media anual de las zonas donde se recogieron las muestras de suelos). Se realizan un total de 4 riegos, uno cada 5 días.



Figura 5. Preparación de los distintos tratamientos para realizar el riego



Figura 6. Distribución de las muestras en base a los tratamientos

3.5.7 Proceso estadístico

En la investigación se realizó un estudio descriptivo de tendencia central (media, desviación estándar, coeficiente de variación, asimetría, curtosis, máximo y mínimo), además se realizaron pruebas de homogeneidad de datos, análisis de varianza factorial inter grupos, pruebas de post hoc de subconjuntos homogéneos de Tukey para encontrar las diferencias significativas entre tratamientos (García Villalpando et al., 2001).

Las variables fueron tabuladas en un archivo Excel y procesadas en un archivo SAV, del programa IBM SPSS STATISTICS versión 25.

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Análisis exploratorio de las variables estudiadas

Se realizó la prueba de homogeneidad de datos para cada variable, aceptando la hipótesis nula, denotando así que los datos para las variables tuvieron varianzas homogéneas debido a que la lectura del p-valor de la prueba de Levene fue mayor al nivel de significancia alfa predefinido (Tabla 10).

Con una confiabilidad en la estimación de un 95% y un error mínimo del 5% se concluyó que las variables en los diferentes tratamientos fueron homogéneas. Por lo tanto, se recomendó la utilización de un procedimiento paramétrico (ANOVA factorial Inter grupos) para determinar si existen o no diferencias entre los tratamientos u objeto de estudio, ya que se cumplió cada uno de los supuestos en la mayoría de las variables.

Tabla 11. Prueba de homogeneidad de varianzas para las variables estudiadas

Prueba de homogeneidad de varianzas		
Variabes	Estadístico de Levene	p-valor
Reacción del suelo (pH)	0,865	0,507
Conductividad Eléctrica (C.E.)	0,559	0,696
Calcio (Ca⁺⁺)	0,564	0,693
Magnesio (Mg⁺⁺)	1,699	0,202
Sodio (Na⁺)	0,085	0,986
Potasio (K⁺)	1,381	0,287

4.2 Estadística descriptiva

La Tabla 11 muestra un resumen de la estadística descriptiva de los datos de 6 variables estudiadas, la variable Reacción del suelo (pH) se procesaron con 80 datos, con una media A. Red (6,94), A. Dest. (6,99), SFM 1 (6,72), SFM 2 (6,75) y SFM 3 (6,71), un coeficiente de variación A. Red (0,84 %), A. Dest. (0,72 %), SFM 1 (0,45 %), SFM 2 (0,59 %) y SFM 3 (0,89 %). Conductividad Eléctrica (C.E) se procesaron 80 datos, con una media A. Red (0,22 dS m⁻¹), A. Dest. (0,21 dS m⁻¹), SFM 1 (0,18 dS m⁻¹), SFM 2 (0,21 dS m⁻¹) y SFM 3 (0,24 dS m⁻¹), un coeficiente de variación A. Red (9,09 %), A. Dest. (9,52 %), SFM 1 (5,56 %), SFM 2 (4,76 %) y SFM 3 (4,17 %). Calcio (Ca⁺⁺) se procesaron con 80 datos, con una media A. Red (152,03 mg L⁻¹), A. Dest. (159,46 mg L⁻¹), SFM 1 (162,13 mg L⁻¹), SFM 2 (167, 89 mg L⁻¹) y SFM 3 (160,71 mg L⁻¹), un coeficiente de variación A. Red (15,90 %), A. Dest. (4,50 %), SFM 1 (13,96 %), SFM 2 (8,23 %) y SFM 3 (12,11 %). Potasio (K⁺), con una media A. Red (109,91 mg L⁻¹), A. Dest. (105,64 mg L⁻¹), SFM 1 (112,55 mg L⁻¹), SFM 2 (112,11 mg L⁻¹) y SFM 3 (112,41 mg L⁻¹), un coeficiente de variación A. Red (2,28 %), A. Dest. (4,55 %), SFM 1 (2,17 %), SFM 2 (1,75 %) y SFM 3 (1,37 %).

Tabla 12. Estadística descriptiva en función de las variables de estudio

Estadísticos Descriptivos								
VARIABLES	Tratamiento	Media	Desviación estándar	CV (%)	Asimetría	Curtosis	Mínimo	Máximo
Reacción del suelo (pH)	A. Red	6,94	0,06	0,86	0,26	-4,27	6,88	7,02
	A. Dest.	6,99	0,05	0,72	-1,54	2,22	6,91	7,04
	SFM 1	6,72	0,03	0,45	-0,88	-0,58	6,73	6,81
	SFM 2	6,75	0,04	0,59	-2,99	1,34	6,69	6,81
	SFM 3	6,71	0,06	0,89	0,20	-0,32	6,64	6,19
Conductividad Eléctrica (C.E.)	A. Red	0,22	0,02	9,09	0,12	0,39	0,2	0,25
	A. Dest.	0,21	0,02	9,52	-0,71	1,78	0,18	0,23
	SFM 1	0,18	0,01	5,56	0,753	0,34	0,17	0,21
	SFM 2	0,21	0,01	4,76	0,14	-1,20	0,19	0,22
	SFM 3	0,24	0,01	4,17	1,12	2,22	0,23	0,26
Calcio (Ca ⁺⁺)	A. Red	152,03	24,18	15,90	-0,31	1,32	121,33	180,23
	A. Dest.	159,46	7,18	4,50	-1,82	3,35	148,87	164,30
	SFM 1	162,13	22,63	13,96	-0,46	1,34	132,87	187,82
	SFM 2	167,89	13,82	8,23	-1,37	2,59	148,22	180,63
	SFM 3	160,71	19,47	12,11	-0,79	1,74	134,53	181,53
Magnesio (Mg ⁺⁺)	A. Red	91,91	9,56	10,40	-0,29	-4,31	81,04	100,23
	A. Dest.	90,59	10,21	11,27	-0,05	-5,53	80,37	99,98
	SFM 1	93,28	17,51	18,77	-0,21	-2,69	72,88	111,84
	SFM 2	91,75	16,43	17,91	-0,36	-3,34	72,37	107,48
	SFM 3	95,89	16,96	17,69	-0,29	-2,84	75,88	113,22
Sodio (Na ⁺)	A. Red	61,21	2,01	3,28	1,55	2,46	60,23	64,76
	A. Dest.	62,7	2,34	3,73	0,25	1,32	59,94	65,67
	SFM 1	63,94	1,61	2,52	1,19	1,71	62,44	66,17
	SFM 2	62,98	1,92	3,05	1,21	1,55	61,21	65,66
	SFM 3	65,14	1,77	2,72	1,01	0,92	63,44	67,56
Potasio (K ⁺)	A. Red	109,91	2,51	2,28	1,41	2,65	107,61	113,50
	A. Dest.	105,64	4,81	4,55	-1,72	2,98	98,60	109,04
	SFM 1	112,55	2,44	2,17	1,17	1,83	110,22	115,95
	SFM 2	112,11	1,96	1,75	0,85	1,88	110,04	114,77
	SFM 3	112,41	1,54	1,37	-0,51	-0,21	110,43	114,06

4.3 ANOVA factorial Inter grupos

Se realizó el ANOVA para cada variable, donde la hipótesis alternativa fue aceptada, denotando así que los datos para cada variable medida tuvo diferencias significativas, aunque sea en uno de los tratamientos, debido a que la lectura del p-valor de la prueba fue menor al nivel de significancia predefinido.

Con una confiabilidad en la estimación de un 95% se concluyó que al menos una de las medias de las variables: Reacción del suelo (pH), Conductividad eléctrica (C.E.) y Potasio

(K⁺) en los diferentes tratamientos fue diferente. Es así como se demostró estadísticamente que los tipos de riego influyeron en las medias de las variables medidas (Tabla 12)

Tabla 13. Efecto del factor de estudio sobre las variables medidas

ANOVA factorial intergrupos – Efecto el factor de estudio sobre las variables medidas				
Variabes	Tipo III Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	p-valor
Reacción del suelo (pH)	0,251	0,063	19,092	0,000
Conductividad Eléctrica (C.E.)	0,008	0,002	6,593	0,003
Calcio (Ca⁺⁺)	520,608	130,152	0,379	0,820
Magnesio (Mg⁺⁺)	65,683	16,421	0,077	0,988
Sodio (Na⁺)	25,565	6,391	1,684	0,206
Potasio (K⁺)	137,606	34,401	4,128	0,019

4.4 Pruebas post-hoc de Tukey

Una vez identificado que en al menos uno de los tratamientos existió diferencias significativas de cada una de las variables, fue necesario realizar una prueba post-hoc, la cual indicó el mejor tratamiento y denotó si las diferencias entre ellos son o no significativas (Tabla 13).

Tabla 14. Prueba post-hoc de Tukey en función de las variables de estudio

Pruebas Post-hoc de Tukey					
Variabes	A. Red	A. Dest.	SFM 1	SFM 2	SFM 3
Reacción del suelo (pH)	6,94 b	6,99 b	6,71 a	6,74 a	6,77 a
Conductividad Eléctrica (C.E.)	0,22 bc	0,20 ab	0,18 a	0,20 ab	0,24 c
Calcio (Ca⁺⁺)	152,02 a	159,46 a	160, 70 a	162,13 a	167,89 a
Magnesio (Mg⁺⁺)	90,59 a	91,75 a	91, 91 a	93, 28 a	95,88 a
Sodio (Na⁺)	61,85 a	62,70 a	62,98 a	63,94 a	65,14 a
Potasio (K⁺)	109,90 ab	105,63 a	112,54 b	112,11 b	112,40 a

En la Figura 7 se denotaron que no existen diferencias significativas entre la implementación del A. Dest. y A. Red, es decir tuvieron una similar distribución de sus medias de 6,99 y 6,94 respectivamente, lo cual determinó que ambos causaron el mismo efecto sobre la variable Reacción del suelo (pH). Mientras que los tratamientos de SFM demostraron medias inferiores a la media general. Los rangos que se obtuvieron en la medición de pH concuerdan con los rangos óptimos descritos por (Iñiguez, 2007). Además, a mayores dosis de SFM el pH disminuye, esto se debe al ataque a los minerales de calcio que tienen estos suelos, por el ácido sulfúrico que lleva el producto aplicado (Hernández et al., 2003).

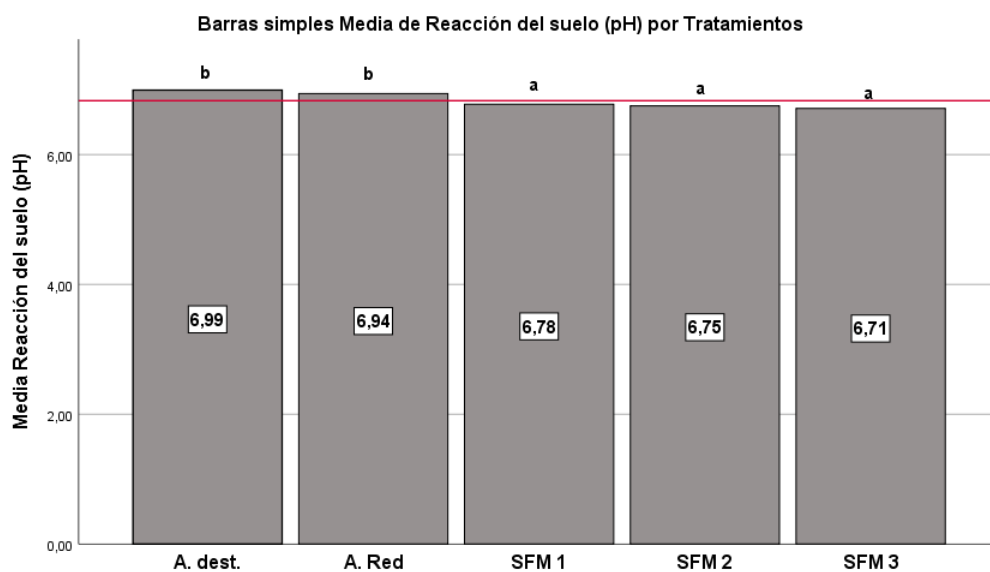


Figura 7. Valores medios de Reacción del Suelo (pH), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas

En la Figura 8, se observó que existen diferencias significativas entre SFM 3 y A. Red, es decir no tuvieron una similar distribución de sus medias, las cuales fueron $0,24 \text{ dS m}^{-1}$ y $0,22 \text{ dS m}^{-1}$ respectivamente, lo cual determinó que el tratamiento de SFM 3 causó un mayor efecto en el nivel de Conductividad Eléctrica (C.E.). Mientras que los demás tratamientos demostraron medias inferiores y diferentes. La C.E. es distinta para cada tratamiento, la conductividad de un suelo aumenta o se incrementa con el tiempo, debido a los cambios de pH o por aumento de temperatura, llegando a reducir niveles de productividad de un suelo según lo descrito por (De La Rosa et al., 2007).

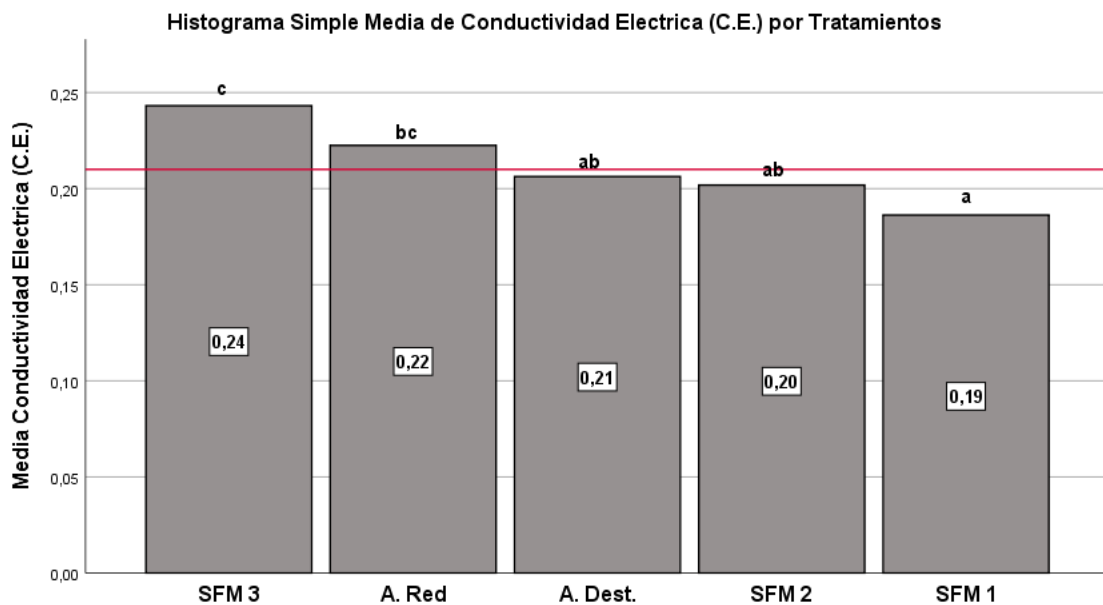


Figura 8. Valores medios de Conductividad Eléctrica (C.E) (dS m⁻¹), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas

En la Figura 9, se observó que existe diferencia significativa en el tratamiento SFM 2, es decir no tuvo una similar distribución de su media, pues obtuvo un valor de 167,89 mg L⁻¹, lo cual determino que este tratamiento causo un mayor efecto en la variable Calcio (Ca⁺⁺). Según Hernández et al., (2003) esto se debe al ataque del ácido sulfúrico a un carbonato cálcico, provocando así por medio de esta reacción un aumento del calcio. Mientras que los demás tratamientos demostraron medias inferiores y similares a excepción del tratamiento A. Red que presento una media inferior a las demás.

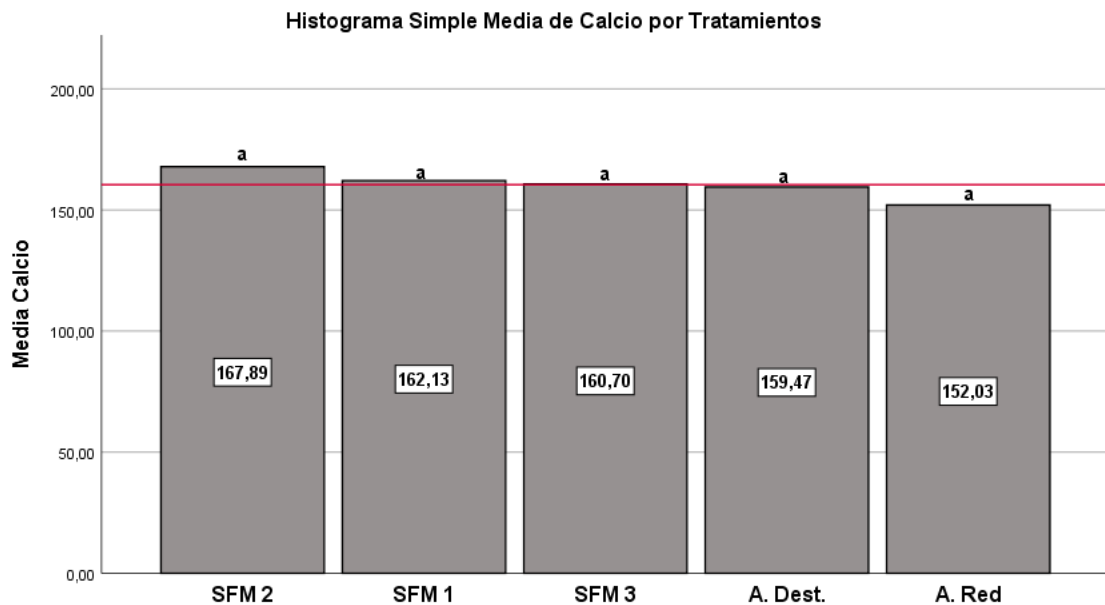


Figura 9. Valores medios de Calcio (Ca^{++}), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas

En la Figura 10, se observó que existe diferencia significativa en el tratamiento SFM 3, es decir no tuvo una similar distribución de su media, pues obtuvo un valor de $95,89 \text{ mg L}^{-1}$, lo cual determinó que este tratamiento causó un mayor efecto en la variable Magnesio (Mg^{++}). Mientras que los demás tratamientos demostraron medias inferiores y similares.

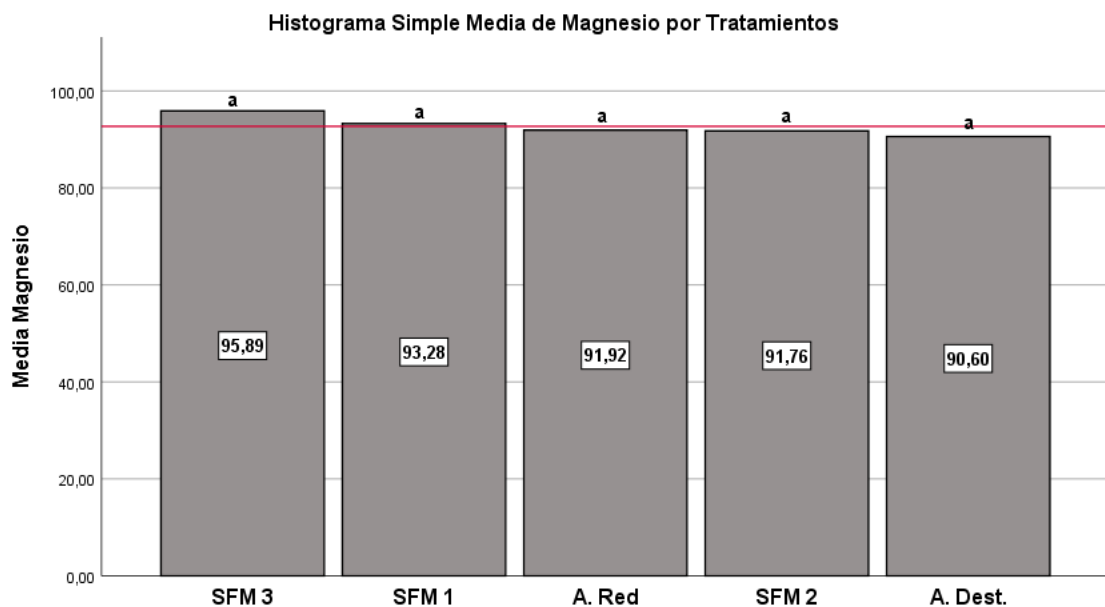


Figura 10. Valores medios de Magnesio (Mg^{++}), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas

En la Figura 11, se observó que existe diferencia significativa en el tratamiento SFM 3, es decir no tuvo una similar distribución de su media, pues obtuvo un valor de 65,15 mg L⁻¹, lo cual determinó que este tratamiento causó un mayor efecto en la variable Sodio (Na⁺). La explicación de ello es que el sodio sería desplazado de la fase adsorbente por la presencia de iones H⁺, cuando estos estén en cantidades notables (pH bajos) (Hernández et al., 2003). Mientras que los demás tratamientos demostraron medias inferiores y similares.

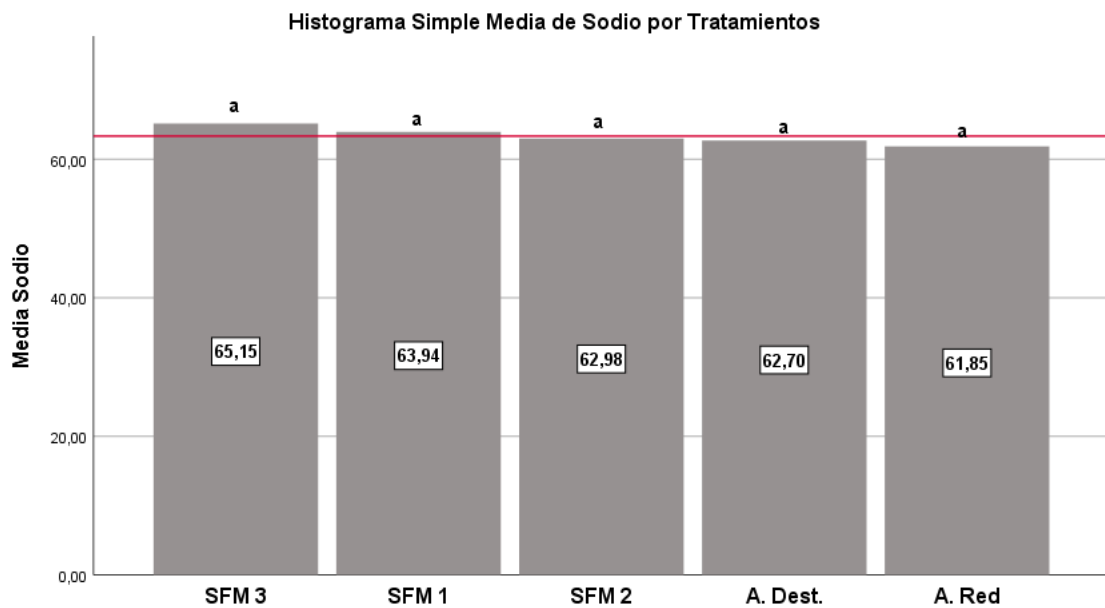


Figura 11. Valores medios de Sodio (Mg⁺), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas

En la Figura 12, se denotaron que no existen diferencias significativas entre la implementación del SFM 1, SFM 3 y SFM 2, es decir tuvieron una similar distribución de sus medias de 112,54, 112,40 y 112, 11 respectivamente, lo cual determinó que causaron el mismo efecto sobre la variable Potasio (K⁺). Mientras que los tratamientos de A. Red y A. Dest. demostraron medias inferiores a la media general. La explicación es idéntica a la del sodio, manteniéndose intacto, probablemente, el K⁺ interlaminaar (Hernández et al., 2003).

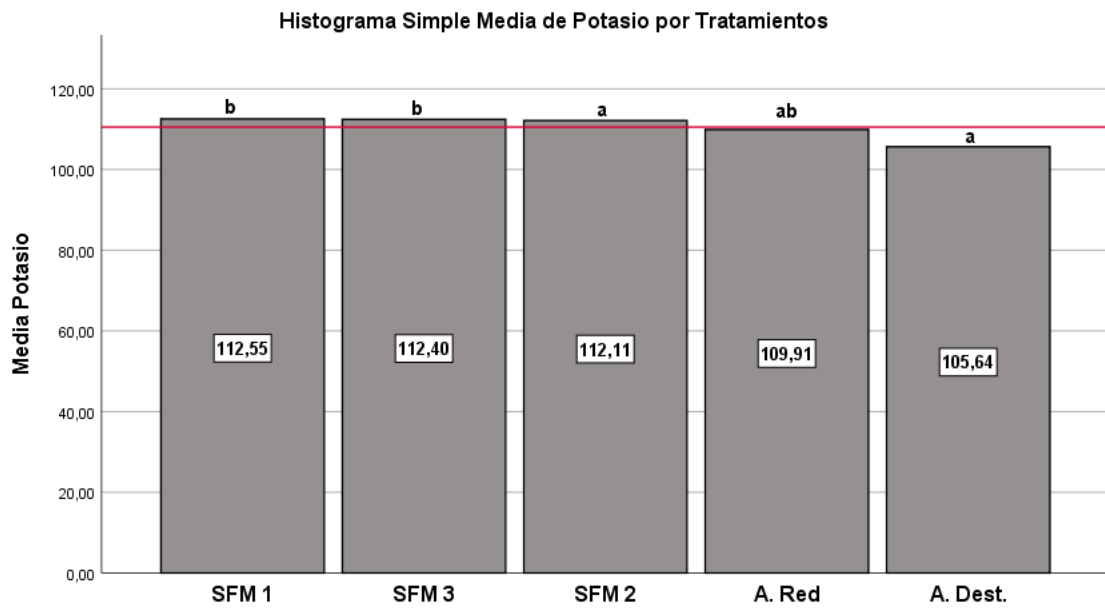


Figura 12. Valores medios de Potasio (K^+), de los 4 riegos, en las 4 fincas estudiadas

V. CONCLUSIONES

A través de los análisis estadísticos estudiados (análisis de varianzas, ANOVA factorial intergrupos y pruebas post-hoc) las variables: Reacción del suelo (pH), Conductividad eléctrica (C.E.) Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+) presentaron medias por encima de la media general en los tratamientos de Sulfato Ferroso Monohidratado.

El Ca^{++} presento variación, iniciando con un valor promedio de 186,03 mg L⁻¹, el cual luego de las aplicaciones de SFM presentó un valor promedio de 164,72 mg L⁻¹, estando dentro de los rangos establecidos por Iñiguez (2007).

El Mg^{++} presento cambios significativos en esta investigación, empezando con un valor promedio de 111,56 mg L⁻¹, para después de la aplicación de los distintos tratamientos de SFM terminar con un valor promedio de 85,90 mg L⁻¹

El Na^+ al igual que el Mg^{++} presentó cambios significativos, ya que empezó con un valor promedio de 54,25 mg L⁻¹ y luego de las aplicaciones de SFM termino con un valor promedio de 66,17 mg L⁻¹, esto se debe según Hernández et al (2003) a que va a ser desplazado de sus posiciones de adsorción a partir de un determinado punto de pH (pH bajos) y con esto sus valores van a incrementar.

El K^+ no presento variación, empezó con un valor inicial de 113,77 mg L⁻¹ y terminando con un valor promedio de 112,13 mg L⁻¹ después de las aplicaciones de SFM, indicando que el contenido de este catión según Iñiguez (2007) está dentro de los rangos óptimos.

Podemos concluir que el uso de SFM no solo baja el pH, por lixiviados del Ca^{++} en suelos que lo tienen en exceso, sino que además no se afecta al proceso de intercambio de iones como el K^+ necesario para una correcta alimentación de la planta.

VI. RECOMENDACIONES

Efectuar más tratamientos con distintas dosis de SFM, para encontrar la dosis adecuada en la que el pH y el Ca^{++} lleguen a sus rangos óptimos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Andrades, M., & Martínez, M. E. (2014). Fertilidad del suelo y parametros que la definen.
- Becerra, M. A., Hang, S., Díaz-zorita, M., & Mercuri, P. A. (2013). Aplicación de sistemas de información geográfica para la delimitación de áreas con diferente capacidad de adsorción de Atrazina. *Kamunye*, 4453(1417), 5.
- Borges, J., Barrios, M., Sandoval, E., Bastardo, Y., & Márquez, O. (2012). Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo. *Bioagro*, 24(1316–3361), 121–126.
- Castillo, E. (2015). Caracterización de las propiedades y fertilidad de los suelos provincia del oro. 98.
- De Carlo, L., Caputo, M. C., Masciale, R., Vurro, M., & Portoghese, I. (2020). Monitoring the Drainage Efficiency of Infiltration Trenches in Fractured and Karstified Limestone via Time-Lapse Hydrogeophysical Approach. *Water*, 12(7), 2009. <https://doi.org/10.3390/w12072009>
- De La Rosa, D. A., Teutli-León, Ma. M., & Ramírez-Islas, M. E. (2007). Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. In *Rev. Int. Contam. Ambient* (Vol. 23, Issue 3).
- Flórez, V., & Rodríguez, M. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. *Cyted*, 3, 25–36.
- Furet, N. R., Hernández, J. C., Marijuan, L., Perez-Mohedano, S., & Orihuela, D. L. (2002). Characterization of a metallic sulphate by mossbauer spectroscopy. VIII Conferencia Americana Sobre Las Aplicaciones Del Efecto Monssbauer.
- GAD Santa Rosa. (2012). Pdot Santa.
- García Villalpando, J. A., Castillo Morales, A., Ramírez Guzmán, M. E., Rendón Sánchez, G., & Larqué Saavedra, M. U. (2001). Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechhofer para selección de medias. *Agrociencia*, 35(1), 76–86. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30235107>
- Gómez, Violeta. (2019). Suelo calizo: características, composición, formación, estructura. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/suelo-calizo/>
- Guerrero, A. (2000). *El Suelo, los abonos y la fertilizacion de los cultivos*. Mexico: Ediciones Mundi-Prensa.
- Hernández, J. C., Orihuela, D. L., Pérez-Mohedano, S., Marijuan, L., & Furet, N. R. (2003). Efecto de la modificación del pH sobre la lixiviación de cationes en colimnas de suelos calizos. VI, 99–104.

- http://abe.ufl.edu/Carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v6/p099-104.pdf
- Instituto Geográfico “Agustin Codazzi.” (2005). Estudio General De Suelos Y Zonificación De Tierras Del Departamento De Boyaca.: Vol. Capítulo 4.
- Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 541–549. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420516>
- Iñiguez, M. (2007). Fertilidad, fertilizantes y fertilización de suelo. Loja: Universidad de Loja.
- Matecka, P., & Świtoniak, M. (2020). Delineation, characteristic and classification of soils containing carbonates in plow horizons within young moraine areas. *Soil Science Annual*, 71(1), 23–36. <https://doi.org/10.37501/soilsa/121489>
- Mercedes Rocio, H. C., Oliverio Napoleón, V. G., & Vite Cevallos, H. A. (2020). Análisis Situacional de la Actividad Ganadera en la Parroquia Palmales del Cantón Arenillas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(2631–2662), 26–32.
- Mohammed-Nour, A., Al-Sewailem, M., El-Naggar, A. H., El-Saeid, M. H., Aly, A. A., & Elfaki, J. (2021). Carbon and nitrogen dynamics, and co2 efflux in the calcareous sandy loam soil treated with chemically modified organic amendments. *Molecules*, 26(16). <https://doi.org/10.3390/molecules26164707>
- Montaner, L. (2019). Suelos y especies asociadas en la región mediterránea.
- Navarro Garcia, G., & Navarro Garcia, S. (2013). Química del Suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. In Mundi prensa.
- Orihuela, D. L., Marijuan, L., Escobar, F. J., Hernández, J. C., & C., E. (2000). Mejoras edafológicas en los parámetros Fe, Mn y Zn en suelos calizos por la aplicación de sulfato metalico en plantaciones de melocotones. *Revista Agrícola Vergel*, 582–589.
- Pineda, J. (2012). Suelos Calizos. En Colombia.
- Porta, J., López, M., & Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. *Ambiente, EDAFOLOGÍA Para La Agricultura y El Medio*, 591–626.
- Revista agricola. (2017). Manejo del calcio en el suelo y en la planta a traves de las especialidades de Carbotecnica. *Editorial Agrícola*, 748–749.
- Rincón Castillo, Á. (2012). Efecto del potasio sobre la producción y calidad de forraje de *Brachiaria decumbens* Stapf en el piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3), 285–291.
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en

- plantas. *Revista de Iniciación Científica*, 4, 101–105. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829>
- Sadeghian, S., & Díaz Marín, C. (2020). Corrección de la acidez del suelo: alteraciones químicas del suelo. *Revista Cenicafe*, 71(71–1), 07–20. <https://doi.org/10.38141/1116>
- Sadzawka, A. (2006). *Métodos de análisis de aguas para riego* (37th ed.).
- Segarra, F. (2013). *Plan De Ordenacion Territorial Del Canton Arenillas*. 371.
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2016). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la Provincia de El Oro. *Cumbres*, 1(2), 28–34. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v1n2a5>