



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO Y MULTIVARIADO DE PROPIEDADES  
QUÍMICAS DE UN SUELO EN CULTIVO DE BANANO, FINCA  
MARQUEZ, LA PEAÑA, CANTÓN PASAJE

CHAPIN PATIÑO JESSICA LILIANA  
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO Y MULTIVARIADO DE  
PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO EN CULTIVO DE  
BANANO, FINCA MARQUEZ, LA PEÑA, CANTÓN PASAJE

CHAPIN PATIÑO JESSICA LILIANA  
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN  
TRABAJO EXPERIMENTAL

ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO Y MULTIVARIADO DE PROPIEDADES QUÍMICAS  
DE UN SUELO EN CULTIVO DE BANANO, FINCA MARQUEZ, LA PEAÑA,  
CANTÓN PASAJE

CHAPIN PATIÑO JESSICA LILIANA  
INGENIERA AGRÓNOMA

CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

MACHALA, 16 DE MARZO DE 2020

MACHALA  
2020

# Análisis geoestadístico y multivariado de propiedades químicas de un suelo en cultivo de banano en la Finca Marquez La Peaña, Cantón Pasaje

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE  
INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 50 words

Excluir bibliografía

Apagado

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

La que suscribe, CHAPIN PATIÑO JESSICA LILIANA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO Y MULTIVARIADO DE PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO EN CULTIVO DE BANANO, FINCA MARQUEZ, LA PEÑA, CANTÓN PASAJE, 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.

La autora 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.

La autora 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, 16 de marzo de 2020



CHAPIN PATIÑO JESSICA LILIANA  
0706753910

## **DEDICATORIA**

*Mi trabajo de investigación va dedicado a mis padres, María Rosalina Patiño y Jesús Chapin Correa quienes fueron los actores principales de este logro.*

*A mis hermanos Yessenia, Maryuri, Fanny y Christian que me guiaron con sus consejos durante mi carrera profesional.*

*A mis sobrinas Joselyn y Heidi que de una u otra manera me ayudaron durante las etapas de mi carrera.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios que forma parte de mi vida, y me da fuerzas para continuar en cada etapa que se presente. A mi familia, en especial a mis padres que con su apoyo, confianza y paciencia lograron convertirme en la mujer profesional que soy.*

*A la Universidad Técnica de Machala, que me formó y preparó durante todo el trayecto de mi carrera.*

*Agradezco de manera especial a mi tutor el Ing. Agr. Julio Chabla Carrillo por sus consejos y enseñanzas en mi formación profesional y personal brindando un aporte invaluable, además que me permitió adquirir nuevos conocimientos a través de mi proyecto de titulación y que con su guía se logró finalizar una etapa importante en mi vida. De igual forma al Ing. Eduardo Luna Romero, MSc y al Ing. Barrezueta Salomón por formar parte del grupo de trabajo y aportar de sus conocimientos para culminar esta investigación.*

*Al abogado Víctor Chabla por prestar los predios de su finca y siempre estar en la disposición de brindar su ayuda.*

*A mis amigos que compartieron momentos especiales durante los últimos años y que de alguna manera aportaron con su ayuda en todo este desarrollo, en especial agradezco con cariño a Michael Amaya, Edison Cueva y Christian Arias.*

## **RESUMEN**

### **ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO DE PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO EN CULTIVO DE BANANO EN LA FINCA “MÁRQUEZ”, LA PEAÑA, CANTÓN PASAJE.**

#### **AUTOR**

JESSICA LILIANA CHAPIN PATIÑO

#### **TUTOR**

JULIO CHABLA CARRILLO, PhD

Las propiedades químicas varían constantemente como consecuencia de procesos de formación del suelo e inducido por un mal manejo de actividades en el campo, provocadas por una agricultura tradicional. El conocimiento de la variabilidad espacial no solo cumple una etapa más de agricultura de precisión, sino más bien conlleva al correcto uso de insumos agrícolas como lo son: los fertilizantes, enmiendas e incluso insecticidas, brindando cambios positivos en beneficio del medio ambiente. Con el objetivo de estudiar la variabilidad de los suelos se llevó a cabo la investigación en una finca bananera ubicada en la parroquia “La Peaña” cantón Pasaje, provincia de El Oro, cuyas coordenadas son: 3°19'02.3"S y 79°51'15.7"W, a una altitud de 20 msnm. Se efectuó un análisis geoestadístico y multivariado de propiedades químicas del suelo; pH, C.E, M.O, N, P, K, Ca, y Mg , efectuando primero una estadística descriptiva calculando media, mediana, asimetría, varianza y coeficiente de variación, y para geoestadística la clásica semivarianza acompañado de semivariogramas que permita apreciar los resultados más representativos, se obtuvieron mapas utilizando el método de interpolación llamado Kriging que muestren el comportamiento de cada variable sobre el terreno. Se realizó un muestreo sistemático en grilla con una distancia entre punto de 70 metros, en una superficie de 6,27 ha, de la cual resultaron 15 puntos distribuidos de forma equidistante, cada muestra se recolectó a una profundidad de 30 cm; subdivididas cada 10cm, las cuales fueron procesadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala y en el laboratorio de suelos del INIAP. Con los datos, la estadística tradicional se llevó a cabo en el software IBM SPSS Statistics 22, para la geoestadística se utilizó el programa Surfer para elaboración de semivariogramas y su ajuste teórico con los modelos gaussiano, esférico, lineal y exponencial, ArcMap 10.2 se utilizó para la interpolación



una vez obtenidos los parámetros geoestadísticos como sill, nugget y rango. Según los análisis de los datos de estadística descriptiva, el coeficiente de variación de las variables N y P, resultaron con valores superiores a 60%, lo que indica una mayor variación entre todas las variables, a diferencia del pH y Ca que obtuvieron los porcentajes más bajos. Con respecto al pH se determinaron valores altos determinando una media de 7,90 en las tres profundidades, resultando suelos ligeramente alcalinos, contenidos altos de MO, y una CE en rangos ligeramente salinos. En cuanto al enfoque geoestadístico el Nugget presentó valores en menor proporción con respecto a la varianza estructural en la mayoría de atributos, lo cual determina una dependencia espacial moderada y fuerte en las variables de estudio. El modelo de semivariograma que mejor se ajustó a la zona de estudio fue el exponencial en la mayoría de las variables, el alcance que se presentó del análisis geoestadístico estuvo dentro de la distancia máxima (310m) en el área de muestreo establecida para el cálculo de semivariogramas, variables como MO y K presentaron el valor de alcance próximos a lo establecido. La variabilidad en la finca resultó alta como se puede apreciar en los mapas de interpolación, y efectuar este tipo de estudio resulta de gran utilidad para determinar los cambios producidos en el suelo por efecto del manejo.

**Palabras clave:** geoestadística, semivariograma, Kriging, agricultura de precisión, muestreo en grilla.

## **SUMMARY**

### **GEOSTATISTICAL AND MULTIVARIATE ANALYSIS OF CHEMICAL PROPERTIES OF A SOIL UNDER BANANA CULTIVATION, FINCA "MARQUEZ", LA PEÑA, CANTON PASAJE.**

#### **AUTOR**

JESSICA LILIANA CHAPIN PATIÑO

#### **TUTOR**

JULIO CHABLA CARRILLO, PhD

Chemical properties are constantly changing as a consequence of soil formation processes and induced by poor management of field activities, caused by traditional agriculture. The knowledge of spatial variability not only fulfills one more stage of precision agriculture, but rather leads to the correct use of agricultural inputs such as fertilizers, amendments and even insecticides, providing positive changes for the benefit of the environment. With the objective of studying the variability of the soils, the research was carried out in a banana farm located in the parish "La Peña" canton of Pasaje, province of El Oro, whose coordinates are: 3°19'02.3 "S and 79°51'15.7 "W, at an altitude of 20 meters above sea level. A geostatistical and multivariate analysis of chemical properties of the soil; pH, E.C., W.M., N, P, K, Ca, and Mg, was made, first making a descriptive statistic calculating mean, median, asymmetry, variance and coefficient of variation, and for geostatistics the classic semivariance accompanied by semivariograms that allow to appreciate the most representative results, maps were obtained using the interpolation method called Kriging that show the behavior of each variable on the ground. A systematic grid sampling was carried out with a distance between points of 70 meters, in an area of 6.27 ha, from which 15 points were distributed equidistantly. Each sample was collected at a depth of 30 cm; subdivided every 10cm, which were processed in the soil laboratory of the Technical University of Machala and in the INIAP soil laboratory. With the data, the traditional statistics were carried out in the IBM SPSS Estadísticas 22 software, for the geostatistics the Surfer program was used to elaborate semivariograms and their theoretical adjustment with Gaussian, spherical, linear and exponential models, ArcMap 10.2 was used for interpolation once the geostatistical parameters such as sill, nugget and range were obtained. According to the analysis of the data of descriptive statistics, the coefficient of variation of the variables N and P, resulted with values higher than 60%,

which indicates a greater variation among all the variables, unlike the pH and Ca that obtained the lowest percentages. With respect to pH, high values were determined, with an average of 7.90 in the three depths, resulting in slightly alkaline soils, high MO content, and an EC in slightly saline ranges. As for the geostatistical approach, Nugget presented values in lower proportion to the structural variance in most attributes, which determines a moderate and strong spatial dependence in the study variables. The semivariogram model that best adjusted to the study area was the exponential one in most of the variables, the range presented by the geostatistical analysis was within the maximum distance (310m) in the sampling area established for the calculation of semivariograms, variables such as MO and K presented the range value close to what was established. The variability in the farm was high as can be seen in the interpolation maps, and this type of study is very useful to determine the changes produced in the soil by the effect of management.

**Keywords:** geostatistics, semivariogram, Kriging, precision agriculture, grid sampling.

# ÍNDICE

1. <b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
2. <b>MARCO TEÓRICO</b> .....	15
2.1. El suelo y sus propiedades.....	15
2.2. Importancia de las propiedades químicas.....	15
2.3. Variabilidad de los suelos.....	17
2.3.1. Variabilidad espacial de las propiedades químicas.....	18
2.4. Tecnologías para una agricultura de precisión .....	18
2.4.1. GPS y sus aplicaciones en la agricultura.....	18
2.4.1.1. Segmentos del sistema de posicionamiento global .....	19
2.4.1.2. Funcionamiento del sistema de posicionamiento global .....	19
2.4.2. SIG y sus aplicaciones en la agricultura.....	20
2.5. Agricultura de Precisión .....	22
2.5.1. La Agricultura de Precisión contra la Agricultura Tradicional. ....	23
2.6. Mapeo digital de suelos .....	24
2.7. Geoestadística .....	25
2.7.1. Semivarianza.....	27
2.7.2. Semivariograma .....	27
2.8. Método de muestreo .....	29
2.8.1. Muestreo en grilla sistemático .....	30
2.9. Métodos de interpolación .....	31
2.9.1. Kriging.....	31
2.10. Análisis Multivariado .....	32
2.10.1. Análisis de Componentes Principales.....	32
3. <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	33
3.1. Caracterización de la zona de estudio .....	33
3.1.1. Localización.....	33
3.1.2. Clima .....	33
3.1.3. Suelos y topografía.....	34
3.2. Materiales y Equipos utilizados en la Investigación .....	34
3.3. Diseño de investigación.....	35
3.3.1. Levantamiento perimetral del área de estudio.....	35
3.3.2. Determinación de grilla de muestreo.....	35
3.3.3. Toma de muestras.....	36
3.3.4. Variables evaluadas.....	36
3.4. Análisis geoestadístico .....	37
3.5. Análisis multivariado .....	38

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	39
4.1. Análisis Estadístico .....	39
4.2. Análisis de variabilidad espacial .....	47
4.3. Análisis Multivariado.....	53
4.3.1. Análisis de Correlación de Pearson.....	53
4.3.2. Análisis por Componentes Principales.....	54
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	56
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	57
<b>7. ANEXOS</b> .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ejemplo de organización de datos en SIG, representada en mapas temáticos o layers.....	21
<b>Figura 2.</b> Las tres etapas de la Agricultura de Precisión. ....	23
<b>Figura 3.</b> Distribución de dosis variables de fertilizantes de acuerdo al mapa de suelos digitalizado usando SIG.....	25
<b>Figura 4.</b> Semivariograma experimental y modelos de semivarianza: a) esférico, b) exponencial, c) gaussiano y d) lineal. Se puede observar el alcance (rango), efecto pepita (C0) [nugget] y meseta (C0+C1) [sill]. ....	28
<b>Figura 5.</b> Principales elementos del Semivariograma. ....	29
<b>Figura 6.</b> Muestreo en grillas sistemático. ....	30
<b>Figura 7.</b> Ubicación geográfica del área de estudio. ....	33
<b>Figura 8.</b> Demarcación de los 15 puntos dentro de la Finca “Márquez”.....	35
<b>Figura 9.</b> Construcción de calicata para la extracción de muestras de suelo.....	36
<b>Figura 10:</b> Diagrama de caja y bigote de propiedad de pH de los 3 estratos de suelo en estudio.....	40
<b>Figura 11.</b> Diagrama de caja y bigote de la propiedad Conductividad Eléctrica de los 3 estratos de suelo en estudio.....	40
<b>Figura 12.</b> Diagrama de caja y bigote de la propiedad Materia Orgánica de los 3 estratos de suelo en estudio. ....	39
<b>Figura 13.</b> Diagrama de caja y bigote de la propiedad Nitrógeno de los 3 estratos de suelo en estudio. ....	41
<b>Figura 14.</b> Diagrama de caja y bigote de la propiedad Fósforo de los 3 estratos de suelo en estudio. ....	42
<b>Figura 15.</b> Diagrama de caja y bigote de la propiedad Potasio de los 3 estratos de suelo en estudio. ....	42
<b>Figura 16.</b> Diagrama de caja y bigote de la propiedad Calcio de los 3 estratos de suelo en estudio.....	43
<b>Figura 17.</b> Diagrama de caja y bigote de la propiedad Magnesio de los 3 estratos de suelo en estudio. ....	44
<b>Figura 18.</b> Semivariogramas experimentales (puntos) y teóricos (líneas) de la propiedad de pH y CE del suelo en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm. ....	49

<b>Figura 19.</b> Mapa de variabilidad espacial de la variable pH en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm. ....	50
<b>Figura 20.</b> Mapa de variabilidad espacial de la variable CE en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm. ....	50
<b>Figura 21.</b> Mapa de variabilidad espacial de la variable MO en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm. ....	51
<b>Figura 22.</b> Mapa de variabilidad espacial de la variable N en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm. ....	51
<b>Figura 23.</b> Mapa de variabilidad espacial de la variable P en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm. ....	52
<b>Figura 24.</b> Mapa de variabilidad espacial de la variable K en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm. ....	52
<b>Figura 25.</b> Mapa de variabilidad espacial de las variables Ca y Mg en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad para una suspensión de suelo: agua de 1:1. ....	16
<b>Tabla 2:</b> Coordenadas UTM del marco del DEa - UFV en el datum SAD 69 y WGS 84. ....	20
<b>Tabla 3:</b> Métodos de análisis utilizados para la caracterización química del suelo, en la Finca “Márquez” de la parroquia La Peaña. ....	37
<b>Tabla 4:</b> Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) de las propiedades químicas en estudio. ....	44
<b>Tabla 5:</b> Estadísticos básicos <sup>1</sup> de las propiedades químicas del suelo por estrato. ....	46
<b>Tabla 6:</b> Parámetros de los semivariogramas de las propiedades químicas evaluadas. .	48
<b>Tabla 7:</b> Coeficiente de Correlación de las propiedades químicas <sup>2</sup> en estudio. ....	54
<b>Tabla 8:</b> Coeficiente de los tres primeros componentes principales de propiedades químicas del suelo. ....	55



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Resultados de los análisis químico de suelos de la finca “Márquez “, parroquia La peaña, Cantón pasaje .....	71
<b>Anexo 2.</b> Grado de variabilidad de las propiedades químicas según el Coeficiente de variación CV%.....	72
<b>Anexo 3.</b> Semivariogramas experimentales (puntos) y teóricos (líneas) de la propiedad de MO y N del suelo en profundidades de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.....	72
<b>Anexo 4.</b> Semivariogramas experimentales (puntos) y teóricos (líneas) de la propiedad de P y K del suelo en profundidades de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm. ....	73
<b>Anexo 5.</b> Semivariogramas experimentales (puntos) y teóricos (líneas) de la propiedad de Ca y Mg del suelo en profundidades de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm. ....	73
<b>Anexo 6.</b> Mapa de variabilidad espacial del porcentaje de limo en la finca Márquez....	74
<b>Anexo 7.</b> Mapa de variabilidad espacial del porcentaje de arcilla en la finca Márquez. ....	74
<b>Anexo 8.</b> Mapa de variabilidad espacial del porcentaje de arena en la finca Márquez. ....	75
<b>Anexo 9.</b> Gráfico de componente en espacio rotado.....	75

## 1. INTRODUCCIÓN

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) citado por 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.

En la actualidad la mayoría de los agricultores tienen la idea de que la fertilización química en sus cultivos se hace por igual en todos los lotes asumiendo que cada uno de ellos es uniforme, esto se lleva a cabo de forma tradicional sin tener en cuenta la variabilidad que poseen los suelos provocada en muchos casos por factores de formación (Londoño & Moreno, 2015), haciendo que las dosis incorporadas sean excesivas en algunos lugares e insuficientes en otros.

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 desarrollaremos un mecanismo muy útil que forma parte de las etapas para una agricultura de precisión.

Varios estudios dan a conocer sobre distribución espacial de propiedades del suelo, a través del uso de la geoestadística y sus herramientas, mencionando el método de interpolación llamado Kriging, el cual estima valores aproximados en relación a las muestras recolectadas logrando obtener entre ellas una mínima varianza, lo que es considerado como uno de los mejores mecanismos de predicción lineal (Barrios & Florentino De Andreu, 2009).

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar la variabilidad espacial de las propiedades químicas de un suelo en cultivo de banano, mediante la geoestadística para crear mapas que muestran la conducta de las variables en el terreno, con el fin de crear estrategias que conduzcan a una agricultura sostenible.

### **1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Determinar las propiedades químicas (pH, CE, MO, N, P, K, Ca, Mg) de la finca Márquez y su distribución espacial.
- Efectuar el análisis de variabilidad espacial para construir mapas sobre los niveles de fertilidad para uso eficiente del suelo.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. El suelo y sus propiedades.**

Se considera que el suelo es uno de los recursos con mayor interés a nivel mundial, ya que resulta indispensable para el hombre, plantas y animales, este medio es utilizado para la explotación agropecuaria para la producción de alimentos que se distribuye a la población en general.

El suelo está conformado por propiedades químicas, físicas y biológicas que tienen un trabajo en común y es brindar beneficios a las plantas y su mismo entorno, el estudio de las propiedades del suelo es independiente, aun así cuando entre ellas exista una relación. Poniendo un ejemplo las condiciones para el anclaje y la penetración de raíces que provee el suelo a la planta, tienen que ver con el espacio poroso, y éste a su vez determina otras propiedades como el drenaje y la aireación, manifestando que si una de las propiedades se altera repercute en otras más y esto a su vez acarrea a una completa degradación del suelo que finalmente perjudica el rendimiento de un cultivo (López & Estrada, 2015).

La formación del suelo abarca un proceso complejo donde se mezclan cambios físicos, químicos y biológicos de la roca madre. Los físicos son causados por ciclos de lluvia, viento, nieve entre otros efectos ambientales, los cambios químicos se dan a partir del desprendimiento de partículas minerales de la roca madre y su resíntesis a compuestos sólidos es gracias a la acción del agua, el oxígeno o dióxido de carbono, por otro lado los cambios biológicos son causados por seres que viven en el suelo entre ellos plantas, invertebrados, artrópodos, nemátodos, bacterias y hongos que en conjunto aportan a la degradación de la materia orgánica, producción de CO<sub>2</sub> en respiración, así como el fraccionamiento de las rocas por las raíces, entre otros (Y. García et al., 2012).

### **2.2. Importancia de las propiedades químicas.**

Entre las propiedades químicas del suelo están las principales: pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), el contenido de materia orgánica (MO), nutrientes (macro y micro) y metales pesados. Si una de estas propiedades se ve afectada, consecuentemente atraerá una serie de problemas negativos para el cultivo, evidenciando que cada una de ellas va de la mano en el desarrollo de las plantas (López & Estrada, 2015).

El pH es un indicador que afecta la disponibilidad, movilidad, solubilidad y absorción de nutrientes que son esenciales para las plantas, el pH maneja una escala que va desde 1 y 14, siendo fuertemente ácido rangos de 3,5; 7 como neutro y 9,5 como muy alcalinos, considerando los valores de 6,5-7,5 como los ideales para cultivos agrícolas (López & Estrada, 2015).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se refiere a la capacidad que tiene un suelo de mantener una carga eléctrica ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , etc.) cuantas más pequeñas sean las partículas de suelo, más capacidad de carga tiene, y a mayor carga, mayor disponibilidad de elementos para la nutrición de las plantas. La unidad de medición del CIC es centimoles por kg de suelo ( $\text{cmol/kg}$ ) o miliequivalentes de carga por 100g de suelo ( $\text{meq/100g}$  suelo), se dice que un valor ideal está entre 15.25  $\text{cmol/kg}$  o  $\text{meq/100g}$  suelo (Acosta, 2007).

López & Estrada, (2015) se refiere a la conductividad eléctrica como la cantidad de sales disueltas o ionizadas incluidas en una solución. La CE se presenta en unidades de milisiemens por metro ( $\text{mS/m}$ ), y se clasifica como; no salino para rangos entre 0-0,98  $\text{dS/m}$ ; muy ligeramente salino para valores entre 0,98-1,71  $\text{dS/m}$ ; ligeramente salinos para rangos de 1,71-3,16  $\text{dS/m}$ ; moderadamente salino 3,16-6,07  $\text{dS/m}$ ; y finalmente fuertemente salinos para valores mayores de 6,07  $\text{dS/m}$  (tabla 1).

**Tabla 1:** Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad para una suspensión de suelo: agua de 1:1.

Conductividad Eléctrica ( $\text{dS/m}$ a $25^\circ\text{C}$ )	Clase de salinidad
0 - 0.98	No salino
0.98 - 1.71	Muy ligeramente salino
1.71 - 3.16	ligeramente salino
3.16 - 6.07	Moderadamente salino
>6.07	Fuertemente salino

**Fuente:** López et al., 2015

La Materia Orgánica está en distintos grados de descomposición y se reconocen dos fracciones: lábil y recalcitrante. La fracción lábil conocida como materia viva es rápidamente digerida por los microorganismos, por ende tiene un tiempo más corto de

permanencia en el suelo, a diferencia de la fracción recalcitrante que es la materia no viva la cual resulta estar más dispuesta debido a sus compuestos químicos complejos como ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, por lo tanto permanecen por mucho más tiempo en el suelo (López & Estrada, 2015). Otra característica importante es su participación en la oxidación-reducción de elementos químicos, e incluso su papel regulador de transformaciones en el ciclo del Nitrógeno (García et al., 2005). Gallardo, (1992) señala que la materia orgánica en el suelo, aumenta la capacidad de resistencia contra la erosión, la capacidad de absorción y retención de agua, disminuye los efectos nocivos de los agentes tóxicos.

Los elementos que las plantas necesitan para su desarrollo y crecimiento se clasifican en macro y micronutrientes como N, P, K, Ca, Mg, y S y Zn, Fe, Mn, B, Cl, Mo y Cu respectivamente, el primer grupo se requiere de cantidades grandes, a diferencia del segundo grupo, pero no menos importante de pequeñas cantidades. Hay casos como el Cu, un elemento que los cultivos lo requieren entre 4 y 6  $\mu\text{g/g}$ , pasado de esto la planta presenta síntomas de toxicidad en especies con poca tolerancia al mismo (López & Estrada, 2015).

### **2.3. Variabilidad de los suelos.**

Jaramillo, (2012) aclara que la variabilidad en los suelos sucede de forma natural, es decir por factores y procesos de formación del suelo, esto repercute con alteraciones en el relieve, forma del terreno, lo que provoca cambios en la cobertura vegetal y esto a su vez modifica la uniformidad del suelo, otra causa de variabilidad es el manejo que se esté empleando en el campo agrícola. (Obando et al., 2006; Vasquez et al., 2010) afirman que el suelo posee más variabilidad en propiedades químicas que en las físicas, y mucho más en suelos que son destinados para uso agropecuario que los que son de origen natural, los atributos que más sean afectados directamente por el manejo del suelo serán los que muestran mayor variabilidad.

Las variaciones pueden ser sistemáticas y aleatorias, la primera es aquella donde puede ser asignada a causas conocidas o entendibles como la geomorfología o factores de formación, mientras que la segunda explica que no se puede relacionar a causas conocidas, sino que más bien depende de actividad humana, flora y fauna. Un suelo que fue afectado por actividades agrícolas se distingue de su entorno a causa del manejo que ha tenido, aunque el suelo es homogéneo en las primeras capas debido a las actividades como mecanización, riego fertilización y otros (Rodríguez et al., 2016). Si la variabilidad

no se relaciona con alguna causa o no se justifica, es nombrada como variabilidad aleatoria, en cambio sí se conocen razones o motivos de la variabilidad se denominada como sistemática (D. Jaramillo et al., 2008).

### **2.3.1. Variabilidad espacial de las propiedades químicas.**

En la actualidad los investigadores enfrentan el problema de variabilidad de propiedades químicas en los suelos, esto forma parte del estudio para una agricultura de precisión sobre todo cuando hay el interés de conocer la distribución de nutrientes o algunos de los atributos químicos en un ensayo (Acevedo et al., 2008). Es normal apreciar que se fertiliza en exceso zonas de bajo rendimiento y que no se aplican los suficientes nutrientes en zonas de alto rendimiento. Seguir con un manejo en base a la media de fertilidad ocasiona mayor variabilidad y una baja productividad a la finca. Si estas cualidades se hacen aparentes es necesario empezar un manejo por sitio específico (Espinosa, 1999).

IICA, (2014) menciona factores que ayudan al aumento de variabilidad de la Conductividad eléctrica entre ellos están, la conectividad de agua en el suelo, salinidad en la solución del agua, la agregación del suelo, y la conductividad de la fase mineral. Cortés et al., (2013) agrega que las zonas de alta conductividad eléctrica corresponden a altos contenidos de Ca, Mg y Na. Varios autores al estudiar las propiedades químicas en general, señalan una alta variabilidad en elementos como nitrógeno, fósforo y potasio, siendo el pH el que menor variabilidad posee (Acevedo et al., 2008).

Para el estudio de variabilidad de los suelos la estadística tradicional no es la más ideal para efectuar el análisis de datos, debido a que no toma en cuenta la estructura espacial de cada propiedad. Para este tipo de estudio se necesita de una de las ramas de la estadística convencional llamada geoestadística, y la contribución de herramientas de software Gis (Castaño et al., 2016); dentro de las técnicas que usa la geoestadística está el semivariograma y la interpolación, con el objetivo de crear mapas de una propiedad en particular (Vasquez et al., 2010).

## **2.4. Tecnologías para una agricultura de precisión**

### **2.4.1. GPS y sus aplicaciones en la agricultura.**

Los sistemas globales de navegación por satélite actualmente son los más utilizados dentro del grupo de tecnologías para el posicionamiento en campo, perfeccionados para el uso exclusivo militar, fue introducido en el medio rural con el objetivo de medición de

áreas y distancias. Esta actividad es similar al método desarrollado por los anteriores navegantes, es decir su ubicación se registraba a partir de las estrellas y satélites naturales, a diferencia de ahora que existen satélites creados especialmente para este fin, conociendo sus órbitas y la distancia proporcionada por los satélites se determina la posición sobre la superficie de la tierra (IICA, 2014).

#### **2.4.1.1. Segmentos del sistema de posicionamiento global**

IICA, (2014) menciona que el sistema está basado en tres componentes o segmentos:

**Segmento espacial:** este segmento permite que el sistema funcione a cualquier hora, lugar y en cualquier condición climática, debido a sus 24 satélites funcionales dispuestos a permanecer en reserva o listos para su funcionamiento.

**Segmento de usuario:** el segmento de usuario recibe la señal de los satélites a través de antenas para obtener la ubicación en tierra, aire e incluso mar. Este sistema incluye relevamiento de datos, navegación en tierra y mar, servicio topográfico y de emergencia, posicionamiento preciso, agricultura, etc.

**Segmento de control:** el segmento de control monitorea la información de navegación y envía los ajustes necesarios, trabaja a partir de la base Falcon en Colorado, Estados Unidos en donde abarca 4 estaciones de monitoreo y 3 de carga dispuestas en todo el mundo. Cada estación envía la información a la base Falcon para efectuar el cálculo de las órbitas de cada satélite y renovar información en el sistema de señales.

#### **2.4.1.2. Funcionamiento del sistema de posicionamiento global**

El sistema de GPS permite establecer una ubicación y colabora al momento de tomar decisiones para la descripción de coordenadas, mediciones y distancias. Estar capacitado para el uso y funcionamiento de esta herramienta nos ayudara a reducir errores al momento de ejecutar la práctica. En la tabla 2 se presenta el Datum WGS 84 (del inglés: World Geodetic System 1984), que busca un ajuste al globo y no a regiones específicas, y en el caso de América del Sur, actualmente es el Datum topocéntrico SAD 69 (del inglés: South American Datum 1969), y también nos muestra la diferencia que existe entre aquellos. El GPS proporciona coordenadas globalmente georreferenciadas y las dos más utilizadas para las ciencias agrarias son las coordenadas geográficas y las coordenadas UTM (cartesianas) (IICA, 2014)



**Tabla 2:** Coordenadas UTM del marco del DEa - UFV en el datum SAD 69 y WGS 84.

<b>Datum</b>	<b>Este (X)</b>	<b>Norte (Y)</b>	<b>Altura (Z)</b>
SaD-69	721564,498	7701820,194	675,316
WGS-84	721520,710	7701775,634	672,938
Diferencia	43,788	44,560	2,378

**Fuente:** IICA, 2014.

### **Ejemplos de aplicación en la agricultura**

Con la previa explicación sobre el funcionamiento del GPS IICA, (2014) expone que existen distintas aplicaciones en distintos sectores de la economía, sin embargo en la agricultura se pueden nombrar las siguientes:

**a. Relevamiento planialtimétrico:** con el fácil manejo, el GPS es utilizado para la delimitación de áreas rurales, incluso los equipos con menor precisión como los de navegación son empleados para este fin. Aunque si bien es cierto los mapas planialtimétricos elaborados con este dispositivo deben ser restringidos debido al margen de error que posee, la decisión de su uso le compete a la administración de la propiedad rural.

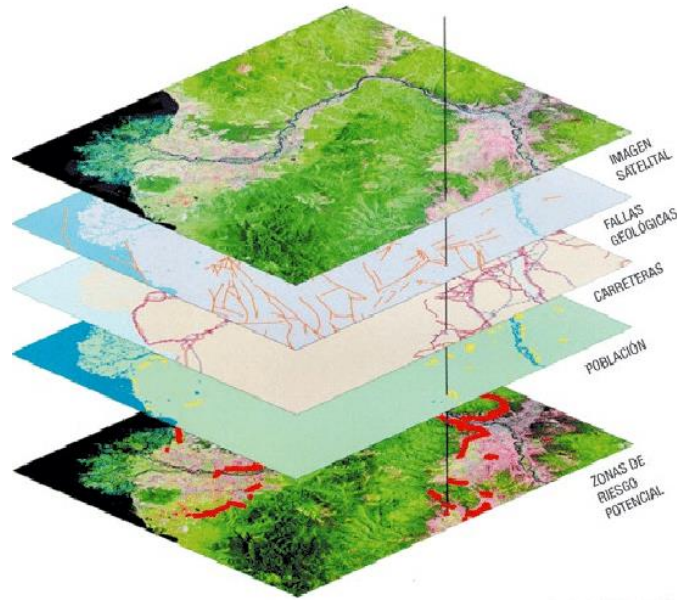
**b. Dirección de máquinas agrícolas:** comúnmente utilizado para la distribución de insumos en el área, con la ayuda de luces o incluso pilotos automáticos. Este sistema permite una mayor eficiencia de los insumos agrícolas y al mismo tiempo facilita la posibilidad de trabajar por la noche.

**c. Georreferenciamiento de parámetros de suelo y planta:** actualmente el GPS en el sector agrícola ha causado una revolución en el manejo de la producción, tomando en cuenta la eficiencia de los insumos con las prácticas de manejo y el rendimiento con un manejo sitio específico. De este modo se buscan nuevas técnicas que mejoren la agricultura convencional, en base a la georreferenciación de propiedades fisicoquímicas.

#### **2.4.2. SIG y sus aplicaciones en la agricultura**

La principal razón para hacer uso de un SIG es el manejo de la información espacial. Este sistema permite clasificar la información en capas y las acumula de forma independiente (figura 1), esto a su vez facilita el trabajo de manera rápida y precisa, permitiendo al experto poder relacionar los datos a través de la topología de los objetos, con el fin de

obtener una nueva (Araque Ibañez, 2012). En general el SIG es una herramienta capaz de diseñar mapas a través de información geográfica y la estadística, obteniendo una situación derivada del espacio (Domínguez, 2000).



**Figura 1.** Ejemplo de organización de datos en SIG, representada en mapas temáticos o layers.

**Fuente:** Environmental Systems Research Institute, ESRI)

#### 2.4.2.1. Herramientas SIG

Como se presencia en los últimos años, se ha implementado en diversas áreas el uso de los sistemas de información geográfica, debido a esto han surgido una gran cantidad de herramientas que existen el día de hoy, de las cuales se aprecian las principales, considerando el tipo de licencia software, diferenciando entre herramientas con licencia propietaria y licencia con software libre (IICA, 2014).

##### → Software propietario

**ArcGIS:** ESRI (Environmental Systems Research Institute) maneja el proceso y la comercialización de esta herramienta que asocia varias aplicaciones destinadas a la captura, edición, análisis de datos, diseño y hasta publicación e impresión de la información geográfica.

**AutoCAD Map 3D:** esta herramienta es proporcionada por autodesk que enlaza CaD Y GIS, empleado para crear, editar y desarrollar análisis de GIS, además se obtiene la

disponibilidad de formatos comerciales y no hay necesidad de convertir información CaD en GIS y viceversa, logrando rapidez y precisión del trabajo.

**Geomedia:** a partir de aplicaciones integradas, geomedia nos proporciona una extensa capacidad de procesamiento geoespacial solicitada por empresas industriales, servicios públicos, etc.

Los SIG maneja información codificada espacialmente, imparcial del software de SIG disponibles comercialmente, sus primordiales componentes son los siguientes:

- Un subsistema de entrada de datos (mapas, datos numéricos etc.)
- Un subsistema de almacenamiento y recuperación de datos espaciales
- Un subsistema de manipulación, para analizar y generar datos derivados;
- Un subsistema de presentación de datos, tanto en la forma tabular como gráfica.

El sistema de información geográfica introduce datos con múltiples características y distintos tipos de representación entre ellos el vectorial que toma en cuenta mapas y matriz o raster que emplea imágenes (De Miranda, 1996).

#### **2.4.2.2. Aplicación de los SIG**

Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en la última década en herramientas de trabajo esenciales en el planeamiento urbano y en la gestión de recursos, algunas de las aplicaciones que se pueden citar son las siguientes (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, 2006).

- Cartografía automatizada
- En infraestructura
- Gestión territorial
- Medioambiente
- Recursos mineros
- Tráfico
- Demografía

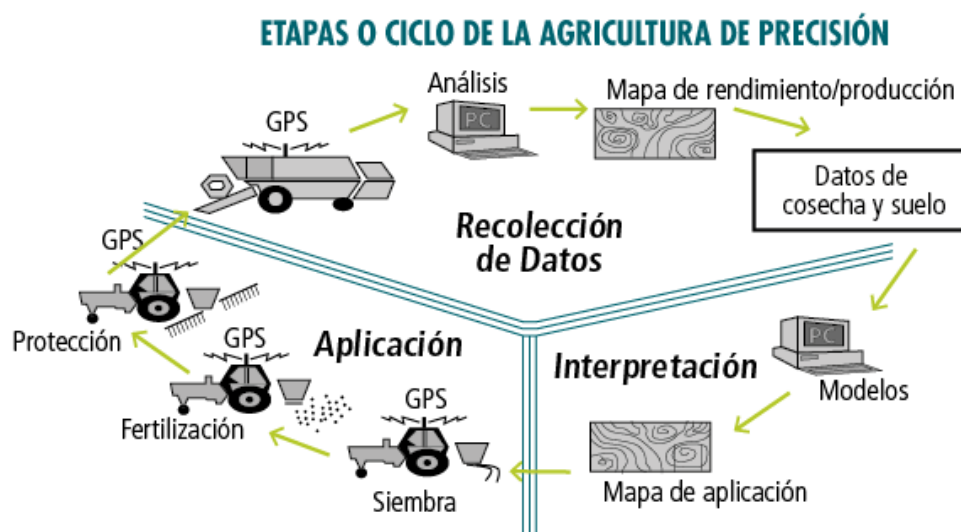
#### **2.5. Agricultura de Precisión**

En la actualidad los principales sistemas que se utilizan para lograr una mejor precisión en el campo de la agronomía son: GNSS (Sistemas de navegación global por satélites) y los SIG (Sistemas de Información Geográfica). Como ya se conoce los GPS permite al usuario proporcionar información de ubicación geográfica y latitud, de la misma forma

efectúa el trabajo con maquinarias agrícolas utilizadas para la labor cosecha, donde se puede registrar información de localización de los datos muestreados, favoreciendo el georreferenciamiento y continuamente el mapeo de los datos en campo (IICA, 2014).

Hoy en día se presencian cambios tecnológicos que ha favorecido a la agricultura de precisión proporcionando un vínculo con el manejo de la variabilidad espacial en el área de producción, teniendo la oportunidad de mejorarlas actividades que se asocian con una baja productividad citando por ejemplo escoger el cultivo que mejor se adapte, aumentar condiciones físicas del suelo y reducir su compactación, recomendar dosis de fertilizantes, etc (IICA, 2014).

Para lograr optimizar labores agrícolas como aplicaciones de fertilizantes, se tiene presente una agricultura de precisión que se basa en tres etapas clave (Figura 2): 1) Recolección de datos; 2) Procesamiento e interpretación de la información; y 3) Aplicación de insumos, de esta forma se pretende sustituir la dosis habitual, por una más precisa, con manejo localizado, considerando la variabilidad presente en el terreno (IICA, 2014).



**Figura 2.** Las tres etapas de la Agricultura de Precisión.

**Fuente:** INIA-Innova Biobio-Corfo, 2011

### 2.5.1. La Agricultura de Precisión contra la Agricultura Tradicional.

El principal problema al que se enfrenta el recurso suelo, es al agotamiento tanto en cantidad como calidad, así como de sus minerales. En la agricultura tradicional una de las alternativa para contrarrestar esta situación es la aplicación de fertilizantes, restaurando

algunas condiciones fisicoquímicas del suelo, sin embargo también puede producir la lixiviación de algunos elementos como nitrógeno y potasio directo a aguas superficiales como lagunas naturales, generando eutrofización (Marco & Reyes, 2003).

Muy diferente de lo que sucede en una agricultura tradicional, la agricultura de precisión se enfoca en utilizar herramientas como el GPS Y SIG que nos facilitan información rápida y precisa, requiere de información para cuantificar y tomar decisiones sobre el momento y el lugar ideal para actividades como riego, siembra, fertilización y cosecha. Un riego eficiente evita que la planta pase por un estrés hídrico, una fertilización en la cantidad adecuada evitará sobredosis de químicos en el suelo, y está de más decir que esto a su vez tendrá un costo menor al productor.

## **2.6. Mapeo digital de suelos**

Un manejo de fertilidad en base a conocimientos previos y actualizados aporta beneficios en la productividad y sostenibilidad de los cultivos. El mapeo digital de suelos se encarga de diagnosticar y cuantificar la distribución espacial de las propiedades y clases del suelo, mediante el uso de sistemas empíricos que especulan entre las observaciones del suelo y un conjunto de variables específicas del campo referenciado espacialmente. Algunas de las ventajas que aporta el mapeo digital de suelo es producir resultados en menor tiempo y con menor costo, creando estadísticas entre la información obtenida en campo y sobre características ambientales, la elaboración de gráficos bajos el modelo de variación espacial y además que otorga la facilidad de aplicarlo en lugares donde el acceso y datos sobre el suelo son limitados (Montes et al., 2019).

El mapeo digital de suelos también estima los problemas que están asociados a predicciones realizadas, esto puede ser debido a errores de muestreo o diferencia entre las metodologías analíticas utilizadas, inconsistencias en laboratorio, en general revisar las inconsistencias permite generar cartografías de calidad (Montes et al., 2019).

Cuando los resultados que se hayan generado, es decir por ejemplo los mapas de disponibilidad de potasio y saturación, basados en el suelo, se pueden elaborar otros mapas que permiten hacer la aplicación de fertilizantes en la dosis correcta por toda la finca, e incluso en el mercado hay dispositivos electrónicos adaptados a máquinas que reconocen mapas de prescripción (Ver figura 3) y presentan mecanismos que logran ajustar la dosis a medida que se realiza la aplicación (IICA, 2006).



**Figura 3.** Distribución de dosis variables de fertilizantes de acuerdo al mapa de suelos digitalizado usando SIG.

**Fuente:** Espinosa, José (2016).

## 2.7. Geoestadística

La geoestadística es una metodología empleada para la valoración de recursos, comúnmente fue utilizada por más de 40 años por empresas mineras. Su desarrollo en las ciencias biológicas es más reciente y se basa generalmente en que la información recolectada en puntos cercanos es más precisa y similar que las muestras ubicadas a mayor distancia, esto nos define que un modelo de variación espacial contiene tres componentes: una estructura general que puede ser propuesta como una tendencia, una segunda estructura superimpuesta que se relaciona con la correlación espacial y una variación gradual y como tercer componente una variación al azar por consecuencia de errores en muestreo (IICA, 2014).

La geoestadística empieza con el trabajo de D.G. Krige en 1951, cuando observando los datos de concentración de oro comprobó que las varianzas sólo serían razonables si se consideraba la distancia entre muestras, Matheron en 1963 considero esas observaciones y extendió la teoría de las variables regionalizadas que establecen los principios de la estadística. Se puede decir que mediante el uso de la dependencia espacial que poseen los

datos de una muestra, la geoestadística utiliza un algoritmo para cuantificar una variable en sitios no muestreados luego se realiza la descripción de la distribución de aquella variable a través de mapas con datos interpolados unidos por isolíneas (IICA, 2014).

La estimación de valores forma parte de un proceso importante en la geoestadística, se empeña en determinar de la manera más precisa valores que no han sido tomados o medidos, con respecto a los datos recolectados. Para los métodos geoestadísticos se pretende crear estimadores, y facilitar una medida de precisión a través de herramientas como varianzas o intervalos de confianza (Emery, 2007).

Acevedo et al., (2008) menciona a la geoestadística como un medio donde definir la autocorrelación y emplear el conocimiento de fuerza y escala para interpolar la información de las variables en lugares que no sean muestreados utilizando el método kriging.

La geoestadística debe basarse en tres etapas fundamentales (Moral, 2004).

### **1) Análisis de datos exploratorios**

En esta etapa se analizan los datos sin considerar su distribución geográfica, sino más bien se aplican estadísticas, aquí se comprueban datos y se eliminan los errores, además de que se identifican la distribución de las que provienen.

### **2) Análisis estructural**

En la segunda etapa se calculan variogramas o algún otro ejercicio donde se muestra la variabilidad espacial que existe junto con la elaboración de un variograma teórico. Los semivariogramas son gráficas en coordenadas cartesianas, en donde el eje de las ordenadas (y) se registra la semivarianza y en el eje (x) que son las abscisas se registra un vector igual al intervalo de muestreo.

### **3) Estimaciones**

Se efectúan predicciones, es decir se realizan estimaciones de cada variable en los lugares no muestreados, tomando en cuenta la correlación espacial e introduciendo los datos obtenidos de modo directo en los puntos muestrales.

La geoestadística trabaja con las variables medidas en un terreno con continuidad espacial, se apoya en el estudio de la autocorrelación espacial asumiendo que las observaciones de dos lugares sean más similares a medida que estos se ubiquen más cercanos (Valbuena et al., 2008).

### 2.7.1. Semivarianza

La semivarianza es una medida que determinan la desigualdad que existe entre varios puntos situados a una determinada distancia, expresando que mientras más semejante sean las observaciones el resultado de la semivarianza será menor, su valor se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación (1):

$$y(h) = \frac{1}{2}N \sum_{i=0}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Donde  $y(h)$  sería el valor de la semivarianza de datos con una separación entre ellas  $h$ .  $N$  el número de puntos de muestreo separados por una distancia  $h$ .  $Z(x_i)$  es el valor de la variable  $Z$  que corresponde el punto muestreado  $x_i$ , y  $Z(x_i + h)$  es el valor de la propiedad en el punto muestreado a una distancia  $x_i + h$  (Acevedo et al., 2008).

La semivarianza aumenta junto con la distancia hasta un valor máximo el cual luego empieza a ser constante; el umbral de máxima semivarianza se denomina *meseta o sill* y está compuesta por la suma de la semivarianza estructurales y la llamada *nugget* o semivarianza aleatoria. El efecto Pepita representa una discontinuidad en el origen como resultado de errores experimentales o por la presencia de variaciones espaciales a escalas menores que la mínima estancia de muestreo. El *alcance o Rango* es aquel que empieza desde el origen hasta el punto exacto donde empieza el *sill*, este valor nos indica que las muestras tomadas a menor distancia están relacionadas espacialmente, mientras que las distancias mayores demuestran que no se relacionan espacialmente, por motivo que la semivarianza sea hace igual a la varianza de la muestra, lo que supone una variación aleatoria (Obando et al., 2006).

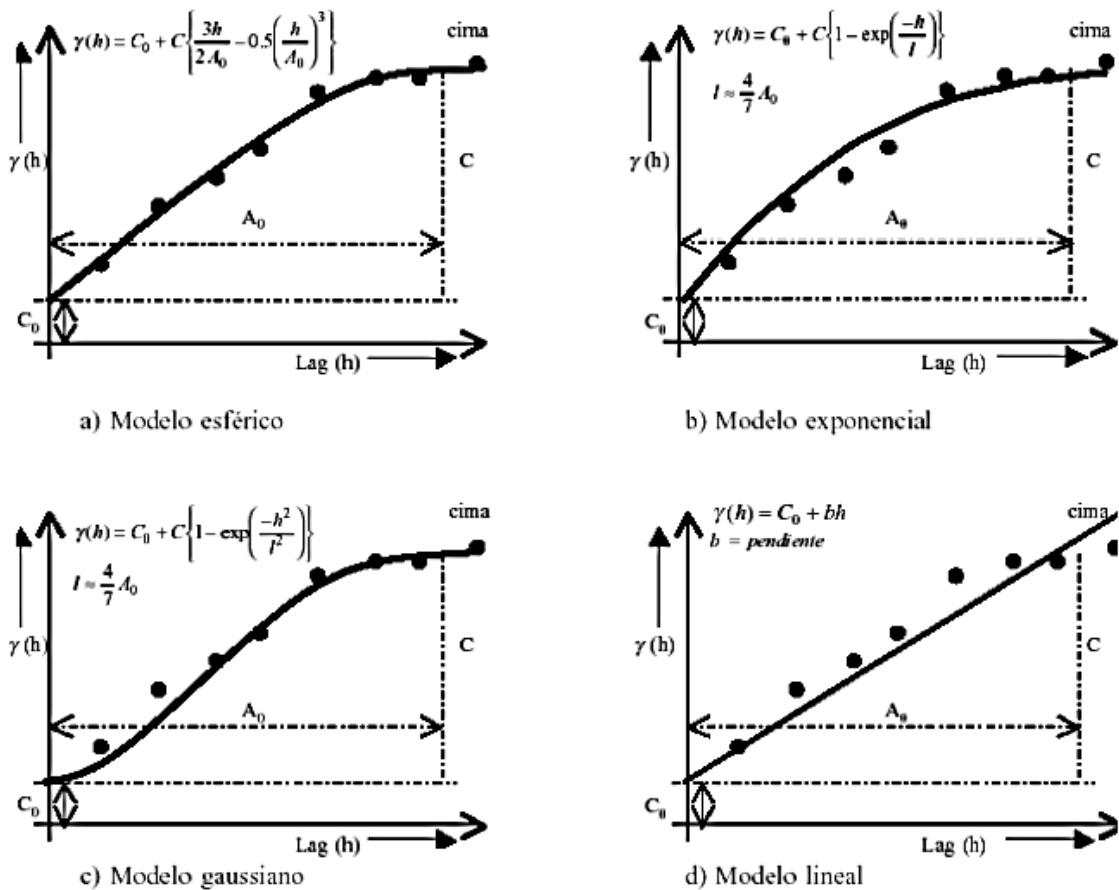
### 2.7.2 Semivariograma

Se conoce como semivariograma a la función que describe la variabilidad espacial, explicando que tan parecidos son los puntos en el espacio, a medida que esto se vayan alejando, están relacionadas con una dirección y distancia entre las muestras, siendo la herramienta básica que apoya las técnicas del Kriging. Los principales tipos de semivariograma que se utilizan son los modelos: lineal, esférico, exponencial y gaussiano como se puede apreciar en la figura 4. Jaramillo, (2012b) indica que los modelos que frecuentemente se ajustan a las propiedades del suelo que muestran dependencia espacial son el esférico y exponencial, teniendo prioridad sobre los demás.



El modelo a elegir será el que mejor represente los datos ya conocidos y deberá cumplir las condiciones (Fuenzalida et al., 2015).

- **Raíz cuadrada del error medio**; cuanto más pequeño sea, mejor se dará las predicciones.
- **Error estándar promedio**, pequeño, próximo a RMS, la variabilidad de la predicción se calcula correctamente
- **RMSE (Raíz cuadrada del error medio estandarizado)** diciendo que cerca de 1 declara que los errores y la predicción son válidos.



**Figura 4.** Semivariograma experimental y modelos de semivarianza: a) esférico, b) exponencial, c) gaussiano y d) lineal. Se puede observar el alcance (rango), efecto pepita ( $C_0$ ) [nugget] y meseta ( $C_0+C_1$ ) [sill].

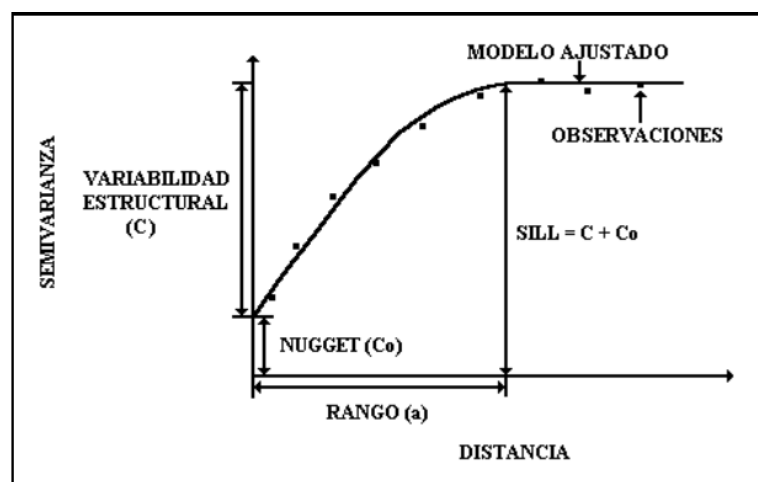
**Fuente:** Miranda-Salas y Condal, 2003.

Cada semivariograma debe presentar tres parámetros (figura 5), muy comunes que describan la dependencia espacial de las variables en estudio:

**Efecto Pepita:** nugget, se entiende como variabilidad no detectada durante el muestreo, sin embargo el valor del efecto pepita en mejor de los casos sería igual cero (Vasquez et al., 2010).

**Meseta:** La meseta es el punto superior del semivariograma y representa el límite cuando la distancia tiende a ser infinita.

**Alcance o Rango:** Representa la distancia a partir de que dos observaciones son independientes (Rangel et al., 2002).



*Figura 5. Principales elementos del Semivariograma.*

**Fuente:** Jaramillo, 2003.

Jaramillo, (2012b) indica que la dependencia espacial de las propiedades del suelo puede variar, desde luego mediante la relación de nugget/sill se estima el grado que posee cada variable, de acuerdo a la clasificación de (Cambardella et al., 1994) lo agrupa como débil, porcentajes superiores al 75%; moderado para valores entre 25% y 75%; por último como fuerte a porcentajes inferiores al 25%.

## 2.8. Método de muestreo

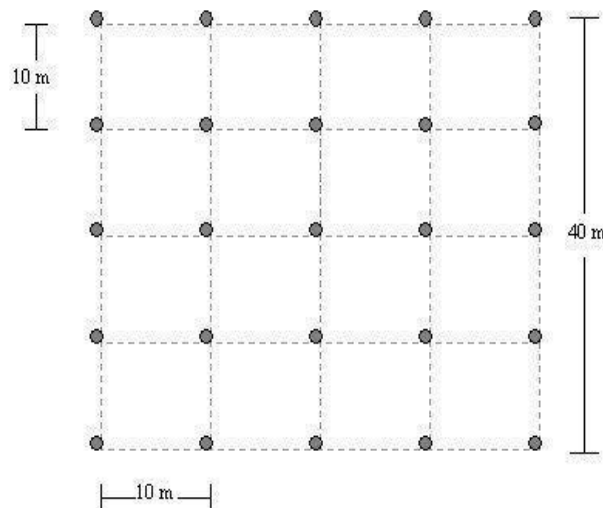
La variabilidad que puede presentar una finca puede clasificarse en tres tipos: micro meso y macro variabilidad, los dos primeros tipos se refieren a un rango de distancia que va de pocos centímetros como por ejemplo, la aplicación de fertilizantes en banda y a pocos metros haciendo referencia las aplicaciones desuniformes de agroquímicos, la macro variabilidad es provocada por cambios de suelos, que se deben a cambios naturales del

tipo de suelo o pueden ser el resultado de distintos tipos de manejo dentro de la finca (IICA, 2006).

Por efecto de minimizar el error sistemático presente en las muestras IICA, (2006) propone estrategias de muestreo basadas en la distribución o arreglo espacial de los puntos de la finca a ser reemplazados. Para la cuantificación de la variabilidad de una variable en lotes se conocen dos aproximaciones, la primera asume el desconocimiento de la variabilidad dentro de la finca y la segunda consiste en emplear técnicas de muestreo que implica el uso de la información complementaria con el fin de mejorar la calidad de los datos obtenidos, varios de los diseños de muestreo más comunes son: al azar, simple, estratificado, sistemático estratificado, geoestadístico, muestreo dirigido entre otros.

### 2.8.1. Muestreo en grilla sistemático

Conocido como muestreo en grillas, el muestreo y sistemático es el más utilizado debido a la distribución balanceada de los puntos en la finca, la grilla puede variar en tamaño y forma, las más conocidas son las cuadradas, rectangulares, hexagonales y triangulares, resaltando que la grilla con celdas cuadradas son las que más se emplean en muestreos sistemáticos, otra razón para emplear el muestreo en grilla en forma cuadrada es la fácil orientación en la finca para ubicar cada punto, y podría decirse que las desventaja de muestreo sistemático es que los puntos pueden estar ordenados con patrones de variación de suelo que varían sistemáticamente, una solución para evitar excesos dividir las celdas y escoger muestras dentro de las mismas pero aleatoriamente (IICA, 2006).



**Figura 6.** Muestreo en grillas sistemático.

**Fuente:** Ruiz, Olga & Aguirre, Luis & Vargas-Rodríguez, Renzo & Aguayo, Rodrigo & Alfaro, Fernando & Moya, Karina (2014).

## **2.9. Métodos de interpolación**

Con la facilidad que hay para realizar muestreos y análisis, se han presentado varios tipos de interpolaciones como una herramienta para la caracterización de la variación espacial. Sin embargo existen los modelos de interpolación matemática como el IDW (Inverse distance weighting), SPLINE (Método de mínima curvatura), Kriging (KRG), Natural Neighbor (Vecinos naturales), Topo to Raster (Topogrid), entre otros, siendo el método estadístico Kriging en honor a su creador, en el cual se basa en las variables zonificadas y autocorrelacionadas, a través de estos interpoladores se puede representar distintas propiedades del suelo en forma continua y medir la importancia de esta variación sobre el consiguiente manejo a desarrollar (Henríquez et al., 2005).

De acuerdo con Henríquez et al., (2005) los métodos de interpolación permiten crear mapas o superficies continuas a partir de datos discretos sin embargo el uso de muy poca cantidad de puntos ubicados en el área estudio hace que limite su utilización.

Tomando en cuenta los datos que se analizan, el costo y la dificultad de obtención disponen que tan valioso resulta el uso de la interpolación. algo importante es mencionar la precisión que adquiere el mapa generado, a partir de características de un suelo en particular, depende en gran parte de la estructura espacial de los datos, donde entre más fuerte sea la correlación espacial, mejor se deduce la calidad del mapeo (Villatoro et al., 2008).

### **2.9.1. Kriging**

De la gran variedad de interpoladores que existen el día de hoy, se distingue el grupo denominado kriging, su nombre deriva de su creador el ingeniero en minas D.G. Krige, el método no solo ofrece predicciones, sino también proporciona mapas de probabilidades y cuantiles (Villatoro et al., 2008). El interpolador involucra los atributos estadísticos de los datos muestrales y concede una medida del error de la misma, siendo un claro indicador de una correcta o deficiente predicción, es considerado mejor estimador lineal insesgado, es lineal debido a que sus estimaciones son acoplaciones lineales ponderadas de la información existente; es insesgado porque pretende que la media de los errores sea nula; y finalmente es mejor porque los errores de estimación tienen una varianza mínima (Obando et al., 2006).

El kriging resulta ser eficiente en trabajos del campo de la agronomía, obteniendo mejor utilidad para distintas prácticas de manejo donde se pueda captar la variabilidad, llegando

a formar parte de una agricultura de precisión. Los mapas de interpolación elaborados a partir de análisis de suelo sobre propiedades químicas, resultan muy útiles como sugerencias para una fertilización. Bertsch et ál. (2002) citado por Henríquez et al., (2013) logró planificar un programa de fertilización conforme a las necesidades evaluadas en la finca con cultivos de café y caña de azúcar.

## **2.10. Análisis Multivariado**

La mayoría de investigaciones aplican el uso de la estadística tradicional de factores o variables, muy aparte de esto se puede aplicar un análisis de datos multivariado que tiene como objetivo reducir una gran cantidad de datos, una herramienta capaz de aportar ideas y tomar decisiones en distintos áreas o disciplinas (León et al., 2008). Dentro de las técnicas de un análisis multivariado las más utilizadas son: análisis de componentes principales, factorial, de clasificación, de varianza y análisis de variables cónicas.

### **2.10.1. Análisis de Componentes Principales**

El (ACP) da la oportunidad de efectuar un análisis para determinar la relación existente entre variables cuantitativas sin tomar en cuenta estructura, ni de las variables, ni de cada individuo. Esta técnica se aplica cuando se requiere conocer la relación entre elementos de una población y como puede influir en aquella relación de forma desconocida un grupo de propiedades. La técnica descrita puede ser empleada en ciencias agrícolas llegando a ser de gran utilidad en actividades de predicción, se ha cateterizado por formar parte de trabajos como caracterización de sistemas de producción, en agronomía, uso de información climática, determinación de áreas homogéneas de precipitación y hasta sistema de producción\_agropecuaria (Olivares, 2014).

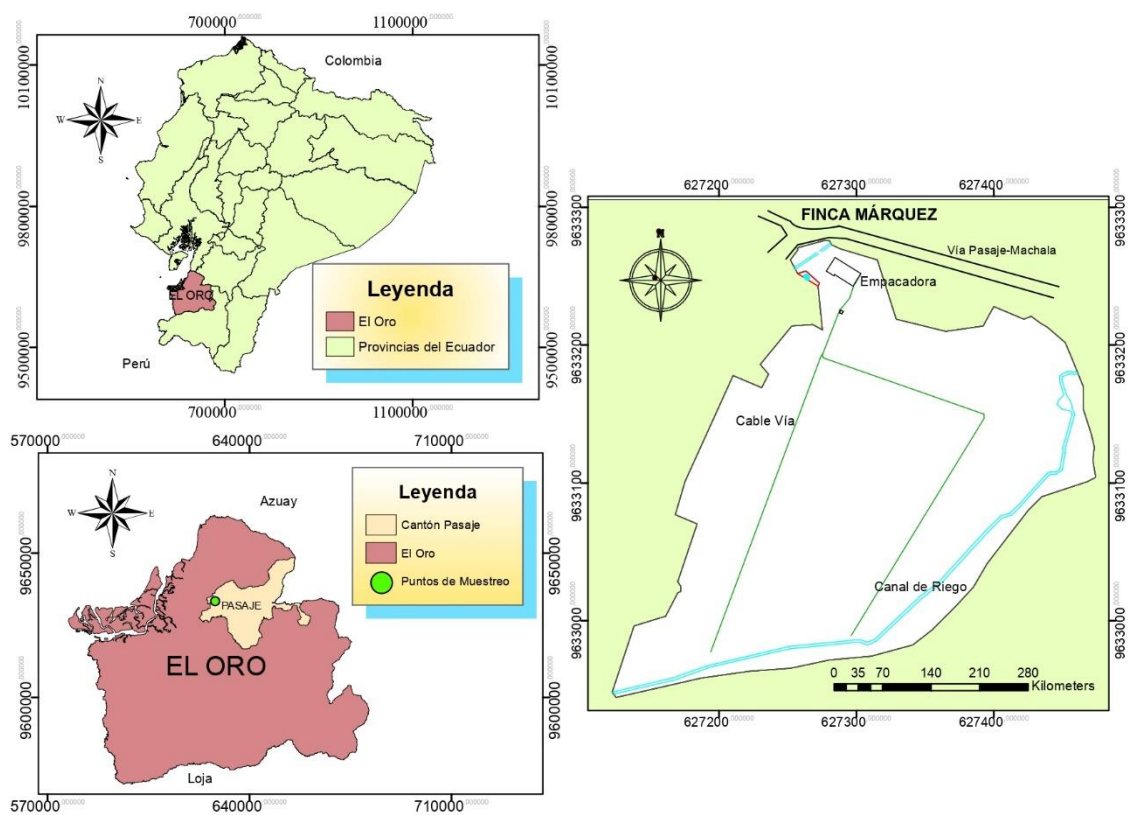
El ACP propone reducir el número de datos, convirtiendo el grupo de  $p$  variables en otro conjunto de  $q$  variables no correlacionadas, conocida como componentes principales. Las  $p$  variables son medidas sobre cada uno de los  $n$  individuos, consiguiendo una matriz de datos de orden  $np$  ( $p < n$ ) (Ramírez et al., 2016).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Caracterización de la zona de estudio

##### 3.1.1. Localización.

La investigación se llevó a cabo en el predio “Finca Márquez”, ubicada en la parroquia La Peaña, del cantón Pasaje, provincia de El Oro, al Sur de la costa ecuatoriana, entre las coordenadas geográficas  $3^{\circ}19'02.3''S$  y  $79^{\circ}51'15.7''W$  y con una altitud media de 20 msnm. El lote se encuentra bajo explotación intensiva con banano, Clon Cavendish, con riego subfoliar (Figura 7).



**Figura 7.** Ubicación geográfica del área de estudio.

**Fuente:** Elaboración Propia.

##### 3.1.2. Clima

Está clasificado como Bosque muy seco tropical. En esta zona la temperatura en el año 2018 fue de  $21.87^{\circ}C$  como min y  $31.23^{\circ}C$  como máx, la precipitación va desde 515 mm/año; el mes más seco fue septiembre, con 10 mm y un promedio de 163 mm, la mayor precipitación en febrero, la humedad relativa es superior al 70% y se maneja una evaporación entre 14.19 mm/día.

### **3.1.3. Suelos y topografía.**

El suelo del predio experimental se incluye dentro del grupo de suelos aluviales de acuerdo con la clasificación de la FAO, se encuentra en zonas nombradas llanuras de sedimentación por el hecho de ser ligeramente ondulada o casi llana, se define que la formación litológica del lugar pertenece a llanuras costeras que son característicos de poseer topografía plana a ligeramente ondulada, logrando un embalse aluvial de ríos como: Jubones por el norte, y por el este el Río Buenavista, estos suelos han sido explotados por más de medio siglo por el cultivo de banano (Villaseñor et al., 2015).

## **3.2. Materiales y Equipos utilizados en la Investigación**

### **Materiales**

- Fundas plásticas y etiquetas
- Espátula, Pala, Machete, Navaja
- Cinta métrica
- agua destilada
- Pizetas
- Recipientes de
- plástico
- Varillas de vidrio
- Crisoles

### **Equipos**

- GPS
- Balanza analítica de precisión
- Estufa
- Desecador
- Potenciómetro
- Mufla
- Conductímetro

### 3.3. Diseño de investigación

#### Fase de campo

##### 3.3.1. Levantamiento perimetral del área de estudio.

La investigación se desarrolló en la finca bananera de 6,27 hectáreas, el levantamiento perimetral del área de estudio se efectuó con la ayuda de la tecnología GNSS, con el GPS (Garmin), recorriendo los límites externos del predio, la información que se recolectó se manejó bajo el sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator), datum WGS 84.

##### 3.3.2. Determinación de grilla de muestreo.

Con la información recolectada se diseñó el mapa con el Software AutoCAD (2014), para definir la grilla de muestreo se trazaron distancias de 70x70 metros que dieron como resultado 15 puntos que están distribuidos uniformemente en el área de estudio como se presencia en la Figura 8.

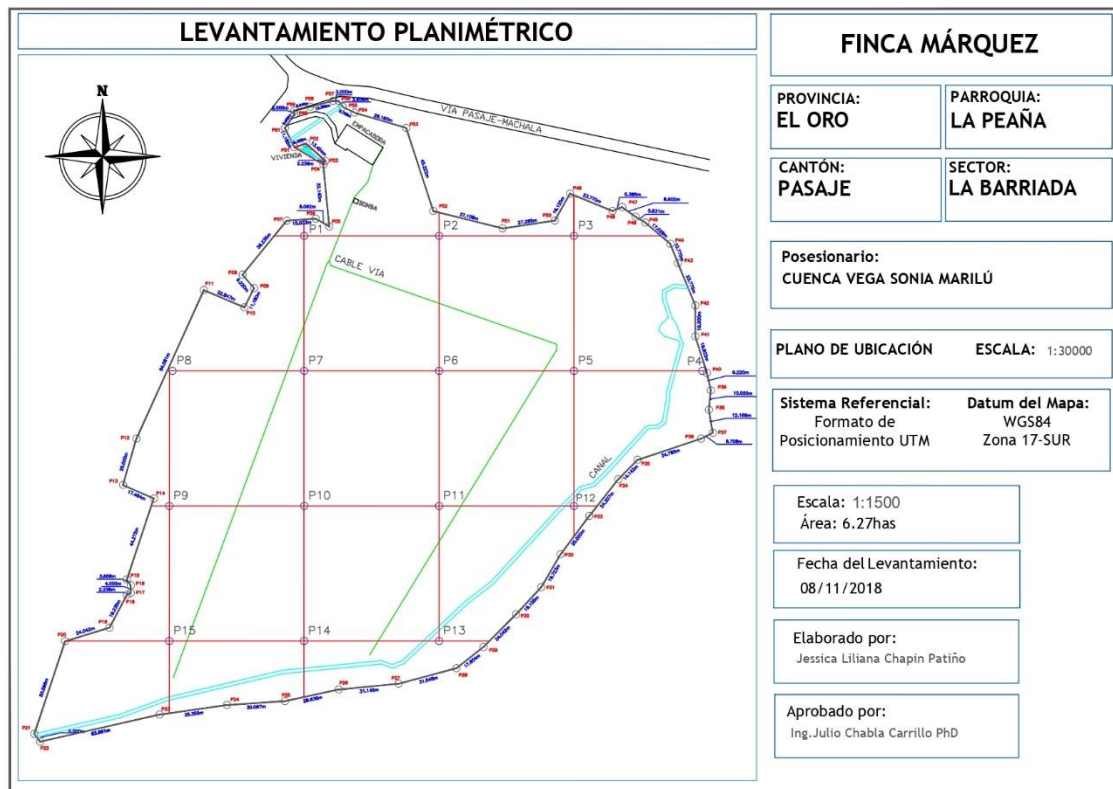


Figura 8. Demarcación de los 15 puntos dentro de la Finca “Márquez”.



### 3.3.3. Toma de muestras.

Los 15 puntos fueron georreferenciados con GPS, para el trabajo en campo se utilizó pequeñas estacas para poder identificar mejor los puntos, luego se elaboró una calicata a una profundidad de 30cm como se observa en la Figura 9 y dividiendo todo el perfil en 3 estratos: 0-10cm; 10-20cm; 20-30cm; recolectando en cada uno aproximadamente 2 kg de suelo, la cual fue colocada en una funda plástica, con su respectiva etiqueta y posteriormente llevada al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (UTMACH).



*Figura 9. Construcción de calicata para la extracción de muestras de suelo: a) limpieza del terreno, b) calicata con tres niveles (0-10cm, 10-20cm, 20-30cm).*

### Fase de laboratorio.

Para la fase de laboratorio cada una de las muestras fue llevada al proceso de secado siendo expuestas al sol durante tres días, luego se trituro y se pasaron por un tamiz de 2mm de grosor.

### 3.3.4. Variables evaluadas.

En la tabla 3 se presenta las propiedades químicas que serán analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala y en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP-Litoral Sur (anexo 1).

**Tabla 3:** Métodos de análisis utilizados para la caracterización química del suelo, en la Finca “Márquez” de la parroquia La Peaña.

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método utilizado</b>	<b>Tamaño de muestra</b>
pH	-	Volumetría Potenciométrica	45
Conductividad eléctrica	dS/cm	Conductímetro	45
Materia Orgánica	%	Ignición	45
N, P,	mg/kg	Colorimetría	45
K, Ca, Mg	cmol/kg	Espectrofotometría de Absorción Atómica	45

### 3.4. Análisis geoestadístico

El análisis geoestadístico se llevó a cabo en tres etapas: la primera etapa consiste en cumplir con los supuestos estadísticos, para ello las variables fueron sometidas a un análisis estadístico que incluye: diagramas de cajas y bigotes, estadística descriptiva (media, mediana, rango, desviación estándar, máximo, mínimo) incluyendo coeficiente de variación (%) según la clasificación de Warrick & Nielsen (1980), asimetría y curtosis con la ayuda del programa estadístico IBM SPSS Statistics 25, con el objetivo de reconocer las variables con mayor dispersión presente en la finca.

Luego del análisis, se determinó si los datos presentaron una distribución normal o por lo menos simétrica, a través de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, ya que se vuelven requeridos para establecer semivariogramas válidos.

La segunda etapa de la geoestadística está el análisis estructural, se utilizó la función de semivarianza a través del programa Surfer para obtener los valores del semivariograma, seguidamente para el ajuste experimental a teórico se tomaron criterios para la selección del modelo, se utilizó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de Nash, este ajuste permitió definir los parámetros (sill, Nuggets y rango) que servirán para el cálculo de valores interpolados en base a la distancia entre los puntos, y los cuales pertenecen a los modelos de variación espacial para las propiedades de suelo en estudio. Una vez elegido el modelo teórico para cada atributo se determinó el grado de dependencia espacial. (GDE), Cambardella et al.,(1994) citado por Garzón et al.,(2010) lo relaciona mediante el efecto pepita y la meseta, lo clasifica como

débil, porcentajes superiores al 75%; moderado para valores entre 25% y 75%; por último como fuerte a porcentajes inferiores al 25%.

Con los datos geoestadísticos obtenidos, se finaliza con la tercera etapa conocida como estimaciones, donde se interpolan los datos a través del método kriging con ayuda de la extensión Geostatistical Analysis en el programa ArcMap 10.2.

### **3.5. Análisis multivariado**

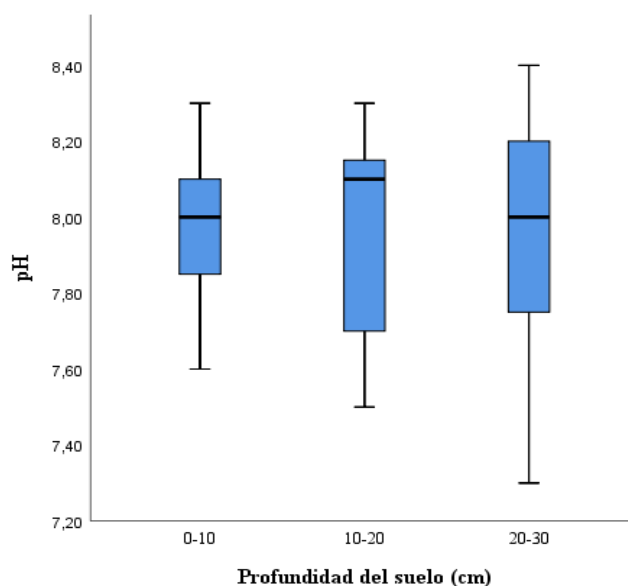
El programa IBM SPSS Statistics 25 sirvió para realizar el análisis factorial de componentes principales. Se escogieron los componentes principales con autovalores mayores o iguales a uno, los cuales explican el mayor porcentaje de la variación total de los datos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis Estadístico

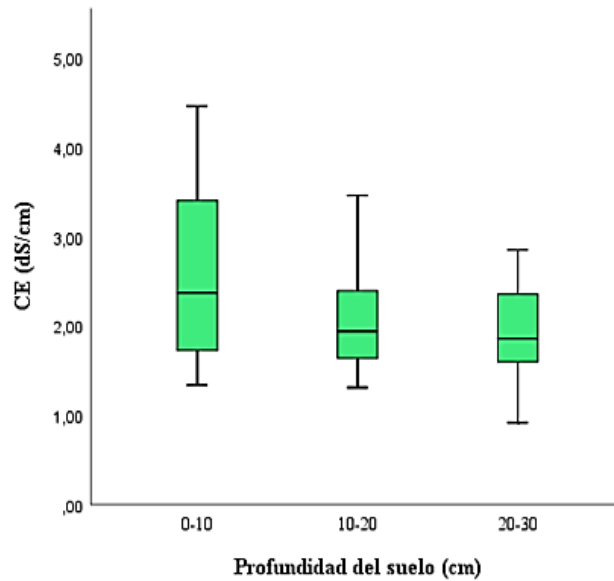
#### Diagrama de cajas y bigote

El diagrama de cajas de la figura 12 presenta la variable pH, demostrando claramente valores en aumento conforme va descendiendo el perfil del suelo, en el estrato de 20-30 cm se ubica el valor máximo y mínimo, con un pH 8,40 y un pH 7,30 respectivamente y a su vez el estrato que mayor dispersión de datos posee, los rangos para el primer, segundo y tercer estrato corresponden a 0,70; 0,80 y 1,10 respectivamente, si se examina las medianas por profundidad se tiene que los 3 estratos se clasifican como alcalinos y muy alcalinos.



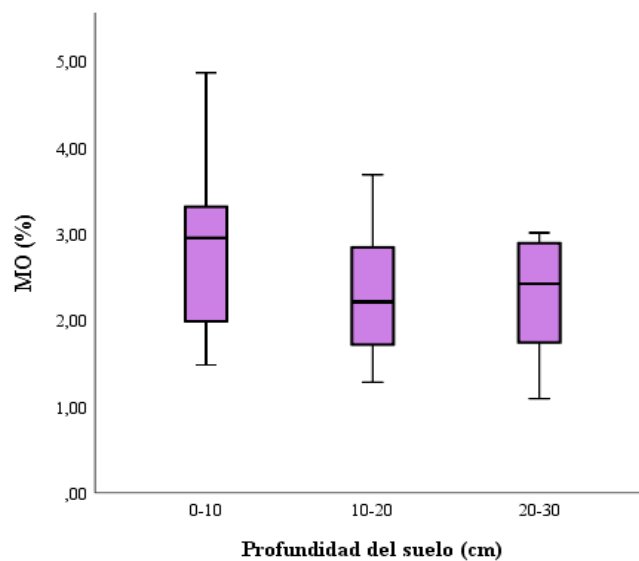
**Figura 10.** Diagrama de caja y bigote de la propiedad pH de los 3 estratos de suelo en estudio.

En cuanto a la CE el primer estrato presentó el valor máximo de 4,46 dS/cm y el mínimo se encuentra en el tercer estrato de 20-30cm con un 0,92 dS/cm (Figura 11). Como se observa en la capa superficial el primer estrato presentó mayor dispersión en todo el perfil.



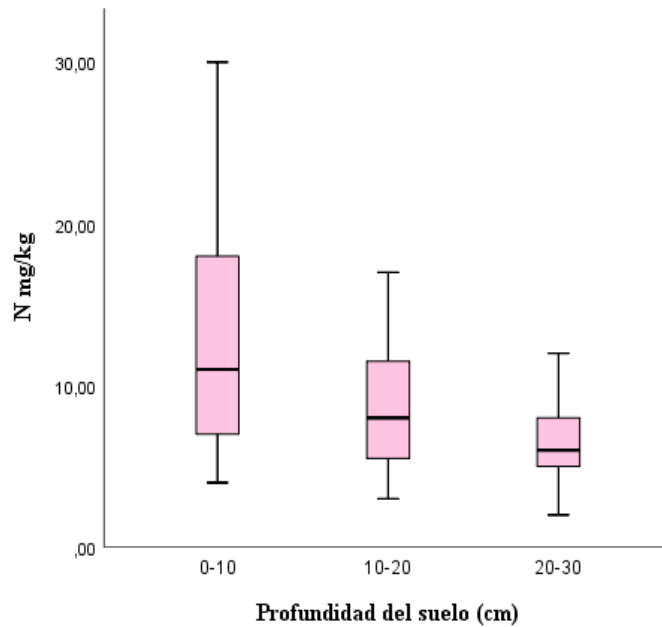
**Figura 10.** Diagrama de caja y bigote de la propiedad Conductividad Eléctrica de los 3 estratos de suelo en estudio.

La figura 10 presenta los cuartiles con respecto a la Materia Orgánica, resultando en el estrato de 0-10cm los contenidos más altos, obteniendo una mediana de 2,95%, un valor máximo de 4,86% y un mínimo de 1,48%, las otros dos estratos presentaron niveles inferiores, tal como obtuvo Arias et al., (2010) al evaluar la materia orgánica a diferentes profundidades en suelos con cultivo de banano y Clunes et al., (2014) al evaluarla bajo diferentes manejos agrícolas. Sin embargo, el estrato de 20-30cm a diferencia del primero posee menor dispersión en sus datos.



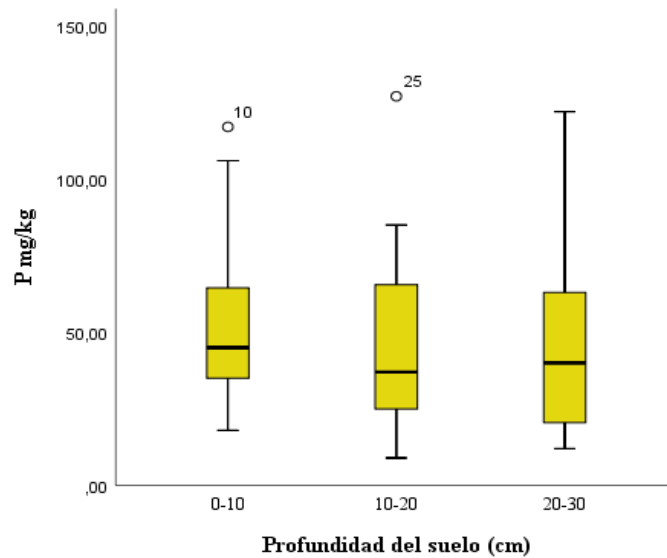
**Figura 12:** Diagrama de caja y bigote de propiedad de Materia Orgánica de los 3 estratos de suelo en estudio.

La figura 13 muestra la distribución de los datos de la variable Nitrógeno, presenta valores altos en el primer estrato (0-10cm) con un valor máximo de 30 mg/kg y un mínimo de 4 mg/kg explicando la mayor dispersión, en el último estrato del suelo (20-30cm) posee los valores más bajos de todo el perfil obteniendo un rango de 10 en dicha variable. El valor medio en los tres estratos considerados, oscilan entre 6 mg/kg y 12 mg/kg.



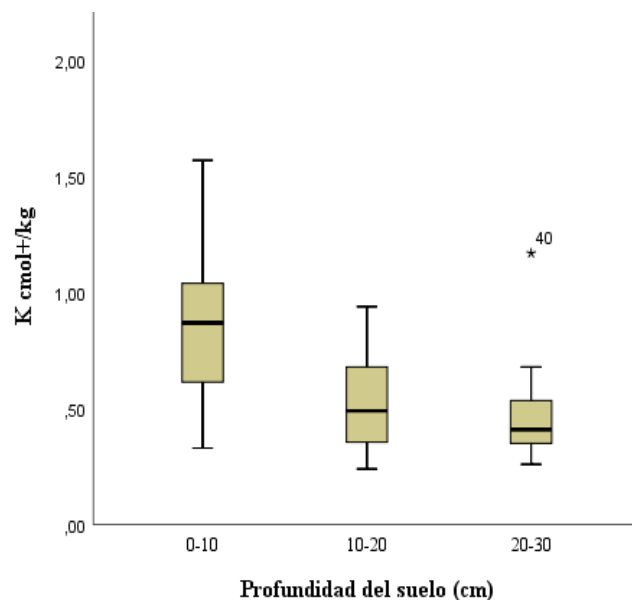
**Figura 11.** Diagrama de caja y bigote de la propiedad Nitrógeno de los 3 estratos de suelo en estudio.

La variable fósforo presentó a través del diagrama de cajas (figura 14) contenidos con un mínimo de 18 mg/kg y un máximo de 117 mg/kg en la capa superficial (0-10cm), el segundo estrato obtuvo un rango de 118 y una mediana de los datos de 37 considerándolo como el que presenta la mayor dispersión de sus datos tomando en cuenta valores extremos, en el tercer estrato la distribución de los datos es también alta con un valor máximo de 122 mg/kg y un mínimo de 12 mg/kg.



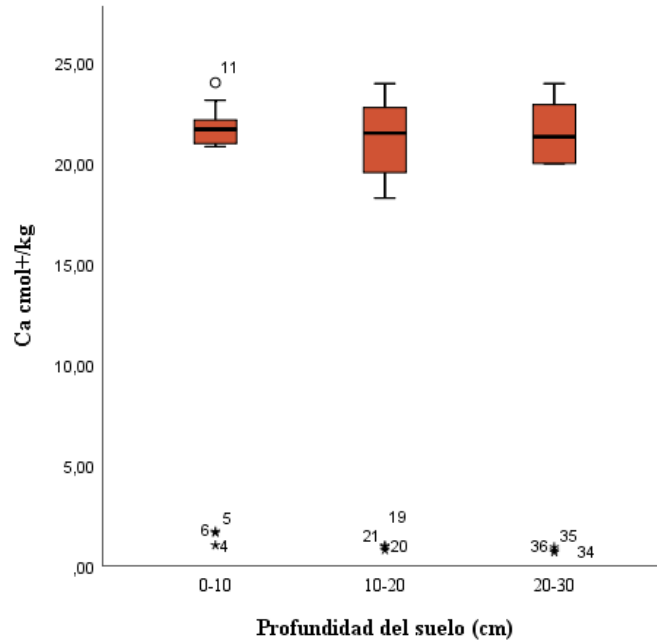
**Figura 12.** Diagrama de caja y bigote de la propiedad Fósforo de los 3 estratos de suelo en estudio.

Según el diagrama de cajas de la figura 15, la variable potasio presentó contenidos altos en el primer estrato; obtuvo una media de 0,85 cmol+/kg, y una mediana de 0,87 cmol+/kg presentando la mayor dispersión, en el segundo estrato se sitúa el valor mínimo de todo el perfil del suelo con un 0,24 cmol+/kg, y finalmente el tercer estrato fue el que menor contenido de nutriente presentó de todo el perfil con una media de 0,48 cmol+/kg.



**Figura 13.** Diagrama de caja y bigote de la propiedad Potasio de los 3 estratos de suelo en estudio.

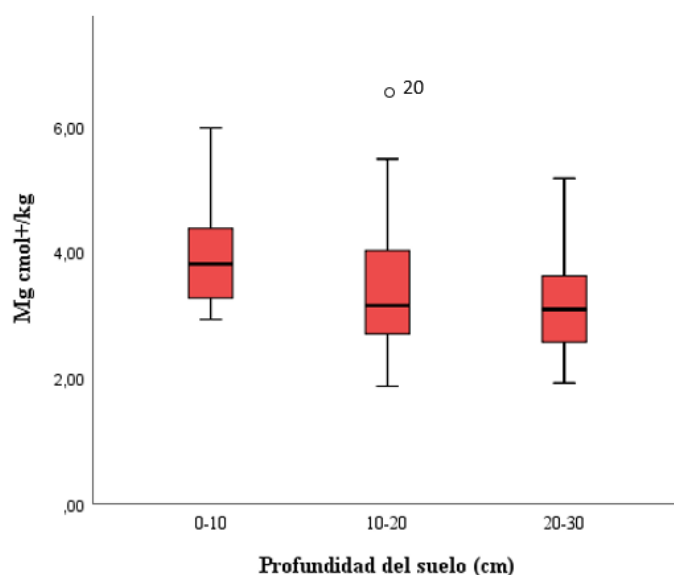
La variable calcio como se observa en la figura 16, presentó en todo el perfil valores que oscilan entre 23,97 cmol+/kg como máximo y 18,25 cmol+/kg como mínimo, situándose en el primer y segundo estrato respectivamente. Como es notorio en toda la profundidad de 0-30cm se presenciaron valores atípicos.



**Figura 14.** Diagrama de caja y bigote de la propiedad Calcio de los 3 estratos de suelo en estudio.

Con respecto al diagrama de cajas de la figura 17, el magnesio presentó en el primer estrato obtuvo contenidos de 5,97 cmol+/kg como máximo y 2,93 cmol+/kg como mínimo, en el segundo estrato su máximo valor es de 6,41 cmol+/kg y su mínimo es de 1,87 cmol+/kg, por último, el tercer estrato presentó un rango de 3,25 cmol+/kg y una mediana de 3,09 cmol+/kg. El grafico demuestra que el segundo estrato (10-20cm) obtuvo mayor dispersión de sus datos tomando en cuenta valores anómalos.





**Figura 15.** Diagrama de caja y bigote de la propiedad Magnesio de los 3 estratos de suelo en estudio.

### Prueba de normalidad

Mediante la presencia de valores extremos (mayores a 3 longitudes) en los diagramas de cajas, Jaramillo, (2012) recomienda eliminarlos para obtener una homogeneidad en los datos, seguidamente al igual que Fernández et al., (2007) también se empleó la prueba de normalidad propuesta por Shapiro-Wilk con el objetivo de presenciar si nuestro conjunto de datos tenían una distribución normal, en la tabla 4 las variables presentaron valores superiores de ( $p < 0,05$ ), lo cual no fue significativo para las variables. En resumen, las variables resultaron con una distribución normal, por lo que fue descartada la opción de recurrir a las transformaciones logarítmicas, situación que es normal para este tipo de inconvenientes con los datos.

**Tabla 4:** Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) de las propiedades químicas en estudio.

Prueba de normalidad				
Profundidad del suelo (cm)		Estadístico	gl	Sig.
pH	0-10	0,969	15	0,841
	10-20	0,871	15	0,290
	20-30	0,959	15	0,669
CE (dS/cm)	0-10	0,888	15	0,062
	10-20	0,898	15	0,090
	20-30	0,963	15	0,749

**Tabla 4. Continuación**

MO (%)	0-10	0,936	15	0,330
	10-20	0,954	15	0,597
	20-30	0,901	15	0,100
N mg/kg	0-10	0,911	15	0,139
	10-20	0,914	15	0,156
	20-30	0,939	15	0,365
P mg/kg	0-10	0,904	15	0,109
	10-20	0,902	15	0,100
	20-30	0,895	15	0,080
K cmol+/kg	0-10	0,968	15	0,823
	10-20	0,910	15	0,136
	20-30	0,942	14	0,450
Ca cmol+/kg	0-10	0,941	12	0,506
	10-20	0,932	12	0,397
	20-30	0,928	12	0,356
Mg cmol+/kg	0-10	0,882	15	0,050
	10-20	0,896	15	0,082
	20-30	0,908	15	0,125

Se procedió a efectuar la estadística descriptiva de las propiedades químicas del suelo (tabla 5), se expone una SD relativamente baja en todo el perfil con valores poco dispersos con respecto a la media, a excepción de la variable P(mg/kg) con un 28,18 para 0-10cm; 32,49 en 10-20cm y 33,34 en el estrato de 20-30cm que de acuerdo a Jaramillo, (2012) se debe a la aplicación continua de tal elemento como fertilizante.

Considerando el coeficiente de variación, según la clasificación de Warrick & Nielsen (1980), el N, P (mg/kg) resultaron propiedades con alta variación (CV mayor 60%); el valor más alto lo tiene N en el primer estrato, mientras que en el segundo y tercer estrato está el P, consideradas como propiedades extremadamente heterogéneas según la clasificación propuesta por Vásquez et al., (2010) (ver anexo 2). Las propiedades de CE, Mg, MO, K para las 3 profundidades presentaron una variación media (CV entre 12-60%) que concuerdan con resultados presentados por Sánchez et al., (2011), al igual que los resultados expuestos por Fernández et al., (2007) cuando determinó la variabilidad espacial de propiedades químicas a distintas profundidades, hecho que Cortés. et al., (2013) menciona que esto ocurre para este tipo de suelos de uso agrícola donde los

distintos tipos de manejo, aplicación de enmiendas y fertilizantes contribuyen a las variaciones.

Por otra parte, el pH resultó en todo el perfil con menor variación (CV menor 12%) con niveles entre 2% y 5%, comportamiento típico de acuerdo a Garzón et al., (2010) clasificado como variable relativamente homogénea, un caso similar lo expone Rodríguez, (2016) donde menciona que estos valores se deben a la génesis del suelo y al método de estimación que no refleja el comportamiento real.

Respecto a medidas de apuntalamiento todas las variables presentaron una distribución normal, pero levemente asimétrica con valores entre 0 y 3, lo cual indica valores característicos de una distribución normal, así lo expresa Lozano et al., (2004).

**Tabla 5:** Estadísticos básicos<sup>1</sup> de las propiedades químicas del suelo por estrato.

V/Unid	$\bar{x}$	Me	$\sigma$	CV%	Max	Mín	Rango	Ck	Cs	Norm
<i>Prof (0-10cm)</i>										
pH	7,96	8,00	0,20	2,51	8,30	7,60	0,70	-0,69	-0,13	N
CE										
dS/cm	2,55	2,37	1,03	40,39	4,46	1,34	3,12	-1,09	0,60	N
MO										
%	2,85	2,95	1,03	36,14	4,86	1,48	3,38	-0,52	0,61	N
N										
mg/kg	12,66	11	7,78	61,45	30	4	26	0,02	0,88	N
P										
mg/kg	54,73	45	28,18	51,48	117	18	99	0,62	1,06	N
K										
cmol/kg	0,85	0,87	0,34	40,00	1,57	0,33	1,24	-0,028	0,28	N
Ca										
cmol/kg	22,01	21,84	0,87	3,95	23,97	20,80	3,17	1,07	0,97	N
Mg										
cmol/kg	4,04	3,81	0,98	24,25	5,97	2,93	3,04	-0,23	0,92	N
<i>Prof (10-20cm)</i>										
pH	7,94	8,10	0,27	3,40	8,30	7,50	0,80	-1,33	-0,52	N
CE										
dS/cm	2,13	1,94	0,67	31,45	3,46	1,31	2,15	-0,018	0,94	N
MO										
%	2,30	2,21	0,69	30,00	3,68	1,28	2,40	-0,50	0,50	N
N										
mg/kg	8,93	8,00	4,58	51,28	17	3	14	-0,70	0,59	N
P										
mg/kg	45,73	37	32,49	71,04	127	9	118	1,35	1,17	N
K										
cmol/kg	0,53	0,49	0,23	43,39	0,94	0,24	0,70	-0,85	0,62	N
Ca										
cmol/kg	21,81	21,71	1,56	7,15	23,92	18,25	5,67	1,10	-0,83	N
Mg										
cmol/kg	3,52	3,15	1,30	36,93	6,41	1,87	4,54	0,32	1,03	N

**Tabla 5.** Continuación

	<i>Prof (20-30cm)</i>									
pH	7,95	8,00	0,33	4,15	8,40	7,30	1,10	-0,68	-0,40	N
CE										
dS/cm	1,96	1,86	0,50	25,51	2,85	0,92	1,93	-0,063	-0,05	N
MO										
%	2,29	2,42	0,64	27,94	3,01	1,09	1,92	-1,22	-0,43	N
N										
mg/kg	6,60	6,00	2,99	45,30	12	2	10	-0,04	0,31	N
P										
mg/kg	46,86	40	33,34	71,14	122	12	110	0,22	0,97	N
K										
cmol/kg	0,43	0,40	0,11	25,58	0,68	0,26	0,42	-0,11	0,64	N
Ca										
cmol/kg	21,90	22,27	1,29	5,89	23,92	19,97	3,95	-1,11	-0,29	N
Mg										
cmol/kg	3,26	3,09	1,03	31,59	5,17	1,92	3,25	-0,40	0,70	N

<sup>1</sup>  $\bar{x}$ : Media; Me: Mediana;  $\sigma$ : Desviación estándar; CV%: Coeficiente de variación; Max: Máximo; Min: Mínimo; Ck: Curtosis; Cs: asimetría; Norm: Distribución normal; N: normalidad.

#### 4.2. Análisis de variabilidad espacial

Luego de confirmar los supuestos estadísticos a nuestro conjunto de datos, se elaboró la etapa de análisis estructural, la tabla 6 y la figura 18 muestran los resultados del análisis de semivarianza realizado con las propiedades químicas de estudio. A nivel general el modelo predominante fue el exponencial, sin embargo en el estrato (0-10cm) el modelo esférico tuvo igual aceptación en las variables, y Gallardo, (2006) nombran el modelo esférico como el mejor, debido a los valores más reales de *Sill* que se estiman.

El estrato de (20-30cm) presentó el Nugget más bajo para la variable K (cmol+/kg), el más alto lo obtuvo P(mg/kg) en (10-20cm), resultados que según Vásquez et al., (2010) recomienda sea igual a cero, pero que debido a la presencia de microvariabilidad no detectada causa que sea un valor mayor como se observa para las demás variables.

Las variables presentaron en todo el perfil rangos dentro de la distancia máxima (310m), esto nos dice que las variables se autocorrelacionan a distancias mayores en comparación con el resto de variables.

Con respecto al GDE conforme a los criterios de clasificación dados por Cambardella, et al.,(1994) las variables Ca, K y MO para el primer, segundo y tercer estrato respectivamente resultaron con los porcentajes más altos definiendo una relación efecto

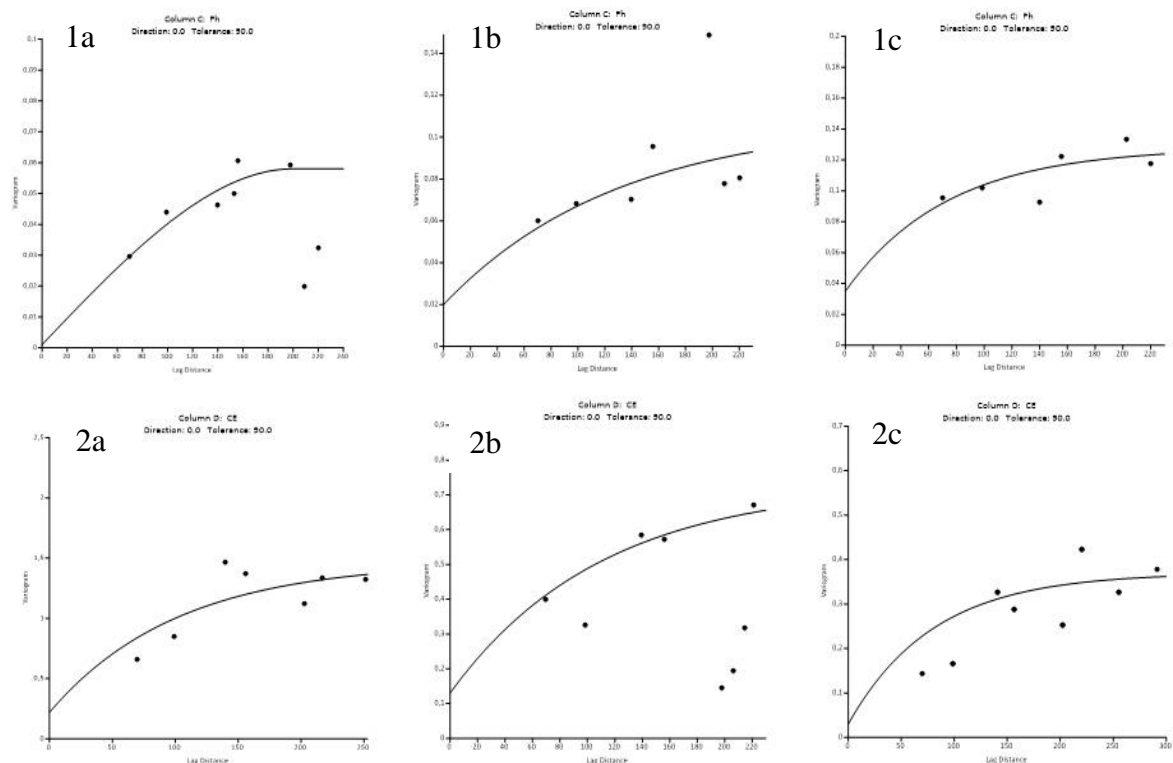
pepita/sill moderada; las demás propiedades presentaron un GDE fuerte que aborda rangos inferiores al 25%.

El ( $R^2$ ), (RMSE) y coeficiente de Nash fueron los determinantes para la elección de los modelos de ajuste, de forma general el  $R^2$  reporta valores entre 0,900 y 1,00, el RMSE indica el sesgo (Corbelle et al., 2006) y estos valores oscilan alrededor de 0,001 y 0,537 según la tabla 6, el coeficiente de Nash representa un ajuste correcto con valores positivos cercanos a 1, estos indicadores comprueban una adecuada interpolación por el método kriging.

**Tabla 4.** Parámetros de los semivariogramas de las propiedades químicas evaluadas.

<b>Variable</b>	<b>Modelo</b>	<b>Nugget</b>	<b>Sill</b>	<b>Rango</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>RMSE</b>	<b>Nash</b>	<b>GDE</b>
<b><i>Prof (0-10cm)</i></b>								
pH	esferico	0,001	0,058	200	1,000	0,007	0,999	1,72
CE	exponencial	0,220	1,470	102	0,999	0,150	0,977	14,97
MO	exponencial	0,400	1,800	200	0,952	0,537	0,713	22,22
N	esferico	0,300	40,300	130	1,000	0,145	1,000	0,74
P	esferico	0,900	650,900	85	1,000	0,228	1,000	0,14
K	exponencial	0,020	0,182	97	1,000	0,047	0,980	10,99
Ca	esferico	0,400	1,090	120	0,986	0,345	0,832	36,70
Mg	exponencial	0,060	1,160	90	1,000	0,065	0,995	5,17
<b><i>Prof (10-20cm)</i></b>								
pH	exponencial	0,020	0,108	130	0,997	0,054	0,961	18,52
CE	exponencial	0,130	0,730	110	0,998	0,350	0,708	17,81
MO	exponencial	0,001	0,611	70	1,000	0,008	1,000	0,16
N	esferico	2,300	25,300	90	1,000	0,466	0,989	9,09
P	esferico	3,000	603,000	90	1,000	0,273	1,000	0,50
K	exponencial	0,020	0,070	70	1,000	0,072	0,902	28,57
Ca	esferico	0,700	2,700	80	0,9999	0,406	0,927	25,93
Mg	exponencial	0,400	2,600	150	0,996	0,229	0,967	15,38
<b><i>Prof (20-30cm)</i></b>								
pH	exponencial	0,035	0,120	74	0,954	0,102	0,899	29,17
CE	exponencial	0,030	0,370	90	0,947	0,180	0,865	8,11
MO	exponencial	0,240	0,490	85	0,996	0,318	0,739	48,98
N	exponencial	0,350	4,550	120	0,998	0,231	0,983	7,69
P	esferico	0,900	1050,900	80	1,000	0,412	1,000	0,09
K	esferico	0,0001	0,021	260	1,000	0,001	1,000	0,47
Ca	esferico	0,001	1,701	80	1,000	0,025	0,9996	0,06
Mg	exponencial	0,190	1,390	100	0,999	0,153	0,977	13,67

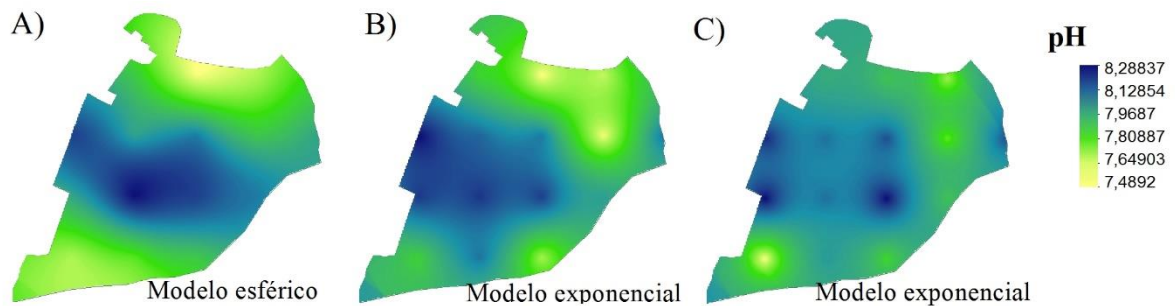
Los semivariogramas de la figura 18, muestran el comportamiento de la variabilidad espacial, a través de semivariogramas experimentales (puntos) y su respectivo ajuste (línea) para dos variables de cada una de las profundidades de estudio. Mediante el semivariograma de la variable pH, en los dos últimos estratos (1b, 1c) presentó un incremento en la semivarianza a medida que aumenta la distancia, deduciendo una dependencia espacial marcada por el alcance o rango, a diferencia de la variable CE (dS/cm) que presentó cambios abruptos en diferentes distancias hasta el punto donde la semivarianza se hace estable (2a, 2b, 2c) este suceso ocurre para la mayoría de las variables de estudio (anexo 3-4-5).



**Figura 16.** Semivariogramas experimentales (puntos) y su modelo de ajuste teórico (línea). Para la variable de pH 0-10cm (1a); 10-20cm (1b); 20-30cm (1c). Para la variable de CE (dS/cm) 0-10cm (2a); 10-20cm (2b); 20-30cm (2c).

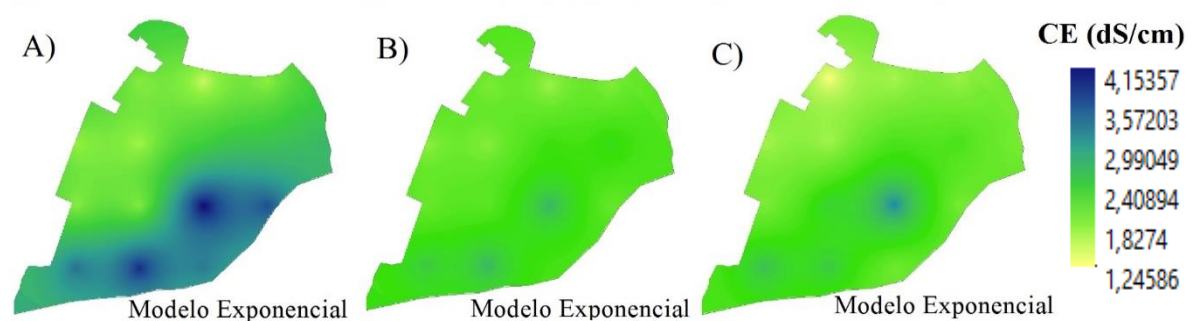
Los mapas de variabilidad espacial de la variable pH se muestran en la figura 19, elaborados en base a los valores estimados por kriging, los resultados están considerados como medianamente alcalinos según la clasificación dada por la USDA, esta tendencia se tiende a justificar debido a que el agua que se utiliza en el riego es de un pozo profundo, con respecto a las zonas de mayor alcalinidad IFA, (1993) señala que en trópicos secos el pH tiende a ser alcalino por la acumulación de elementos como calcio (figura 25) y sodio

lo cual determina que a mayor contenido de calcio el pH se incrementa. Conforme lo recomendado por Ibarra Castillo et al., (2009) un rango óptimo de pH es entre 6,5-7,0.



**Figura 17.** Mapa de variabilidad espacial de la variable pH en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.

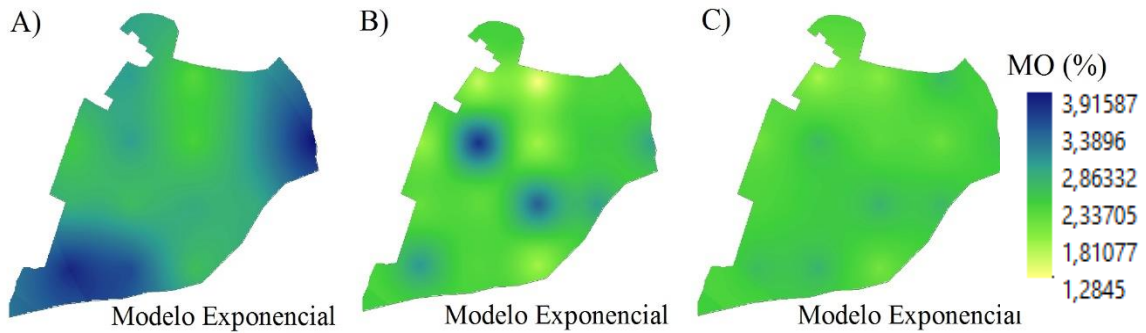
Con respecto a la conductividad eléctrica, se clasifica como suelos ligeramente salinos según la tabla propuesta por López & Estrada (2015), debido probablemente a las inadecuadas y repetitivas aplicaciones de los fertilizantes (figura 20). En el primer estrato (A), se observa un alto porcentaje de CE que disminuye de a poco, a causa de altos contenidos de calcio, hecho que concuerda con lo expuesto por Cortés, (2013), sin embargo la agregación del suelo también es un factor que incrementa su variabilidad (IICA, 2014); Simón et al., (2013) confirma este hecho al determinar una fuerte correlación de partículas finas (ver anexo 6) con CE (dS/cm), permitiendo conducir mejor la electricidad.



**Figura 18.** Mapa de variabilidad espacial de la variable Conductividad Eléctrica en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.

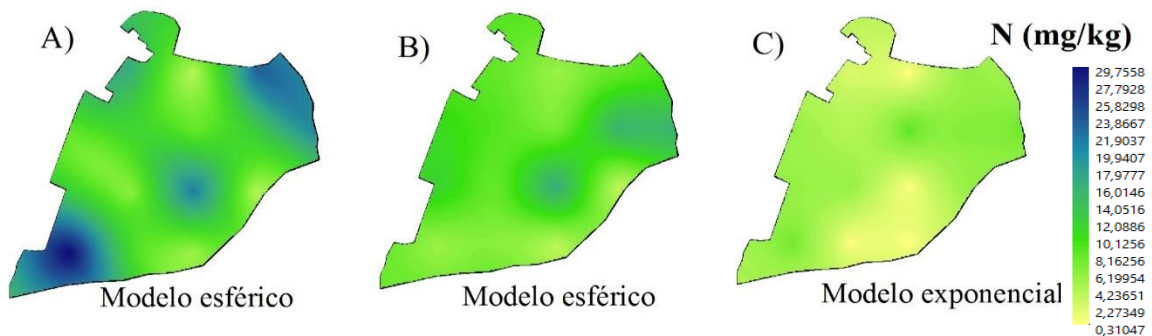
En la figura 21 se presencian los niveles altos de materia orgánica, valores esperados por la permanente incorporación de materia orgánica a través del manejo de las malezas usando las motor rozadoras, en el primer estrato (A) las esquinas superior e inferior

evidencian un aumento de materia orgánica que es justificado por la presencia de arcilla en aquellas zonas (anexo 7) y así lo afirma Fertilib, (2017) donde explica que a mayor contenido de arcilla más concentración de materia orgánica presenta, sin embargo para Gros y Domínguez (1992) citado por Julca et al., (2006) aconseja en suelos arenosos porcentajes de 2,5%. En general la finca posee porcentajes ideales que aporta grandes beneficios al suelo tal y como lo describe Gallardo, (1992).



**Figura 19.** Mapa de variabilidad espacial de la variable Materia Orgánica en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.

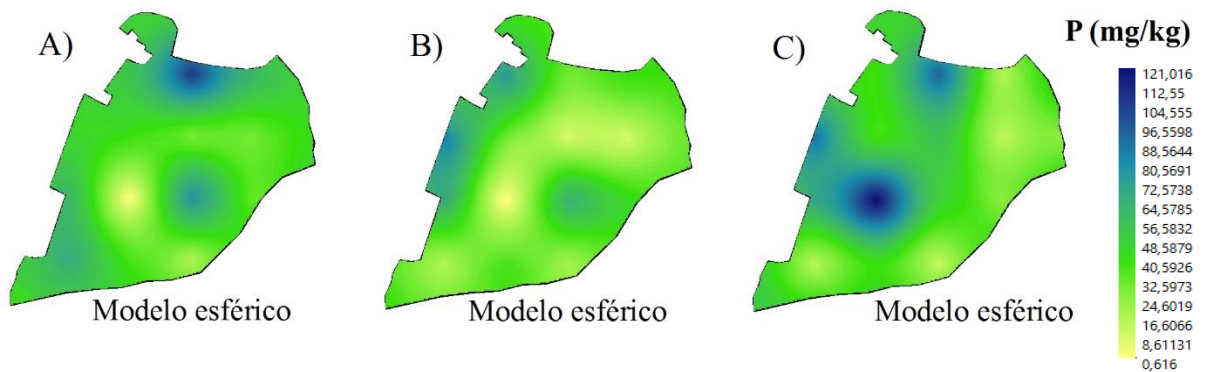
El contenido de nitrógeno se muestra en la figura 22, se observa una gran variabilidad en la primera capa superficial, notando una descendencia de nutriente en los dos estratos siguientes que coincide con los contenidos de materia orgánica, de acuerdo con los valores de referencia que otorga el INIAP en sus análisis de suelo, hay zonas de la finca donde existen excesos y deficiencias del mismo.



**Figura 20.** Mapa de variabilidad espacial de la variable Nitrógeno en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.

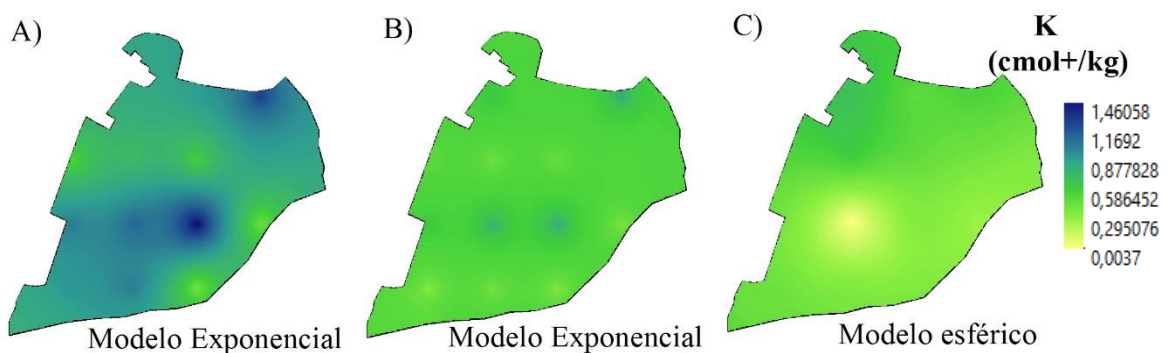


Otra de las variables que presentó mayor variabilidad fue el fósforo, destacando zonas en la finca que resultan excesivas y en otras con deficiencias del nutriente como se observa en la figura 23. En el estrato (C) presenta alta variación, pequeñas concentraciones excesivas que de acuerdo a Roger et al., (2014) citado por Rodríguez et al., (2016) la presencia de este elemento a distintas profundidades es a causa del manejo antrópico del suelo.



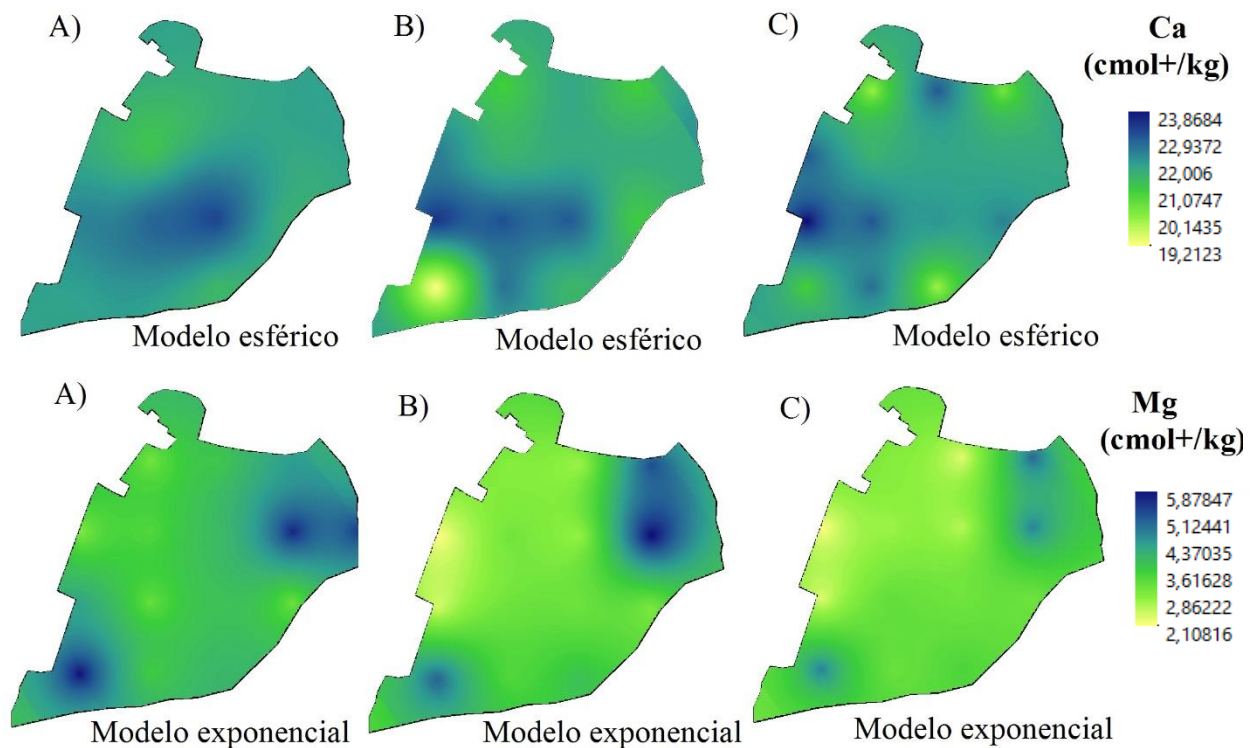
**Figura 21.** Mapa de variabilidad espacial de la variable fósforo en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.

La figura 24, representa la variabilidad espacial de la variable K, el estrato (A) muestra contenidos altos que van descendiendo conforme la profundidad aumenta, sin embargo se puede decir que aun en este caso presentan valores que se encuentran dentro de los niveles recomendados por López et al., (2001), no está de más decir que Stevenson & Cole, (1999) indica que el exceso en forma de potasa ocasiona un aumento al pH del suelo.



**Figura 22.** Mapa de variabilidad espacial de la variable Potasio en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.

La variabilidad de los atributos como calcio y magnesio están presentes en la figura 25, con respecto a los contenidos de calcio comparando con los valores ideales para el cultivo de banano López et al., (2001) aconseja que deben estar entre 4cmol+/kg y 20cmol+/kg, de acuerdo a lo dicho se determina que existe un exceso del nutriente sobre todo en la zona centro e inferior de la finca, mientras que para magnesio el mapa demuestra contenidos bajos, sin embargo concuerdan con el mapa de arcilla (anexo 7) al ser atraídos por su carga positiva.



**Figura 23.** Mapa de variabilidad espacial de las variables Calcio y Magnesio en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.

### 4.3. Análisis Multivariado

#### 4.3.1. Análisis de Correlación de Pearson

La tabla 7 presenta los resultados de un análisis de correlación entre las variables químicas del suelo, resultando una correlación alta y un nivel de significancia del 95% entre la variable materia orgánica y nitrógeno (0,601), estos resultados se deben a la participación de MO en las transformaciones del ciclo del nitrógeno (García et al., 2005), una correlación moderada para las variables de nitrógeno con potasio (0,601) refiriéndose a

la adecuada combinación de tales nutrientes para lograr mejores rendimientos y calidad de frutos (Díaz et al., 2009).

**Tabla 5:** Coeficiente de Correlación de las propiedades químicas<sup>2</sup> en estudio.

	CE	MO	pH	N	P	K	Ca	Mg
CE	1							
MO	,464**	1						
pH	0,037	0,025	1					
N	,325*	,601**	-0,017	1				
P	-0,113	-0,084	,351*	0,162	1			
K	0,181	0,266	0,010	,601**	,451**	1		
Ca	0,166	0,015	,561**	0,256	,579**	,347*	1	
Mg	,320*	,422**	-,578**	,403**	-,403**	0,208	-,468**	1

<sup>2</sup>CE: Conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; N: nitrógeno; P: fosforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio.

#### 4.3.2. Análisis por Componentes Principales

Concordando con los resultados obtenidos en correlación de Pearson, el ACP de la tabla 8, indica que las variables de estudio se agruparon en tres componentes, que en conjunto representan el 80,44% de la varianza total de los datos, el CP1 presentó mayor influencia en pH y Ca propiedades que determinan la alcalinidad del suelo y confirman su relación directa. El, el CP2 agrupa las variables de N y K al igual que lo relacionó la correlación de Pearson, mientras que en el CP3 correlacionó los atributos de CE y MO hecho que confirma Simón et al., (2013) al relacionar la CE con propiedades del suelo. La comunalidad cercana a 1,00 nos determina que las propiedades son representativas en los componentes principales analizados para caracterizar el suelo en estudio.

**Tabla 6.** Coeficiente de los tres componentes principales de propiedades químicas del suelo.

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Comunalidad
pH	<b>0,892</b>		0,139	0,701
Mg	-0,819	0,203	0,401	0,735
Ca	<b>0,774</b>	0,415		0,817
K		<b>0,904</b>	0,162	0,853
N		<b>0,820</b>	0,424	0,843
P	0,493	0,650	-0,422	0,846
CE			<b>0,831</b>	0,771
MO	-0,180	0,225	<b>0,808</b>	0,873
Autovalor	2,349	2,183	1,907	
Varianza %	29,362	27,287	23,839	
Varianza acumulada %	29,362	56,649	80,488	

## 5. CONCLUSIONES

- La finca Márquez presentó un pH ligeramente alcalino, contenidos altos de MO (%), suelos moderadamente salinos y una alta variabilidad en atributos como N y P que resulta común para cualquier tipo de cultivo debido a la constante incorporación de fertilizantes.
- Para todo el perfil el análisis estructural demostró una varianza superior a la varianza aleatoria, el modelo que mejor se ajustó fue el exponencial, según el GDE las variables correspondieron a un efecto pepita/sill moderada y fuerte para su mayoría.
- El análisis geoestadístico de las propiedades químicas de estudio determinó áreas con excesos y deficiencias de los nutrientes para las variables de N, P y Ca, sin embargo propiedades como MO y K se pueden considerar apropiados para el cultivo.
- El análisis de correlación de Pearson determinó una fuerte correlación positiva entre Materia Orgánica y Nitrógeno, así mismo variables entre Nitrógeno y Potasio.
- El análisis de componentes principales determinó correlaciones entre propiedades y agrupó de acuerdo a la varianza, este tipo de análisis es básico para determinar zonas de manejo dentro de los lotes y proporcionar información valiosa al agricultor.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, D. C., Álvarez Sánchez, M. E. Hernández Acosta, E., Maldonado Torres, R., Pérez Grajales, M., & Castro Brindis, R. (2008). Variabilidad Espacial de Propiedades Químicas del suelo y su uso en el Diseño de Experimentos. *Terra Latinoamericana*, 26, 317–324.
- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio, La Génesis de La Cultura Universitaria En Morelos*, 5, 55–60.
- Alemán Montes, B., Búcaro González, A., Henríquez Henríquez, C., & Largaespada Zelaya, K. (2019). Mapeo Digital de Suelos Agrícolas en la Región Occidental del Valle Central de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 43(2), 157–166.  
<https://doi.org/10.15517/rac.v43i2.38205>
- Araque Ibañez, A. (2012). *Sistema de Información Geográfica para la Mejora de la Gestión y la Toma de Decisiones Difusa en Entornos Oleícolas*. Universidad de Jaén.
- Arias, F., Mata, R., Alvarado, A., Serrano, E., & Laguna, J. (2010). *Caracterización Química y Clasificación Taxonómica de Algunos Suelos Cultivados Con Banano en las Llanuras Aluviales del Caribe de Costa Rica*. 34(2), 177–195.
- Barrios, R., & Florentino De Andreu, A. (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.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., & Konopka, A. E. (1994). Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501–1511.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- Castaño, A., Grajales, J., & Echeverría, C. (2016). *Modelo para Cuantificar la Variabilidad Fiscoquímica del suelo por medio de Análisis Geoespacial*. Universidad de Manizales.
- Clunes, J., Navarro, J., & Pinochet, D. (2014). Variación temporal del contenido de materia orgánica en dos suelos volcánicos bajo diferentes manejos agrícolas. *Agro Sur*, 42(3), 1–14. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n3-01>
- Corbelle, E., Gil, M., Armesto, J., & Rego, T. (2006). La escala cartográfica de la imagen de satélite. Caso particular de las imágenes Ikonos y QuickBird. *Revista de*

- Teledetección: Revista de La Asociación Española de Teledetección*, 26, 18–23.
- Cortés, D., Pérez, J., & Camacho, J. (2013). Relación Espacial Entre La Conductividad Eléctrica Y Algunas Propiedades Químicas Del Suelo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 401–408.
- De Miranda, E. (1996). *Aplicaciones de los SIG en la zonificación agroecológica y en el manejo de recursos naturales en el Brasil*.  
[https://doi.org/10.5209/rev\\_JIGE.2014.v40.n3.44308](https://doi.org/10.5209/rev_JIGE.2014.v40.n3.44308)
- Díaz, M. I. H., Laffita, M. C., Placeres, V. M., Veloz, A. O., Pulido, J. M. S., & Guerrero, O. B. (2009). Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate en suelo Ferralítico Rojo. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 44(5), 429–436. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000500001>
- Domínguez, J. (2000). *Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica* (Issue June).
- Emery, X. (2007). Apunte de Geoestadística. In *Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile*.
- Espinosa, J. (1999). Manejo de nutrientes en agricultura por sitio específico en cultivos tropicales. *Informaciones Agronómicas*, 39(39), 9–13.
- Fernández, O., Pérez, R., Gubinelli, A., & Matheus, J. (2007). Influencia de la variabilidad espacial del suelo sobre parámetros de la Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) en Monay, Estado Trujillo. *Agricultura Andina*, 13, 39–52.
- Fertilab. (2017). *¿Cuanto Nitrógeno Aporta La Materia Orgánica?* (p. 3).  
<https://www.fertilab.com.mx/blog/200-cuanto-nitrogeno-aporta-la-materia-organica/>
- Fuenzalida, M., Buzai, G. D., & Moreno-jimenez, A. (2015). *Geotecnología y Analisis Espacial* (Primera, Issue September).
- Gallardo, A. (2006). Geoestadística. *Ecosistemas*, 3(1987), 1–11.
- Gallardo, J., González, M., & Pérez, C. (1992). *La materia orgánica del suelo: su importancia en suelos naturales y cultivados* (p. 239).
- García, D., Moreno, C. M., Atienza del Rey, J., & Marinero, P. (2005). Variabilidad Espacial del Contenido de Materia Orgánica en el Suelo de una Plantación de Viñedo. *Estudios de La Zona No Saturada Del Suelo*, VI(1), 223–228.  
[https://abe.ufl.edu/Faculty/carpena/files/pdf/zona\\_no\\_saturada/estudios\\_de\\_la\\_zona\\_v6/p223-228.pdf](https://abe.ufl.edu/Faculty/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v6/p223-228.pdf)
- García, Y., Ramírez, W., & Sanchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos:


- una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125–138.
- Garzón, G. C. A., Cortés, C. A., Camacho, T. J. H., ., ., ., & . (2010). Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas en un Entisol. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1), 87–95.
- Henríquez, C., Killorn, R., Bertsch, F., & Sancho, F. (2005). La Geoestadística en el Estudio de la Variación Espacial de la Fertilidad del Suelo Mediante el Uso del Interpolador Kriging. *Redalyc*, 29(2), 73–81.
- Henríquez, C., Méndez, Juan C., & Ramón, M. (2013). Interpolación De Variables De Fertilidad De Suelo Mediante El Análisis Kriging y Su Validación. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 71–82.
- Ibarra, D., Ruiz, J., González, D., & Flores, J. (2009). Distribución espacial del Ph de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura Técnica En México*, 35(3), 267–276.
- IFA. (1993). Los fertilizantes y su uso. In *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* (Vol. 20, Issue 12). <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.1993.tb03018.x>
- IICA. (2006). Agricultura de Presición: Integrando Conocimientos para una Agricultura Moderna y Sustentable. In R. Bongiovanni, E. Chartuni, S. Best, & Á. Roel (Eds.), *Ciencia y Tecnología* (PROCISUR/I, Vol. 10).
- IICA. (2014). Manual de Agricultura de Precisión. In E. C. Mantovani & C. Magdalena (Eds.), *Procisur* (PROCISUR/I).
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, A. V. H. (2006). Los Sistemas de Información Geografica. *Geoenseñanza*, 11(1), 107–116. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36012424010>
- Jaramillo, D. (2012). Variabilidad espacial de algunas propiedades de un Mollisol de clima cálido seco de Antioquia (Colombia). *Revista Agronomía, Universidad de Caldas*, 20(2), 7–17.
- Jaramillo, D. F. (2012). Variabilidad Espacial Del Suelo: Bases Para Su Estudio. *Revista de La Facultad de Ciencias*, 1(1), 73–87.
- Jaramillo, D., González, H., & Álvarez, F. (2008). Variabilidad espacial de algunas propiedades físico-mecánicas de suelos de textura pesada. *Revista CES / Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 3(2), 10–19. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La Materia Orgánica, Importancia y



- Experiencia de Su Uso en la Agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49–61.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- León, Á., Llinás, H., & Tilano, J. (2008). Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. *Ingeniería y Desarrollo*, 23, 119–142.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85202310>
- Londoño, D., & Moreno, J. A. (2015). *Cuantificación de la Variabilidad Espacial de Suelos en un Huerto Citrícola en el Departamento de Caldas*. UNIVERSIDAD DE MANIZALES.
- López, A., Vargas, A., Espinosa, J., & Vargas, R. (2001). *Síntomas de Deficiencias Nutricionales y Otros Desórdenes Fisiológicos en Banano* (No. 1).
- López, M., & Estrada, H. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Bioagrocencias*, 8, 1–7. [http://www.ccba.uady.mx/bioagro/V8N1/BC 8.1 Propiedades del suelo.pdf](http://www.ccba.uady.mx/bioagro/V8N1/BC%208.1%20Propiedades%20del%20suelo.pdf)
- Marco Brown, O. L., & Reyes Gil, R. E. (2003). Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. *Interciencia*, 28(5), 252–259.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442003000500002#.Xh9MA9oexmE.mendeley](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000500002#.Xh9MA9oexmE.mendeley)
- Moral, F. J. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13.
- Moreno, B., Lozano, Z., Villanueva, J., Bravo, C., Hernández, R., Ovalles, F., & Piñango, L. (2004). Selección de un diseño de muestras en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro*, 16(1), 61–72.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85716109%0ACómo>
- Obando, F., Villegas, A., Betancur, J., & Echeverri, L. (2006). Variabilidad espacial de propiedades químicas y físicas en un Typic Udivitrands, arenoso de la región andina central colombiana. *Redalyc*, 59, 3217–3235.
- Olivares, B. (2014). Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en el diagnóstico socioambiental. Caso: sector Campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui. *Multiciencias*, 14(4), 364–374.
- Ramírez, W., Antúnez, G., & Rodríguez, Y. (2016). La utilización del Análisis de los Componentes Principales en la Medicina Veterinaria - The use of Principal Components Analysis in Veterinary Medicine. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(3), 1–8.
- Rangel, A., Cely, J., Sanchez, A., & Siabato, W. (2002). Geoestadística aplicada a

- estudios de contaminación ambiental. *Ingeniería (Bogotá)*, 7(2), 31–38.  
<https://doi.org/10.14483/23448393.2815>
- Rodríguez, F., Camacho, J., & Rubiano, Y. (2016). Variabilidad espacial de los atributos químicos del suelo en el rendimiento y calidad del café. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria Mosquera (Colombia)*, 17(2), 2500–5308.
- Sánchez, J., Ligarreto, G., & Leiva, F. (2011). Variabilidad espacial de las propiedades químicas del suelo y su efecto sobre el rendimiento del cultivo: estudio de caso en maíz (*Zea mays* L.) para choclo en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 29(2), 456–466.
- Simón, M., Peralta, N., & Costa, J. L. (2013). Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Ciencia Del Suelo*, 31(1), 45–55.
- Valbuena, C. A., Martínez, L. J., & Henao, R. G. (2008). Variabilidad espacial del suelo y su relación con el rendimiento de mango (*Mangifera Indica* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(4), 1146–1151. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452008000400049>
- Vasquez, J. R., Baena, D., & Menjivar, J. C. (2010). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *Acta Agronómica*, 59(4), 449–456.
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro. *Cumbres*, 1, 28–34.  
<http://investigacion.utmachala.edu.ec/cumbres/index.php/Cumbres/article/view/15>
- Villatoro, M., Henríquez, C., & Sancho, F. (2008). Comparación de los interpoladores IDW Y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 95–105.

7. ANEXOS



**ESTACION EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR**  
**"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"**  
**LABORATORIO DE SUELOS, TIEMPOS VEGETALES Y AGRI/AV**

Rov. 26 F3a Duroso - Tumbes Apdo. Postal 69-01-7669 Yagupal - Guayaquil - Ecuador  
 Teléfono: 042724260 Fax: 042724261 e-mail: labsoils@eniap.gob.ec

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA	
Nombre	JESSICA CHAPIN PATINO	Nombre	KARQUIZ	Informe N°	22796
Dirección	PASAJE MANABE	Provincia	EL ORO	Fecha/Audio	04/02/2020
Ciudad	0959635683	Cantón	PASAJE	Fecha/Análisis	06/02/2020
Teléfono		Parroquia	K/E	Fecha/Ingreso	10/02/2020
Fax		Ubicación	N/E	Cond. Ambientales	T°C: 22 H:161 Cultivo Actual NVE

N° Laboratorio	Identificación del Lote	pH	mg/kg													
			* NH4	* P	* K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	* Cu	* Fe	* Mn	* B	* Cl		
71912	MUESTRA P1 A	7,9 LAI	15	55	316	4331	370									
71913	MUESTRA P1 B	7,8 LAI	6	75	275	4153	308									
71914	MUESTRA P1 C	7,9 LAI	2	40	265	4209	351									
71915	MUESTRA P2 A	7,6 LAI	4	106	308	4324	452									
71916	MUESTRA P2 B	7,5 LAI	5	30	218	4382	307									
71917	MUESTRA P2 C	7,8 LAI	7	93	107	4305	256									
71918	MUESTRA P3 A	7,7 LAI	23	62	517	4384	340									
71919	MUESTRA P3 B	7,6 LAI	8	40	369	4180	568									
71920	MUESTRA P3 C	7,5 LAI	6	35	214	4081	631									

Interpretación	pH
NH4, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	N = No. ppm LAI = Lig. Absorba Medi = Med. Absorba Al = Absorba PC = Precip. Calcio
N - Bajo	N = No. ppm
N - Medio	LAI = Lig. Absorba
N - Alto	Medi = Med. Absorba
	Al = Absorba
	PC = Precip. Calcio

Determinación	Metodología	Interpretación
NH4, P	Colorimétrica	Colorimétrica
K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica Absorbancia	Colorimétrica
S	Turbidimétrica	Colorimétrica
B	Colorimétrica	Colorimétrica
Cl	Volúmetrica	Colorimétrica
pH	Potenciométrica	Potenciométrica

Valores de Referencia Críticos	
0-4	Medi (LAI)
5-10	Medi (LAI)
11-20	Medi (LAI)
21-30	Medi (LAI)
31-40	Medi (LAI)
41-50	Medi (LAI)
51-60	Medi (LAI)
61-70	Medi (LAI)
71-80	Medi (LAI)
81-90	Medi (LAI)
91-100	Medi (LAI)

MB = No. muestreo  
 -LAI = Med. en el suelo de 0 a 10 cm de profundidad  
 Los resultados expresados en esta informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) tomada(s) en el campo.  
 Los errores máximos con (\*) se refieren a los datos de laboratorio realizados en el SANE.  
 Los errores, los porcentajes, etc., que se refieren a los resultados, están sujetos al error de medición efectuado al SANE.  
 (\*) Errores inherentes  
 Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento escrito del SANE.

M<sup>g</sup>s. Diana Acosta J.  
  
 Responsable Técnica del Laboratorio



ESTACION EXPERIMENTAL DE ANALISIS DE AGUA  
 Nombre : MAURICZ  
 Puntaje : EL CERO  
 Carbono : NO CATE  
 Participación : NO  
 Utilización : NO

ESTACION EXPERIMENTAL DE ANALISIS DE AGUA  
 Nombre : JESSICA CLAUDIA PATRINO  
 Dirección : PASA DE  
 Ciudad : MANABI  
 Teléfono : 0959935683  
 Fax : N/A

ESTACION EXPERIMENTAL DE ANALISIS DE AGUA  
 Informe N° : 12796  
 Puntaje N° : 7205  
 Responsable Muestra : CLIENTE  
 Fecha de Análisis : 04/02/2020  
 Fecha de Muestra : 03/02/2019  
 Fecha de Emisión : 06/02/2020  
 Fecha de Ingreso : 31/01/2019  
 Fecha de Ingreso : 10/02/2020  
 Condiciones Ambientales : TPC: 23.530  
 M: Cálculo Actual : N/A

N° Laboral	Muestra	* Índice Pi			* Chlor Textoral				* mg/l (D)				Ca	Mg	Cu	Mg	
		Aire	Líquido	Sólido	AH	H	AD	Na	* Ca	* Mg	U Remo	Ca					Mg
72912	MUESTRA P1 A				0.81	21.69	3.03	21.90	7.14	3.75	30.52						
72913	MUESTRA P1 B				0.70	26.77	2.85	24.32	7.38	4.06	33.25						
72914	MUESTRA P1 C				0.68	26.05	2.80	21.60	6.06	4.24	33.79						
72915	MUESTRA P2 A				0.89	22.02	3.71	21.22	5.80	4.16	28.43						
72917	MUESTRA P2 B				0.56	21.91	2.52	24.99	8.70	4.51	43.77						
72918	MUESTRA P2 C				0.88	22.05	2.10	22.50	10.52	4.19	52.27						
72919	MUESTRA P3 A				1.32	21.92	4.43	27.07	4.55	3.35	10.51						
72920	MUESTRA P3 B				0.98	20.60	5.48	27.22	3.80	5.80	27.82						
72921	MUESTRA P3 C				0.55	20.41	5.17	25.33	3.94	5.44	45.89						

ESTACION EXPERIMENTAL DE ANALISIS DE AGUA

N° Laboral	Observaciones
72912	OK
72913	OK
72914	OK
72915	OK
72917	OK
72918	OK
72919	OK
72920	OK
72921	OK

ESTACION EXPERIMENTAL DE ANALISIS DE AGUA

N° Laboral	Observaciones
72912	OK
72913	OK
72914	OK
72915	OK
72917	OK
72918	OK
72919	OK
72920	OK
72921	OK

ESTACION EXPERIMENTAL DE ANALISIS DE AGUA

N° Laboral	Observaciones
72912	OK
72913	OK
72914	OK
72915	OK
72917	OK
72918	OK
72919	OK
72920	OK
72921	OK

ESTACION EXPERIMENTAL DE ANALISIS DE AGUA

N° Laboral	Observaciones
72912	OK
72913	OK
72914	OK
72915	OK
72917	OK
72918	OK
72919	OK
72920	OK
72921	OK

NOTA: No entregar  
 -L-C- Muestra al Cliente de Cuantificación  
 Con este informe entregamos a la muestra (número de muestra) y el nivel de contaminación del agua.  
 Los valores de contaminación de los ríos se indican en el informe de resultados adjunto al SGA.  
 Las operaciones, solo para fines de información, sobre los ríos se ven reflejados en el SGA.  
 No incluir en el informe de contaminación, solo para fines de información de los ríos en el SGA.  
 No incluir en el informe de contaminación, solo para fines de información de los ríos en el SGA.

M. Dina Araya  
 Referente Técnico de Laboratorio



ESTACION EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR

"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"

LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS

Km. 26 Pto. Durazo - Tombo Apdo. Postal 09-01-7869 Esmeraldas - Guayas - Ecuador

Teléfono: 042724249 fax: 042724261 e-mail: labinsur@iniap.gov.ec

DATOS DEL PROPIETARIO	
Nombre	JESSICA CHAPIN PATRÓN
Dirección	PASAJE
Ciudad	MANABI
Teléfono	0959935683
Fax	N/E

DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre	MARQUEZ
Provincia	EL ORO
Cantón	PAGUIE
Parroquia	N/E
Ubicación	N/E

DATOS DE LA MUESTRA	
Inframa N°	22797
Fecha N°	7308
Resp. Muestras	CLIENTE
Fecha/Analisis	4/02/2020
Fecha/Muestreo	20/12/2019
Fecha/Emisión	5/02/2020
Fecha/Ingreso	27/01/2020
Fecha/Impresión	30/02/2020
Cont. Ambientales	TC: 22 NH 61
Califica Actual	N/E

N° Labor.	Identificación del Lote	pH	mg/Kg														
			* N16	* P	* K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	* Cu	* Fe	* Mn	* B	* Cl			
71921	MUESTRA P4 A	8,0 Me Al	20	42	330	4324	672										
71922	MUESTRA P4 B	8,1 Me Al	15	32	202	4437	498										
71923	MUESTRA P4 C	8,2 Me Al	8	25	135	4247	453										
71924	MUESTRA P5 A	7,9 LAI	12	30	341	4599	699										
71925	MUESTRA P5 B	7,5 LAI	7	9	190	4619	782										
71926	MUESTRA P5 C	7,6 LAI	3	12	155	4206	595										
71927	MUESTRA P6 A	8,1 Me Al	8	30	206	4343	482										
71928	MUESTRA P6 B	8,1 Me Al	9	46	158	4314	316										
71929	MUESTRA P6 C	8,2 Me Al	12	56	185	4474	267										

Interpretación	pH

Químico/Anal	Microbiología	Empaques
MSA, P	Cultivos aerobios	(Una Modificado)
K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn	Abstracción Atómica	43
B	Turbidimetría	Formas de Cu
E	Colimetría	Muestreo
Cl	Volatilidad	empac. estándar: 400g
pH	potenciometría	Agua (2.2 L)

Muestra de Referencia Sistema	
MSA	20-40
P	30-20
B	30-20
E	30-20
Cl	300-3000

ME = No interpretado

LC = Mayor al Límite de Cuantificación

Los resultados están en una unidad, corresponden solamente a 100 gramos de muestra (40g) si es campo

Los valores máximos son (7)100 mg/kg. Validos en el momento de acreditación del laboratorio

Los métodos, procedimientos, etc., que se utilizan en el laboratorio, están basados en el método de referencia del IAEA

o Ensayo acreditado

Se prohíbe la reproducción parcial, si no va a seguir que no sea en totalidad

Mgs. Diana Acosta J.

Responsable Técnico del Laboratorio





ASOCIACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR  
 ASOCIACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR  
 LABORATORIO DE SUELOS, TEXTILES VEGETALES Y AGUAS

Ave. 26 de Enero - Tumbaco, Azuay. Avda 68-A-3869 Espinosa - Guano - Ecuador  
 Teléfono: 0422525268 fax: 0422525267 e-mail: laboratorio@iniap.gov.ec

DATOS DEL PROPIETARIO	
Nombre:	ESSICA CHAPIN PATINO
Dirección:	FASAFE
Ciudad:	MANABI
Teléfono:	0553935683
E-mail:	M/E

DATOS DEL PROPIETARIO	
Nombre:	MANABITA
Provincia:	EL ORO
Cantón:	PASATE
Parroquia:	N/E
Ubicación:	N/E

DATOS DE LA MUESTRA	
Informe N°:	2297
Fecha de Análisis:	04/02/2008
Fecha de Muestreo:	20/02/2009
Fecha de Impresión:	05/02/2008
Condición Análisis:	TNC: 22. N/E
Cl. Cultivo Actual:	N/E

N° Laboral	Identificación	* Titulo de		* Clase Textural		* Clase de		* Clase de		* Clase de		* Clase de		Ca	Mg	K	C	pH	CMB
		Area	Litro	arectas	AlpH	Al	Na	C.E.	MCD	K	Ca	Mg	Σ Base						
72501	MUESTRA PA A													0,39	6,52	7,90	0,46		
72502	MUESTRA PA B													0,52	7,90	10,75	9,05		
72503	MUESTRA PA C													0,33	6,71	10,75	12,70		
72504	MUESTRA PA A													0,07	4,71	6,57	8,52		
72505	MUESTRA PA B													0,49	6,41	13,10	15,14		
72506	MUESTRA PA C													0,40	4,00	12,20	14,25		
72507	MUESTRA PA A													0,53	3,95	7,49	9,45		
72508	MUESTRA PA B													0,40	2,59	6,41	8,36		
72509	MUESTRA PA C													0,17	2,44	5,14	7,14		

* Titulo de	
C.E.	Gravedad del Electrodo
M.T.	Viscosidad
C.H.	Capacidad de intercambio catiónico

* Clase de	
C.E.	Gravedad del Electrodo
M.T.	Viscosidad
C.H.	Capacidad de intercambio catiónico

* Clase de	
C.E.	Gravedad del Electrodo
M.T.	Viscosidad
C.H.	Capacidad de intercambio catiónico

* Clase de	
C.E.	Gravedad del Electrodo
M.T.	Viscosidad
C.H.	Capacidad de intercambio catiónico

N/E = No encontrado

\*C.C. = Muestra al Límite de Cuantificación

Los resultados válidos se encuentran en los cuadros de resultados de análisis de suelos

Los errores estándar (E.E.) se expresan en el cuadro de datos de los cuadros de resultados de análisis de suelos

Los errores de muestreo (E.M.) se expresan en el cuadro de datos de los cuadros de resultados de análisis de suelos

\*\* Muestra no cuantificable

Se permite la reproducción parcial o total de este informe con fines académicos

Mrs. Diana Acosta J.

Responsable Técnico del Laboratorio



ESTACION EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR

"DR. ENRIQUE AMPURIO PAROLA"  
 LABORATORIO DE SUELOS, TENDIDOS VEGETALES Y AGUAS  
 Eje. 28 1ra. Duran - Tronco Agda. Punta 09-01-7069 Yaguajay - Guayma - Ecuador  
 Teléfono: 042724280 fax: 042724280 e-mail: labsoles@estacionps.gov.ec

DATOS DEL PROPIETARIO	
Nombre:	JESSICA CHAPIN PATIÑO
Dirección:	PASAJE
Ciudad:	MAMARI
Teléfono:	0959935683
Fax:	N/E

DATOS DE LA PROPIEDAD	
Nombre:	MARQUEZ
Provincia:	EL ORO
Cantón:	PASAJE
Parroquia:	N/E
Ubicación:	N/E

DATOS DE LA MUESTRA	
Informe N°:	22798
Factura N°:	7308
Recp/ Muestra:	CLIBYTE
Fecha/Análisis:	4/02/2020
Fecha/Emisión:	6/02/2020
Fecha/Ingreso:	27/01/2020
Fecha/Impresión:	10/02/2020
Cread. Análisis:	T.C. 22 94H 61
Código Actual:	N/E

N° Laboral	Muestra del Lote	pH	mg/kg													
			* N14	* P	* K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	* Cu	* Fe	* Mn	* B	* C3		
71930	MUESTRA P7 A	8,0 Me Al	11	40	273	4160	411									
71931	MUESTRA P7 B	8,1 Me Al	11	30	143	4302	387									
71932	MUESTRA P7 C	8,1 Me Al	4	40	234	4317	329									
71933	MUESTRA P8 A	8,2 Me Al	0	45	189	4353	357									
71934	MUESTRA P8 B	8,3 Me Al	11	85	170	4529	228									
71935	MUESTRA P8 C	8,3 Me Al	6	88	204	4575	234									
71936	MUESTRA P9 A	8,0 Me Al	12	61	406	4519	537									
71937	MUESTRA P9 B	8,2 Me Al	12	68	257	4677	333									
71938	MUESTRA P9 C	8,4 Me Al	6	70	148	4783	260									

Interpretación	pH	Cationes		
		Me	Al	Ca
SH, T, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	Me = Muy ácido Al = Ácido MeAl = Med. Ácido LAC = Lige. Ácido PM = Prec. Neutro	Me = Muy ácido Al = Ácido MeAl = Med. Ácido LAC = Lige. Ácido PM = Prec. Neutro	Me = Muy ácido Al = Ácido MeAl = Med. Ácido LAC = Lige. Ácido PM = Prec. Neutro	

Determinación	Método/Equi	Elaboración	
		Oper. Medición	pH
SH, T	Densimetría	Oper. Medición	8,3
K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn	Atomista Jomara	Perfil de Ca	Medición
S	Turbidimetría	Perfil de Ca	Medición
P	Colorimetría	Perfil de Ca	Medición
Cl	Volumetría	Perfil de Ca	Medición
pH	Potenciometría	Perfil de Ca	Medición

Muestra de Referencia Zirconio	
Me	20-40
P	10-20
K	20-150
Ca	300-1000

NB = No asignado

-LC = Muestra al Límite de Cuantificación

Los resultados están en mg/kg salvo indicación en contrario (Me = medio) o (MeAl = medio Al) al ser un  
 Los datos se expresan con (\*) en caso de haberse encontrado en el límite de cuantificación (LC) o (NB)  
 Los valores interpretativos, que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación otorgada al IAGT  
 en Ecuador subterráneo

Se prohíbe la reproducción parcial o total de esta página que sea en su totalidad

Mgs. Diana Acosta J.  
 Responsable Técnico del Laboratorio

DATOS DE IDENTIFICACION		DATOS DE PROFUNDIDAD		DATOS DE LA MUESTRA	
Número	: JESSICA CHAPIN PALTINO	Nombre	: MARQUES	Informe N°	: 7928
Dirección	: PASAIE	Provincia	: EL ORO	Responsable Muestra	: CLIENTE
Ciudad	: MANABI	Cantón	: PASAIE	Fecha de Análisis	: 4/20/2020
Teléfono	: 0959935683	Parroquia	: N/E	Fecha de Emisión	: 02/02/2020
Fax	: N/A	Ubicación	: N/E	Fecha de Ingreso	: 10/04/2020
				Fecha de Ingreso	: N/A

N° Laboratorio	Identificación	Temperatura		Clase Textural		pH (total)		Nutrientes (N)		Capacidad de Intercambio Catiónico		Cn	Mg	Ca	Mg	K	P	CesMg	R		
		Area	Tarea (%)	Area (%)	Area (%)	Al	H	Al	H	B	Cu									Z	Bases
71939	MUESTRA P7 A																			4.82	34.38
71941	MUESTRA P7 B																			6.78	67.43
71942	MUESTRA P7 C																			4.50	40.54
71934	MUESTRA P8 A																			6.06	51.00
71935	MUESTRA P8 B																			4.30	56.33
71936	MUESTRA P8 C																			5.25	47.48
71937	MUESTRA P9 A																			4.16	25.90
71938	MUESTRA P9 B																			8.36	43.15
71939	MUESTRA P9 C																			11.22	5.63

Muestreo		Análisis		Muestreo	
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0

Muestreo		Análisis		Muestreo	
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0

Muestreo		Análisis		Muestreo	
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0

Muestreo		Análisis		Muestreo	
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0
Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0	Uso	: 0.01-1.0

N/E = No evaluado  
 C.E. = Muestra de Clase de Textura  
 U = Muestra de Uso  
 T = Muestra de Tipo  
 S = Muestra de Suelo  
 M = Muestra de Materia Orgánica  
 C = Muestra de Carbono Orgánico  
 B = Muestra de Boro  
 Z = Muestra de Zinc  
 Cu = Muestra de Cobre  
 Ni = Muestra de Níquel  
 Pb = Muestra de Plomo  
 Cd = Muestra de Cadmio  
 Cr = Muestra de Cromo  
 Mn = Muestra de Manganeso  
 Fe = Muestra de Hierro  
 Co = Muestra de Cobalto  
 Ni = Muestra de Níquel  
 Pb = Muestra de Plomo  
 Cd = Muestra de Cadmio  
 Cr = Muestra de Cromo  
 Mn = Muestra de Manganeso  
 Fe = Muestra de Hierro  
 Co = Muestra de Cobalto

**Mgs. Diana Acosta J.**  
 Responsable Técnico del Laboratorio





ESTACION EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR

"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"

LABORATORIO DE SUELOS, TEXTILES VEGETALES Y AGUAS

Km. 26 Via Duran - Jacabo Ajelo, Píntag 09601-7009 Tugueachi - Guano - Ecuador

Teléfono: 042724260 Fax: 042724261 e-mail: laboratorio.etal@iniap.gob.ec

**DATOS DEL PROPIETARIO**

Nombre: JESSICA CHAPIN PATIÑO  
 Dirección: PASAJE  
 Ciudad: MANABI  
 Teléfono: 0959935483  
 Fax: N/E

**DATOS DE LA PROPIEDAD**

Nombre: MARQUEZ  
 Dirección: EL OMO  
 Cantón: PASAJE  
 Parroquia: N/E  
 Ubicación: N/E

**DATOS DE LA MUESTRA**

Informe N°: 22799  
 Factura N°: 7508  
 Recp. Muestra: CLIENTE  
 Fecha/Análisis: 4/02/2020  
 Fecha/ Muestra: 20/12/2019  
 Fecha Emisión: 0/02/2020  
 Fecha/ Ingreso: 27/01/2020  
 Fecha/Impresión: 10/02/2020  
 Cant. Análisis: T°C: 22.95H:66 Cultivo Actual: N/E

N° Labo.	Identificación del Lote	pH	mg/kg													
			* NH4	* P	* K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	* Cu	* Fe	* Mn	* B	* Cl		
71939	MUESTRA P10 A	8,3 Niv. Al	6	117	440	4619	386									
71940	MUESTRA P10 B	8,2 Niv. Al	8	127	345	4691	384									
71941	MUESTRA P10 C	8,1 Niv. Al	12	122	456	4594	402									
71942	MUESTRA P11 A	8,2 Niv. Al	21	78	615	4793	465									
71943	MUESTRA P11 B	8,2 Niv. Al	17	53	365	4652	378									
71944	MUESTRA P11 C	8,4 Niv. Al	6	48	138	4430	377									
71945	MUESTRA P12 A	8,1 Niv. Al	4	33	142	4273	379									
71946	MUESTRA P12 B	8,0 Niv. Al	3	44	120	4170	343									
71947	MUESTRA P12 C	7,8 L. Al	4	25	101	4478	376									

Interpretación	pH

Substrato	Nutrientes	Espectro
N/A, 7	Coloremetro	Cloro Metilado pH
K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn	Atomizador Atómica	
S	Turbidímetro	Fluorim. en Cu
B	Colorimetro	Fluorimetro
Cl	Volúmetro	Para Saturación Suelo:
pH	Potenciómetro	Agua (1:2.5)

Límites de Referencia y Control	
Mg	20-40
P	18-22
K	18-156
Ca	200-1000
Fe	10-100
Zn	10-20
Cu	1-2
Mn	10-100
B	1-2
Cl	1-2

N/E = No evaluado

\*LC = Límite de Concentración

Los resultados escritos en este informe corresponden únicamente a los elementos analizados y el método de análisis utilizado en el laboratorio acreditado al SAE.

Los resultados, interpretaciones, etc. que se incluyen en este informe, están basados en el estándar de metodología utilizado en el SAE.

En caso de dudas, favor comunicarse al laboratorio.

Se prohíbe la reproducción parcial o total sin el consentimiento del laboratorio.

Mgs. Diann Acosta J.

Responsable Técnico del Laboratorio



**DATOS DEL PROPIETARIO**

Nombre : JESSICA CHAMPIN PATON  
 Dirección : PASAJE  
 Ciudad : MARIATI  
 Teléfono : 09919334603  
 E-mail : M/E

**DATOS DE IDENTIFICACIÓN**

Nombre : MARIQUEZ  
 Provisión : EL ORCO  
 Casación : PASAJE  
 Parcela : M/E  
 U. Manejo : M

**DATOS DE LA MUESTRA**

Informe N° : 22759  
 Fecha de Análisis : 17/03  
 Responsable Muestra : CLIPENT  
 Fecha de Emisión : 6/03/2020  
 Fecha de Ingreso : 27/01/2020  
 Fecha de Ingresión : 10/02/2020  
 Condiciones de Análisis : TNC 33 N/E 98 Código Actual : N/E

N° Laboratorio	Descripción	* Unidad DN		* Clase Textural				* eq/100g (US)				* eq/100g		Ca	Mg	K	Cadm	
		Arena	Limo	Areilla	* Al-B	* M	* Na	K	* Ca	* Mg	* K	* P	* Zn					
71930	MUESTRA P10 A										1.13	23.10	3.37	27.29	7.20	2.01	23.21	
71940	MUESTRA P10 B										0.86	23.46	3.15	27.49	7.45	3.57	20.12	
71941	MUESTRA P10 C										1.17	22.97	3.20	27.43	6.97	2.82	22.59	
71942	MUESTRA P11 A										1.57	23.97	3.61	29.23	6.29	3.42	17.64	
71943	MUESTRA P11 B										0.93	23.31	3.10	27.24	7.52	3.23	28.26	
71944	MUESTRA P11 C										0.35	22.15	3.69	23.59	7.17	8.75	71.45	
71945	MUESTRA P12 A										0.26	21.37	3.11	24.84	6.87	8.53	67.32	
71946	MUESTRA P12 B										0.31	20.85	2.81	23.97	7.41	9.16	77.07	
71947	MUESTRA P12 C										0.26	22.59	3.69	25.73	7.26	11.92	98.52	

**ANÁLISIS**

Ag: 10.43%

H: 0.61-1.5

CC: 2.5-4.35 Ca/98.23

Ca: 6.97

Mg: 3.57

K: 23.21

Na: 3.5-1.8

P: 2.82

Zn: 3.23

Cu: 0.26

Mn: 8.75

Fe: 71.45

B: 0.85

Mo: 0.07

Ni: 0.36

Sb: 0.26

As: 0.26

Br: 0.26

Pb: 0.26

Ag: 0.26

Hg: 0.26

**ANÁLISIS**

CE: Conductividad Eléctrica

M.S. Materiales Sólidos

CE: Capacidad de Intercambio Cationico

**ANÁLISIS**

M.O

EE

Na

CE

**ANÁLISIS**

Densidad de Masa

Densidad de Volumen

Densidad de Partículas

Ag: 10.43%

**ANÁLISIS**

Ag: 10.43%

H: 0.61-1.5

CC: 2.5-4.35 Ca/98.23

Ca: 6.97

Mg: 3.57

K: 23.21

Na: 3.5-1.8

P: 2.82

Zn: 3.23

Cu: 0.26

Mn: 8.75

Fe: 71.45

B: 0.85

Mo: 0.07

Ni: 0.36

Sb: 0.26

As: 0.26

Br: 0.26

Pb: 0.26

Ag: 0.26

Hg: 0.26

US = Porcentaje  
 485 = Método de Luoma de Cuantificación  
 Los resultados están en estas unidades, comparados (convertidos a 1kg) (convertido) por unidad de muestra  
 Los valores de los resultados (en %) se obtienen de la siguiente forma:  $\text{Resultado} \times \frac{100}{\text{Peso de muestra}} = \text{Resultado en \%}$   
 Los valores, solo por caso, que se incluyen en el informe, están en las unidades indicadas en el US  
 \*\* Resultado en porcentaje

Se prohíbe la reproducción, parcial o total, de este informe sin la autorización escrita del INIAP.

Mgs. Diana Acosta J.  
 Responsable Técnica del Laboratorio



ESTACION EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR

"DR. ENRIQUE AMPUERO PAROLA"  
 LABORATORIO DE NUTRIOS, TEXTOS VEGETALES Y AGUAS  
 Av. 26 Vía Duran - Eschato Apdo. Postal 05-01-7969 Yaguajay - Guayaquil - Ecuador  
 Teléfono: 04724260 fax: 04724261 e-mail: laboratorio.etal@iniap.gub.ec

DATOS DEL CLIENTE PROPIETARIO	
Nombre:	JESSICA CHAPIN PATIÑO
Dirección:	PASAJE
Ciudad:	HANAJI
Teléfono:	9959935683
Fax:	N/E

DATOS DEL CLIENTE PROPIETARIO	
Nombre:	MARQUEZ
Provincia:	EL ORO
Cantón:	PASAJE
Parroquia:	N/E
Ubicación:	N/E

DATOS DE LA MUESTRA	
Informe N°:	22809
Fecha N°:	7100
Recepción:	Fecha/Arriba: 4/02/2020
Fecha/Envío:	6/02/2020
Fecha/Inicio:	20/12/2019
Fecha/Fin:	27/01/2020
Fecha/Impresión:	10/02/2020
Cond. Ambiental:	T°C: 22, 56H: 61, Cálculo Actual: N/E

N° Laboratorio	Identificación del Lote	pH	ug/ml												
			Ni	Pb	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	B	Cl			
71948	MUESTRA P13A	7,9 LAI	5	10	130	4220	492								
71949	MUESTRA P13B	7,6 LAI	3	20	107	4293	481								
71950	MUESTRA P13C	7,7 LAI	2	12	135	3994	430								
71951	MUESTRA P14A	7,8 LAI	10	37	408	4452	438								
71952	MUESTRA P14B	8,1 Mo Al	6	37	134	4565	407								
71953	MUESTRA P14C	8,0 Mo Al	12	41	136	4524	384								
71954	MUESTRA P15A	7,7 LAI	90	67	354	4396	728								
71955	MUESTRA P15B	7,8 LAI	5	17	92	3450	600								
71956	MUESTRA P15C	7,3 N	8	15	159	4196	603								

Identificación	pH
REA: P, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	
Re: Negro	
Bl: Blanco	
Gr: Verde	
Am: Amarillo	
Ro: Rojo	
Vi: Violeta	
Ca: Calcio	
Mg: Magnesio	
S: Sulfuro	
Zn: Zinc	
Cu: Cobre	
Fe: Hierro	
Mn: Manganeso	
B: Boro	
Cl: Cloro	

Identificación	Metodología	Entonómetro
REA, P	Colorimetría	Cloruro Mercurico - pH
Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn	Espectroscopia Atómica	
S	Turbidimetría	Indicador de Colorimetría
B	Colorimetría	Indicador de Colorimetría
Cl	Espectroscopia	Tabla Standard Barbi - Agua (12.2)
PB	Espectroscopia	

Método de Referencia de Datos	
Método (ppm)	
Ca	100 - 200
Mg	100 - 200
Zn	10 - 20
Fe	10 - 20
Mn	5 - 15
B	0,5 - 1,0
Cl	1,0 - 2,0

NE = No detectado

uL = Micro Litro de Cuantificación

Los resultados expresados en este informe, corresponden únicamente a los(los) muestra(s) presentada(s) al centro

Los resultados expresados en(%) se refieren únicamente al elemento de referencia sobre el total de muestra

Los resultados, expresados en ug, que se indican a continuación, están basados en el método de absorción atómica al SAE

se fueron subsamplados

Es posible la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad

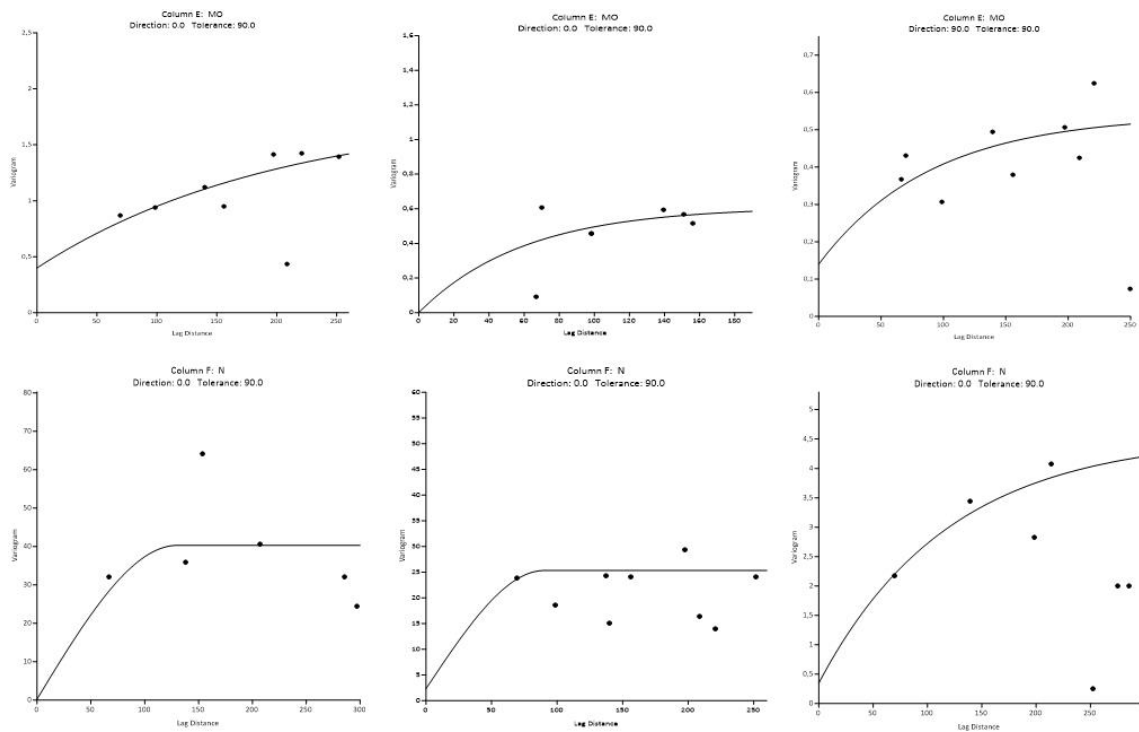
Mgs. Digna Acosta J.  
 Responsable Técnica del Laboratorio



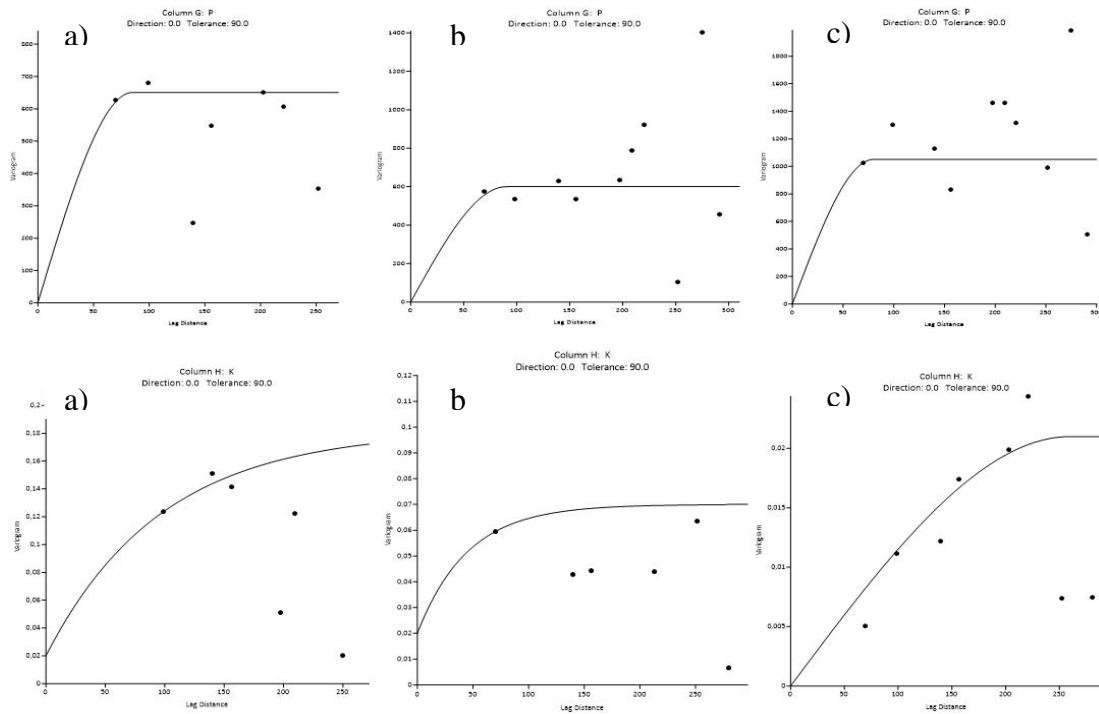


<b>Coefficiente de Variación (CV%)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Variable</b>
<20%	Relativamente homogéneas	pH, Ca
<20-40%	Moderadamente heterogéneas	MO, CE, K, Mg
<40-60%	Normalmente heterogéneas	N, P,
>60%	Extremadamente heterogéneas	-

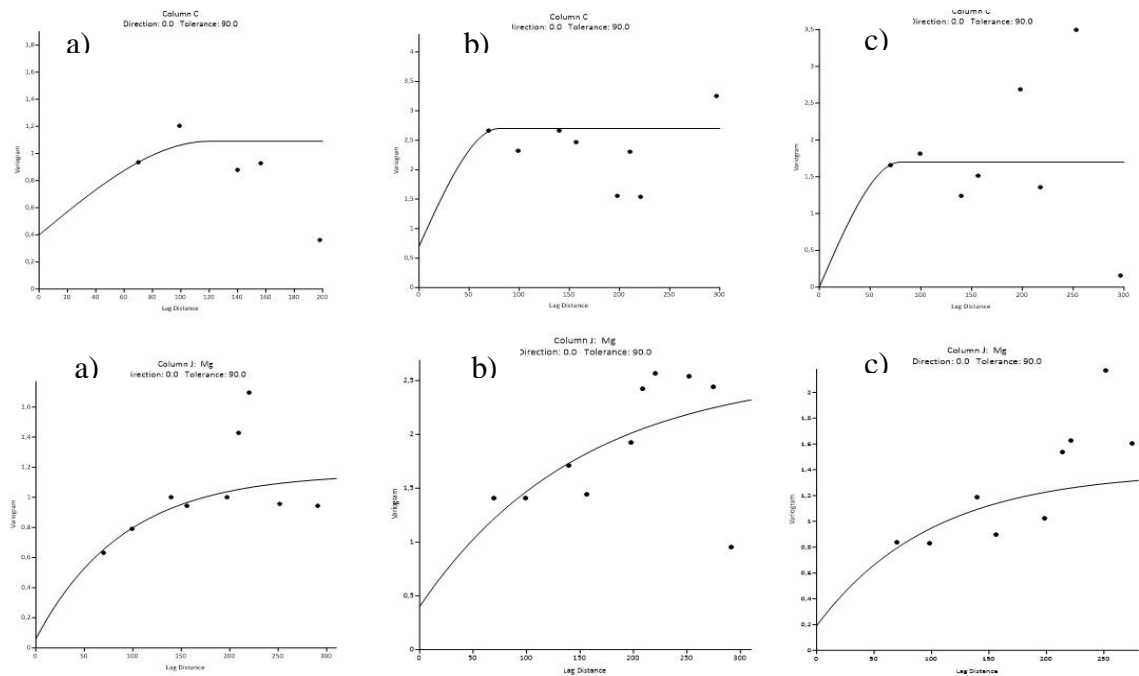
**Anexo 2.** Grado de variabilidad de las propiedades químicas según el Coeficiente de variación CV%.



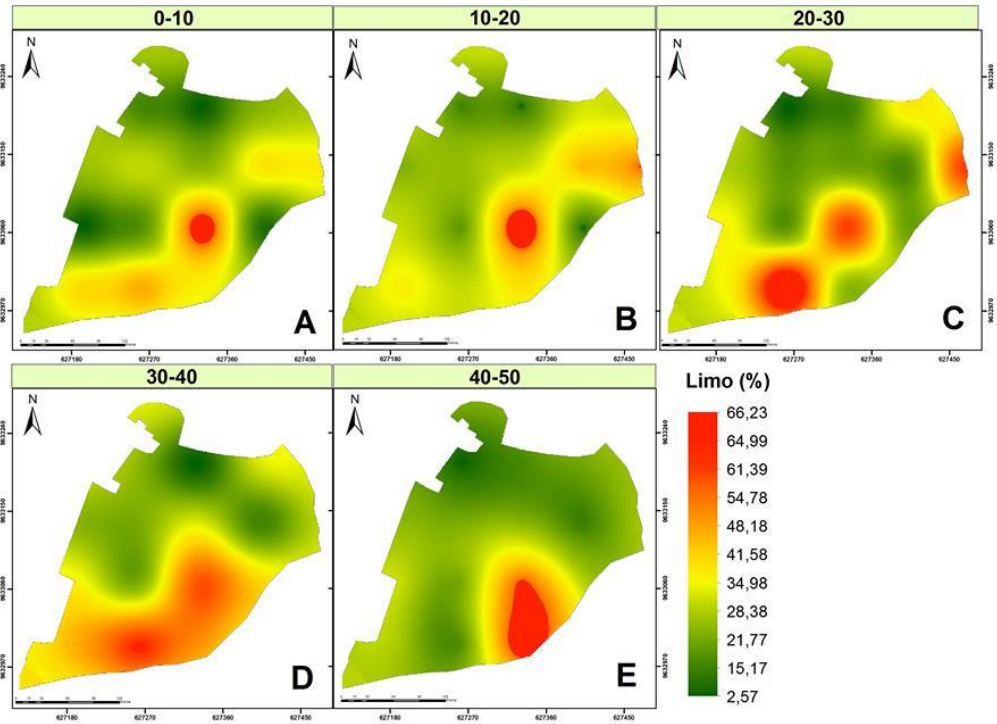
**Anexo 3.** Semivariogramas experimentales (puntos) y su modelo de ajuste teórico (línea) de la propiedad de MO y N del suelo en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.



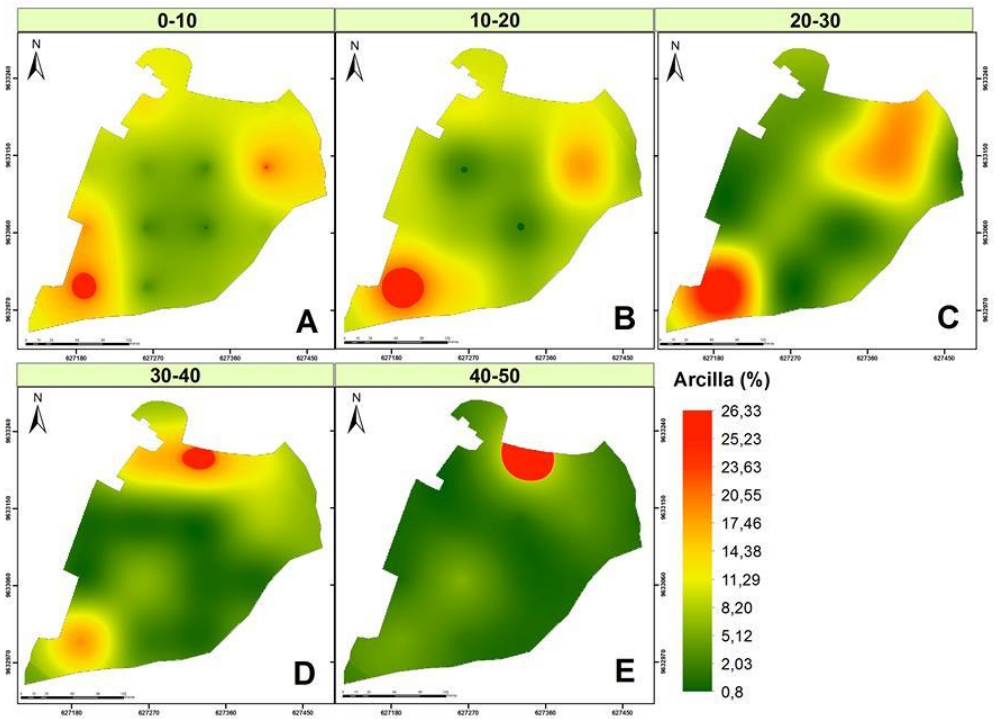
**Anexo 4.** Semivariogramas experimentales (puntos) y su modelo de ajuste teórico (línea) de la propiedad de P y K del suelo en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.



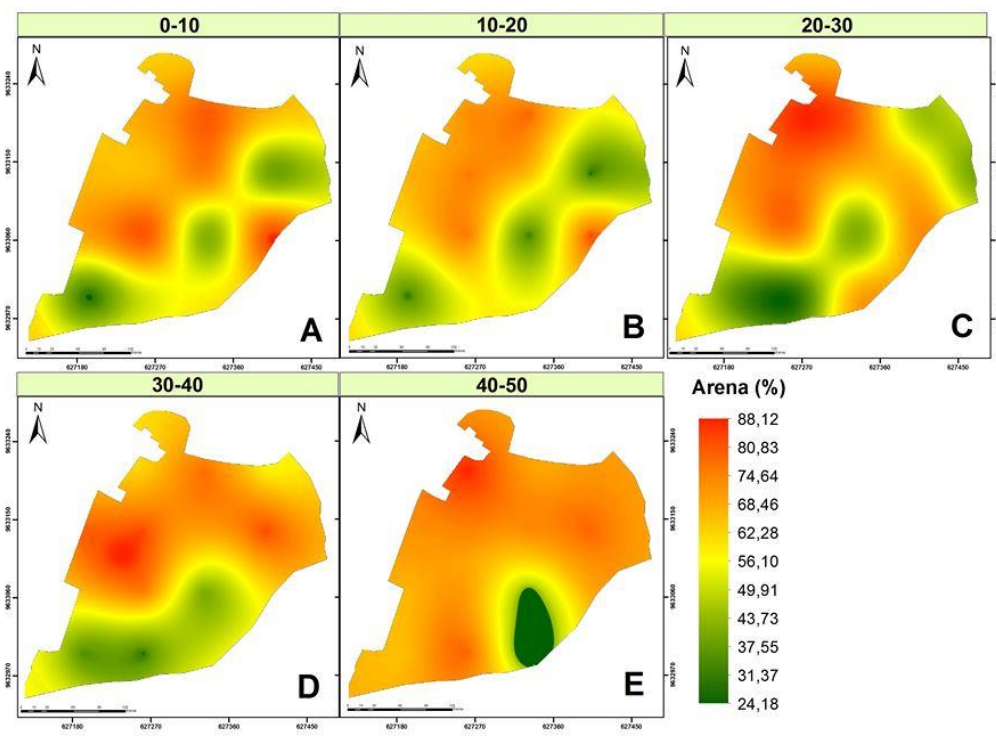
**Anexo 5.** Semivariogramas experimentales (puntos) y su modelo de ajuste teórico (línea) de la propiedad de Ca y Mg del suelo en estratos de a) 0-10cm; b) 10-20cm; c) 20-30cm.



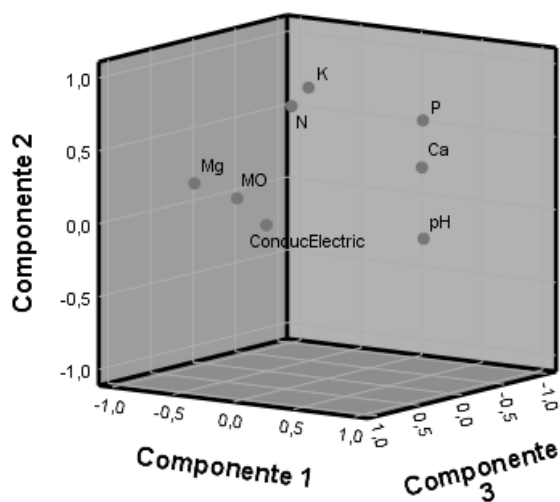
**Anexo 6.** Mapa de variabilidad espacial del porcentaje de limo en la finca Márquez.



**Anexo 7.** Mapa de variabilidad espacial del porcentaje de arcilla en la finca Márquez.



**Anexo 8.** Mapa de variabilidad espacial del porcentaje de arena en la finca Márquez.



**Anexo 9.** Gráfico de componente en espacio rotado.