



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVOLUCIÓN GEOESPACIAL DE LOS MACRONUTRIENTES EN EL
SUELO POR EFECTO DEL FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO

ESTRADA DURAN FRANKLIN ISAIAS
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVOLUCIÓN GEOESPACIAL DE LOS MACRONUTRIENTES EN
EL SUELO POR EFECTO DEL FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DE
BANANO

ESTRADA DURAN FRANKLIN ISAIAS
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

EVOLUCIÓN GEOESPACIAL DE LOS MACRONUTRIENTES EN EL SUELO POR
EFECTO DEL FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO

ESTRADA DURAN FRANKLIN ISAIAS
INGENIERO AGRÓNOMO

CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

MACHALA, 22 DE SEPTIEMBRE DE 2022

MACHALA
2022

EVOLUCIÓN GEO ESPACIAL DE LOS MACRONUTRIENTES EN EL SUELO, POR EFECTO DEL FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	NORA COROMOTO MONSALVE GRATEROL. "Modelos jerárquicos bayesianos espaciales en epidemiología agrícola", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	www.labsalaboratorio.com.mx Fuente de Internet	1%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
7	Submitted to 95131 Trabajo del estudiante	1%

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

El que suscribe, ESTRADA DURAN FRANKLIN ISAIAS, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado EVOLUCIÓN GEOESPACIAL DE LOS MACRONUTRIENTES EN EL SUELO POR EFECTO DEL FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO, 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.

Machala, 22 de septiembre de 2022

A handwritten signature in blue ink that reads "Franklin Estrada" with a stylized flourish at the end. The signature is enclosed within a blue oval scribble.

ESTRADA DURAN FRANKLIN ISAIAS
0705789501

A large, faint watermark of the University of Machala seal is visible in the background. It features a central emblem with a book and a laurel wreath, surrounded by the text "UNIVERSITAS MAGISTRORUM ET SCHOLARIUM" and "MACHALA".

UNIVERSITAS
MAGISTRORUM
ET SCHOLARIUM

DEDICATORIA

A mis adorados y ejemplos padres: Franklin Estrada y Narda Durán que siempre me brindaron su incondicional apoyo en todo momento durante mi carrera universitaria, por siempre confiar en mí, y a su vez, siendo mi pilar fundamental.

A Dios, por brindarme salud, sabiduría y fortaleza durante mi etapa como estudiante, además, por darme la oportunidad de disfrutar de la vida junto a mi familia, la cual me ha forjado como la persona que soy en la actualidad.

A mis compañeros y amigos, quienes me han ayudado a lograr cumplir cada meta que me forjo.

Franklin Isaias Estrada Duran

AGRADECIMIENTO

En el presente trabajo agradezco a la “Universidad Técnica de Machala”, a su prestigiosa Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) por su acogida y haberme forjado como profesional.

De manera muy especial agradezco a mi tutor de tesis Ing. Julio Enrique Chabla Carrillo, PhD por darme la grata oportunidad de aprender de su prestigiosa experiencia profesional y académica, al Ing. José Nicasio Quevedo Guerrero, Mgs, Ing. Salomón Barrezueta, PhD por los conocimientos compartidos al realizar mi proyecto de investigación.

Al Ing. Víctor Chabla Carrillo por permitir el acceso y uso de su predio agrícola “Finca Márquez” para la realización del presente proyecto de investigación.

A mis amigos y colegas Iván Guamán y Diego Suquilanda que fueron parte fundamental en todo el proceso de investigación con sus muestras de apoyo y motivación.

RESUMEN

EVOLUCIÓN GEO ESPACIAL DE LOS MACRONUTRIENTES EN EL SUELO, POR EFECTO DEL FERTIRRIEGO EN EL CULTIVO DE BANANO

Autor

Franklin Isaias Estrada Durán

Tutor

Julio Chabla Carrillo, PhD

El cultivo de banano (*Musa spp.*), se posiciona como un importante sostén para la socio-economía y seguridad alimentaria del país, y representa un promedio del 15% de la producción total de frutas del mundo, el fertirriego es una técnica que permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes a través del sistema de riego a los cultivos, con estos antecedentes se plantearon los siguientes objetivos, evaluación de la distribución geo espacial de los Macronutrientes en el suelo, producto del efecto del Fertirriego en el cultivo de banano. El área donde se realizó la investigación fue en la Finca La Márquez, que se encuentra ubicada en la parroquia La Peaña del Cantón Pasaje, en el Km 15 de la vía Machala-Pasaje, provincia de El Oro. La zona de estudio corresponde a un bosque tropical, una temperatura media mensual de 26 °C, una precipitación que oscila entre 200 – 1000 mm anuales, velocidad media de vientos 2 a 4 m* s-1, 2.8 promedio de horas sol y una humedad relativa de 83%. Se estudió la variabilidad espacial de las siguientes propiedades químicas, pH, conductividad eléctrica (CE), y macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Na). Las muestras para el análisis de los macronutrientes del suelo se registró un total de 9 muestras en los diferentes meses de julio, octubre del 2021, y enero 2022, tomando muestras a una profundidad de 20 cm del suelo, procesando un total de 3 análisis de suelo, y la toma de muestras para medir el pH y CE se realizó cada 15 días, dando un total de 7 datos por 6 semanas. El análisis de datos se realizó en diversos enfoques, univariado (estadística descriptiva) utilizando el software IBM SPSS Statistics 23 y Microsoft Excel 2013, se emplearon gráficos exploratorios como diagramas caja bigote que permitieron apreciar de manera visual el comportamiento de cada variable. En el análisis geoestadístico se usó el software Surfer 16 para la determinación de semivariogramas experimentales, donde se ajustaron modelos teóricos, esférico, gaussiano y exponencial para las distintas

profundidades de cada variable, siendo los más precisos y eficientes el modelo esférico y gaussiano, que presentaron un coeficiente de Nash y un coeficiente de determinación (R^2) cercano o igual a 1, así mismo, se obtuvieron los valores más bajo del error medio cuadrático (RMSE). En el software ArcGIS 10.3 se utilizó parámetros del semivariograma para la interpolación por el método del kriging que permitió diseñar mapas de variabilidad espacial de los macronutrientes del suelo. Los resultados evidenciaron que en el contenido espacial de los macronutrientes del suelo hubo un aumento continuamente, empezando en el N valores entre mínimos (0.07 – 0.15%) y valores máximos de contenido de %N en (0.28 – 0.37%), en el P presentó valores mínimos de (40.34 – 47.35 ppm) y valores máximos de contenido de P (ppm) en (58.82 – 67.42 ppm), en el K⁺ presentó valores mínimos de (0.96 – 1.50 meq/100gr) y valores máximos de (2.52 – 3.32 meq/100gr), en el Ca obtuvimos valores mínimos (16.99 – 22.99 meq/100gr) y valores máximos entre (34.21 – 41.66 meq/gr), en Mg encontramos valores mínimos de (3.02 – 4.64 meq/100gr) y valores máximos (7.72 – 9.57 meq/100gr), en el Na encontramos valores mínimos (0.81 – 0,89 meq/100gr) y valores máximos (1.00 – 1.11 meq/100gr), en el contenido de pH y CE los datos presentaron una dispersión más alta en el estudio, obteniendo valores mínimos en pH de (7.47 – 7.56) y valores máximos (7.75 – 7.85) y en CE se obtuvo valores mínimos de (0.22 – 0.24) y valores máximos (0.28 – 0.30). Para el análisis estadístico por componentes principales se utilizó el software IBM SPSS Statistics 23. Los resultados nos reflejan que las variables tienen diferencias significativas entre el tratamiento de fertirriego para las variables nutricionales todas presentaron diferencias significativas contrario con el pH del suelo y la CE, es decir se diferencia entre sí en función de los meses evaluados esto debido a que el p-valor es menor al Alpha propuesto de 0,05 es decir, un nivel de confianza del 95% en las pruebas estadísticas.

Palabras claves: Fertirriego, variabilidad espacial, geoestadística, kriging, semivariograma, estadística multivariada, propiedades químicas.

ABSTRACT

GEO-SPATIAL EVOLUTION OF MACRONUTRIENTS IN THE SOIL, DUE TO THE EFFECT OF FERTIGATION ON THE BANANA CROP.

Author

Franklin Isaias Estrada Durán

Tutor

Julio Chabla Carrillo, PhD

The banana crop (*Musa spp.*), is an important support for the socio-economy and food security of the country, and represents an average of 15% of the total production of fruits in the world, fertigation is a technique that allows the simultaneous application of water and fertilizers through the irrigation system to crops with this background the following objectives were raised, evaluation of the geo-spatial distribution of macronutrients in the soil, product of the effect of fertigation in the banana crop. The area where the research was carried out was in the Marquez Farm, located in the parish of La Peaña, Canton Pasaje, at Km 15 of the Machala-Pasaje road, province of El Oro. The study area corresponds to a tropical forest, an average monthly temperature of 26 °C, precipitation ranging between 200 - 1000 mm per year, average wind speed 2 to 4 m* s⁻¹, 2.8 average hours of sunshine and a relative humidity of 83%. The spatial variability of the following chemical properties, pH, electrical conductivity (EC), and macronutrients (N, P, K, Ca, Mg, Na) was studied. Samples for the analysis of soil macronutrients were recorded a total of 9 samples in the different months of July, October, January, at a depth of 20 cm of soil, processing a total of 3 soil analyses, and sampling to measure pH and EC was done every 15 days, giving a total of 7 data for 6 weeks. Data analysis was performed in different approaches, univariate (descriptive statistics) using IBM SPSS Estatistics 23 software and Microsoft Excel 2013, exploratory graphs were used as box-whisker diagrams that allowed visual appreciation of the behavior of each variable. In the geostatistical analysis, Surfer 16 software was used to determine experimental semivariograms, where theoretical, spherical, Gaussian and exponential models were adjusted for the different depths of each variable, being the most accurate and efficient the spherical and Gaussian models, which presented a Nash coefficient and a coefficient of determination (R^2) close to or equal to 1, likewise

the lowest values of the root mean square error (RMSE) were obtained. In ArcGis 10.3 software, parameters of the semivariogram were used for interpolation by the kriging method, which allowed the design of spatial variability maps of soil macronutrients. The results evidenced that in the spatial content of soil macronutrients there was a continuous increase, starting in N values between minimum (0.07 - 0.15%) and maximum values of %N content in (0.28 - 0.37%), in P it presented minimum values of (40.34 - 47.35 ppm) and maximum values of P content (ppm) in (58.82 - 67.42 ppm), in K it presented minimum values of (0.96 - 1.50 meq/100gr) and maximum values of (2.52 - 3.32 meq/100gr), in Ca we obtained minimum values (16.99 - 22.99 meq/100gr) and maximum values between (34.21 - 41.66 meq/gr), in Mg we found minimum values of (3.02 - 4.64 meq/100gr) and maximum values (7.72 - 9.57 meq/100gr), in Na we found minimum values (0.81 - 0.89 meq/100gr) and maximum values (1.00 - 1.11 meq/100gr), in the pH and EC content the data presented a higher dispersion in the study, obtaining minimum values in pH of (7.47 - 7.56) and maximum values (7.75 - 7.85) and in EC minimum values of (0.22 - 0.24) and maximum values (0.28 - 0.30) were obtained. For the statistical analysis by principal components, the IBM SPSS Statistics 23 software was used. The results show that the variables have significant differences between the fertigation treatment for the nutritional variables, all presented significant differences in contrast to the soil pH and EC, that is, they differ among themselves depending on the months evaluated, because the p-value is less than the proposed Alpha of 0.05 or a confidence level of 95% in the statistical tests.

Key words: Fertigation, spatial variability, geostatistics, kriging, semivariogram, multivariate statistics, chemical properties.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Objetivo General.....	13
1.2. Objetivo Específico	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Características químicas del suelo.....	14
2.1.1. Macronutrientes del Suelo	14
2.1.2. pH.....	15
2.1.3. Conductividad eléctrica	15
2.2. Fertirriego en el cultivo de Banano	17
2.3. Fertilizantes para Fertirriego	18
2.4. Solubilidad y Compatibilidad de los Fertilizantes	19
2.4.1. Solubilidad en los Fertilizantes.....	19
2.4.2. Compatibilidad en los Fertilizantes	20
2.5. Ventajas del Fertirriego.....	20
2.6. Desventajas del Fertirriego	21
2.7. Geoestadística.....	21
2.7.1. Etapa del análisis Geoestadístico	22
2.7.2. Método de Interpolación.....	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. Área de estudio.....	27
3.1.1. Ubicación Geográfica	27
3.1.2. Características Climáticas	27
3.2. Diseño Experimental.....	28
3.2.1. Tratamiento Fertirriego.....	28
3.3. Manejo del Experimento	28
3.4. Materiales y Métodos.....	29

3.4.1. Materiales	29
3.4.2. Equipos	29
3.5. Variables medidas en el suelo del cultivo de banano	29
3.5.1. Registro de datos de pH	29
3.5.2. Registro de datos de Conductividad eléctrica (CE).....	30
3.5.3. Registro de toma de muestras para análisis de suelo	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	34
4.1. Análisis exploratorio de las propiedades químicas del suelo	34
4.2. Análisis de variabilidad espacial del suelo.....	42
4.2.1. Análisis estructural de las propiedades químicas del suelo	42
4.2.2. Creación de mapas temáticos de las propiedades químicas del suelo.	46
5. CONCLUSIONES	49
6. RECOMENDACIONES.....	51
7. BIBLIOGRAFÍA	52
8. ANEXOS	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Conductividad Eléctrica de algunos fertilizantes comerciales en una disolución con 0.5 g/l de agua.....	17
Tabla 2: Fuente de elementos kg ha ⁻¹ para el tratamiento fertirriego.....	28
Tabla 3: Estadístico descriptivo para el pH, CE y nutrientes del suelo.....	39
Tabla 4: Prueba de homogeneidad y varianza para las variables evaluadas.	41
Tabla 5: ANOVA de un factor para la variable pH y CE.....	42
Tabla 6: Parámetros del variograma aplicando kriging ordinario para las variables. ...	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los suelos en base a su C _{Ee} y el efecto sobre el cultivo	16
Figura 2: Principales fertilizantes utilizados en Fertirriego	19
Figura 3: Compatibilidad de los fertilizantes solubles utilizados en el Fertirriego.....	20
Figura 4: Semivariograma.....	24
Figura 5: Ubicación de la zona de estudio	27
Figura 6: Pehachímetro y Conductímetro HANNA INSTRUMENTS Combo, modelo hi 98127.....	30
Figura 7: Toma de muestras de suelo para análisis de suelo.....	32
Figura 8: Diagrama de caja y bigote para el contenido de magnesio (meq/100g).	34
Figura 9: Diagrama de caja y bigote para el contenido de calcio (meq/100g).....	35
Figura 10: Diagrama de caja y bigote para el contenido de potasio (meq/100g).....	35
Figura 11: Diagrama de caja y bigote para el contenido de sodio (meq/100g).	36
Figura 12: Diagrama de caja y bigote para el contenido de nitrógeno (meq/100g).	37
Figura 13: Diagrama de caja y bigote para el contenido de fosforo (meq/100g).....	37
Figura 14: Diagrama de caja y bigote para el contenido de pH.	38
Figura 15: Diagrama de caja y bigote para el contenido de CE.	39
Figura 16: Semivariograma ajustado del contenido de Nitrógeno en una profundidad de 20 cm.	43
Figura 17: Semivariograma ajustada del contenido de Fósforo en una profundidad de 20 cm.	43
Figura 18: Semivariograma ajustada del contenido de Potasio en una profundidad de 20 cm.	43
Figura 19: Semivariograma ajustada del contenido de Calcio en una profundidad de 20 cm.	44
Figura 20: Semivariograma ajustada del contenido de Magnesio en una profundidad de 20 cm.	44
Figura 21: Semivariograma ajustada del contenido de Sodio en una profundidad de 20 cm.	44
Figura 22: Semivariograma ajustada del contenido de pH en una profundidad de 20 cm.	44
Figura 23: Semivariograma ajustada del contenido de CE en una profundidad de 20 cm.	45

Figura 24: Distribución espacial de N, P y K en (% , ppm, meq/100gr) de suelo.	46
Figura 25: Distribución espacial de Ca, Mg y Na en meq/100gr de suelo.....	47
Figura 26: Distribución espacial de pH y CE en el suelo.....	48

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Toma de muestras de pH y CE en el laboratorio.....	56
--	----

1. INTRODUCCIÓN

La producción de banano es de gran importancia para la economía y en la generación de empleo en el Ecuador. Fisiológicamente la planta de banano requiere de abundante cantidad de agua. Presentándose un aumento progresivo y variable en la necesidad del recurso hídrico a medida que la planta avanza en su crecimiento. Por ende, un aumento o una disminución del contenido de humedad en el suelo son factores fundamentales para el desarrollo radicular del cultivo y en la absorción de nutrientes (Castro G & P. Chiquillo, 2016).

En un sistema de Fertirriego en una plantación de Banano se debe conocer cuáles son los requerimientos nutricionales en las diversas fases fisiológicas del cultivo, la calidad del agua a utilizar, la eficiencia del sistema de riego utilizado, la solubilidad y la compatibilidad que tienen los fertilizantes empleados.

Así mismo, se debe fraccionar los fertilizantes disminuyendo el Intervalo de Riego, para que el metabolismo de la planta de banano, no sufra estrés fisiológico y por ende mejorar su productividad.

Entender la variabilidad espacial de propiedades físicas, químicas y biológicas y la relación que existe con la producción agrícola, posibilita ejecutar actividades que favorezcan el suelo, desde hacer un uso eficiente de insumos hasta disminuir problemas de contaminación ambiental, obteniendo un sistema de producción sostenible.

Paralelamente la fertilización química juega un papel importante y es catalogado como un factor que limita el rendimiento debido a un alto o bajo contenido de nutriente que podría causar problemas de interacción entre ellos. Pinstруп, (1974) según (Londoño & Moreno, 2015) evaluó sobre la producción de cereales que los fertilizantes podían contribuir desde un 55 a 57% al incremento del rendimiento promedio por hectárea y un 30 – 31% al aumento total de la producción.

El conocimiento de la distribución de las propiedades químicas en el suelo resulta importante, permitiendo cuantificar la variabilidad presente en la finca y obteniendo por parte del agricultor beneficios a largo plazo, dando a conocer el lugar adecuado para realizar aplicaciones, y por supuesto en las cantidades necesarias, partiendo de lotes o zonas delimitadas, razón suficiente para que el agricultor no eleve sus costos de producción y minimice el impacto ambiental.

Un análisis geoestadístico de las propiedades determina la heterogeneidad de los suelos, elaborando mapas de cada atributo o elemento, con esto se desarrolló un mecanismo muy útil que forma parte de las etapas para una agricultura de precisión. (De Andreu & Barrios, 2009)

1.1. Objetivo General

- Evaluación de la distribución geo espacial de los Macronutrientes en el suelo, producto del efecto del Fertirriego en el cultivo de banano.

1.2. Objetivo Específico

- Evaluar la evolución de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Sodio (Na) y Magnesio (Mg) en el suelo mediante un análisis del suelo.
- Determinar las propiedades químicas (pH, CE, N, P, K, Ca, Na, Mg) de la finca La Márquez y su distribución espacial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Características químicas del suelo

2.1.1. Macronutrientes del Suelo

Los macronutrientes se pueden definir como los elementos necesarios en grandes cantidades para asegurar el crecimiento y la supervivencia de las plantas. Es importante afirmar que la presencia de una cantidad suficiente de elementos nutritivos en el suelo no asegura por sí misma la correcta nutrición de las plantas, ya que estos elementos se tienen que encontrar en una forma asimilable para los cultivos y, a su vez, haya un correcto desarrollo de esta.

Nitrógeno: El nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetativo, produce succulencia y además es responsable del color verde que presentan las hojas. Si se produce un exceso de este nutriente en un cultivo puede afectar a la maduración, bajar la calidad del cultivo y, además, debilitar la planta lo que conlleva que sean más propensas a diferentes enfermedades y plagas, más vulnerables a la lluvia, etc. Mientras que un déficit del mismo provoca un color verde pálido en las hojas y afecta al crecimiento de la planta, aunque puede florecer.

Fósforo: Se puede decir que es el elemento nutritivo más limitante del rendimiento de los cultivos después del N. Ayuda a las raíces y a que las plantas tengan un rápido desarrollo, mejorando de esta manera su resistencia a las bajas temperaturas y en el caso de algunas plantas, su resistencia a determinadas enfermedades.

Potasio: Juega un papel importante en la activación enzimática, fotosíntesis y síntesis de proteínas y carbohidratos, balance de agua y en el crecimiento meristemático. Su presencia contribuye a un mejor crecimiento vegetativo y a la fructificación, maduración y calidad de los frutos. (G. .J., 2019)

Magnesio: Es el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol; por ello, del 15 al 20 por ciento del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes.

Calcio: es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca para las plantas, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en Ca. (FAO, 2004)

Sodio: El sodio es esencial para las plantas, pero para el cultivo de banano su importancia tiene que ver más bien con efectos fitotóxicos. (López M., 1995)

2.1.2. pH

Los suelos presentan diferentes propiedades y características en función de los procesos fisicoquímicos que los originaron, por lo que los elementos que determinan su fertilidad son diversos, uno de ellos y quizá de los más importantes es el pH. El pH es un indicador de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que influyen en su fertilidad, ya que valores de pH cercanos a la neutralidad permiten que varios nutrientes se encuentren en su máxima disponibilidad para ser absorbidos por las plantas.

El pH es una propiedad del suelo que indica la capacidad de las partículas de suelo para adsorber iones hidrógeno (H^+), la cual determina si un suelo es ácido o alcalino. Esta propiedad influye en la solubilidad, movilidad, disponibilidad de nutrientes y otros constituyentes inorgánicos presentes en el suelo.

El intervalo normal de pH en el suelo oscila entre 3.5 (muy ácido) a 9.5 (muy alcalino). En suelos ácidos la actividad de los organismos es inhibida por las cantidades tóxicas de aluminio y magnesio, mientras que en condiciones alcalinas algunos nutrientes disminuyen su disponibilidad, por lo que para suelos agrícolas el valor de pH recomendado es de 6.5. (Fageria, 1998)

La guía de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2009) establece que el pH representa en la solución del suelo, la actividad iónica de las partículas de hidrógeno, la cual define la facilidad en la asimilación de los nutrientes para las plantas.

Asimismo, menciona que su importancia como propiedad física – química reside en que, dependiendo de esta, los microorganismos se encargan de mineralizar la materia orgánica. Además, que está también determina diversos factores que intervienen a la fertilidad del suelo, como la presencia de iones tóxicos y la CIC. (Ramírez Carvajal, 1997)

2.1.3. Conductividad eléctrica

La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto

significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Se recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS. Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo. (Barbaro)

Determinar la CE es fundamental para tomar las decisiones de manejo del suelo, si es necesario algún mejorador del suelo o no, y para determinar la fracción de lavado que se adicionará. También conocer este parámetro del suelo facilita determinar el cultivo y variedad a establecer de acuerdo a su tolerancia a los niveles de salinidad presentes en el suelo. El sistema de cultivo, ya sea surcos o en melgas, de igual forma se puede determinar al conocer la salinidad del suelo, e incluso el manejo del agua en los sistemas de riego y ubicación de la cinta de riego por goteo, cuando así sea el caso.

La importancia del contenido de sales a través del valor de CE, permite tomar la decisión de utilizar el suelo para fines agrícolas o no hacerlo, dependiendo del sistema de riego. Parcelas que cuentan con sistemas de fertirriego ayudan a manejar la salinidad de manera localizada, pues mediante este sistema pueden mover las sales fuera del bulbo de humedad, donde está ubicada la mayor parte del sistema radical de las plantas, logrando un impacto menos negativo sobre el cultivo. (INTAGRI, 2017)

CE _e	Condiciones de salinidad y efecto sobre las plantas
<1	Suelo libre de sales. No existe restricción para ningún cultivo.
1-2	Suelo muy bajo en sales. Algunos cultivos muy sensibles pueden ver restringidos sus rendimientos.
2-4	Suelo moderadamente salino. Los rendimientos de cultivos sensibles pueden verse afectados en su rendimiento.
4-8	Suelo salino. El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad.
8-16	Suelo altamente salino. Solo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos.
>16	Suelo extremadamente salino. Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos.

Figura 1: Clasificación de los suelos en base a su CE_e y el efecto sobre el cultivo

Fuente: (Castellanos, 2000)

Según (Soriano Soto, 2018), se ha demostrado que los suelos que conducen la electricidad de forma considerable contienen cantidades elevadas de sal, la cual interviene de forma directa en el desarrollo óptimo de las plantas. Sin embargo, algunos cultivos pueden sobrevivir a diferentes rangos de conductividad dependiendo del tipo de sales.

Los niveles de sal en el extracto de saturación, no es la solución real ni exacta en el suelo. Es necesario obtener una CE del suelo que facilite estudiar cuales son las consecuencias de la salinidad de los suelos sobre los cultivos, que será la que estará en contacto con el sistema radicular de las plantas. Para establecer los límites de la salinidad del suelo es necesario a capacidad de campo y punto de marchitez, ya que la salinidad puede variar con la humedad de una extensión de terreno.

Además, también es importante saber cuál es la porosidad, la capacidad de campo y el punto de marchites, puesto que quedan expuestos los límites de salinidad bajo los que las plantas podrían ser sometidas. (Simón , Peralta, & Costa, 2013)

Tabla 1: Conductividad Eléctrica de algunos fertilizantes comerciales en una disolución con 0.5 g/l de agua.

<i>Fertilizante</i>	<i>C.e μS/cm</i>	<i>pH</i>
<i>Nitrato de calcio</i>	605	6.6
<i>Nitrato de amonio</i>	850	5.4
<i>Sulfato de amonio</i>	1033	7.5
<i>Nitrato de potasio</i>	693	6.2
<i>Sulfato de potasio</i>	880	5.0
<i>Nitrato de magnesio</i>	448	4.1
<i>Cloruro de potasio</i>	948	4.5

Fuente: (Díaz & Guzmán, 2004)

2.2. Fertirriego en el cultivo de Banano

El fertirriego es un sistema de suministro de fertilizantes con alta solubilidad en el agua por medio del riego que permite proporcionar nutrientes a la planta que van directamente al bulbo de humedecimiento, lugar donde se encuentran la mayor cantidad de raíces absorbentes, lo cual este sistema permite una mayor eficiencia del uso del agua y fertilizante, mejorando su repartición y colocación. (Aguilar Macas, 2021)

Los grandes avances agrícolas en diversos países en los últimos años, muestran que cada vez son más los casos exitosos en el desarrollo y crecimiento de la agricultura tecnificada que incorporan en sus procesos sistemas tecnificados de fertirriego. Un sistema de fertirriego con un adecuado diseño agronómico, hidráulico, manejo técnico adecuado, sistema de monitoreo y mantenimiento preventivo generan resultados evidentes, incrementa el rendimiento y la calidad en el cultivo de banano debido a sus múltiples beneficios como la alta eficiencia agronómica de los fertilizantes solubles de fertirriego o su uso en campo abierto aún en épocas o zonas con lluvias, entre otras. (Romo P, 2019)

La aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos en sistemas de riego presurizados, implica una serie de consideraciones e inversiones para que resulte una ventaja respecto a la eficiencia y no inconvenientes debido a un manejo inadecuado. En variadas ocasiones, los fertirriegos de la pequeña agricultura nacen de manera improvisada y carentes de un diseño, lo que puede generar problemas asociados a malas prácticas como mezclas incompatibles, desequilibrios, descontrol de parámetros básicos como pH, etc. (Sepúlveda M., 2016)

2.3. Fertilizantes para Fertirriego

Para utilizar un fertilizante a través del sistema de riego es necesario conocer la composición de los productos y la solubilidad de cada uno de ellos. De acuerdo a normas internacionales, el nombre de cada compuesto va seguido de un paréntesis con tres números. El primero indica el contenido de nitrógeno en porcentaje (%), el segundo indica el contenido de fósforo en la forma de P₂O₅ (%) y el tercero el contenido de potasio en la forma de K₂O (%).

En fertiirrigación se pueden combinar dos o más fertilizantes, sin embargo, puede volverse menos soluble la mezcla final. Los productos de baja solubilidad o menos solubles no deben ser utilizados, ya que producirán problemas de taponamientos de los emisores, desuniformidad de los sistemas de riego y, por lo tanto, problemas productivos al no cumplir con los requerimientos de demanda del cultivo.

Algunos fertilizantes se disuelven muy bien, como es el caso de la urea, el nitrato de calcio, el nitrato de sodio. Otros son de mediana solubilidad como el cloruro de potasio, fosfato diamónico y nitrato de amonio. Los menos solubles son el sulfato de calcio, el superfosfato triple, superfosfato normal y sulfato de hierro. Existen en el mercado líneas

de fertilizantes solubles preparados para riego por goteo y que ser utilizados en sistemas de riego por aspersión, son comercializados por diferentes empresas químicas. (Ferreira E., y otros, 2005)

La entrega directa de fertilizantes a través del sistema de riego exige la utilización de fertilizantes solubles y sistemas de bombas e inyectores para introducir la solución nutritiva en el sistema de riego. Un pre requisito fundamental para el uso de fertilizantes sólidos en fertirriego es su completa disolución en agua. Sin embargo, algunos fertilizantes altamente solubles apropiados para su uso en fertirriego son: nitrato de amonio, cloruro de potasio, nitrato de potasio, urea, etc. (Ulloa, 2008) (Figura 1)

Fertilizante	Composición	Precauciones	Características
Amoniaco anhidro	82-0-0	Nunca inyectar en sistemas de microirrigación.	n/a
Solución de nitrato de amonio (AN-20) $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	20-0-0	Nunca mezcle la solución con ácidos concentrados.	Densidad – 1.29 kg/L Comúnmente utilizado en fertirrigación.
Urea solida $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	46-0-0	Nunca mezcle urea con ácido sulfúrico.	Solubilidad – 1 kg/L
Nitrato de calcio y amonio (CAN17) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$	17-0-0-8.8 Ca	No combinar con soluciones que contengan sulfatos / tiosulfato.	Densidad – 1.55 kg/L Efectivo para obtener alta calidad de frutos en algunos cultivos
Tiosulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$	12-0-0-26	No mezclar con ácidos ni aplicar en suelos de pH bajo.	Densidad – 1.33 kg/L Agente acidificante, ideal para el tratamiento de suelos calcáreos.
Quelatos metálicos	La mayoría de los micronutrientes metálicos deben estar quelados con EDTA, DTPA o EDDHA para evitar la precipitación.		Los metales quelados son muy efectivos en suelos alcalinos.
Ácido fosfórico H_3PO_4	0-54-0	Nunca mezcle ácido fosfórico con fertilizante de calcio.	Densidad– 1.69 kg/L El ácido verde es más común, pero es menos puro que el ácido blanco.
Nitrato de potasio KNO_3	13-0-44	Ninguna	Solubilidad– 0.133 kg/L Segunda fuente más popular de fertilizantes de potasio.
Tiosulfato de potasio (KTS) $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$	0-0-25-17 0-0-22-23	Las mezclas de KTS pueden tener un pH inferior a 6.	Contiene 0.36 kg/L K_2O and 0.25 kg/L S
Sulfato de potasio K_2SO_4	0-0-50	Ninguna.	Solubilidad - 0.12 kg / L Popular para la fertirrigación como buena fuente de azufre

Figura 2: Principales fertilizantes utilizados en Fertirriego

Fuente: (Martínez Sánchez, 2020)

2.4. Solubilidad y Compatibilidad de los Fertilizantes

2.4.1. Solubilidad en los Fertilizantes

La solubilidad es importante para seleccionar los fertilizantes a emplear ya que indicaría la cantidad máxima que se puede mezclar en un volumen determinado de agua. Para la incorporación de un fertilizante a un sistema de fertirriego, hay que preparar previamente una disolución concentrada, la cual va a ser inyectada en el sistema.

Por ende, es necesario conocer el grado de solubilidad del fertilizante, con el fin de saber la cantidad máxima del mismo que se puede añadir a una determinada cantidad de

agua. Esta solución va a depender sobre todo de la temperatura del agua: a mayor temperatura corresponde mayor solubilidad. (Ramos, 2014)

2.4.2. Compatibilidad en los Fertilizantes

La mezcla entre fertilizantes no compatibles y la interacción de los fertilizantes con el agua de riego, especialmente si son aguas duras o alcalinas, pueden ocasionar la formación de precipitados en el tanque de fertilización y la obstrucción de goteros y filtros. Estos problemas son evitados por medio de una elección correcta de los fertilizantes e implementando un manejo adecuado.

El uso de tanques de fertilización permite separar a los fertilizantes que interactúan, separando los fertilizantes con calcio, magnesio y microelementos de los fertilizantes con fósforo y sulfato, evitando así la formación de precipitados (Calvache Ulloa, 2004) (Figura 2).

Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Sulfato de amonio	Nitrato de amonio calcico	Nitrato de potasio y sodio	Nitrato de calcio	Cianamida de calcio	Urea	Superfosfato triple	Fosfato de amonio	Escoria básicas	Fosfatos Rhenania	Hiperfosfatos	Carbonato de calcio	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
														1 Cloruro de potasio
														2 Sulfato de potasio
														3 Sulfato de amonio
														4 Nitrato de amonio calcico
														5 Nitrato de potasio y sodio
														6 Nitrato de calcio
														7 Cianamida de calcio
														8 Urea
														9 Superfosfato triple
														10 Fosfato de amonio
														11 Escoria basicas
														12 Fosfatos Rhenania
														13 Hiperfosfatos
														14 Carbonato de calcio

Compatible.
 Compatibilidad limitada
 Incompatible

Figura 3: Compatibilidad de los fertilizantes solubles utilizados en el Fertirriego.

Fuente: (Guerrero Riascos, 2004)

2.5. Ventajas del Fertirriego

Según (Bermúdez, 2005) las ventajas son las siguientes:

- Los nutrientes son aplicados en forma exacta y uniforme, sólo al área humedecida, donde se concentran las raíces.

- Existe un mejor control de la dosis de nutrientes, reduciendo el potencial de toxicidad al cultivo y, por ende, los costos.
- Permite aplicar los nutrientes en cualquier etapa del cultivo.
- Reduce los costos de mano de obra y aumenta la eficiencia del fertilizante.
- Permite adecuar la cantidad y la concentración de los nutrientes de acuerdo con su demanda, durante las diferentes etapas de crecimiento del cultivo.
- Incrementa los rendimientos, la calidad e inocuidad del producto final.
- Reduce el potencial de contaminación de aguas subterráneas por lixiviación de fertilizantes.

2.6. Desventajas del Fertirriego

Según (Martínez Sánchez, 2020), las desventajas son las siguientes:

- La corrosión puede dañar componentes metálicos del sistema, como tuberías de acero no protegidas, válvulas, filtros y unidades de inyección.
- Los fertilizantes inyectados al sistema de riego pueden causar posibles problemas ambientales si no se utilizan e inyectan de manera adecuada.
- Mayor costo de inversión inicial del sistema de riego al incluir un sistema de inyección y control de fertilización (instalaciones y equipos).
- Mayores habilidades requeridas del personal para el manejo adecuado de los equipos de inyección y manejo de fertilizantes.
- Necesidad de un sistema de riego con buena uniformidad para garantizar la correcta distribución de la solución regante en el suelo.
- Necesidad de utilizar fertilizantes con propiedades adecuadas para fertirriego (solubilidad, pureza, etc.).
- Posible riesgo de falta de micronutrientes por la pureza de los fertilizantes líquidos solubles.
- Riesgo de obturaciones de goteros por precipitados, con el consiguiente incremento en el costo de la unidad fertilizante al usar fertilizantes solubles y compatibles con el agua de riego para evitar precipitados, y la necesidad de lavado del sistema de riego.

2.7. Geoestadística

La geoestadística se refiere al conjunto de técnicas estadísticas utilizadas para el estudio de variables numéricas distribuidas en el espacio. La geoestadística se ha convertido en

una herramienta útil para explicar la variación de propiedades en el espacio y su uso se ha generalizado recientemente donde se analizan hechos geográficos, debido a la posibilidad de conocer, entre otros, el rango de influencia de la propiedad, estimar su valor en sitios donde no existe información y, por último, calcular el error de la estimación efectuada. El uso de esta herramienta se fundamenta en el cálculo de la semivarianza y el semivariograma. (Gómez, 2012)

Cuando existe variabilidad que no se puede relacionar con causas conocidas estas se definen como variabilidad aleatoria o al azar, en cambio cuando se puede atribuir a causas conocidas, entendibles y predecibles se la conoce como variabilidad sistemática. Esta última está compuesta por dos componentes: uno de tendencia que se relaciona a la localización de las muestras se las conoce como tendencia espacial (T) y otro de dependencia espacial (DE). (Guedes, 2014)

2.7.1. Etapa del análisis Geoestadístico

Según (Dörner, 2016), n análisis geoestadístico está compuesto por tres etapas:

- El análisis exploratorio de los datos
- El análisis estructural
- Las predicciones (kriging o simulaciones)

2.7.1.1. Análisis exploratorio de Datos (AED)

El A.E.D. proporciona métodos sistemáticos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallos en el diseño y recogida de los mismos, tratamiento y evaluación de datos ausentes (missing), identificación de casos atípicos (outliers) y comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas multivariantes (normalidad, linealidad, homocedasticidad). (Salvador Figueras, 2003)

2.7.1.2. Análisis Estructural de Datos

El análisis estructural es uno de los tópicos más importantes de la geoestadística puesto que se encarga de la caracterización de la estructura espacial de una propiedad o fenómeno regionalizado. Es el proceso en el marco del cual se obtiene un modelo geoestadístico para la función aleatoria que se estudia.

En pocas palabras podemos decir que el análisis estructural consiste en estimar y modelar una función que refleje la correlación espacial de la variable regionalizada a partir de la adopción razonada de la hipótesis más adecuada acerca de su variabilidad.

Esto quiere decir, que en dependencia de las características de estacionalidad del fenómeno se modelará la función de covarianzas o la de semivarianza. (Díaz Viera, 2002)

2.7.1.3. Semivarianza

La semivarianza describe el componente de dependencia espacial, se inicia el proceso del cálculo al momento de comparar dos sitios dentro de una zona de estudio, esta solo va a depender de la distancia o la dirección de separación entre los dos sitios sin tomar en cuenta su localización geográfica. La semivarianza aumentará su valor al irse incrementando la distancia de separación entre los puntos de muestreo hasta llegar a un valor constante a partir de una determinada distancia. (Jaramillo, 2008)

Para la estimación de la semivarianza se utiliza la siguiente ecuación.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h)]^2$$

Fuente: (Oliver, 2010)

Donde:

$\gamma(h)$: es la semivarianza,

$N(h)$: es el número de pares de observaciones comparadas en cada distancia (debe ser > 50),

$Z(x_i)$: es el valor de la variable en el sitio x ,

$Z(x_i + h)$: es el valor que toma la variable en otro sitio ubicado a una distancia h del sitio x

2.7.1.4. Semivariograma

El semivariograma es la herramienta principal que permite describir el comportamiento de la variación espacial de un fenómeno. A través de un análisis exploratorio y con base en el modelo del variograma se busca estructura en el comportamiento del fenómeno. Posteriormente, el modelado del variograma se ajusta a un modelo teórico que será utilizado en el modelo de interpolación de la variable. (Porrás Velásquez, 2017)

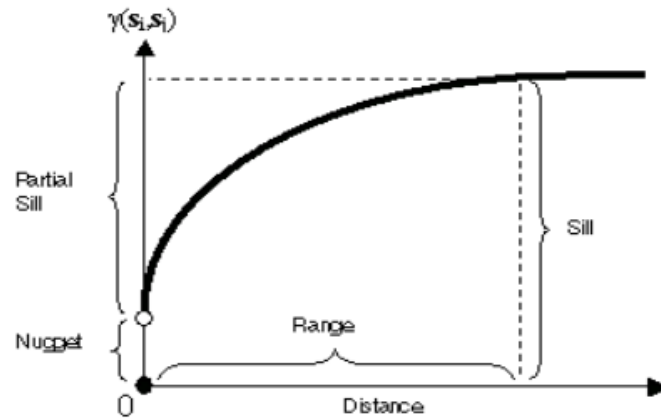


Figura 4: Semivariograma

El semivariograma representa la tasa media de cambio de una propiedad con la distancia. Dos observaciones que estén más próximas serán más parecidas que si estuvieran más distantes. La dependencia espacial disminuye a medida que se incrementa la distancia h y, finaliza a una cierta distancia, el alcance. Más allá del alcance la tasa media de cambio es independiente de la separación entre las observaciones. La autocorrelación de la variable sólo aparece dentro del alcance del semivariograma.

Nugget, efecto pepita o variabilidad aleatoria (C_0): Por lo general, el efecto nugget es una discontinuidad de salto en el origen conocido también como efecto pepita, representa la discontinuidad en el semivariograma para distancias que sean menores que la menor distancia dada entre los puntos muestrales. Esta discontinuidad se puede dar también debido a errores en la medición o a una pobre precisión analítica.

Sill, umbral o meseta (C_0+C): Es la cota superior del semivariograma. También puede definirse como el límite del semivariograma cuando la distancia h tiende a infinito. La meseta puede ser o no finita. Los semivariogramas que tienen meseta finita cumplen con la hipótesis de estacionariedad fuerte; mientras que cuando ocurre lo contrario, el semivariograma define un fenómeno natural que cumple sólo con la hipótesis intrínseca.

La meseta se denota por $(C_0 + C)$ cuando la pepita es diferente de cero. Si se interpreta la pepita como un error en las mediciones, esto explica porque se sugiere que en un modelo que explique bien la realidad, la pepita no debe representar más del 50% de la meseta. (Giraldo Henao, 2005)

Rango o alcance (a): En términos prácticos corresponde a la distancia a partir de la cual dos observaciones son independientes. El rango se interpreta como la zona de influencia. Existen algunos modelos de semivariograma en los que no existe una distancia finita para la cual dos observaciones sean independientes; por ello se llama rango efectivo a la distancia para la cual el semivariograma alcanza el 95% de la meseta. Entre más pequeño sea el rango, más cerca se está del modelo de independencia espacial. El rango no siempre aparece de manera explícita en la fórmula del semivariograma. (Giraldo Henao, 2005)

Los que mayor se ajustan con frecuencia a las propiedades químicas del suelo que presentan dependencia espacial son el esférico y el exponencial, deben preferirse sobre los demás. (Oliver, 2010)

- Modelo Lineal: modelo de independencia, indica carencia de dependencia espacial entre las observaciones de una variable.
- Modelo esférico: presenta un crecimiento rápido cerca del origen, pero los incrementos marginales van disminuyendo para distancias grandes. A las distancias superiores al rango, los incrementos son nulos.
- Modelo exponencial: cuando tiene un crecimiento exponencial la dependencia espacial respecto a la distancia entre las observaciones, los valores del rango son iguales a la distancia en donde el semivariograma toma un valor igual al 95% de la meseta.
- Modelo gaussiano: similar al modelo exponencial, la dependencia espacial desaparece solo en distancias que tienden al infinito. Presenta una forma parabólica cerca del origen.

El grado de dependencia espacial es muy variable en las propiedades del suelo, si se establece el porcentaje que le corresponde a la variabilidad aleatoria (nugget) de una propiedad dentro de la variabilidad total (sill) puede estimarse el grado de dependencia espacial. (Cambardella, 1994), establecieron tres categorías para agrupar la importancia de la variabilidad espacial de acuerdo con dichos porcentajes se tiene:

- Fuerte dependencia espacial nugget < 25 % del sill
- Moderada dependencia espacial nugget entre 25 y 75 % del sill
- Débil dependencia espacial nugget > 75 % del sill.

2.7.2. Método de Interpolación

2.7.2.1. Kriging

Kriging es la técnica de interpolación utilizada en geoestadística, su fortaleza estriba en el conocimiento del comportamiento de la variable en el espacio. Así, la forma del semivariograma nos indica la capacidad predictora que tiene cada punto en función de la distancia que lo separa con otro punto.

Los puntos más allá del rango, es decir cuando el semivariograma se vuelve plano, tienen la mínima capacidad predictora. A la hora de realizar un kriging hay que, además de suministrar los parámetros del semivariograma isotrópico o los anisotrópicos, decidir la estrategia adecuada para la selección de puntos para la interpolación.

Si el número de valores en el espacio es suficiente, disminuir el radio de búsqueda de puntos puede ser la mejor estrategia, ya que evita problemas de estacionariedad, aunque hay que procurar que el radio de búsqueda no sea inferior al rango, ya que no se utilizaría toda la información que proporciona el semivariograma. Otra decisión a tomar es el tipo de interpolación: puntual o por bloques.

El resultado final del kriging es un mapa con los valores interpolados de la variable. Sin embargo, a diferencia de otras técnicas, la geoestadística permite que cada interpolación lleve asociado un grado de incertidumbre que puede también ser representado en el espacio (en forma de varianza o desviación estándar). Por tanto, a cada punto del espacio interpolado se le puede asociar una distribución teórica, lo que además permite. (Gallardo, 2006)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El área donde se realizó la investigación fue en la Finca La Márquez, la cual se encuentra ubicada en la parroquia La Peña del Cantón Pasaje, ubicada en el Km 15 de la vía Machala – Pasaje, provincia de El Oro.

3.1.1. Ubicación Geográfica

El Sitio de estudio, se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas geográficas:

Datum: WGS84; Zona: 17 Sur

Latitud: 620701

Longitud: 9636128

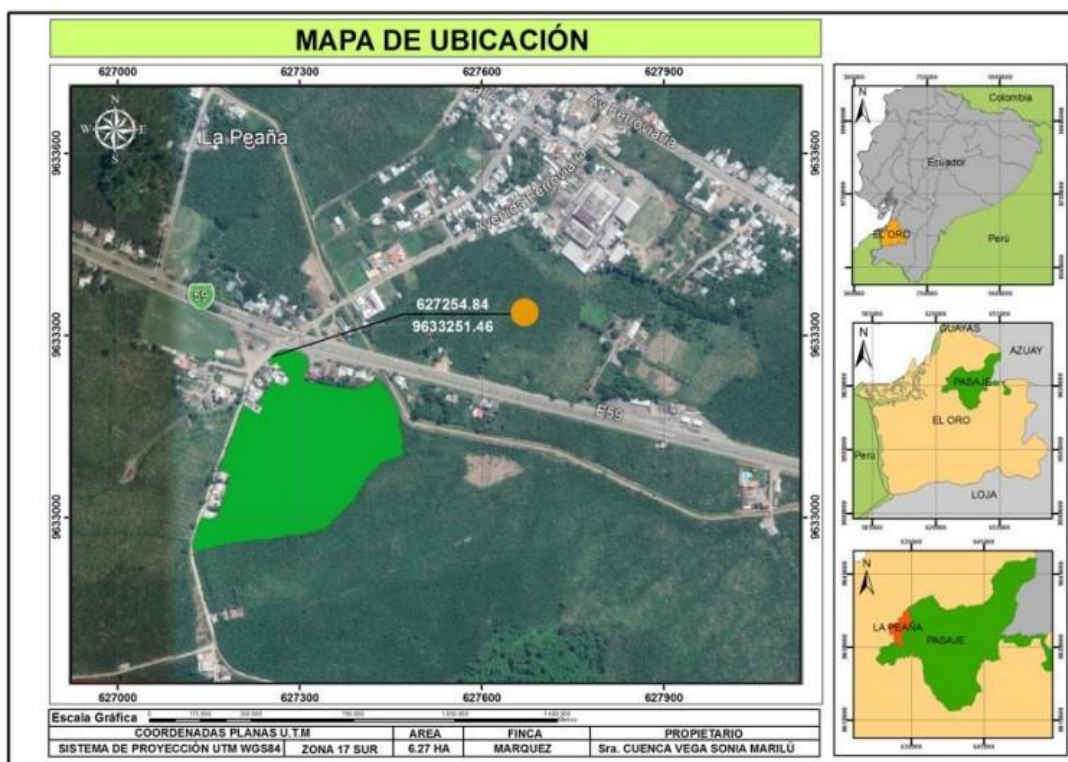


Figura 5: Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Autor

3.1.2. Características Climáticas

La zona de estudio corresponde a un bosque tropical, una temperatura media mensual de 26 °C, una precipitación que oscila entre 200 – 1000 mm anuales, velocidad media de vientos 2 a 4 m* s-1, 2.8 promedio de horas sol y una humedad relativa de 83%. Esta

zona se caracteriza por tener suelos de origen aluvial por afectaciones del río Jubones, su topografía es plana a ligeramente ondulada. (Cañadas Cruz, 1983)

3.2. Diseño Experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques completamente al azar, se distribuyen las unidades experimentales en bloques o grupos, de tal forma que las unidades experimentales dentro de un bloque sean homogéneas, pero que entre grupos haya heterogeneidad y que en el número de unidades experimentales dentro de un bloque sea igual al número de tratamientos por investigar.

Los bloques fueron constituidos por áreas en la finca y dentro de cada bloque estaban los diferentes tratamientos de las unidades experimentales. De esta forma se redujo y se controló la varianza del error experimental para una mayor precisión.

Se implementó el tratamiento de sistema de aplicación de fertilizante, el cual fue: Fertirriego, el mismo contiene un área de 0,9 ha. En el mismo, se realizó el presente proyecto de investigación.

3.2.1. Tratamiento Fertirriego

Las fuentes y concentraciones de los elementos que se aplicaron en el tratamiento de fertirriego fueron las siguientes:

- Nitrato de Amonio con 3 kg ha⁻¹, MOP con 9 kg ha⁻¹, Sulfato de Magnesio con 7 kg ha⁻¹, Yara Rega Azutek con 22 kg ha⁻¹ y YaraLive Calcinit con 11 kg ha⁻¹.

Los fertilizantes aplicados en el tratamiento se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2: Fuente de elementos kg ha⁻¹ para el tratamiento fertirriego.

<i>Fertirriego</i>	
<i>Fertilizantes</i>	Kg ha⁻¹
<i>Nitrato de Amonio</i>	3
<i>MOP</i>	9
<i>Sulfato de Magnesio</i>	7
<i>Yara Rega Azutek</i>	22
<i>YaraLive Calcinit</i>	11

Fuente: El Autor

3.3. Manejo del Experimento

Para la realización del experimento se utilizaron los siguientes estudios:

- Análisis de suelos
- Macronutrientes
- Fertilizantes a utilizar y su composición
- Dosis de riego

3.4. Materiales y Métodos

3.4.1. Materiales

- Barreno
- Bolsas herméticas (26.8cm * 27.3cm)
- Etiquetas
- Libreta de Apuntes
- Lápiz
- Marcador

3.4.2. Equipos

- GPS
- Balanza Gramera
- Medidor de pH
- Medidor de Conductividad Eléctrica
- Software de SPSS

3.5. Variables medidas en el suelo del cultivo de banano

La toma de datos se realizó de la siguiente forma, la toma de muestras para medir la conductividad eléctrica y pH se tomaron 28 muestras en el tratamiento de fertirriego, las mismas fueron tomadas cada 15 días.

También se hizo la toma de 3 muestras de suelo del tratamiento de fertirriego para realizar un respectivo análisis de suelo para evaluar la evolución de los Macronutrientes en el suelo bajo el efecto del tratamiento de fertirriego, el mismo constaba en 3 etapas; al principio, mitad y final del proyecto de investigación. Todo esto se realizó en 3 meses (Julio, Octubre y Enero).

3.5.1. Registro de datos de pH

La determinación del valor de pH es probablemente una de las mediciones químicas más importante que se puede hacer en el suelo. A pesar de su simplicidad, no sólo indica si el mismo es ácido, neutro o alcalino, sino que aporta una información básica

para conocer su potencial agrícola, estimar la disponibilidad de nutrientes esenciales y la toxicidad de otros elementos. (Kloster & Azcarate, 2008)

Se determinó el valor de pH. Se utilizó agua destilada con pH 6,5 y un pehachímetro marca HANNA Instruments Combo, modelo hi 98127. El electrodo se calibró con soluciones HANNA Instruments de pH 4.01 y 7.01. Se tomó una cantidad de muestra hasta los 2/3 del volumen del recipiente, se añadió agua destilada hasta formar una pasta saturada, se dejó en reposo durante 1 hora y se procedió a realizar la medida de pH sumergiendo el electrodo en la pasta disuelta en el agua destilada. Para la medida de pH se pesaron 10 g de suelo, se añadieron 30 ml de agua, se agitó por 30 segundos y se dejó en reposo durante 1 hora, posteriormente se determinó el pH del suelo introduciendo el electrodo en la solución.



Figura 6: Pehachímetro y Conductímetro HANNA INSTRUMENTS Combo, modelo hi 98127.

Fuente: Autor

3.5.2. Registro de datos de Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) de mezclas de suelo-agua indica la cantidad de sales presentes en el suelo. Todos los suelos contienen algo de sales, las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, un exceso de sales inhibe el crecimiento de las plantas al afectar el equilibrio suelo-agua. Suelos que contengan exceso de sales aparecen naturalmente y también como resultado del uso y manejo del suelo. Las mediciones de conductividad eléctrica detectan la cantidad de cationes o aniones (sales) en solución. Cuanto mayor es la cantidad de aniones o cationes tanto mayor es la lectura

de la conductividad eléctrica. Los iones generalmente asociados con salinidad son Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , H^+ (cationes) ó NO_3^- , SO_4^- , Cl^- , HCO_3^- , OH^- (aniones). (Luters & Salazar, 2000)

Se utilizó agua destilada con pH 6,5 y conductividad 6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, también un conductímetro que también hace la función de medir pH marca HANNA Instruments Combo, modelo hi 98127. Se tomó una cantidad de muestras hasta $2/3$ del recipiente, luego se procedió añadir agua destilada hasta formar una pasta saturada, se dejó en reposo durante 1 hora y se procedió a realizar la medición de conductividad eléctrica sumergiendo el conductímetro en la pasta. Para la medida de ce se pesaron 10 g de suelo, se añadieron 30 ml de agua, se agitó por 30 segundos y se dejó en reposo durante 1 hora, posteriormente se determinó la ce del suelo introduciendo el electrodo en la solución.

3.5.3. Registro de toma de muestras para análisis de suelo

El análisis de suelos es una herramienta de gran utilidad para diagnosticar problemas nutricionales y establecer recomendaciones de fertilización. Entre sus ventajas se destaca por ser un método rápido y de bajo costo, que le permite ser utilizado ampliamente por agricultores y empresas. (Molina, 2007) Los resultados de un análisis de suelo deben interpretarse teniendo en cuenta la metodología empleada y calibrada con respecto al rendimiento del cultivo en campo, con datos de referencia para condiciones locales. (Schweizer Lassaga, 2011)

La toma de muestra para el análisis de suelo está compuesta por 9 muestras en total, es decir, 3 muestras por cada mes de julio, octubre y enero en el tratamiento de fertirriego. Se tomó las muestras en forma de zigzag partiendo de un punto situado a 4 m dentro del radio de descarga del aspersor.



Figura 7: Toma de muestras de suelo para análisis de suelo.

Fuente: Autor

La profundidad de la toma de muestra generalmente se realizó a 20 cm. }

Cada muestra consta de 20 a 22 submuestras aproximadamente, una vez recolectadas todas las submuestras, se procedió a colocarlas en bolsas herméticas para poder realizar una homogeneización de las mismas, el objetivo es que se mezclen bien para de esto obtener la muestra final que será enviada a laboratorio, la cantidad final mínima es de 1 kilo por cada muestra.

Al final en cada muestra se pone la respectiva etiqueta con letra legible, esta información fue usada para el seguimiento y en la entrega de resultados.

Las fuentes y concentraciones de los elementos que se aplicaron en el tratamiento de Fertirriego fueron las siguientes: Nitrato de Amonio con 3 kg ha-1, MOP con 9 kg ha-1, Sulfato de Magnesio con 7 kg ha-1, Yara Rega Azutek con 22 kg ha-1 y YaraLive Calcinit con 11 kg ha-1.

Los fertilizantes aplicados en el tratamiento se pueden observar en la Tabla

Tabla 3: Fuente de elementos en kg ha-1 para el tratamiento fertirriego.

Fertirriego

<i>Fertilizantes</i>	<i>Kg ha⁻¹</i>
<i>Nitrato de Amonio</i>	3
<i>MOP</i>	9
<i>Sulfato de Magnesio</i>	7
<i>Yara Rega Azutek</i>	22
<i>YaraLive Calcinit</i>	11

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Análisis exploratorio de las propiedades químicas del suelo

El diagrama de cajas y bigotes permite comparar dispersión que presenta para las variables evaluadas en el caso de comparar los nutrientes se determinó que para el contenido de magnesio (meq/100g) en el mes de julio se presentó una media de 3,26, en el mes de octubre se presentó una media superior de 7,18 y para enero los valores incrementaron en la media presentándose una media de 9,46.

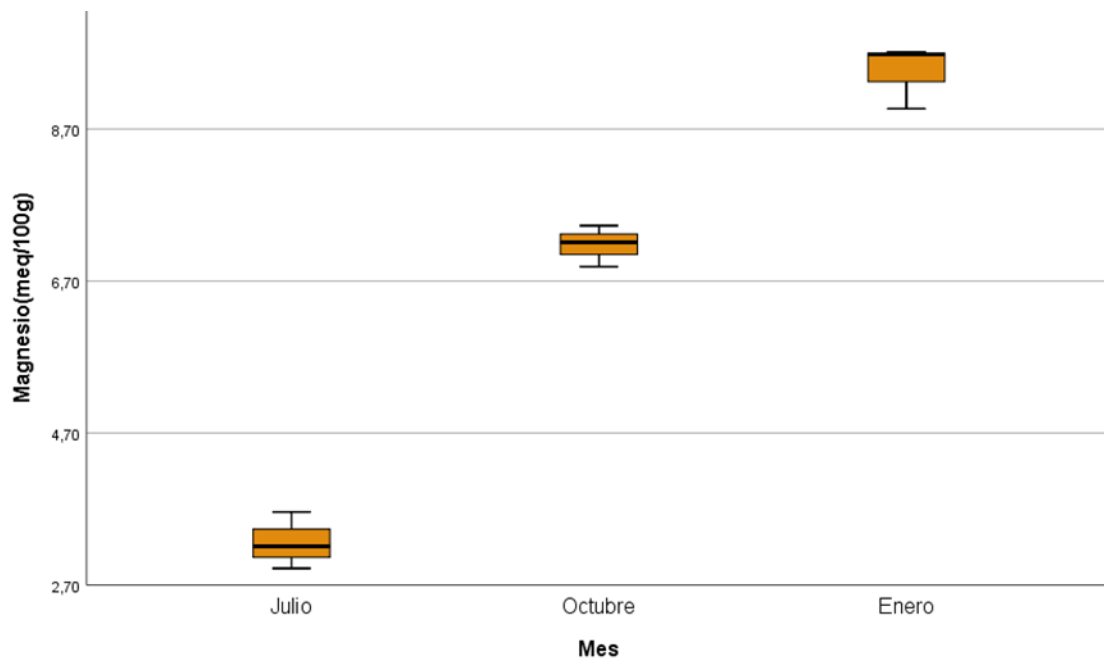


Figura 8: Diagrama de caja y bigote para el contenido de magnesio (meq/100g).

Se determinó que para el contenido de calcio (meq/100g) en el mes de julio se presentó una media de 18,01, en octubre se presentó una media superior de 29,59 y para enero los valores incrementaron en la media presentándose una media de 41,97.

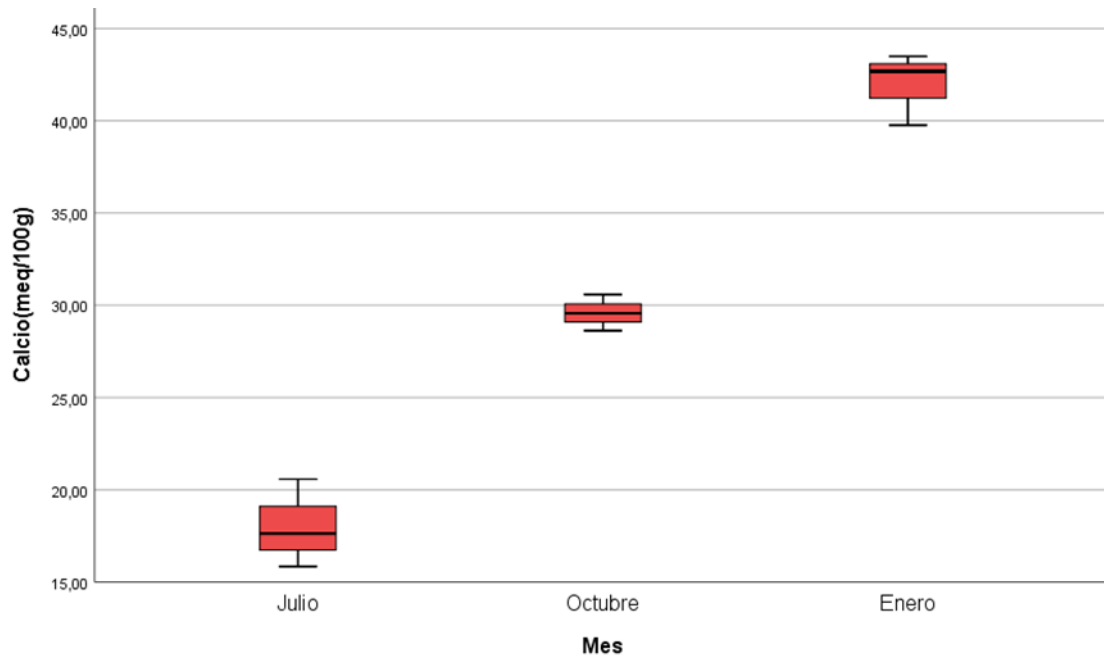


Figura 9: Diagrama de caja y bigote para el contenido de calcio (meq/100g).

En el caso del potasio se determinó que para el contenido (meq/100g) en el mes de julio se presentó una media de 0,98, en octubre se presentó una media superior de 1,99 y para enero los valores incrementaron en la media presentándose una media de 3,28.

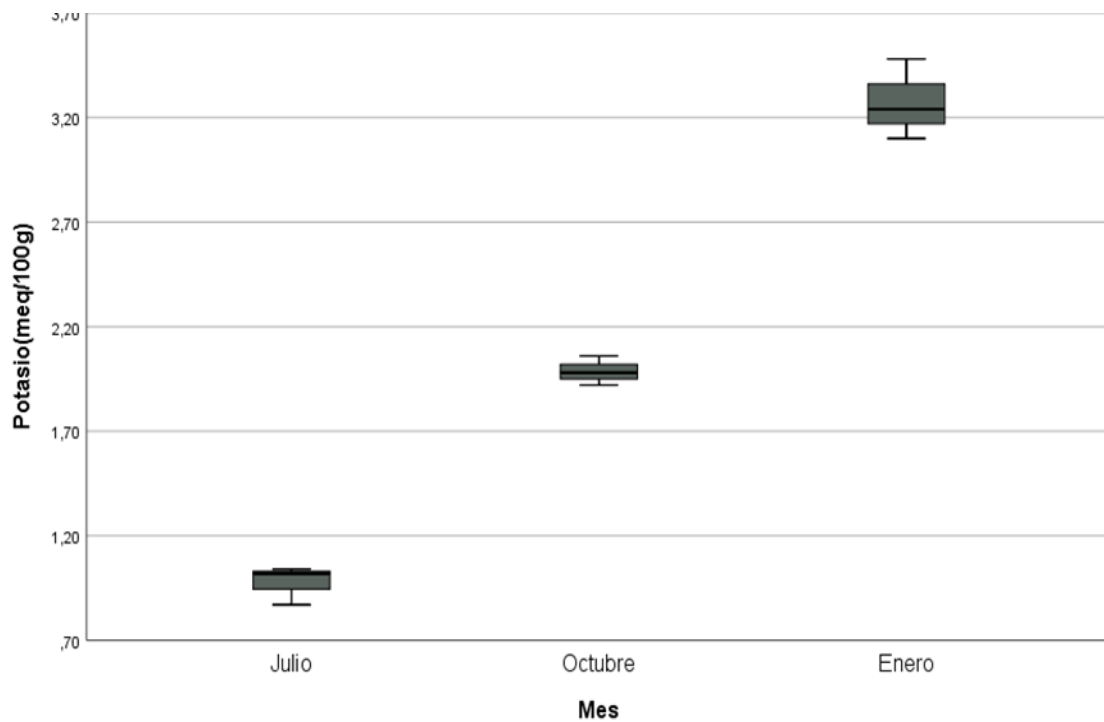


Figura 10: Diagrama de caja y bigote para el contenido de potasio (meq/100g).

En cambio, el contenido de sodio se determinó que para el contenido en (meq/100g) en el mes de julio se presentó una media de 0,9 en octubre se presentó una media superior de 0,84 y para enero los valores incrementaron en la media presentándose una media de 1,09.

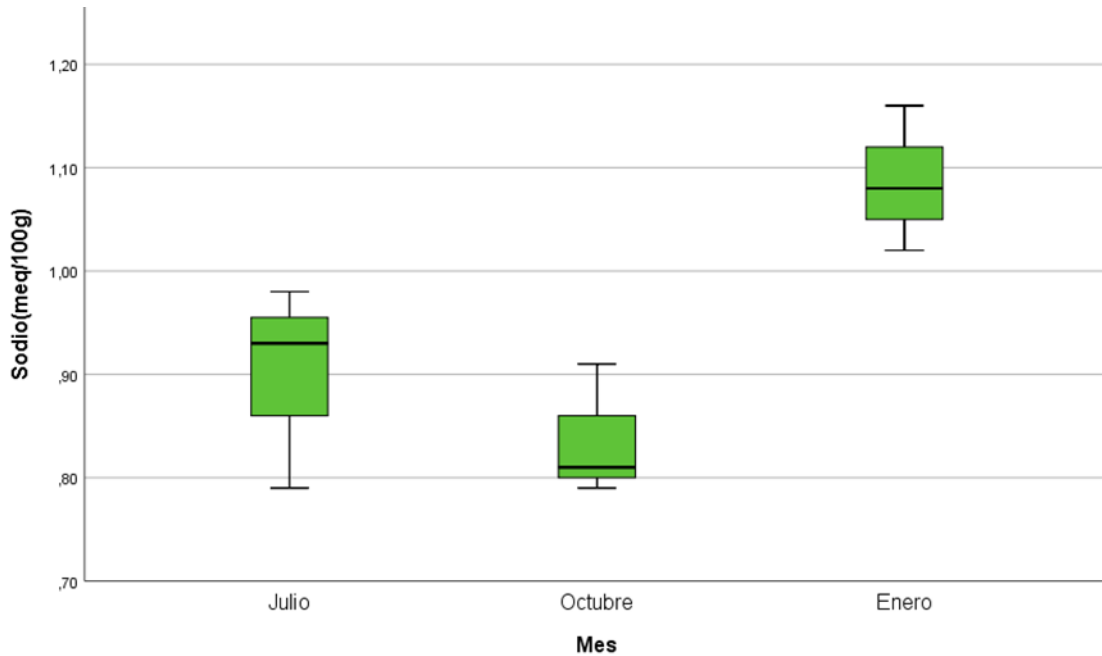


Figura 11: Diagrama de caja y bigote para el contenido de sodio (meq/100g).

Para ello, el contenido de nitrógeno se determinó que para el contenido en (% total) en el mes de julio se presentó una media de 0,05 en octubre se presentó una media superior de 0,25 y para enero los valores incrementaron en la media presentándose una media de 0,37.

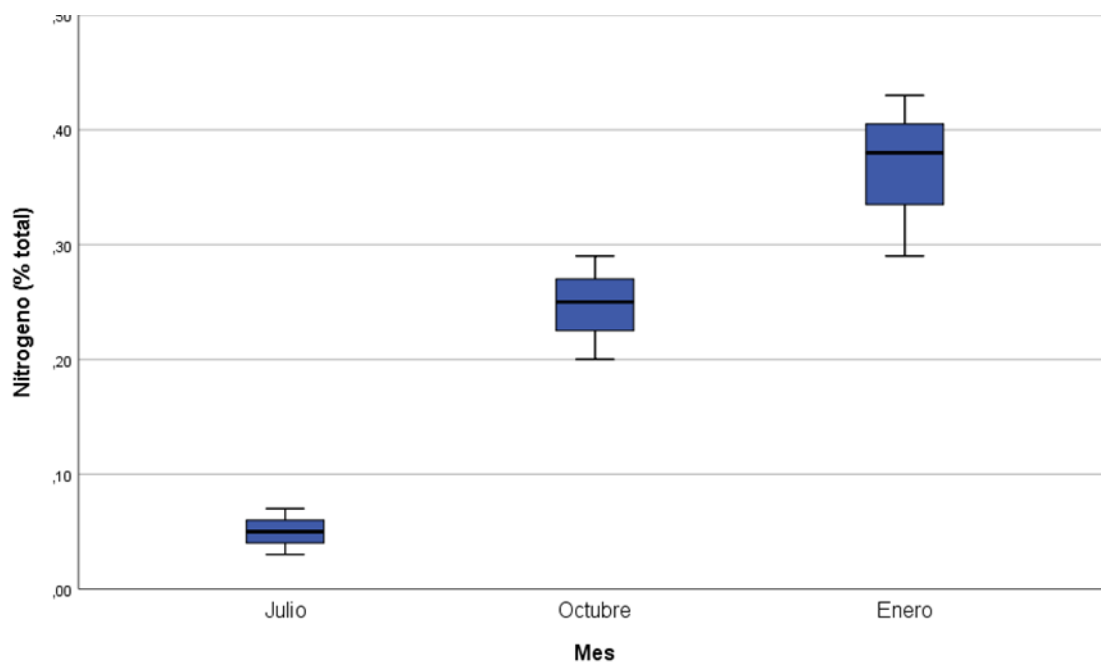


Figura 12: Diagrama de caja y bigote para el contenido de nitrógeno (meq/100g).

En este sentido, en el contenido de fosforo se determinó que para el contenido em (meq/100g) en el mes de julio se presentó una media de 41,33 en octubre se presentó una media superior de 53,67 y para enero los valores incrementaron en la media presentándose una media de 66,67.

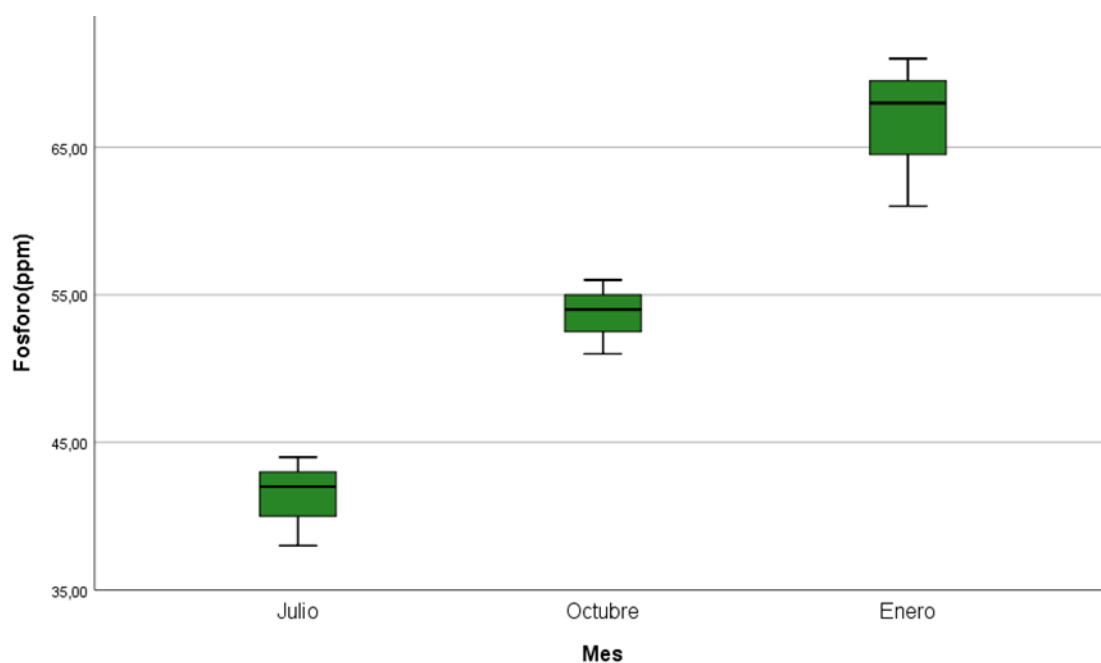


Figura 13: Diagrama de caja y bigote para el contenido de fosforo (meq/100g).

A su vez se determinó el pH en donde no hubo un comportamiento igual que en los nutrientes en el suelo, pues vario sus datos pues en julio fue 7,63, octubre 7,77 y finalmente 7,61 así no se evidencio un cambio variante entre sí.

De los resultados obtenidos, se evidencia que los aportes de nutrientes a lo largo del fertirriego aumentan, a lo largo del radio de descarga del aspersor, y ello determinó un mejoramiento de la producción, al tener una mayor área radical que puede absorber los nutrientes del suelo

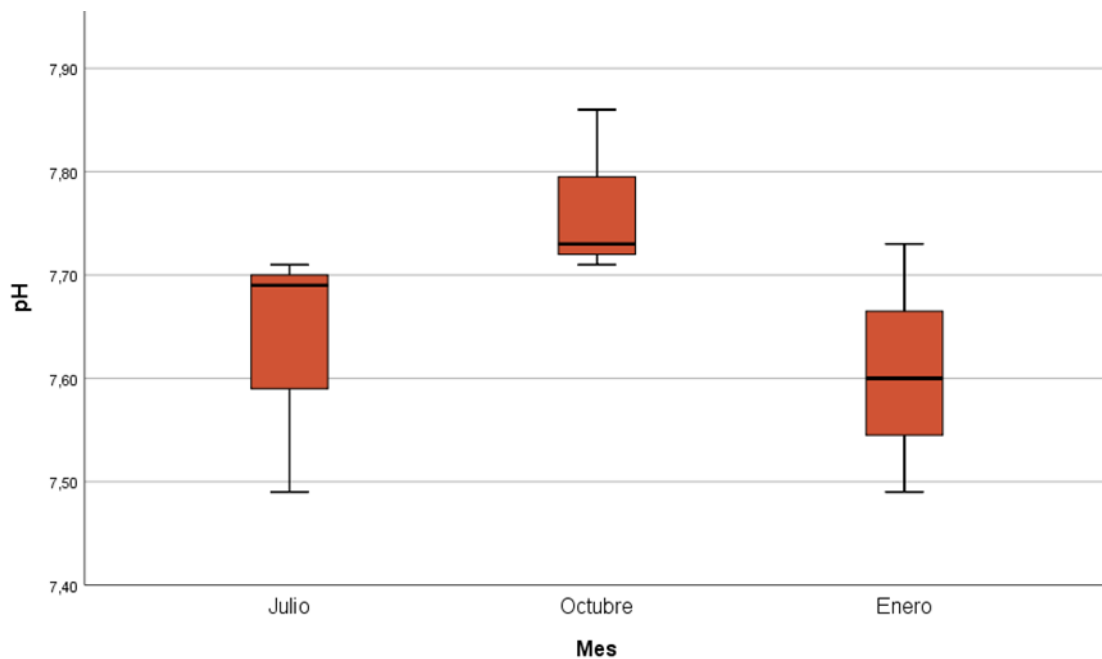


Figura 14: Diagrama de caja y bigote para el contenido de pH.

En este mismo sentido la CE no presento un comportamiento igual que en los nutrientes en el suelo, pues vario sus datos pues en julio fue 0,26, octubre 0,28 y finalmente 0,28 así no se evidencio un cambio variante entre sí.

En cambio, la evolución de los valores del pH y CE, presento un ligero descenso al final del ensayo debido a un mejor aprovechamiento de los fertilizantes por el sistema radicular del cultivo de banano.

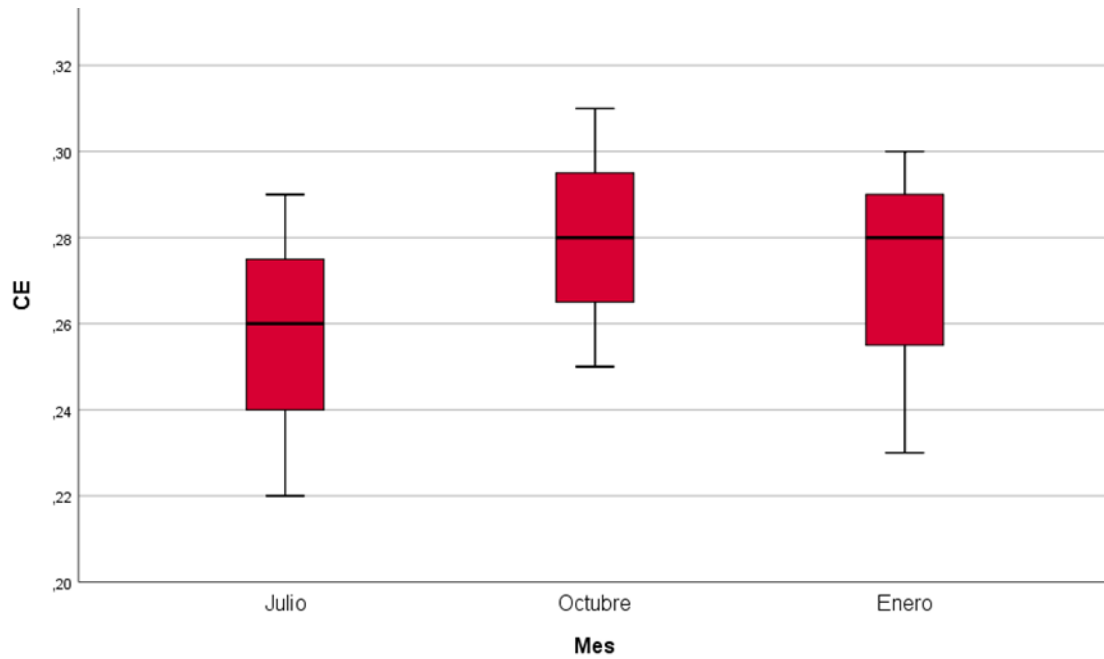


Figura 15: Diagrama de caja y bigote para el contenido de CE.

En cuanto a las pruebas estadísticas realizadas se realizaron pruebas de ANOVA de un factor y pruebas para conocer los subgrupos homogéneos de POST HOC con un enfoque previo que permita conocer cómo se distribuyen los datos, descrito como un estadístico descriptivo.

Tabla 4: Estadístico descriptivo para el pH, CE y nutrientes del suelo.

Estadísticos descriptivos								
Variable	Mes	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Magnesio(meq/100g)	Julio	3,2633	0,37287	0,21528	2,3371	4,1896	2,92	3,66
	Octubre	7,1767	0,27154	0,15677	6,5021	7,8512	6,89	7,43
	Enero	9,4567	0,42194	0,24361	8,4085	10,5048	8,97	9,72
	Total	6,6322	2,73065	0,91022	4,5333	8,7312	2,92	9,72
Calcio(meq/100g)	Julio	18,0133	2,38819	1,37882	12,0807	23,9459	15,84	20,57
	Octubre	29,5867	0,98027	0,56596	27,1515	32,0218	28,62	30,58
	Enero	41,9767	1,96195	1,13273	37,1029	46,8504	39,76	43,49

Potasio(meq/100g)	Total	29,858 9	10,5043	3,5014 3	21,784 6	37,933 2	15,84	43,49
	Julio	0,9767	0,09292	0,0536 4	0,7459	1,2075	0,87	1,04
	Octubre	1,9867	0,07024	0,0405 5	1,8122	2,1611	1,92	2,06
	Enero	3,2733	0,19218	0,1109 6	2,7959	3,7507	3,1	3,48
Sodio(meq/100g)	Total	2,0789	1,0032	0,3344	1,3078	2,85	0,87	3,48
	Julio	0,9	0,09849	0,0568 6	0,6553	1,1447	0,79	0,98
	Octubre	0,8367	0,06429	0,0371 2	0,677	0,9964	0,79	0,91
	Enero	1,0867	0,07024	0,0405 5	0,9122	1,2611	1,02	1,16
Nitrógeno (% total)	Total	0,9411	0,13176	0,0439 2	0,8398	1,0424	0,79	1,16
	Julio	0,05	0,02	0,0115 5	0,0003	0,0997	0,03	0,07
	Octubre	0,2467	0,04509	0,0260 3	0,1347	0,3587	0,2	0,29
	Enero	0,3667	0,07095	0,0409 6	0,1904	0,5429	0,29	0,43
Fosforo(ppm)	Total	0,2211	0,14504	0,0483 5	0,1096	0,3326	0,03	0,43
	Julio	41,333 3	3,05505	1,7638 3	33,744 2	48,922 5	38	44
	Octubre	53,666 7	2,51661	1,4529 7	47,415 1	59,918 3	51	56
	Enero	66,666 7	5,1316	2,9627 3	53,919 1	79,414 3	61	71
pH	Total	53,888 9	11,43945	3,8131 5	45,095 7	62,682	38	71
	Julio	7,63	0,12166	0,0702 4	7,3278	7,9322	7,49	7,71
	Octubre	7,7667	0,08145	0,0470 2	7,5643	7,969	7,71	7,86
	Enero	7,6067	0,12014	0,0693 6	7,3082	7,9051	7,49	7,73
CE	Total	7,6678	0,1207	0,0402 3	7,575	7,7606	7,49	7,86
	Julio	0,2567	0,03512	0,0202 8	0,1694	0,3439	0,22	0,29
	Octubre	0,28	0,03	0,0173 2	0,2055	0,3545	0,25	0,31
	Enero	0,27	0,03606	0,0208 2	0,1804	0,3596	0,23	0,3
	Total	0,2689	0,031	0,0103 3	0,2451	0,2927	0,22	0,31

Adicional para poder realizar una prueba de ANOVA se debe comparar las diferencias presentadas con las pruebas de homogeneidad con el fin de conocer si cumple con el

supuesto de aditividad con las pruebas realizadas se evidencio que si cumple con el supuesto propuesto.

Tabla 5: Prueba de homogeneidad y varianza para las variables evaluadas.

Prueba de homogeneidad de varianzas				
Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Magnesio(meq/100g)	0,548	2	6	0,604
	0,059	2	6	0,943
	0,059	2	3,94	0,944
	0,485	2	6	0,638
	1,217	2	6	0,36
Calcio(meq/100g)	0,411	2	6	0,68
	0,411	2	4,548	0,685
	1,145	2	6	0,379
	1,774	2	6	0,248
Potasio(meq/100g)	0,747	2	6	0,513
	0,747	2	4,062	0,529
	1,69	2	6	0,262
	0,508	2	6	0,626
Sodio(meq/100g)	0,136	2	6	0,876
	0,136	2	5,059	0,876
	0,469	2	6	0,647
	1,757	2	6	0,251
Nitrógeno (% total)	0,872	2	6	0,465
	0,872	2	3,54	0,492
	1,693	2	6	0,261
	1,175	2	6	0,371
Fosforo(ppm)	0,375	2	6	0,702
	0,375	2	4,015	0,709
	1,102	2	6	0,391
	0,326	2	6	0,734
pH	0,102	2	6	0,905
	0,102	2	4,928	0,905
	0,3	2	6	0,752
CE	0,119	2	6	0,89
	0,024	2	6	0,976
	0,024	2	5,502	0,976
	0,111	2	6	0,897

Finalmente, las pruebas de ANOVA para las variables indicaron que existen diferencias significativas entre el tratamiento para los nutrientes, para las variables nutricionales todas presentaron diferencias significativas contario con el pH del suelo y la CE, es decir se diferencia entre sí en función de los meses evaluados esto debido a que el p-

valor es menor al Alpha propuesto de 0,05 o cómo es decir un nivel de confianza del 95% en las pruebas estadísticas.

Tabla 6: ANOVA de un factor para la variable pH y CE.

ANOVA				
Variable	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig.
Magnesio(meq/100g)	58,87	29,435	225,959	0
Calcio(meq/100g)	861,695	430,848	122,94	0
Potasio(meq/100g)	7,95	3,975	236,147	0
Sodio(meq/100g)	0,101	0,051	8,101	0,02
Nitrógeno (% total)	0,153	0,077	30,808	0,001
Fosforo(ppm)	962,889	481,444	34,389	0,001
pH	0,045	0,022	1,875	0,233
CE	0,001	0	0,359	0,712

4.2. Análisis de variabilidad espacial del suelo

4.2.1. Análisis estructural de las propiedades químicas del suelo

Se realizó la elaboración del semivariograma de N, P, K, Ca, Mg, Na, pH, CE en el software Surfer que son una gráfica que relaciona la semivarianza de puntos de muestreo que analiza el comportamiento espacial de estas variables sobre un área determinada, es una gráfica que relaciona la semivarianza de los pares de puntos de muestreo en el eje de las (Y) que se encuentran separados a una distancia determinada eje de las (X). Se obtuvo un gráfico de puntos conocido como semivariograma experimental a este semivariograma se le ajusto un modelo matemático denominado semivariograma teórico, los modelos más ajustados para cada variable fueron: esférico figura **16, 17, 18, 19, 20, 23**, exponencial figura **21**, gaussiano figura **22**. Los parámetros del semivariograma que presenta cada una de las variables son: el sill que es el valor máximo de la semivarianza, el rango es la distancia hasta donde se estabiliza la semivarianza y también indica en todos los nutrientes, pH y CE la distancia hasta donde existe dependencia espacial el cual fue para las variables de 44,4 a 50, 4 m, los valores de semivarianza que no parten de cero se conocen como nugget figura **16, 17, 18, 19, 21, 22, 23**, estos valores se pueden atribuir a errores de medición de la variable, los mismos, representan la suma de los errores no espaciales, aleatorios o asociados.

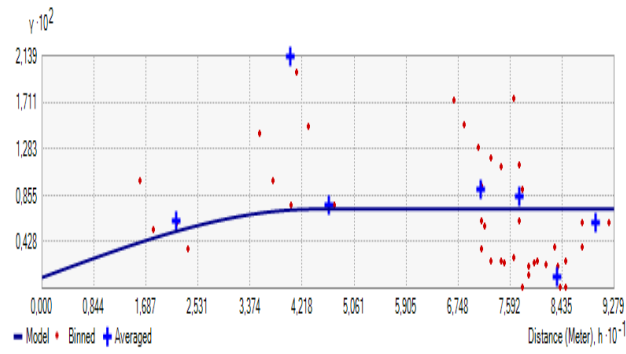


Figura 16: Semivariograma ajustado del contenido de Nitrógeno en una profundidad de 20 cm.

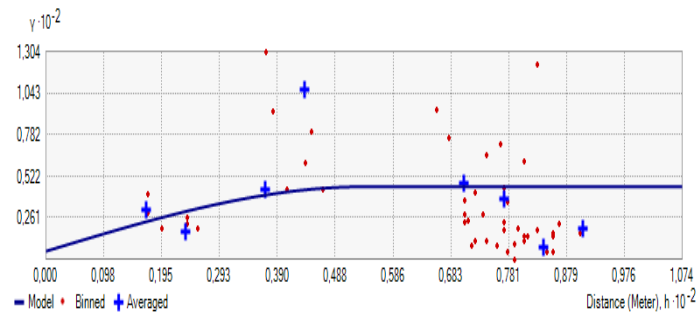


Figura 17: Semivariograma ajustada del contenido de Fósforo en una profundidad de 20 cm.

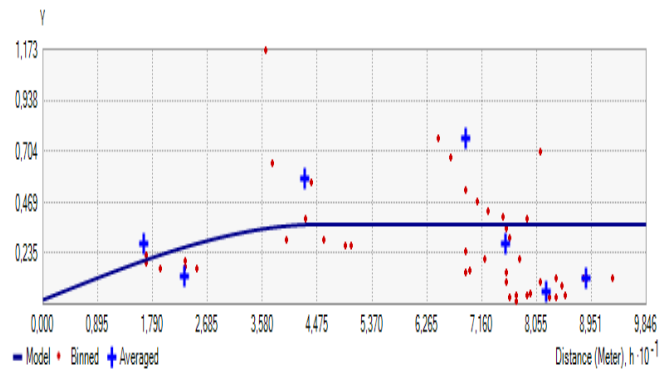


Figura 18: Semivariograma ajustada del contenido de Potasio en una profundidad de 20 cm.

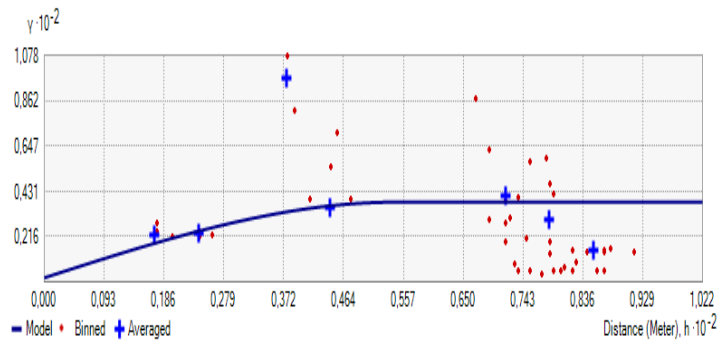


Figura 19: Semivariograma ajustada del contenido de Calcio en una profundidad de 20 cm.

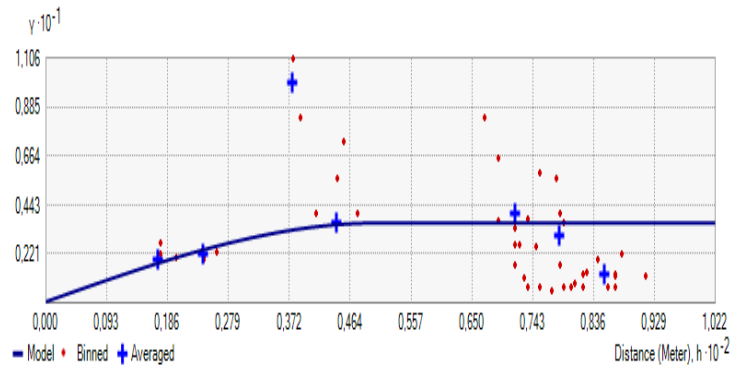


Figura 20: Semivariograma ajustada del contenido de Magnesio en una profundidad de 20 cm.

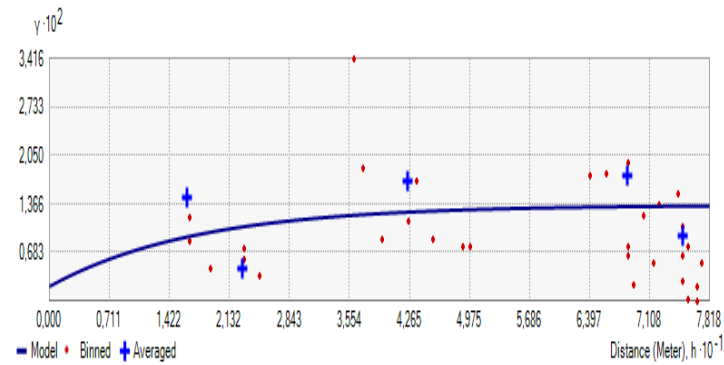


Figura 21: Semivariograma ajustada del contenido de Sodio en una profundidad de 20 cm.

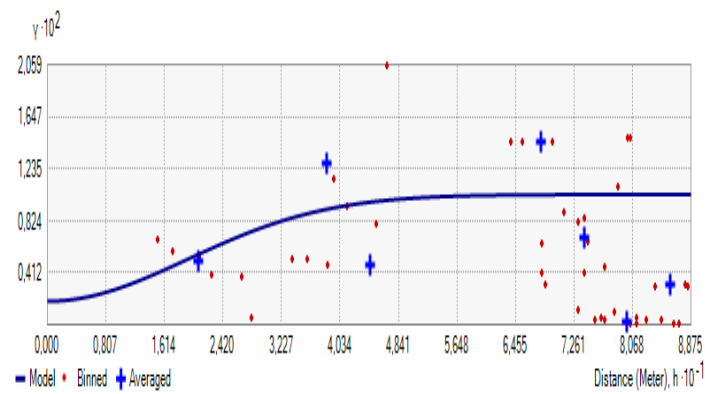


Figura 22: Semivariograma ajustada del contenido de pH en una profundidad de 20 cm.

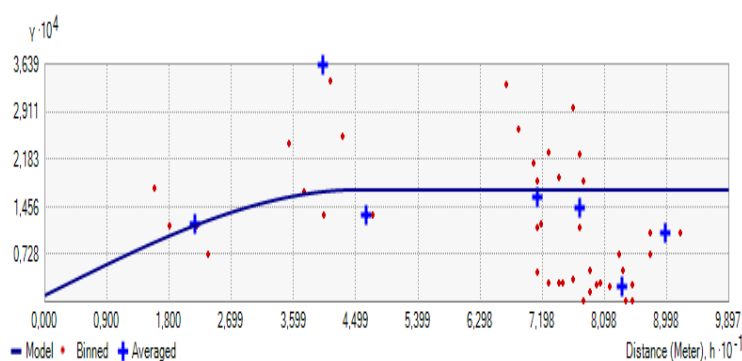


Figura 23: Semivariograma ajustada del contenido de CE en una profundidad de 20 cm.

En cuanto al análisis estructural del estudio de las variables evaluadas mediante el programa Surfer 16 donde se ajustó modelos teóricos (esférico, gaussiano y exponencial) para los nutrientes considerados en el suelo, para cada variable, siendo más precisos y eficientes los modelos esféricos ya que presentaron un coeficiente de Nash y un coeficiente de determinación (R^2) cercano o igual a 1, así mismo se obtuvieron los valores más bajo del error medio cuadrático (RMSE). (Tabla 7.)

Los resultados evidenciaron la existencia de variabilidad espacial y el análisis estructural de acuerdo a (Cambardella, 1994), se determinó una dependencia espacial fuerte para N, P, K, Ca, Mg, Na, Ph, CE en los 20 cm de suelo. Los rangos que explican la existencia de una dependencia espacial se encuentran entre 44,4 a 54,4 m.

Tabla 7: Parámetros del variograma aplicando kriging ordinario para las variables.

Variable	modelo	Nugget	Sill	Rango	R2	Nash	RMSE	De
N	Esférico	0,001	0,006	44,4	0,999	0,996	0,026	16,67 Fuerte
P	Esférico	5	40,4	53,6	0,999	0,987	0,024	12,38 Fuerte
K	Esférico	0,020	0,347	45,5	0,982	0,914	0,077	5,76 Fuerte
Ca	Esférico	2	35,9	54,4	0,961	0,883	0,123	5,57 Fuerte
Mg	Esférico	0,06	3,54	50,4	0,979	0,876	0,155	1,69 Fuerte
Na	Exponencial	0,002	0,01	52,1	0,983	0,946	0,086	20,00 Fuerte
pH	Gaussiano	0,001	0,008	47,3	0,984	0,976	0,036	12,50 Fuerte
CE	Esférico	0,00001	0,0001	45,4	0,978	0,992	0,052	10,00 Fuerte

4.2.2. Creación de mapas temáticos de las propiedades químicas del suelo.

Para determinar el comportamiento espacial de las variables evaluadas, en la Figura 24 existe una variación debido a que se encontró la mayor cantidad de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) se concentró la mayor cantidad en el centro del tratamiento de fertirriego, en el % de N presenta valores mínimos de 0,07 – 0,15 % y valores altos de 0,28 – 0,37%, en el fósforo presenta valores mínimos 40,34 – 47,35 ppm y valores altos que oscilan 58,82 - 67,42 ppm, en potasio encontramos valores mínimos 0,96 – 1,50 meq/100gr y valores altos 2,52 – 3,32 meq/100gr, estas concentraciones se distribuyen por todo el lugar del tratamiento, (G. J., 2019) menciona que rangos bajos de estos macronutrientes en el suelo influyen a que se origine problemas en la producción.

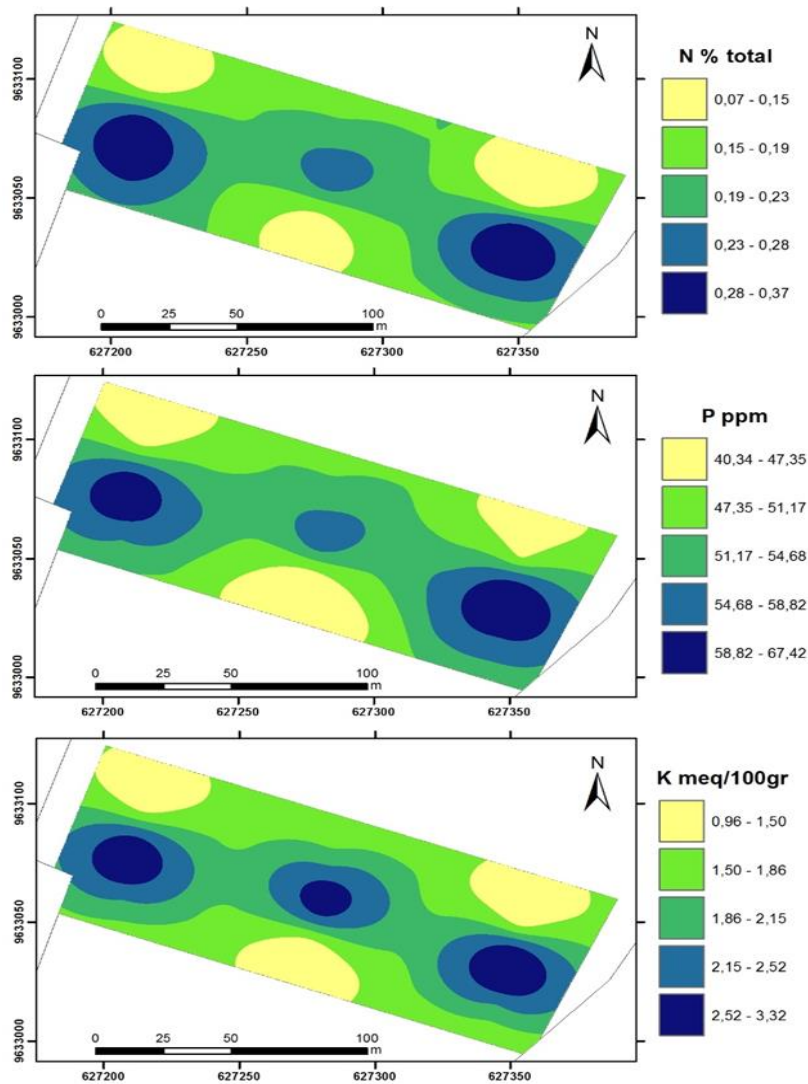


Figura 24: Distribución espacial de N, P y K en (% , ppm, meq/100gr) de suelo.

En la Figura 25 se presentan los mapas de distribución espacial de los rangos de los macronutrientes (Ca, Mg, Na), de acuerdo con las figuras **25Ca**, **25Mg** los valores máximos (34,21 – 41,66) de Ca y de Mg sus valores máximos fueron (7,72 – 9,57 meq/100gr) se ubican en el centro del tratamiento, en la parte Noroeste, Noreste y al Sur se encuentran sus valores más bajos. En cambio, los valores de sodio Na más altos (1,00 – 1,11 meq/100gr) fueron al este y al oeste del tratamiento.

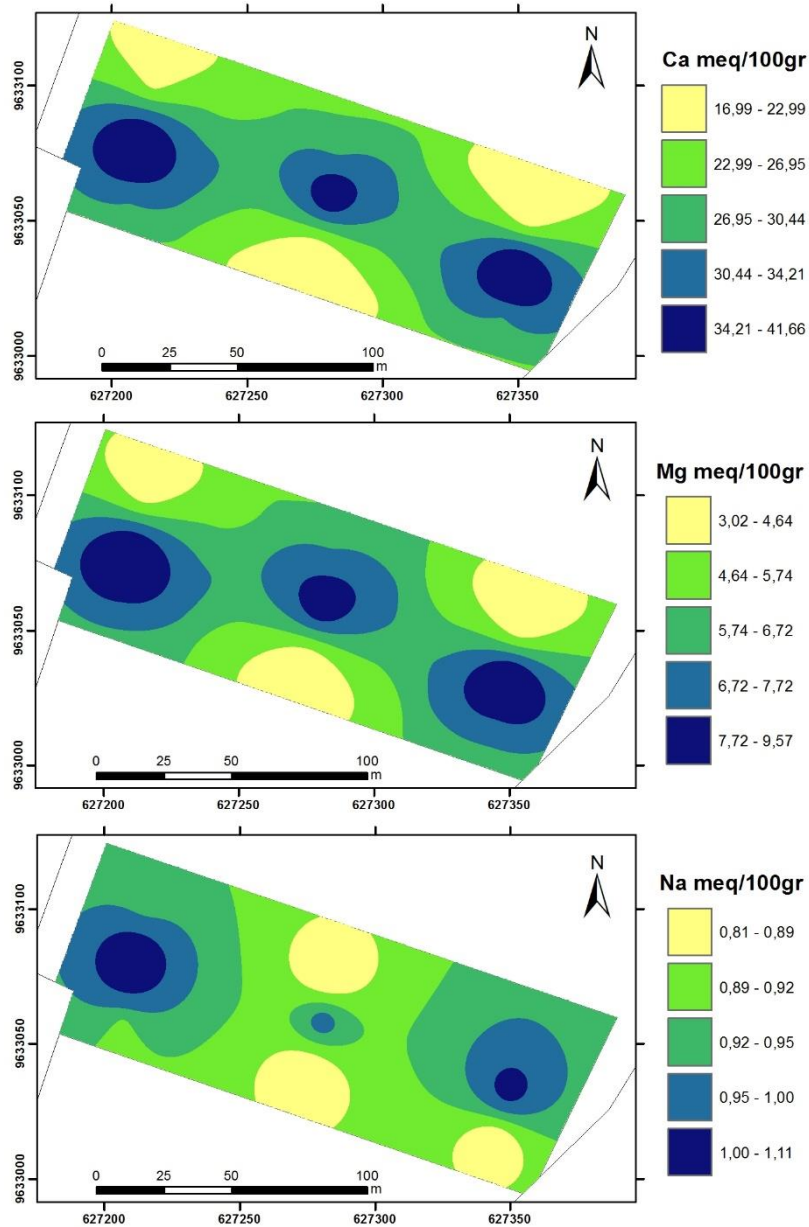


Figura 25: Distribución espacial de Ca, Mg y Na en meq/100gr de suelo.

Para todos los macronutrientes que necesita el cultivo de banano utilizando fertirriego se evidencia que existe un aumento del contenido nutricional esto es importante debido a que se obtiene un mejor almacenamiento de nutrimentos necesario para que el cultivo tenga un correcto desarrollo morfoagronómicas, esta alternativa de fertilización debido a su eficiencia fomentara que se dé un desarrollo productivo en esta actividad económica donde la mala utilización de agroquímicos ha reportado problemas evidentes, mediante esta técnica se reduciría estas afectaciones como volatilización de fertilizantes entre otros.

Finalmente, en la Figura 26 el contenido de pH y CE los datos presentaron una dispersión más alta en el estudio, la parte media de los mapas puede evidenciar que esas afectaciones bajas en el pH se presentan en gran parte las variaciones debido a las características físicas del suelo por la porosidad, textura o estructura del cultivo, en cambio, el mapa de distribución espacial de conductividad eléctrica (CE) nos indica que los valores más altos fueron al oeste y al este del tratamiento, (Castellanos, 2000) nos indica que los valores que presenten <1 es un suelo libre de sales y no hay restricción para el cultivo. .

Al igual que en los macronutrientes los valores incrementaron continuamente y los contenidos se distribuyeron en rangos o distribuidos en valores bajos entre sí.

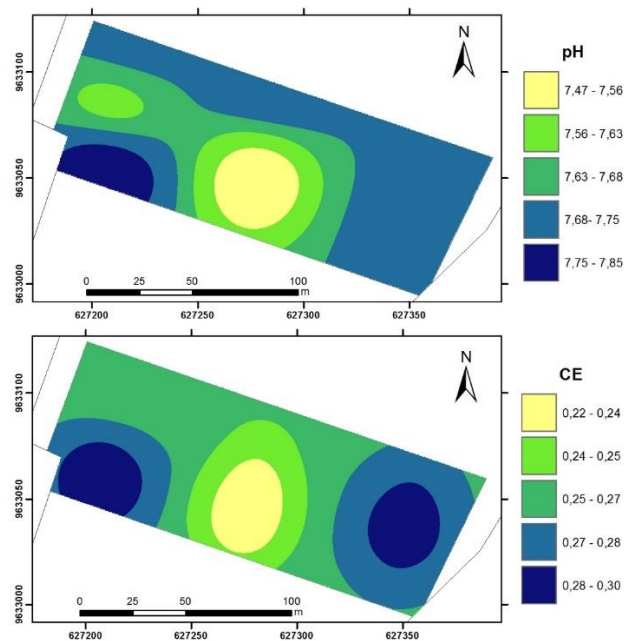


Figura 26: Distribución espacial de pH y CE en el suelo.

5. CONCLUSIONES

- ✓ Se evidenció la evolución del contenido de Nitrógeno a inicios del fertirriego de una media de 0,05% y al final presento una media superior de 0,37%.
- ✓ El contenido nutricional del Potasio a inicios del fertirriego fue de una media de 0,98 meq/100g y al termino de los 6 meses presento una media superior de 3,28.
- ✓ La evolución del contenido de Fósforo a inicios del fertirriego de una media de 41,33 ppm, al final se obtuvo un contenido superior de 66,67 ppm.
- ✓ La evolución del contenido de Calcio a principios del fertirriego fue de 18,01 meq/100g, al finalizar se logró alcanzar un contenido superior de 41,97 meq/100g.
- ✓ El macronutriente de Magnesio antes de aplicar el fertirriego tuvo un contenido de 3,26 meq/100g y al finalizar la investigación se logró obtener un contenido nutricional superior de 9,46 meq/100g.
- ✓ El contenido de Sodio a inicios de la investigación fue de 0,9 meq/100g y al concluir la presenta investigación se llegó a obtener un contenido de sodio superior de 1,09 meq/100g.

- ✓ Los modelos que más se ajustaron a la evolución de los macronutrientes fueron el esférico (N, P, K) y gaussiano (pH) ya que presentaron un coeficiente de Nash y un coeficiente de determinación (R^2) cercano o igual a 1, así mismo se obtuvieron los valores más bajo del error medio cuadrático (RMSE).

- ✓ Los semivariogramas que se elaboraron para las diferentes propiedades químicas explican que existe una dependencia espacial en este tratamiento de fertirriego a un rango de 44.4m a 54.4 m, en una profundidad de 20 cm.

- ✓ La evolución de los valores de pH y CE no presento diferencias estadísticas debido a un mejor aprovechamiento de los fertilizantes por el sistema radicular del cultivo de banano.

- ✓ La evolución de la distribución geoespacial de los Macronutrientes en el suelo, producto del efecto del fertirriego en el cultivo de banano, que a través del análisis espacial se construyó mapas temáticos, se estableció como fue su distribución durante los 6 meses de investigación, que estos resultados sirvan como base al momento de tomar decisiones en un manejo de fertilizantes en los próximos ciclos de fertilización bajo un sistema de fertirriego.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para la toma de muestra para análisis de suelo, la porción debe tomarse de un suelo uniforme y no mezclarlo con otro tipo, si es claro u oscuro, o si es arcilloso o arenoso.

- Para la lectura de pH y Ce se recomienda hacer una calibración de manera frecuente; si se realiza muchas mediciones en un solo día, es conveniente calibrar el equipo cada 20 – 30 mediciones. Entre más frecuente se realice la calibración, más precisos serán los resultados.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Macas, H. (2021). *Incidencia del intervalo de riego en sistema de irrigación subfoliar, aplicando fertirriego y fertilización edáfica en la producción de banano (trabajo de titulación)*. [UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador]. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16535>
- Barbaro, L. (s.f.). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. *Instituto de Floricultura*, 7.
- Bermúdez, J. M. (2005). Fertirrigación en el cultivo de chile dulce. *Programa Regional de Hortalizas. MAG. Central Sur.*, 1.
- Calvache Ulloa, A. M. (2004). Acumulación de nutrientes en tres variedades de rosas con fines de fertirrigación. *Memorias del IX Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS*, 15.
- Cambardella, C. M. (1994). 1994 Cambardella.pdf. *Soil Science Society of America Journal*, 1501–1511.
- Cañadas Cruz, L. (1983). *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. Quito: Quito Ministerio de Agricultura (MAG), Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG), Auspicio Banco Central del Ecuador, 1983.
- Castellanos, J. Z. (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. *Intagri*, 186.
- Castro G, G., & P. Chiquillo, H. (2016). Evaluación de tres alternativas de fertirriego. *Revista Ingeniería y Región*, 49-55. doi:<https://doi.org/10.25054/22161325.1298>
- De Andreu, F., & Barrios, R. (2009). Variabilidad espacial de las propiedades físicas de dos suelos cultivados con Palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4), 912 - 924.
- Díaz Viera, M. A. (2002). Geoestadística Aplicada. *Instituto de Geofísica, UNAM*, 8-9.
- Díaz, R., & Guzmán, M. (2004). CARACTERÍSTICAS DE LOS FERTILIZANTES PARA SU USO EN LA FERTIRRIGACIÓN. *FERTI-RIEGO: TECNOLOGÍAS Y PROGRAMACIÓN EN AGROPLASTICULTURA*, 191-202.

- Dörner, J. S. (2016). Variación espacial de propiedades físicas de un suelo derivado de cenizas volcánicas sometido a distintas estrategias de mejoramiento de una pradera degradada. *Agro Sur*, 29-40.
- Fageria, N. K. (1998). Influencia del pH en el crecimiento y la absorción de nutrientes por especies de cultivos en oxisol. *Comunicaciones en ciencias del suelo y análisis de plantas.*, 29 (17 y 18).
- FAO. (2004). Los Fertilizantes y su Uso. *IFA*, 8-9.
- Ferreira E., R., Selles Van S., G., Ahumada B., R., Maldonado B., P., Gil M., P., & Barrera M., C. (2005). Manejo del riego localizado y fertirrigación. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 126.*, 34-36.
- G. J., Á. (2019). Macronutrientes del suelo. *Fertibox*, 3-4.
- Gallardo, A. (2006). Geostatística. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente: Ecosistemas 15(3)*, 56-57.
- Giraldo Henao, R. (2005). Teoría y Aplicación. *Introducción a la Geoestadística*, 24-26.
- Gómez, H. ., (2012). CONCEPTOS BÁSICOS DE GEOESTADÍSTICA EN GEOGRAFÍA Y CIENCIAS DE LA TIERRA: MANEJO Y APLICACIÓN. *Geoenseñanza*, 81-90.
- Guedes, L. P. (2014). Optimización del tamaño y de la forma de configuraciones muestrales para variables regionalizadas usando lo recocido simulado. *Ciencia e Investigación Agraria*, 33-47.
- Guerrero Riascos, R. (2004). Compatibilidad Química en Mezclas para Fertilizantes. *Fertilización de Cultivo en Plantillas y Socas*, 41-42.
- INTAGRI. (2017). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. *Serie Suelos. Núm. 26. Artículos Técnicos de INTAGRI*, 5.
- Jaramillo, D. G. (2008). Variabilidad espacial de algunas propiedades físico mecánicas de suelos de textura pesada. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 10-19.

- Kloster, N. S., & Azcarate, M. P. (2008). COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE MEDICIÓN DEL pH DEL SUELO: pH EN PASTA DE SATURACIÓN Y EN RELACIÓN SUELO:AGUA 1:2,5. *XXI Congreso Argentino de la CIENCIA DEL SUELO*, 1.
- Londoño, D., & Moreno, J. (2015). Cuantificación de la Variabilidad Espacial de Suelos en un Huerto Citrícola en el Departamento de Caldas. *Universidad de Manizales*.
- López M., A. (1995). Manual de Nutrición y Fertilización del Banano. *International Plant Nutrition Institute*, 34-36.
- Luters, A., & Salazar, J. C. (2000). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. *Instituto de Suelos*, 59.
- Martínez Sánchez, C. (2020). Fertilizantes para fertirriego: conceptos y propiedades. *Series de Seminarios Virtuales 2020. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMIIR)*, 33.
- Molina, E. (2007). Analisis de Suelos y su Interpretación. *Amino Grow Internacional*, 1-8.
- Oliver, M. (2010). Geostatistical applications for precision agriculture. In M. Oliver (Ed.). *Springer Science+Business Media B.V (Visiting P)*.
- Porrás Velásquez, A. (2017). Analisis Estructural. *CONACYT*, 2-3.
- Ramírez Carvajal, R. (1997). *Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de los Suelos*. Santa Fe de Bogota: Produmedios.
- Ramos, J. A. (2014). Uso óptimo de los fertilizantes en fertirriego. *HortiCultivos*.
- Romo P, M. A. (2019). Importancia del Fertirriego en la Tecnificación de Cultivos. *Núm. 33. Artículos Técnicos de INTAGRI*, 12.
- Salvador Figueras, M. y. (2003). Análisis Exploratorio de Datos. *Estadística*, 4-6.
- Schweizer Lassaga, S. (2011). MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELOS PARA DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD. *Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria*, 7.

- Sepúlveda M., R. y. (2016). Consideraciones generales para la fertirrigación .
Informativo INIA Ururi. no. 105., 1-4.
- Simón , M., Peralta, N., & Costa, J. (2013). Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Asociación Argentina de La Ciencia Del Suelo*.
- Soriano Soto, M. (2018). Conductividad eléctrica del suelo. *Riunet*.
- Ulloa, M. C. (2008). FERTIRRIEGO EN ECUADOR, PRESENTE Y FUTURO. X
Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, 2.

8. ANEXOS



Anexo 1: Toma de muestras de pH y CE en el laboratorio.