



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS
PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO CON CULTIVO DE CACAO,
SU INCIDENCIA EN SU CAPACIDAD PRODUCTIVA.**

**CRUZ LOVATO KLEBER ALEXANDER
INGENIERO AGRÓNOMO**

**MACHALA
2020**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

**CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE
LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO CON CULTIVO
DE CACAO, SU INCIDENCIA EN SU CAPACIDAD
PRODUCTIVA.**

**CRUZ LOVATO KLEBER ALEXANDER
INGENIERO AGRÓNOMO**

**MACHALA
2020**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS
PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO CON CULTIVO DE CACAO, SU
INCIDENCIA EN SU CAPACIDAD PRODUCTIVA.

CRUZ LOVATO KLEBER ALEXANDER
INGENIERO AGRÓNOMO

CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

MACHALA, 17 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA
2020

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO CON CULTIVO DE CACAO, SU INCIDENCIA EN SU CAPACIDAD PRODUCTIVA

INFORME DE ORIGINALIDAD

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.fundar.org.mx

Fuente de Internet

<1%

2

www.unizar.es

Fuente de Internet

<1%

3

www.gea-es.org

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

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

El que suscribe, CRUZ LOVATO KLEBER ALEXANDER, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO CON CULTIVO DE CACAO, SU INCIDENCIA EN SU CAPACIDAD PRODUCTIVA., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

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

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

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

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

Machala, 17 de diciembre de 2020



CRUZ LOVATO KLEBER ALEXANDER
0705878700

DEDICATORIA

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ellos entre los cuales se incluye éste. Me formaron con mano dura y a la vez con valores que hacen de una persona importante en la sociedad. La motivación y apoyo constante nunca faltó y es por ello, que esta meta es mucho más de ellos, que mía.

Kleber Alexander Cruz Lovato

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Machala por permitirme formarme con conocimientos técnicos durante estos 5 años de experiencias inolvidables.

De manera muy especial al Ing. Julio Chabla Carrillo. PhD, por compartir sus conocimientos a lo largo de todo el periodo académico y por guiarme siendo mi tutor en el presente trabajo de titulación.

A demás amigos que de una u otra forma fueron parte fundamental durante todo este proceso con sus muestras de ayuda y motivación.

Kleber Alexander Cruz Lovato

RESUMEN

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DEL SUELO CON CULTIVO DE CACAO, SU INCIDENCIA EN SU CAPACIDAD PRODUCTIVA

Autor

Kleber Alexander Cruz Lovato

Tutor

Julio Chabla Carrillo, PhD

La agricultura es un pilar importante en el desarrollo social y económico, por lo cual conlleva una explotación cada día mayor del recurso suelo, sin importar el comportamiento espacial de la calidad del mismo, provocando degradación de la estructura y generando disminución de los rendimientos de los cultivos. Dicha relación entre la producción y la variabilidad espacial de las propiedades hidrofísicas es un punto de inicio para ejercer sistemas de manejo prediales precisos, sostenibles y sustentables en el tiempo, sin embargo, la mayoría de agricultores desconocen el estado actual de sus suelos.

Por los antecedentes anteriores se realizó la presente investigación asociando técnicas estadísticas y Geoestadísticas en el área cacaotera de la Facultad de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Técnica de Machala, con el fin de identificar el comportamiento espacial de las propiedades hidrofísicas y delimitar zonas homogéneas que permitan incorporar un manejo predial zonificado optimizando los recursos de agua, suelo, económicos y sociales.

El estudio se realizó en dos profundidades, de 0-10 cm siendo el HA y de 10-20 cm el HB, con un total de 20 puntos de muestreo para el análisis de doce propiedades hidrofísicas como Arena, Limo, Arcilla, CC, PmP, PT, Da, Dr, MO, IEE, Ib, Ks. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Técnica de Machala y las pruebas físicas de infiltración de agua con la utilización de los anillos de Munz. Se determinó la correlación entre las variables por medio del coeficiente de correlación de Pearson, con la utilización del software Rstudio 3.6.3. Posteriormente, se realizaron los semivariogramas en

el programa Surfer16, determinando los parámetros Geoestadísticos como Sill, Meseta y Rango, se utilizaron dos modelos teóricos de ajuste como el Esférico y gaussiano de los cuales se seleccionó el de mejor ajuste por medio de los coeficientes de determinación, Nash y error cuadrático medio. Así mismo, la variabilidad espacial se demostró por medio de interpolaciones Kriging ordinario en el programa Arcgis 10.3 con los parámetros Geoestadísticos previamente calculados. Las zonas homogéneas se identificaron por medio del análisis de clúster realizado en el software Rstudio 3.6.3, determinando el número óptimo de grupos por medio del método de la silueta y corroborando por la ubicación del clúster en una tal distancia euclidiana. Por último, la delimitación de las zonas se realizó en el programa Arcgis 10.3 por medio de interpolaciones simples de los puntos de muestreo con la asignación del clúster perteneciente.

Los resultados evidenciaron mayor variabilidad en el comportamiento espacial en los primeros 10 cm del suelo, generando la formación de cuatro zonas homogéneas en HA y dos en el HB por medio del análisis clúster con una distancia euclidiana de 50 y 60 respectivamente, en ambos perfiles de estudio las propiedades presentaron dependencia espacial débil respecto a los modelos de ajuste teóricos Esférico y gaussiano, a excepción de la densidad aparente y porosidad total que se clasificaron como fuerte y moderada respectivamente. Por medio de la caracterización de las propiedades se identificó un suelo de clase textural franco, estructuralmente estable con contenidos de materia orgánica alta que sin embargo, no inciden en la producción del predio, puesto que ésta es muy baja como consecuencia de la falta de prácticas culturales y déficit hídrico.

Palabras claves: Comportamiento espacial, Kriging Ordinario, Semivariogramas, análisis clúster, zonas homogéneas.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF THE SPATIAL BEHAVIOR OF THE HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL WITH CACAO CULTIVATION, ITS INCIDENT ON YOUR PRODUCTIVE CAPACITY

Author

Kleber Alexander Cruz Lovato

Tutor

Julio Chabla Carrillo, PhD

Agriculture is an important pillar in social and economic development, so it involves an increasing exploitation of soil resources, regardless of the spatial behavior of the quality of it, causing degradation of the structure and generating lower yields. This relationship between production and the spatial variability of hydrophysical properties is a starting point for exercising precise, sustainable and long-term land management systems. However, most farmers are unaware of the current state of their soils.

Due to the previous antecedents, the present investigation was carried out associating statistical and geostatistical techniques in the cocoa area of the Faculty of Agricultural Sciences belonging to the Technical University of Machala, with the purpose of identifying the spatial behavior of the hydrophysical properties and delimiting homogeneous zones that allow incorporating a zoned property management optimizing the water, soil, economic and social resources.

The study was carried out in two depths, 0-10cm being the HA and 10-20cm the HB with a total of 20 sampling points for the analysis of twelve hydrophysical properties such as Sand, Silt, Clay, CC, PmP, PT, Da, Dr, MO, IEE, Ib, Ks. The analyses were carried out at the Laboratory of the Technical University of Machala and the physical tests of water infiltration with the use of the Munz rings. The correlation between the variables was determined by means of Pearson's method in the software Rstudio 3.6.3. Later, the semivariograms were made in the program Surfer16, determining the geostatistical parameters as Sill, Plateau and

Range, two theoretical models of adjustment were used as the Spherical and Gaussian of which the one of better adjustment was selected by means of the coefficients of determination, Nash and average quadratic error. Likewise, the spatial variability was demonstrated by means of ordinary Kriging interpolations in the Arcgis 10.3 program with the previously calculated geostatistical parameters. Homogeneous zones were identified by means of the cluster analysis carried out in the software Rstudio 3.6.3, determining the optimal number of groups by means of the silhouette method and corroborating it by the location of the cluster in such a Euclidean distance. Finally, the delimitation of the zones was carried out in the program Arcgis 10.3 by means of simple interpolations of the sampling points with the assignment of the belonging cluster.

The results showed a greater variability in the spatial behavior in the first 10cm of study, generating the formation of four homogeneous zones in HA and two in HB through the cluster analysis with a Euclidean distance of 50 and 60 respectively, in both study profiles, the properties presented weak spatial dependence with respect to the theoretical adjustment models Spherical and Gaussian, except for the apparent density and total porosity that were classified as strong and moderate respectively. Through the characterization of the properties, it was identified as a soil of frank textural class, structurally stable with high organic matter contents that, however, do not affect the production of the property, since this is very low as a consequence of the lack of cultural practices and hydric deficit.

Keywords: Spatial behavior, Ordinary Kriging, Semivariograms, cluster analysis, homogeneous zones.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Importancia del cultivo de Cacao en el Ecuador	14
2.2 Importancia del estudio de las propiedades hidrofísicas	14
2.3 Variabilidad espacial de las propiedades hidrofísicas	21
2.4 Agricultura de Precisión	22
2.5 Geoestadística	23
2.6 Análisis multivariado	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 Ubicación y caracterización de la zona de estudio	27
3.2 Materiales, equipos y reactivos utilizados	28
3.3 Toma de muestras y análisis de laboratorio	29
3.4 Procesamiento de datos	30
3.4.1 Infiltración de agua en el suelo	30
3.5 Análisis de Datos	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1 Caracterización de las propiedades Hidrofísicas	33

4.2	Análisis de Correlación	39
4.3	Variabilidad espacial	40
4.4	Delimitación de zonas Homogéneas	52
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1	Conclusiones	57
5.2	Recomendaciones	58
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
7.	ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama triangular de las clases texturales	19
Figura 2. Condiciones de humedad del suelo	23
Figura 3. Principales elementos del Semivariograma	27
Figura 4. Ubicación y Localización del área de estudio.	30
Figura 5. Distribución de puntos de muestreo	32
Figura 6. Diagrama de cajas de cada variable de estudio en 2 perfiles de suelo	36
Figura 7. Clases texturales de los 2 Horizontes de estudio	39
Figura 8. Matriz de correlación de Pearson para el Horizonte A	41
Figura 9. Matriz de correlación de Pearson para el Horizonte B.	42
Figura 10. Distribución espacial del contenido de Arena en HA y HB	44
Figura 11. Distribución espacial del contenido de Limo en HA y HB	45
Figura 12. Distribución espacial del contenido de Arcilla en HA y HB	46
Figura 13. Distribución espacial de la Da en HA y HB	47
Figura 14. Distribución espacial de la Dr en HA y HB	48
Figura 15. Distribución espacial del porcentaje de PT en HA y HB	49
Figura 16. Distribución espacial del porcentaje de CC en HA y HB	49
Figura 17. Distribución espacial del porcentaje de PmP en HA y HB	50
Figura 18. Distribución espacial del contenido de MO en HA y HB	51
Figura 19. Distribución espacial del IEE en HA y HB	51
Figura 20. Distribución espacial de la Infiltración Básica	52
Figura 21. Distribución espacial de la Conductividad Hidráulica	52
Figura 22. Distribución espacial del rendimiento del Predio	53
Figura 23. Número óptimo de clúster para HA	55
Figura 25. Formación de clúster en sitios de muestreo para HA	55
Figura 26. Zonas homogéneas delimitadas en el Horizonte A	57
Figura 27. Número óptimo de clúster para HA	57
Figura 28. Formación de clúster en sitios de muestreo para HB	58
Figura 29. Zonas Homogéneas delimitadas para Horizonte B	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Densidad real en función del tipo de suelo.	19
Tabla 2. Densidad aparente y Clase textural	20
Tabla 3. Clasificación de la porosidad del suelo	21
Tabla 4. Índice de estabilidad estructural (IEE).	24
Tabla 5. Etapas para la aplicación de agricultura de precisión	26
Tabla 6. Condiciones climatológicas del área de estudio	30
Tabla 7. Coordenadas de ubicación del área de estudio	31
Tabla 8. Materiales, equipos y reactivos utilizados	31
Tabla 9. Análisis de laboratorio y pruebas físicas en cada punto de muestreo	33
Tabla 10. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk	37
Tabla 11. Estadísticos descriptivos para propiedades discretas en HA	38
Tabla 12. Estadísticos descriptivos para propiedades discretas en HB	38
Tabla 13. Clasificación de las variables discretas según su CV	39
Tabla 14. Comparación de medias para cada variable en los dos Horizontes	40
Tabla 15. Estadísticos descriptivos de los parámetros de los modelos de ajuste utilizados en la variable infiltración	40
Tabla 16. Geoestadísticos para las propiedades en los dos perfiles de estudio.	43 53
Tabla 17. Rendimiento por sitio de muestreo	56
Tabla 18. Características de las Zonas Homogéneas para HA	58
Tabla 19. Características de las Zonas Homogéneas para HB	

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Toma de muestra de dos profundidades en los puntos de muestreo	71
Anexo 2. Secado de las 40 muestras de 20 sitios de muestreo	71
Anexo 3. Determinación de D_a por método de cilindro metálico	72
Anexo 4. Determinación de D_r por método del balón aforado	72
Anexo 5. Determinación de textura por método de Hidrómetro	72
Anexo 6. Determinación de textura por método de Hidrómetro	73
Anexo 7. Determinación de coeficientes hídricos por relación de pesos	73
Anexo 8. Pruebas de infiltración con anillos de Munz	73
Anexo 9. Afectación de plagas y enfermedades en la producción	74
Anexo 10. Abundancia de follaje por falta de prácticas culturales	74

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador representa el segundo porcentaje de mayor área sembrada en América solo por debajo de Brasil, con un 24% y 40% respectivamente (Sánchez, Zambrano, & Iglesias, 2019) efectuando así, un liderazgo en producción representado en las 237,598 Tn y 220,568.5 Tn por cada país, generadas en el periodo 2017 – 2018 (FAO, 2020), ejerciendo un papel importante y vital en la economía de pequeños y medianos productores (ANECACAO, 2019).

La relación de la producción con el comportamiento espacial de las propiedades hidrofísicas del suelo es un punto de inicio para ejercer sistemas de manejo prediales precisos, sostenibles y sustentables en el tiempo (Valbuena, Martínez, & Henao, 2008) sin embargo, la mayoría de agricultores desconocen el estado actual de sus suelos.

Por lo anterior, un suelo en estado de degradación es incapaz de proporcionar condiciones para una producción sustentable (FAO, 2020b). Una de las principales causas de este problema son la compactación y la erosión, que se pueden contrarrestar mediante prácticas agrícolas, evaluación y monitoreo con herramientas tecnológicas de teledetección y análisis Geoestadístico.

La heterogeneidad espacial de las propiedades del suelo causan una variación de la producción dentro del predio (Godwin & Miller, 2003). Lo cual direcciona a la implementación de una agricultura de precisión que radica en la identificación y cuantificación de la variación en el espacio de factores que afecten el rendimiento. Permitiendo delimitar zonas homogéneas, con el objetivo de fraccionar el predio en regiones con un manejo diferenciado (Kitchen et al. 2005), beneficiando el uso del recurso suelo que se verá reflejado en la capacidad productiva.

Por consiguiente, la presente investigación se basa en la identificación del comportamiento espacial de las propiedades hidrofísicas de un suelo cacaotero, para así, contribuir a la actividad agropecuaria con propuestas de mejoras en sus

sistemas productivos basados en la implementación de herramientas tecnológicas y direccionados a mejores rendimientos y optimización de recursos.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las propiedades hidrofísicas del suelo del área de cacao del predio Santa Inés de la FCA, UTMACH, mediante el comportamiento espacial para optimizar el uso del recurso suelo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las propiedades Hidrofísicas del suelo mediante análisis de laboratorio y pruebas físicas para zonificar el área de cacao del predio Santa Inés de la FCA. .
- Determinar el comportamiento y distribución espacial de las propiedades Hidrofísicas del suelo mediante un análisis Geoestadístico para identificar áreas de mayor y menor influencia.
- Delimitar zonas homogéneas dentro del área de cacao del predio Santa Inés de la FCA mediante técnicas de análisis multivariantes para definir zonas de manejos diferenciados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia del cultivo de Cacao en el Ecuador

El cultivo de cacao en el Ecuador se ubica en el tercer lugar como producto de exportación tradicional después del cultivo de banano y camarón (INEC, 2018), sin embargo, se ubica en el primer lugar como productor de cacao fino y de aroma, representando en la producción mundial entre 70% - 80% (PROECUADOR, 2013).

La producción cacaotera se distribuye a lo largo del territorio ecuatoriano, presentando cambios en el sabor y aroma de la fruta como efecto de las características del suelo y clima de la zona donde se cultiva (PROECUADOR, 2013). Dichas zonas se encuentran en 19 de las 24 provincias del Ecuador, las cuales presentaron productividades de 0.75 (t/ha) y 0.45 (t/ha) de almendra seca de cacao CCN51 y Nacional respectivamente, en el año 2019 (MAG & SIPA, 2020).

2.2 Importancia del estudio de las propiedades hidrofísicas

El estudio de las propiedades hidrofísicas del suelo nos permite determinar su capacidad actual de uso, su incidencia en el sistema de producción y las alternativas de integrar prácticas agronómicas de mantenimiento o recuperación del recurso suelo (Varón Ramírez, 2016).

El suelo representa una parte fundamental de la vida, siendo éste el principal responsable de la alimentación mundial. Está compuesto por materiales orgánicos e inorgánicos como: arena, limos y arcillas (Gavande, 1972), las cuales conforman propiedades físicas como la textura, porosidad, densidad aparente y real, infiltración entre otras., que en características óptimas determinan la capacidad para el desarrollo vegetativo de los cultivos (Orellana Guanuchi, 2010).

La propiedad física de mayor importancia del suelo es la textura, ya que interviene de manera directa en las demás propiedades, por ello, es indispensable su estudio y determinación (Vélez, 2010).

La textura varía según el tamaño y cantidad de partículas e incide directamente en la disponibilidad de agua, aire y nutrientes (Van Deuren et al., 2002). He ahí la importancia de esta propiedad en la agricultura, pues la distribución de los tamaños de las partículas influyen sobre la retención y disponibilidad de nutrimentos y humedad del suelo, susceptibilidad a la degradación y desarrollo del sistema radicular (FAO, 2000).

La textura se clasifica por el tamaño de sus partículas en gruesa, mediana y fina (Flores & Alcalá, 2010). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), establece los siguientes tipos de partícula en función del tamaño:

- Arena muy gruesa: 2 mm – 1 mm
- Arena gruesa: 1mm – 0.5 mm
- Arena mediana: 0,5 mm – 0,25 mm
- Arena fina: 0,25 mm – 0,10 mm
- Arena muy fina: 0,10 mm – 0,05 mm
- Limo: 0,05 mm – 0,002 mm
- Arcilla: menos de 0,002 mm

La fracción gruesa está compuesta por las arenas, por ello, presentan características deficientes de retención de humedad y nutrientes, excesivos contenidos de aire, y están propensos a erosión (Jimenez & Siavosh, 2005). El limo en mayores proporciones brinda altas condiciones para la producción agropecuaria. En cuanto a la arcilla es la partícula más activa química, física e hidrodinámicamente hablando, presenta características favorables como la alta capacidad de retener agua y nutrientes, pero también características desfavorables como deficientes drenajes y encharcamientos superficiales (Delgado-Londoño, 2017).

El porcentaje de cada partícula de arena, limo y arcillas definen 12 clases texturales, las cuales se determinan por medio del diagrama triangular (Figura 1) que presenta valores en porcentaje para cada partícula en función del contenido de las muestras, los suelos arcillo-limosos y arcillosos contienen una alta concentración de partículas finas que favorecen a la compactación, mientras que

los francos se constituyen equilibradamente de cada una de las partículas (Bravo et al., 2017).

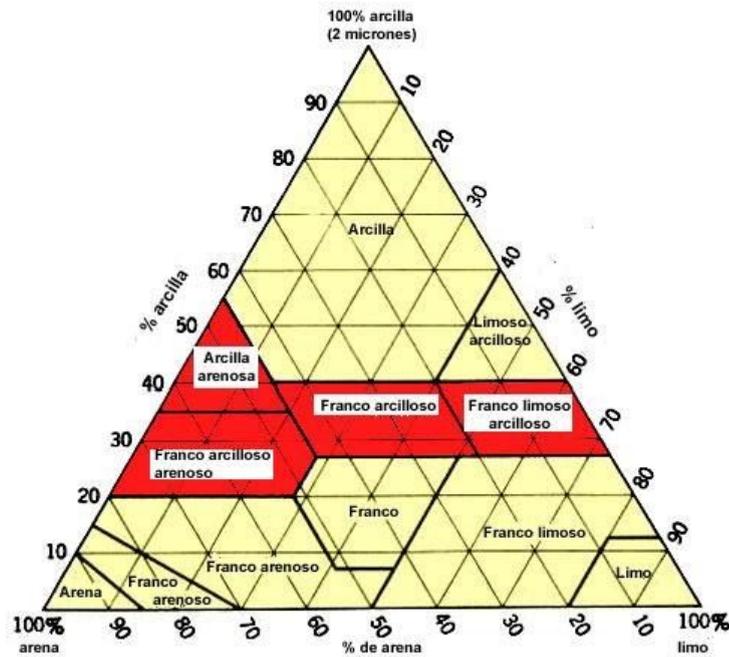


Figura 1. Diagrama triangular de las clases texturales.

Fuente. Textura del suelo (FAO, 2020c)

La densidad real varía según el contenido de partículas de materia orgánica, arcilla, limo y arena, valores muy menores a $2,65 \text{ g/cm}^3$ hacen referencia a contenidos altos de materia orgánica, si es significativamente más alto a $2,65 \text{ g/cm}^3$ podemos pensar en la existencia de contenidos altos de minerales ferromagnésicos (Heredia, 2013).

Tabla 1. Valores de Densidad real en función del tipo de suelo.

	Densidad Real (g/cm^3)
Arcilloso	2.67 – 2.90
Limoso	2.65 – 2.70
Arenoso	2.63 – 2.67
Orgánico	< 2
Volcánico	2 – 2.50

Fuente. Villaseñor(2016).

La Densidad aparente es una propiedad que nos da acceso a la evaluación física del suelo (Mori, Alavi, & Mooney, 2017) permitiendo establecer y definir las prácticas agrícolas de manejo y conservación de agua y suelo (Salamanca & Sadeghian, 2005).

De acuerdo con Sandoval, et al., 2012, citado por Villaseñor, 2016 “La densidad aparente de los suelos corresponde a la densidad del sistema trifásico (agua, suelo, aire), y se expresa como la razón entre la masa de las partículas (Ms) y el volumen total del suelo (VT), incluidos los espacios porosos entre las partículas”. Por ello, influye de manera directa en la estimación de propiedades como porosidad total, humedad a saturación y compactación. Sus valores se ven influenciados por la textura del suelo (López & Estrada, 2015) como se observa en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Densidad aparente y Clase textural.

Clase Textural	Da (g/cm^3)
Arena	1.70-1.80
Arena gruesa	1.60-1.70
Arena y arena fina	1.55-1.65
Arena muy fina	1.55-1.65
Arena franca	1.60-1.70
Arena franca gruesa	1.55-1.65
Arena franca, Arena franca fina	1.55-1.60
Arena franca muy fina	1.55-1.60
Franco arenosa	1.55-1.60
Franco arenosa y gruesa	1.55-1.60
Franco arenosa y Franco arenosa fina	1.50-1.60
Franco arenosa muy fina	1.45-1.55
Franca y franco limosa	1.45-1.55
Limo	1.40-1.50
Franco arcillosa	1.40-1.50
Franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa	1.45-1.55
Arcilla arenosa	1.35-1.45
Arcilla limosa	1.40-1.50
Arcilla 35-50%	1.35-1.45
Clay 50-65%	1.25-1.35

Fuente. Staff Soil Survey (2010).

Esta propiedad también tiene influencia en el almacenamiento de carbono y el anclaje de la planta al suelo, así mismo, nos permite determinar el contenido de agua en el suelo gracias a su intervención en la conversión de agua gravimétrica a volumétrica (Flores & Alcalá, 2010), por otro lado, en cantidades altas ocasiona la disminución del tamaño de los poros, dando lugar a la compactación (Bustamante, Chabla, & Barrezueta, 2018), que como consecuencia afecta el desarrollo radicular y rendimiento de los cultivos por la reducción del porcentaje de porosidad y la capacidad de infiltración del agua (López, Reynoso, López, Camas, & Tasistro, 2018).

El porcentaje de porosidad es la representación del volumen de suelo no ocupado por sólidos, su estimación depende de factores como la labranza, la estructura y textura del suelo, contenido de materia orgánica y del manejo e intensidad de cultivos (Flores & Alcalá, 2010). El espacio poroso está dividido en macro, meso y micro poros, cada uno con una función específica. Los microporos se encargan de la retención de humedad, los mesoporos contienen el agua disponible para las plantas y los macroporos permiten el flujo de agua y aire (Delgado-Londoño, 2017).

Tabla 3. Clasificación de la porosidad del suelo.

Porosidad Total	%
Muy baja	<2
Baja	2-5
Media	5-15
Alta	15-40
Muy alta	>40

Fuente. FAO (2009)

La presencia de porcentajes muy bajos de porosidad total son síntomas de compactación de suelo (Delgado-Londoño, 2017). Dichos niveles bajos de espacio poroso se dan como consecuencia de un impacto de las gotas de lluvia, concentración alta de material fino del suelo y un acelerado humedecimiento del mismo, lo que genera la formación de un “sellado del suelo” (Awadhwal & Thierstein, 1985) y (Chartres & Geeves, 1998).

Los sellos y costras que se forman en el suelo son estados de degradación de la capa superficial del mismo, generando impactos negativos en el intercambio gaseoso e hídrico entre el suelo y la atmósfera, e incidiendo en la germinación, emergencia y desarrollo de la vegetación (Chartres & Geeves, 1998). A lo largo del tiempo se ha definido que el sellado y encostramiento del suelo, están relacionados con el estado húmedo y seco respectivamente (Gabriels et al. 1997).

Al reducir la permeabilidad de la capa superficial del suelo por formación de sellos y costras, se ve afectada de forma directa la infiltración provocando un aumento del flujo superficial, erosión y encharcamientos de agua por la reducida velocidad de infiltración (Chabla, 2018).

La infiltración de agua se relaciona de forma directa con procesos y propiedades del suelo, tales como: procesos de capilaridad, adhesión y cohesión de partículas del suelo (Forero, 2000), contenido de materia orgánica y cobertura vegetal, densidad aparente, porosidad, sellado superficial. Estabilidad y estructura del suelo (Fiorin, 2008).

El aumento de la producción agropecuaria para cubrir las necesidades alimenticias del mundo, requiere de un manejo eficaz del recurso agua (Orjuela-Matta, Rubiano-Sanabria, & Camacho-Tamayo, 2012), es por ello, que determinar la tasa de infiltración y la capacidad de retención de humedad son componentes decisivos en diseños de sistemas de riego y drenaje (Silva, 2007).

En el diseño de un sistema de riego el factor fundamental es cubrir las necesidades hídricas con la lámina de agua óptima sin exceder la velocidad de infiltración del suelo (Forero, 2000), por tanto, para poder satisfacer dicha lámina de agua se debe determinar los puntos de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) (Gavande, 1972).

La capacidad de campo hace referencia al contenido de agua de un suelo saturado después de un periodo de 48 horas de drenaje (Shaxson & Barber, 2005). Fluyendo el agua y aire por los macroporos, disponible para las plantas en los

mesoporos y retenida en los microporos a 0.3 bares. La tensión es una forma de medir la humedad, si ésta disminuye en el suelo la tensión sube (Martin & Muñoz, 2017). En la figura.2 podemos apreciar la clasificación del agua contenida en el suelo.



Figura 2. Condiciones de humedad del suelo

Fuente. (Tecniagricola, 2013)

El punto de marchitez permanente (PMP) hace referencia al estado del suelo en que las raíces detienen su trabajo generando marchitez de las plantas (Castilla, 2007). El PMP varía en función del cultivo y suelo, presentándose en la mayoría de los casos a tensiones de 15 bares, obligando a las plantas a realizar fuerzas de succión que van más allá de sus capacidades y por ende entran en un estado de marchitez hasta morir por escasez de humedad en el suelo (Martin & Muñoz, 2017).

La capacidad de retención de humedad del suelo se ve favorecida por la incorporación de M.O. (Ramos & Terry, 2014) ya que ésta influye en las propiedades biológicas, químicas y físicas e incide en la evaluación de la calidad del suelo (Pulido – Moncada et al., 2010).

Contenidos de MO altos contribuyen a porcentajes de porosidad total alta, mientras que contenidos bajos generan un incremento de la densidad aparente por causa de la reducción de espacios porosos direccionando a una futura

compactación (Muñoz et al., 2013). Es por ello, que la capacidad de manejar los contenidos de materia orgánica es decisiva para evitar una susceptibilidad a la erosión y debilidad de la estructura del suelo (Obalum, Chibuike, Peth & Ouyang, 2017).

La estructura del suelo pierde fuerza por la disminución acentuada de MO, ocasionando problemas de compactación que impiden el desarrollo radicular de los cultivos. El tránsito de animales y maquinaria son la principal causa de la compactación (Medina, Camacho-Tamayo, & Cortés, 2012) sin embargo, procesos de translocación de arcillas también generan una compactación natural (USDA, 2014), lo que conlleva a una degradación del recurso suelo como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Índice de estabilidad estructural (IEE)

Índice de estabilidad estructural	Interpretación
<5	Suelos degradados
5 y 7	Alto riesgo a la degradación por compactación
7 y 9	Moderado riesgo a la degradación
>9	Suelo estructuralmente estable

Fuente. (Chabla, 2018)

2.3 Variabilidad espacial de las propiedades hidrofísicas

El suelo es un recurso heterogéneo espacialmente hablando, es decir, a mayor distancia existe mayor variabilidad en sus propiedades físicas e hídricas, esto se debe a dos factores, manejo y génesis del suelo. El primero de ellos se debe a la intervención del hombre en fertilización y uso de maquinaria agrícola. El segundo representa el proceso de formación de suelos interviniendo el clima y microorganismos en el material parental generando alta variabilidad (Montenegro & Malagón, 1990).

Esta variabilidad en el espacio es el principal problema en los suelos agrícolas, por ello la importancia de integrar metodologías que permitan evaluarla y establecer manejos eficientes del recurso suelo y así aumentar la rentabilidad de la producción (Jaramillo D., 2012).

Cada propiedad presenta variabilidad distinta por su distribución vertical (Grauer-gray & Hartemink, 2017), siendo las propiedades químicas las de mayor variabilidad en el espacio que las físicas (Araujo, 2011). Ambas presentan heterogeneidad entre ellas tanto de una zona a otra como a longitudes pequeñas (Lozano, 2018).

El estudio de la variabilidad espacial se basa en las propiedades con dependencia de la longitud o dirección con respecto a la muestra vecina, las cuales adoptan el nombre de variables regionalizadas (Cueva Rivera, 2020).

Las variables regionalizadas se estudian y evalúan por medio de herramientas Geoestadísticas (Dörner, Salas, Ordóñez, & Valle, 2016) que analizan la dependencia espacial de datos obtenidos por medio de puntos de muestreo georeferenciados de un área para estimar y predecir el comportamiento en las partes no muestreadas (Deutsch, 2006) con el fin de diseñar y ejercer prácticas agrícolas como la aplicación de pesticidas y fertilizantes (Goovaerts, 1998) para así, mejorar los aspectos agronómicos, ambientales y económicos (Corwin & M, 2010) y direccionarlos hacia una agricultura de precisión.

2.4 Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión (AP) se basa en la integración de herramientas y sistemas tecnológicos. Que nos permiten recolectar y procesar información para establecer una correcta decisión (Vivas, Corrales, & Ramírez, 2016) en el área de producción, en función de sitios homogéneos pre-definidos dentro de la misma (Ortega & Flores, 1999).

Definir sitios homogéneos dentro del predio nos permite aplicar la dosis correcta de insumos, en el lugar y momento preciso (García & Flego, 2008) para así, optimizar al máximo los recursos, mejorar los rendimientos y disminuir el impacto ambiental (Martinez & De Sabando, 2019).

La agricultura de precisión tiene 3 etapas de desarrollo que involucra tecnologías en cada una de ellas para realizar las actividades que direccionen al objetivo planteado, como se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Etapas para la aplicación de agricultura de precisión.

Etapas	Tecnología	Actividades
Recolección e ingreso de datos	Sistema de posicionamiento global (GPS). Sistema de información geográfica (SIG). Instrumentos topográficos. Sensores remotos. Sensores directos	Medición de la topografía del suelo. Muestreo de suelo en grilla. Recorrido de cultivos para detección de plagas y enfermedades. Monitoreo de rendimiento. Medición directa de propiedades del suelo y cultivo Sensoramiento remoto de suelo y cultivo. Digitalización de mapas
Análisis, procesamiento e interpretación de la información.	Programas SIG. Sistemas de expertos. Programas Geo-estadísticos. Experiencias del operador	Recorrido de cultivos para detección de plagas y enfermedades. Monitoreo de rendimiento. Medición directa de propiedades del suelo y cultivo Sensoramiento remoto de suelo y cultivo. Digitalización de mapas
Aplicación diferencial de insumos.	Tecnología de dosis variables. Pulverización asistida por GPS. Programas computacionales	Aplicación variable de insumos. Siembra diferencial. Otras

Fuente. (Ortega & Flores, 1999) Adaptado de USDA, 1998.

2.5 Geoestadística

La Geoestadística es una rama de la estadística clásica que nos permite estudiar qué tan heterogénea es una propiedad continua en el espacio (Gallardo, 2006) y la dependencia espacial existente dentro de un grupo de atributos georreferenciados con el objetivo de pronosticar su comportamiento en toda el área (Deutsch, 2006).

Para la realización del análisis Geoestadístico se debe proceder en dos etapas, analizar la estructura espacial y posteriormente la estimación o predicción del comportamiento espacial del conjunto de datos (Giraldo, Introducción a la Geoestadística, 2002). Se comienza por la determinación de los mínimos cuadrados para elaborar los semivariogramas y seguidamente la predicción por medio de la técnica de interpolación Kriging (Giraldo, Pacheco & Orozco, 2017).

El análisis estructural se lo realiza por medio de semivariogramas experimentales que expresan que tan similares son los datos en función de la distancia. La construcción del semivariograma experimental es a partir de los atributos de la propiedad en estudio, analizándolo y ajustándose a un semivariograma teórico (González & Pérez de Vargas, 2009) que pueden ser no acotados como lineal, logarítmico y potencial y acotados como esférico, exponencial y gaussiano (Warrick, Myers, & Nielsen, 1986), para así poder comprender y exponer la variabilidad espacial de la propiedad. Teniendo en cuenta que a distancias mayores los atributos son menos similares, mientras que a menores distancias presentan mayor similitud (Giraldo, 2002).

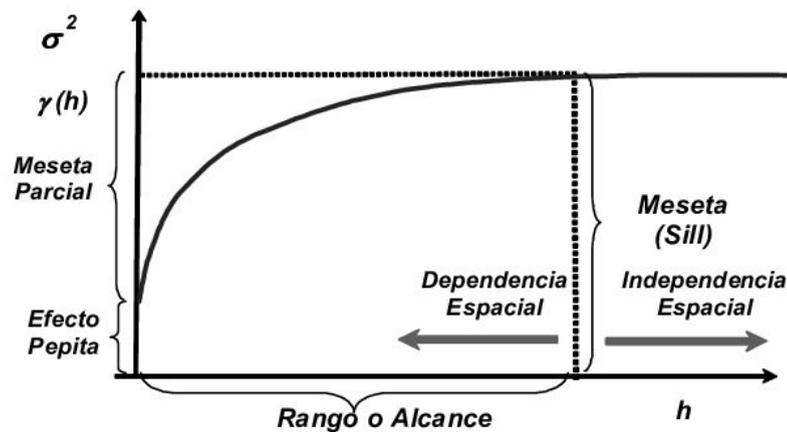


Figura 3. Principales elementos del Semivariograma

Fuente. (Mejía, Beteancur, & Londoño, 2007)

El efecto pepita o nugget representa la variabilidad no tomada en cuenta al momento del muestreo (Vasquez, Baena & Menjivar, 2010) ya sea por errores de medición de la propiedad o en algunos casos porque la estructura espacial no

representa las distancias correctas (Jaramillo D., 2012), sin embargo, en el mejor de los casos el valor es igual a cero puesto que valores negativos son insignificantes.

La meseta parcial es la representación de la variabilidad espacial de la propiedad en estudio y es la diferencia entre el sill y el nugget. El sill o meseta es el límite del semivariograma cuando éste tiende a ser infinito y es la suma entre la meseta parcial y el nugget.

El rango o alcance representa la distancia en que existe dependencia espacial entre las muestras, es decir, aquellas que están fuera del rango son independientes en el espacio (Jaramillo D., 2012).

Ya conociendo la estructura espacial de la propiedad en estudio se procede a aplicar la técnica de interpolación Kriging que se fundamenta en la disminución máxima del error cuadrático medio de predicción (Giraldo, 2002) el cual es el indicador de una predicción correcta o incorrecta. Este predictor puede ser no lineal o lineal, siendo este último el mejor linealmente insesgado debido a que pretende que la media de los errores cuadráticos sea nula y con una varianza mínima.

Para ejercer la interpolación Kriging se establecen dos métodos:

-El método puntual, que se basa en la estimación del valor de una propiedad en un punto específico.

-El método por bloques, que se basa en la estimación del valor promedio de muestras en un área alrededor de la muestra que se está analizando.

Según Isaaks y Srivastava (1989), el método por bloques genera una mejor correlación entre los valores expresando más exactitud en la interpolación.

2.6 Análisis multivariado

Un análisis estadístico y geoestadístico multivariado mediante medidas cuantitativas nos permite comprender la relación entre las propiedades del suelo, y

así, poder hipotetizar sobre las causas de la variabilidad de una propiedad en un sitio determinado (Jaramillo et al., 2011).

Los métodos más utilizados dentro de un análisis multivariado son: el análisis por componentes principales, análisis factorial y análisis clúster. Estos hacen una combinación lineal de las variables en estudio determinando variables nuevas sin correlación entre ellas (Vasu, y otros, 2016).

Según (Ramírez, 2016), citado por (Chapin Patiño, 2020) “El análisis de componentes principales (ACP) propone reducir el número de datos, convirtiendo el grupo de p variables en otro conjunto de q variables no correlacionadas, conocidas como componentes principales. Las p variables son medidas sobre cada uno de los n individuos, consiguiendo una matriz de datos de orden np ($p < n$)”.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y caracterización de la zona de estudio

La presente investigación se realizó en el área de cacao de la Facultad de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Técnica de Machala ubicada en el Km 5.5 de la vía Machala-Pasaje, parroquia El Cambio, provincia de El Oro.

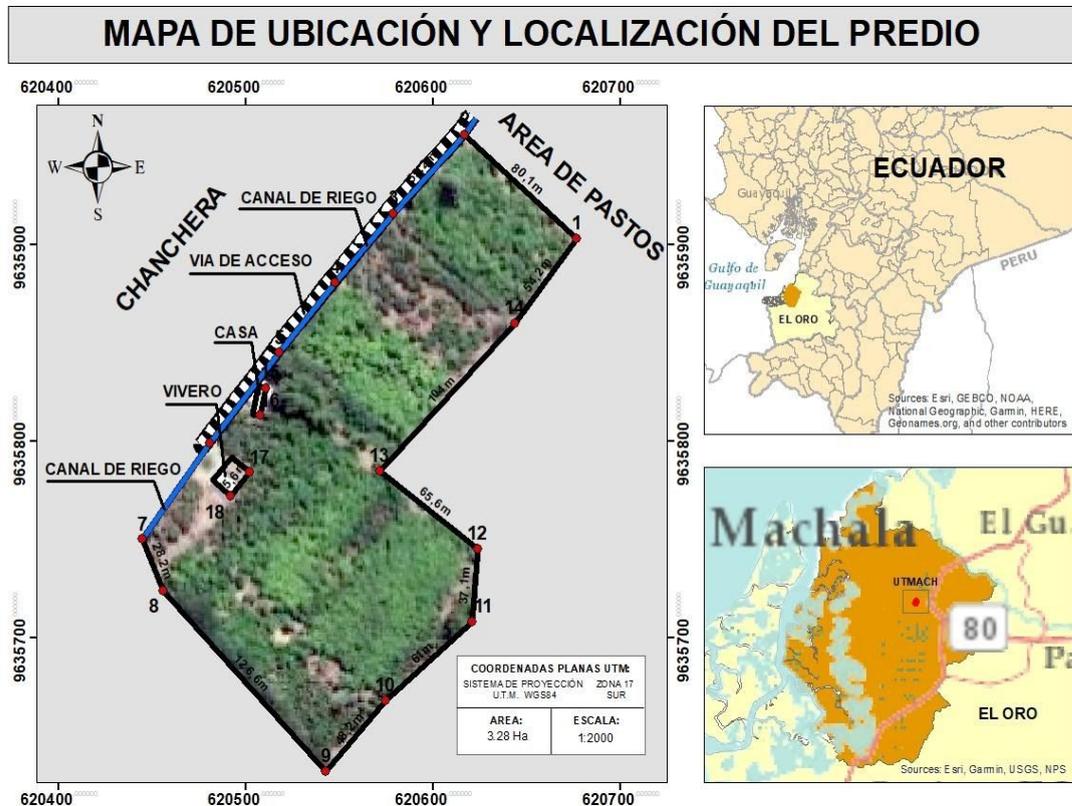


Tabla 6. Condiciones climatológicas del área de estudio.

Índice hídrico	Variación de la humedad	Régimen térmico	Tipo de clima	Zona de vida	Temperatura	Precipitación
Subhúmedo	Gran déficit hídrico en Época seca	Cálido	Tropical megatérmico seco	Bosque muy seco tropical	25 – 26 °C	500 – 750 mm

Fuente. (Bustamante M. , 2016)

Tabla 7. Coordenadas de ubicación del área de estudio.

	Geográfica	UTM
Longitud	79° 54' 05" W	9636128
Latitud	03° 17' 16" S	620701
Altitud	5 msnm	

3.2 Materiales, equipos y reactivos utilizados

Para la realización de la investigación se utilizó los materiales, equipos y reactivos que se describen en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Materiales, equipos y reactivos utilizados.

Materiales	Equipos	Reactivos
Cilindros de hierro galvanizado.	Balanza de precisión.	Oxalato de sodio
Fundas plásticas, plástico de embalaje y etiquetas.	Termómetro.	Hidróxido de sodio
Espátula, Pala y machete.	Estufa.	Agua destilada
Balón aforado de 50 ml.	Hidrómetro de 5 a 60 GR/LT	
Pipeta de 10 ml.	Batidora eléctrica.	
Probetas de 1250 ml.	GPS.	
Piceta y Gasa.	Anillos de Muntz.	
Tubo de plástico.	Cronómetro.	
Baldes de 10 L.	Bomba de vacío.	
Regla graduada y Crisoles.	Laptop.	

3.3 Toma de muestras y análisis de laboratorio

Se realizaron pruebas de campo y muestreo para análisis de laboratorio por medio de 20 puntos determinados por el método de grilla a 40 metros de distancia y georreferenciados con GPS abarcando toda el área neta de estudio, como se observa en la **Figura 5**.

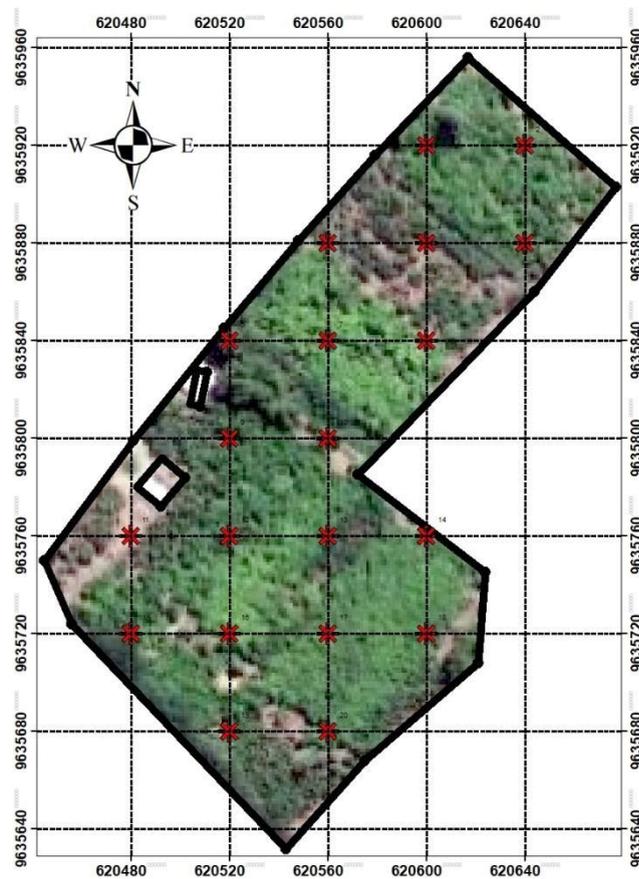


Figura 5. Distribución de puntos de muestreo

Fuente. Elaboración propia.

En cada punto Georreferenciado se realizó una calicata en forma de escalera con dos escalones de 10 cm de profundidad cada uno, obteniendo un total de 40 muestras. las pruebas de campo de infiltración se realizaron con los anillos de Muntz en cada punto por un tiempo de 150 minutos. Así mismo, se identificaron 5 plantas por punto para la determinación del rendimiento productivo del predio. En la **Tabla 9** se describe los análisis de laboratorio, el método y los parámetros a evaluar en la investigación.

Tabla 9. Análisis de laboratorio y pruebas físicas en cada punto de muestreo

Análisis	Método	Parámetro
Coefficientes Hídricos	Relación de pesos	C.C (%) PMP (%)
Textura	Hidrómetro	Arena (%) Limo (%) Arcilla (%)
Densidad Aparente	Cilindro metálico	Da (g/cm^3)
Densidad Real	Picnómetro	Dr (g/cm^3)
Infiltración	Anillos de Muntz	Tiempo básico Infiltración básica Sortividad Conductividad Hidráulica
Espacio poroso	Relación de densidades	Porosidad Total (%)
Carbono Orgánico	Ignición	CO (%)
Producción	Número de mazorcas	Rendimiento

3.4 Procesamiento de datos

Los análisis realizados en laboratorio se ordenaron en una hoja virtual de Excel por horizonte con la identificación de la variable y ubicación geográfica. La propiedad funcional infiltración de agua en el suelo fue ajustada a los modelos teóricos de Kostiakov (1932) y Philip (1957) como se lo describe a continuación.

3.4.1 Infiltración de agua en el suelo

Las curvas de infiltración acumulada se ajustaron a las ecuaciones de los modelos teóricos que se describen a continuación:

Modelo de Kostiakov:
$$i = at^b$$

Donde:

i: Infiltración acumulada (cm/h).

t: Tiempo transcurrido

a: Coeficiente que representa la velocidad de infiltración cuando el tiempo es igual a 1

b: Parámetro adimensional

Modelo de Philip:
$$I = St^{\frac{1}{2}} + K_s t$$

Donde:

I: Infiltración acumulada (cm/h)

t: Tiempo transcurrido

S: Sortividad ($cm/h^{\frac{1}{2}}$)

K_s : Conductividad hidráulica (cm/h).

La infiltración básica se determina en función de un tiempo básico, tales ecuaciones se describen de la siguiente forma:

Infiltración básica: $ib = 60abt^{(b-1)}$

Tiempo básico: $tb = -600(b - 1)$

3.5 Análisis de datos

Se realizó un análisis exploratorio de datos por medio de diagramas de cajas y sesgos mediante el software Rstudio 3.6.3 para identificar y eliminar valores atípicos en cada variable de estudio. Así mismo, se determinó la existencia de una distribución normal de los datos por medio de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ya que cada variable dispuso de menos de 30 observaciones.

La descripción estadística de las variables objeto de estudio se realizó mediante el cálculo de las medidas de resumen de datos, como media, mediana, mínimo, máximo, asimetría y curtosis. El coeficiente de variación de Pearson se calculó y clasificó según su porcentaje en cada propiedad.

Para conocer la existencia o no de diferencias estadísticas significativas entre las dos profundidades del suelo en estudio, se aplicó una prueba t de Student para grupos independientes, previo cumplimiento a los supuestos de normalidad de datos (Test de Shapiro-Wilk), independencia de observaciones y homogeneidad de varianzas (Test de Levene).

La presencia o no de correlación significativa entre las variables se determinó mediante el coeficiente de correlación de Pearson y el empleo del software Rstudio 3.6.3. Posteriormente, se realizaron los semivariogramas en el programa Surfer16, determinando los parámetros Geoestadísticos como Sill, Meseta y Rango, se utilizaron dos modelos teóricos de ajuste como el Esférico y gaussiano

de los cuales se seleccionó el de mejor ajuste por medio de los coeficientes de determinación, Nash y error cuadrático medio.

La variabilidad espacial se demostró por medio de interpolaciones Kriging ordinario en el programa Arcgis 10.3 con los parámetros Geoestadísticos previamente calculados.

Las zonas Homogéneas se identificaron por medio de análisis clúster realizado en el software Rstudio 3.6.3, determinando el número óptimo de grupos por medio del método de la silueta y corroborando por la ubicación del clúster en tal distancia euclidiana.

La delimitación de las zonas se realizó en el programa Arcgis 10.3 por medio de interpolaciones simples de los puntos de muestreo con la asignación del clúster perteneciente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de las propiedades Hidrofísicas

En la **figura 6** se puede observar la detección de errores en los conjuntos de datos de cada variable de estudio por medio de diagramas de cajas.

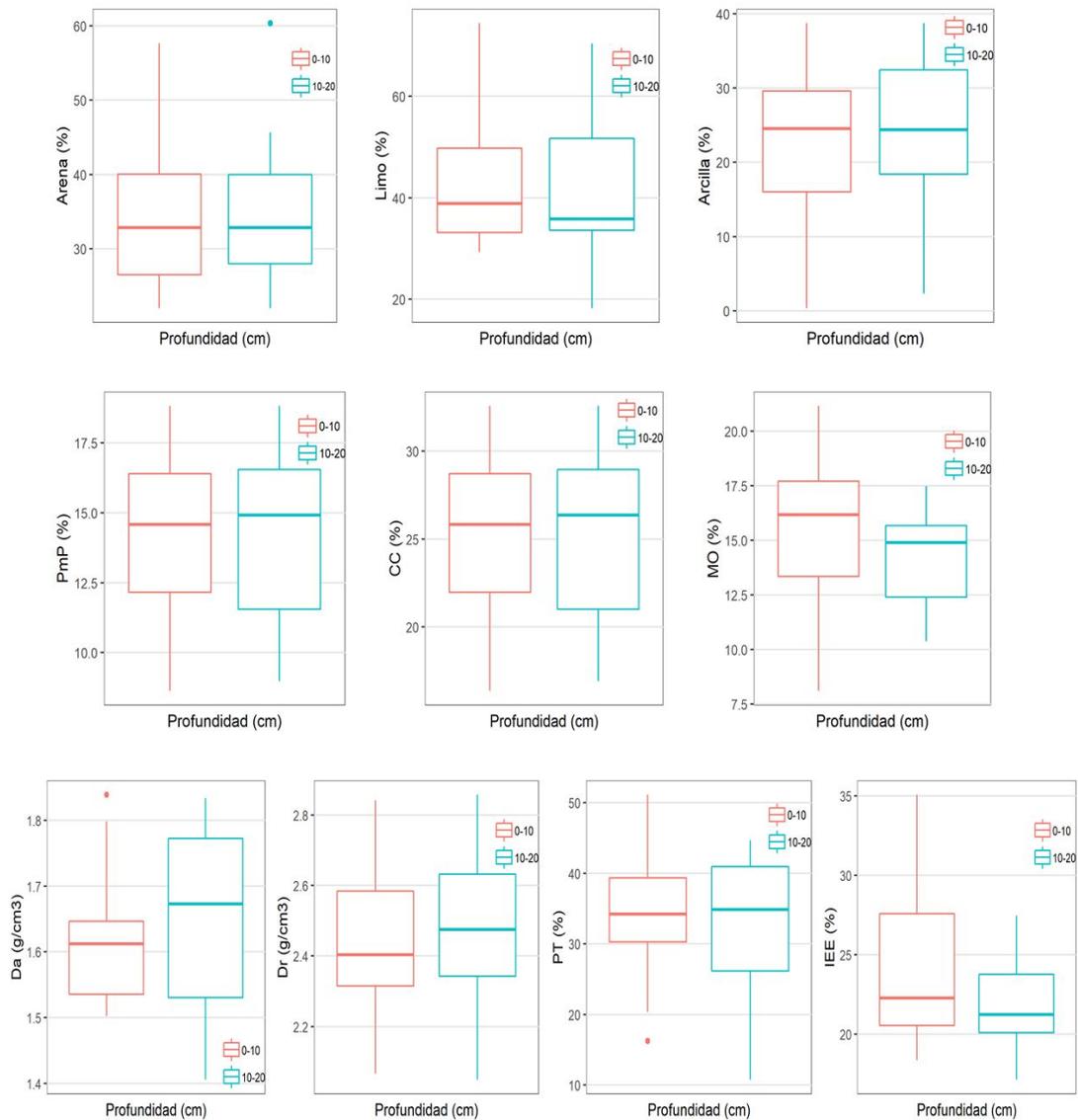


Figura 6. Diagrama de cajas de cada variable de estudio en 2 perfiles de suelo.

Se presentaron datos atípicos en el conjunto de datos de 3 variables: Arena (%), Da (g/cm^3) y Porosidad Total (%) en los perfiles de 10cm-20cm, 0 cm-10 cm y 0 cm-10 cm respectivamente. Tales observaciones fueron eliminadas asegurando la

representatividad de la muestra y una distribución normal de los datos, la cual se corrobora mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Tabla 10. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

	Profundidad del Suelo (cm)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Arena (%)	0-10	,928	20	,144
	10-20	,903	20	,054
Arcilla (%)	0-10	,973	20	,822
	10-20	,929	20	,145
Limo (%)	0-10	,899	20	,053
	10-20	,923	20	,115
CC (%)	0-10	,957	20	,494
	10-20	,939	20	,227
PmP (%)	0-10	,957	20	,493
	10-20	,939	20	,225
Da (gr/cm)	0-10	,911	20	,067
	10-20	,906	20	,054
Dr (gr/cm)	0-10	,968	20	,702
	10-20	,977	20	,893
PT (%)	0-10	,985	20	,984
	10-20	,933	20	,174
MO (%)	0-10	,976	20	,878
	10-20	,935	20	,194
IEE (%)	0-10	,907	20	,056
	10-20	,952	20	,395

Todos los conjuntos de datos expresaron una significancia mayor al p-valor establecido (0.050), aceptando la hipótesis de que existe una distribución normal de los datos en cada variable de estudio. **Tabla 10.**

En la **Tabla 11** y **Tabla 12** se presentan los estadísticos descriptivos de las variables discretas en los dos perfiles de estudio. Se observa que el coeficiente de variación en general indica poca variabilidad de las propiedades en el suelo, encontrando el mayor valor en la variable Arena (%) en ambos perfiles, con un resultado superior a 40% y el menor en la variable Da (g/cm^3) en el perfil A y B con valores de 5.78% y 8.61% respectivamente.

En el Horizonte A, profundidad de 0-10 cm se obtuvieron mayor porcentaje de partículas de Limo, expresando predominancia de clases texturas francas como se muestra en la **Figura 7**, situación similar fue encontrada por Romero (2017) en la misma área de estudio.

Tabla 11. Estadísticos descriptivos para propiedades discretas en HA

	Ar (%)	L (%)	A (%)	Da g/ cm ³	Dr g/ cm ³	PT (%)	CC (%)	PmP (%)	MO (%)	IEE (%)
Media	34,27	42,98	22,75	1,61	2,44	34,3	25,4	14,31	15,51	23,69
Mediana	32,82	38,82	24,53	1,61	2,4	34,21	25,83	14,58	16,18	22,27
Desv. Tip.	9,67	12,27	9,51	0,093	0,218	8,82	4,38	2,76	3,18	4,31
Asimetría	0,909	1	-0,474	0,967	0,106	-0,153	-0,49	-0,491	-0,434	0,926
Curtosis	0,494	0,534	0,71	0,908	-0,881	-0,132	-0,541	-0,542	0,047	0,79
Mínimo	22	29,3	0,35	1,5	2,07	16,26	16,36	8,63	8,1	18,38
Máximo	57,65	74,35	38,78	1,84	2,84	51,11	32,58	18,82	21,16	35,06
CV (%)	28,22	28,55	41,80	5,78	8,93	25,71	17,24	19,29	20,50	18,19

Tabla 12. Estadísticos descriptivos para propiedades discretas en HB

	Ar (%)	L (%)	A (%)	Da g/ cm ³	Dr g/ cm ³	PT (%)	CC (%)	PmP (%)	MO (%)	IEE (%)
Media	34,66	42,37	22,96	1,65	2,47	32,47	25,4	14,31	14,15	21,77
Mediana	32,82	35,82	24,35	1,67	2,47	34,85	26,36	14,92	14,91	21,25
Desv. Tip.	8,86	13,17	11,13	0,142	0,223	9,84	4,74	2,97	2,17	2,74
Asimetría	1,24	0,571	-0,61	-0,408	-0,4	-0,628	-0,356	-0,356	-0,392	0,576
Curtosis	2,34	-0,104	-0,571	-1,287	-0,724	-0,508	-1,073	-1,075	-1,016	-0,232
Mínimo	22	18,25	2,35	1,41	2,05	10,77	16,92	8,99	10,37	17,15
Máximo	60,35	70,35	38,7	1,83	2,86	44,65	32,58	18,82	17,48	27,46
CV (%)	25,56	31,08	48,48	8,61	9,03	30,30	18,66	20,75	15,34	12,59

La densidad aparente promedio osciló entre 1,61 g/cm³ y 1,65 g/cm³ para el horizonte A y B respectivamente, resultados similares a los obtenidos por Romero (2017). Al ser un suelo franco en algunos puntos de muestreo expreso valores de Da elevados, según Villaseñor (2016) esto se debe a la alta variabilidad del tamaño de partículas, puesto que las partículas finas llenan los espacios entre partículas gruesas generando agrupamientos densos.

La densidad real en los Horizontes A y B expreso valores promedio de 2,44 g/cm³ y 2,47 g/cm³ respectivamente, de acuerdo a Heredia (2013) valores muy menores a 2.65 g/cm³ son suelos con porcentajes altos de materia orgánica, situación que se presenta en el área de estudio puesto que en ambos horizontes se obtuvo valores mayores a 10% haciendo referencia a una clasificación alta de M.O.

Por lo anterior, el índice de estabilidad estructural (IEE) en los horizontes A y B arrojó valores de 23,69% y 21,77% respectivamente, definiendo el área de estudio

como un suelo estructuralmente estable con porcentajes de porosidad total altos de acuerdo a la clasificación de la FAO (2009).

Las variables fueron agrupadas en función de su coeficiente de variación según la clasificación utilizada por Vargas, Serrato & Torrente (2015).

Tabla 13. Clasificación de las variables discretas según su CV

CV (%)	Clasificación	Variable HA	Variable HB
< 20	Relativamente Homogéneas	Da - Dr - CC - PmP - IEE	Da - Dr - CC - IEE - MO
20 - 40	Moderadamente Homogéneas	Ar - L - PT - MO	Ar - L - PT - PmP
40 - 60	Normalmente Heterogéneas	A	A
> 60	Extremadamente Heterogéneas		

En ambos Horizontes de estudio se obtuvieron 4 clases texturales como se muestra a continuación:

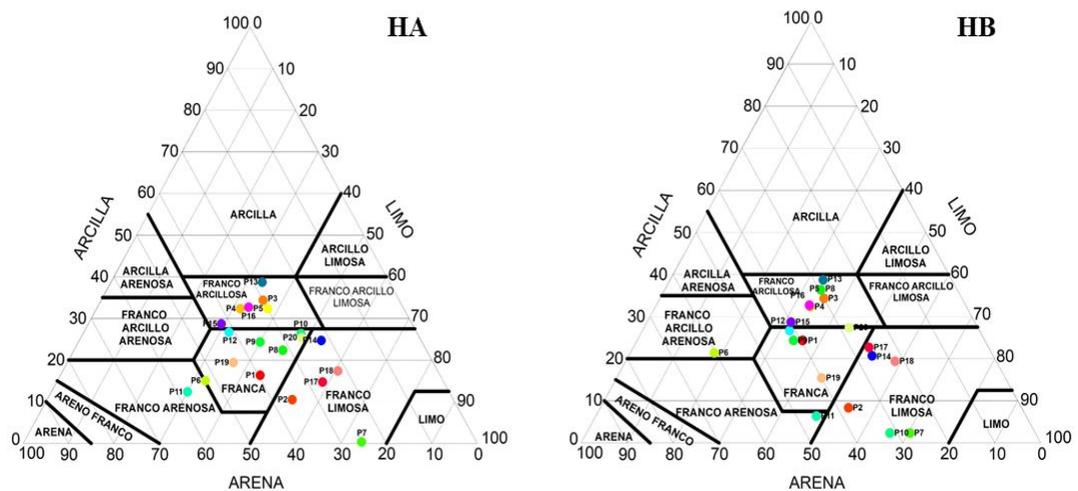


Figura 7. Clases texturales de los 2 horizontes de estudio.

Como resultado de la prueba t de Student (**Tabla 14**) para la igualdad de medias en los dos Horizontes de estudio se obtuvo un p-valor mayor a 0.05 en cada variable, concluyendo, que no existe diferencias significativas entre las medias obtenidas en HA y en HB, por lo tanto, no existe evidencia estadística suficiente para aceptar una diferencia entre las medias de las variables analizadas en las profundidades estudiadas.

Tabla 14. Comparación de medias para cada variable en los dos Horizontes.

	Prueba de Levene		Prueba T para la igualdad de medias						
	F	p-valor	t	gl	p-valor	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	L. Inferior	L. Superior
Ar	0,150	0,701	-0,130	38	0,897	-0,382	2,932	-6,318	5,553
A	0,352	0,557	-0,066	38	0,947	-0,217	3,274	-6,846	6,411
L	0,151	0,700	0,149	38	0,882	0,600	4,026	-7,551	8,751
CC	0,267	0,608	0,006	38	0,996	0,008	1,444	-2,917	2,933
PmP	0,267	0,608	0,004	38	0,997	0,004	0,907	-1,833	1,841
Da	7,238	0,011	-1,080	38	0,287	-0,041	0,037	-0,117	0,035
Dr	0,009	0,925	-0,480	38	0,634	-0,033	0,069	-0,174	0,107
PT	0,858	0,360	0,618	38	0,540	1,826	2,954	-4,155	7,807
MO	3,024	0,090	1,583	38	0,122	1,363	0,860	-0,379	3,105
IEE	4,895	0,033	1,677	38	0,102	1,916	1,142	-0,396	4,229

En la variable Infiltración de agua se utilizó dos modelos, presentando el modelo de Kostiaikov un mejor coeficiente de determinación (R^2) que el modelo de Philip, por lo tanto, dicho modelo expresa mejor el comportamiento de la infiltración en el área de estudio.

Tabla 15. Estadísticos descriptivos de los parámetros de los modelos de ajuste utilizados en la variable infiltración.

	Kostiakov					Philip		
	Ib (cm/h)	Tb (min)	a	b	R^2	Ks (cm/h)	S (cm/h ²)	R^2
Media	13,63	268,5	5,032	0,553	0,991	1,078	7,170	0,822
Mediana	13,67	265,6	4,840	0,560	0,990	1,030	6,710	0,800
Desv. típ.	0,533	5,851	0,304	0,010	0,005	0,213	0,730	0,045
Asimetría	-0,305	1,289	0,955	-1,336	0,083	1,774	1,100	1,480
Curtois	-0,325	,236	-,910	0,229	0,766	3,256	-0,513	2,066
Mínimo	12,60	262,62	4,79	0,53	0,98	0,79	6,64	0,76
Máximo	14,53	281,22	5,58	0,56	1,00	1,63	8,61	0,95
CV (%)	3,909	2,179	6,059	1,968	0,558	19,819	10,187	5,492

La infiltración básica presentó poca variabilidad en el área de estudio debido a su coeficiente de variación bajo (0,309 %), obteniendo un valor promedio de 13,63 cm/h.

El tiempo básico promedio superó el tiempo utilizado en la realización de la prueba en campo, situación similar a la encontrada por Orjuela-Matta et al.,

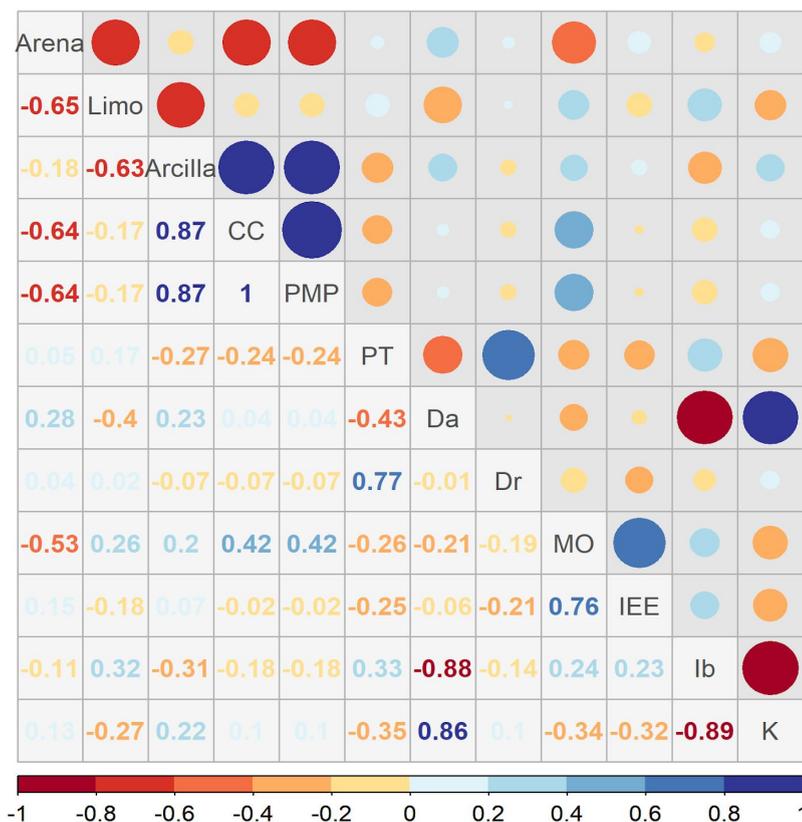
(2010), el cual concluye que las pruebas físicas no llegaron a la saturación de suelo en el tiempo establecido.

La conductividad hidráulica se define como Moderadamente Lenta según la clasificación propuesta por el Servicio de conservación del suelo de EE. UU, donde ubica esta clase en rangos de 0.5 a 2 cm/h obteniendo en el área de estudio un promedio de 1.078 cm/h.

4.1 Análisis de Correlación

En la **Figura 8** y **Figura 9** se observa la correlación existente entre las variables de estudio, expresando una correlación directa para la escala de colores azules y una correlación inversa para la escala de colores rojizos.

Figura 8. Matriz de correlación de Pearson para el Horizonte A.



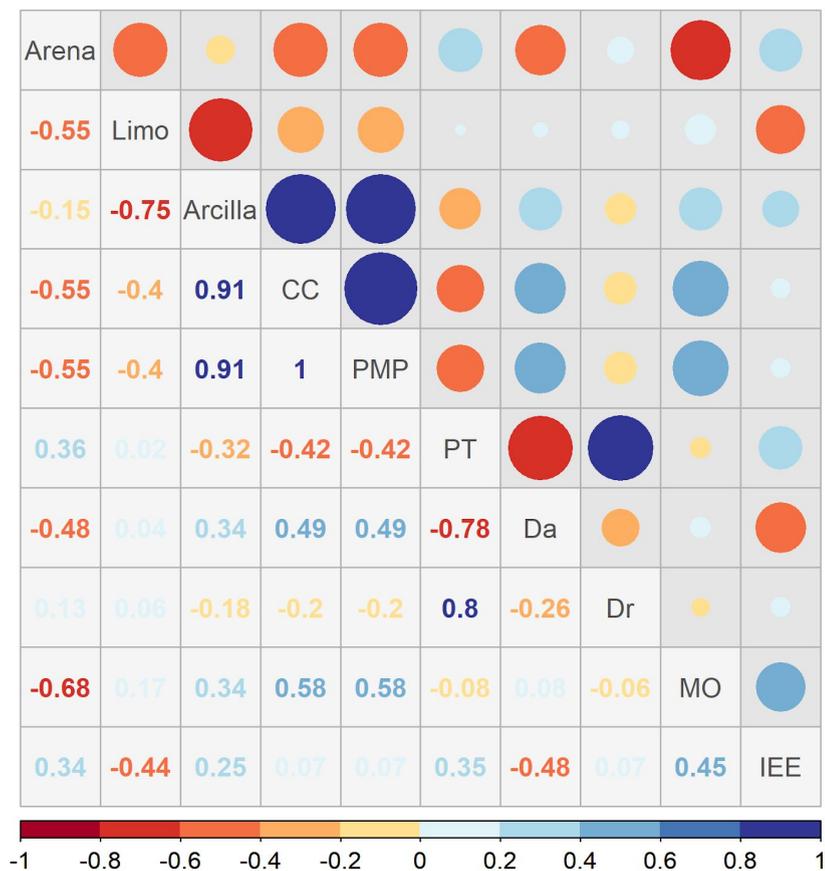
La Da tiene correlación inversa con la PT y MO propiedades que inciden en la Ib, situación que se esperaba, puesto que en suelos con formación de

empaquetamientos densos la infiltración de agua y la capacidad de retenerla disminuye.

La MO es parte fundamental de un suelo bien estructurado y la capacidad del mismo para retener agua, situación que se comprueba por la correlación directa de la MO con el IEE y las propiedades hídricas como CC y PmP, las cuales también son directamente proporcionales con la arcilla por ser generadora de microporos y favorecer la retención de humedad.

En el Horizonte B, profundidad de 10-20 cm, la Arena presentó correlación inversa con la MO, en contraste con la arcilla que al actuar como un coloide favorece el contenido de materia orgánica.

Figura 9. Matriz de correlación de Pearson para el Horizonte B.



4.2 Variabilidad espacial

El comportamiento espacial de las propiedades hidrofísicas presentó mejor predicción con los modelos teóricos, esférico y gaussiano, los cuales expresaron un valor de coeficiente de determinación (R^2) y Nash más cercano a uno y un valor del error cuadrático medio más bajo.

Tabla 16. Geoestadísticos para las propiedades en los dos perfiles de estudio.

Horizonte	variable	Modelo	Nugget	Sill	Rango	R^2	Nash	RMSE	De
HA	Ar	Esférico	1,27E-08	682,8	1312,00	1,000	1,000	0,19	2E-09
	L	Esférico	0,038	459,4	40,00	1,000	1,000	0,36	0,01
	A	Esférico	200,0	1000	400,00	0,925	0,849	6,64	20,00
	CC	Esférico	20,00	8,00E+01	130,00	0,948	0,973	1,88	25,00
	PmP	Esférico	45,40	232,0	333,00	0,880	0,995	1,58	19,57
	Da	Gaussiano	3,88E+02	470,0	68,88	0,924	1,000	0,05	82,57
	Dr	Esférico	1,27E-08	33,68	62,02	1,000	1,000	0,01	0,00
	MO	Gaussiano	9,16E-06	646,2	30,00	1,000	1,000	0,05	0,00
	PT	Esférico	15,00	50,00	100,00	0,963	0,883	3,39	30,00
	IEE	Esférico	10,46	190,6	65,22	0,999	0,999	0,34	5,49
	Ib	Gaussiano	7,22E-07	770,7	47,80	1,000	1,000	0,01	0,00
Ks	Gaussiano	12,28	100,0	40,00	1,000	1,000	0,03	12,28	
	Rendimiento	Esférico	0,000	428,0	39,60	1,000	1,000	0,19	0,00
Horizonte	Variable	Modelo	Nugget	Sill	Rango	R^2	Nash	RMSE	De
HB	Ar	Esférico	0,000	421,0	926,70	1,000	1,000	0,17	0,00
	L	Esférico	13,77	380,0	39,60	1,000	0,997	0,89	3,62
	A	Esférico	108,4	3849	1904,00	0,950	0,880	6,63	2,82
	CC	Esférico	0,000	438,0	142,00	1,000	1,000	0,13	0,00
	PmP	Gaussiano	10,00	273,2	133,90	0,905	0,998	1,12	3,66
	Da	Gaussiano	50,00	700,0	24,28	1,000	1,000	0,01	7,14
	Dr	Gaussiano	0,000	238,0	92,00	1,000	1,000	0,01	0,00
	MO	Esférico	216,0	1200	200,00	0,929	0,999	0,86	18,00
	PT	Gaussiano	30,00	50,00	55,41	0,985	0,859	4,2	60,00
IEE	Gaussiano	10,00	597,8	84,79	0,997	1,000	0,24	1,67	

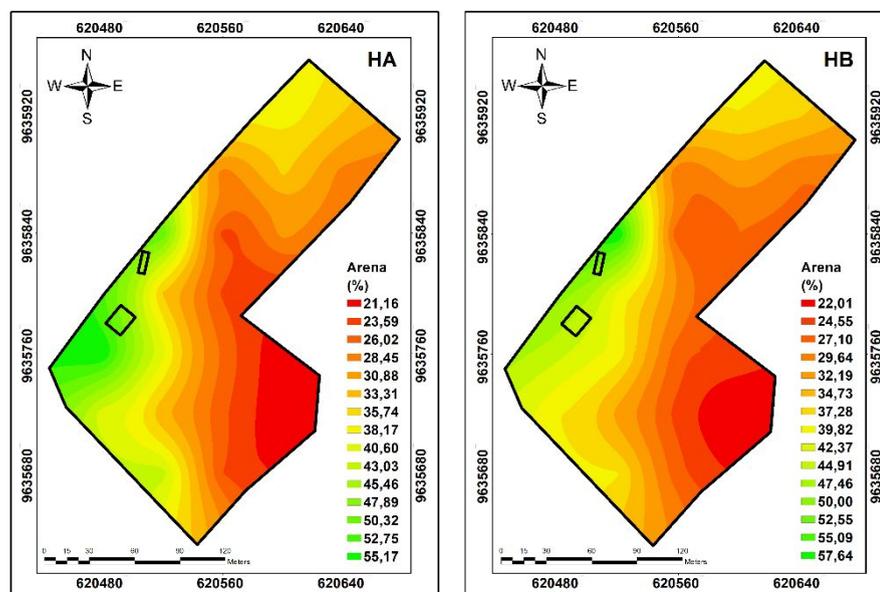
La mayoría de las variables de estudio presentaron dependencia espacial débil al expresar valores por debajo del 25%, a excepción de la PT del HA y HB que se califica como moderada con valores entre 25% a 75%, y la Da en el HA con una clase fuerte por su valor mayor a 75%.

La propiedad Arena (%) en los dos perfiles de estudio se ajustó de mejor forma al modelo teórico esférico con un coeficiente de determinación y Nash igual a 1 y un RMSE de 0.19 y 0.17 para HA y HB respectivamente. En el HA la semivarianza se volvió constante cuando la meseta llegó a 682.8 y alcanzó un rango de 1312 m

a diferencia del HB que llegó a estabilizar la semivarianza en valores menores como 421 y 926,7 m de meseta y rango respectivamente.

La distribución espacial del contenido de arena no presentó una diferencia significativa en sentido vertical, pero sí en sentido horizontal concentrándose mayormente en la dirección Sur-Oeste donde se ubican los puntos 6-11-12-15-19 con valores entre 40% - 60%, mientras que los contenidos menores se concentraron en dos direcciones, de Norte a Este con valores medios entre 25% - 39%, y de Este a Sur con valores bajos entre 22%-28%. Lo cual da indicio de los lugares con menor y mayor porcentaje de materia orgánica.

Figura 10. Distribución espacial del contenido de Arena en HA y HB

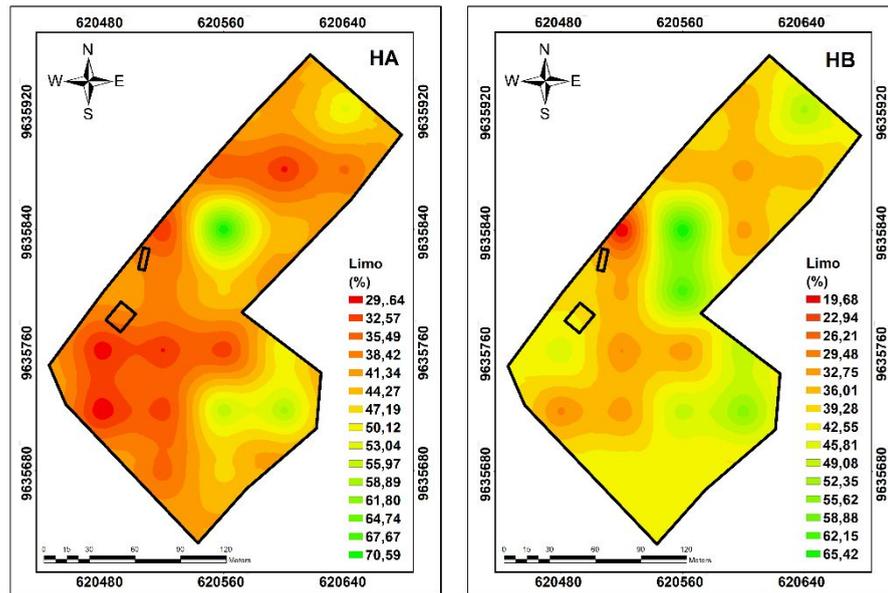


El Limo (%) en los dos perfiles de estudio se ajustó de mejor forma al modelo teórico esférico con un coeficiente de determinación de 1, Nash de 1 y 0.99, y RMSE de 0,36 y 0.89 para HA y HB respectivamente. En el HA la semivarianza se volvió constante cuando la meseta llegó a 459,4 y alcanzó un rango de 40 m a diferencia del HB que llegó a estabilizar la semivarianza en valores menores como 380 y 39,60 m de meseta y rango respectivamente.

El Limo concentró valores mayores en el centro, en sentido Norte – Este y Este – Sur, más precisamente en los puntos 2-7-10-14-17-18 con valores entre 48% - 70% para los dos perfiles, mientras que en el centro de las direcciones Norte-Este

y Sur-Oeste se encontraron valores medios entre 30%-39% para el HB, las concentraciones bajas se presentaron en dirección Sur-Oeste-Norte con valores entre 18% - 30% para los dos perfiles.

Figura11. Distribución espacial del contenido de Limo en HA y HB

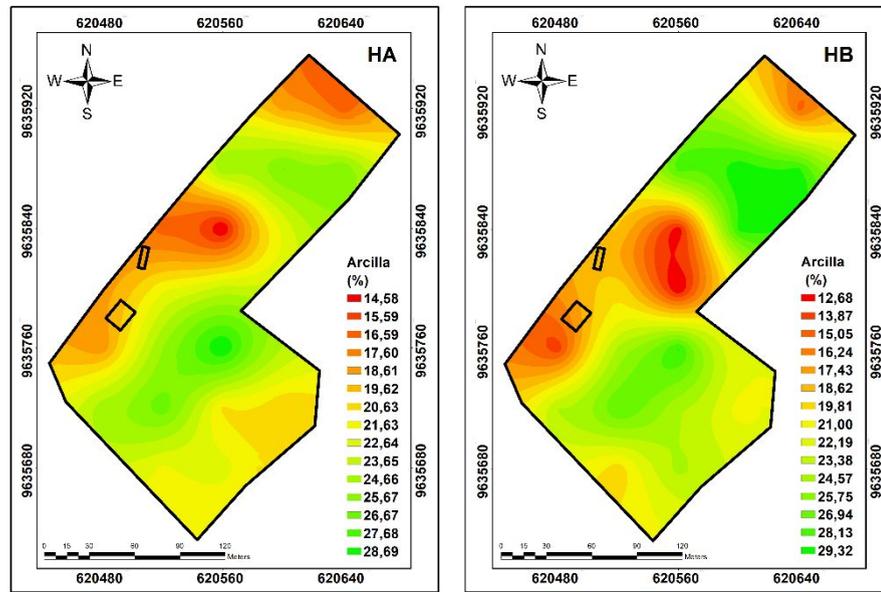


La variable Arcilla (%) se ajustó de mejor manera al modelo teórico esférico presentando un coeficiente de determinación de 0,925 y 0,950, Nash de 0,849 y 0.880, y RMSE de 6,64 y 6,63 para HA y HB respectivamente. En el HA la semivarianza se volvió constante cuando la meseta llegó a 1000 y alcanzó un rango de 400 m a diferencia del HB que llegó a estabilizar la semivarianza en valores mayores como 3849 y 1904 m de meseta y rango respectivamente.

Así mismo, el contenido de arcilla se distribuyó de forma ascendente de Norte – Este hasta pasar el punto 3 donde presenta los valores más bajos en los puntos 7 y 10 para ambos perfiles, para el HA vuelve ascender en dirección Sur-Oeste sin llegar a los extremos, mientras que para el HB asciende en dos direcciones, Sur-Oeste y Sur-Este hasta llegar en ésta última hasta el lindero.

La arcilla por su actuar coloidal presenta correlación directa con la retención de humedad dando lugar a la estimación de áreas con mejores coeficientes hídricos, dato importante para la planificación y suministro de agua.

Figura 12. Distribución espacial del contenido de Arcilla en HA y HB



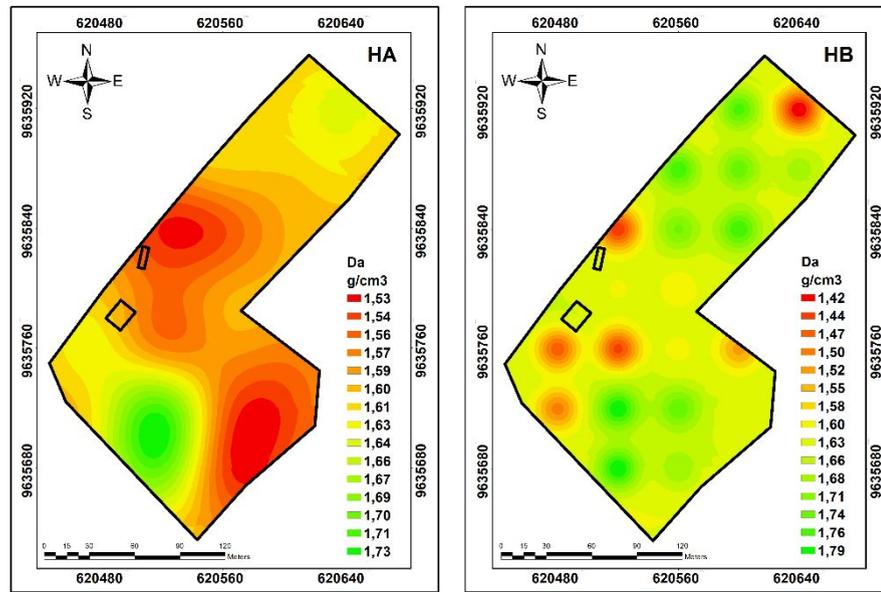
La densidad aparente tuvo un mejor ajuste con el modelo teórico esférico presentando un coeficiente de determinación de 0,924 y 1, Nash de 1, y RMSE de 0.05 y 0.01 para HA y HB respectivamente.

En el HA la semivarianza se volvió constante cuando la meseta llegó a 470 y alcanzó un rango de 68.88 m a diferencia del HB que llegó a estabilizar la semivarianza en valores como 700 y 24.28 m de meseta y rango respectivamente

La Da presentó valores mayores en el HB y un comportamiento espacial más homogéneo presentando los valores más bajos en la dirección Sur-Este-Norte a diferencia del HA que presentó una distribución ascendente de bajo a medio en dirección del centro a Norte-Este y los valores altos en dirección Sur-Oeste.

Se encontró una distribución alta en sitios similares en las propiedades arcilla y densidad aparente, según Villaseñor (2016) las partículas pequeñas ocupan el espacio entre las grandes, situación que provoca suelos densos y por ello altas cantidades de densidad aparente.

Figura 13. Distribución espacial de la Da en HA y HB

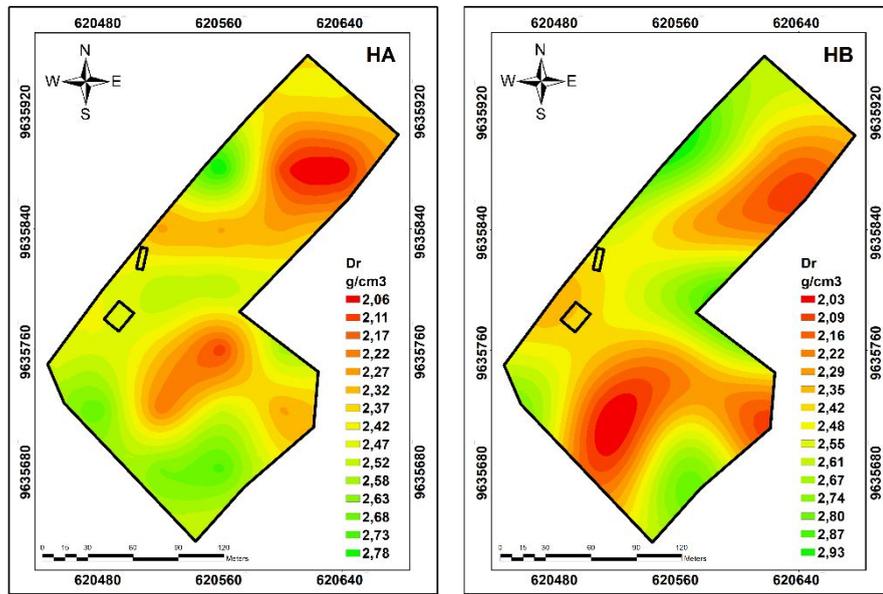


La densidad real tuvo un mejor ajuste con el modelo teórico esférico para HA y gaussiano para HB, presentando un coeficiente de determinación de 1, Nash de 1, y RMSE de 0.01 para los dos perfiles. En el HA la semivarianza se volvió constante cuando la meseta llegó a 33.68 y alcanzó un rango de 62.02 m a diferencia del HB que llegó a estabilizar la semivarianza en valores como 238 y 92 m de meseta y rango respectivamente.

La Dr presentó valores más altos en el HB. Expresándose de forma descendente en la dirección Norte-Este, concentrándose los valores más bajo en el Sur del predio y los más altos en el centro en el HB a diferencia del HA que presentó valores altos al Sur del predio y de medio a bajo en el centro.

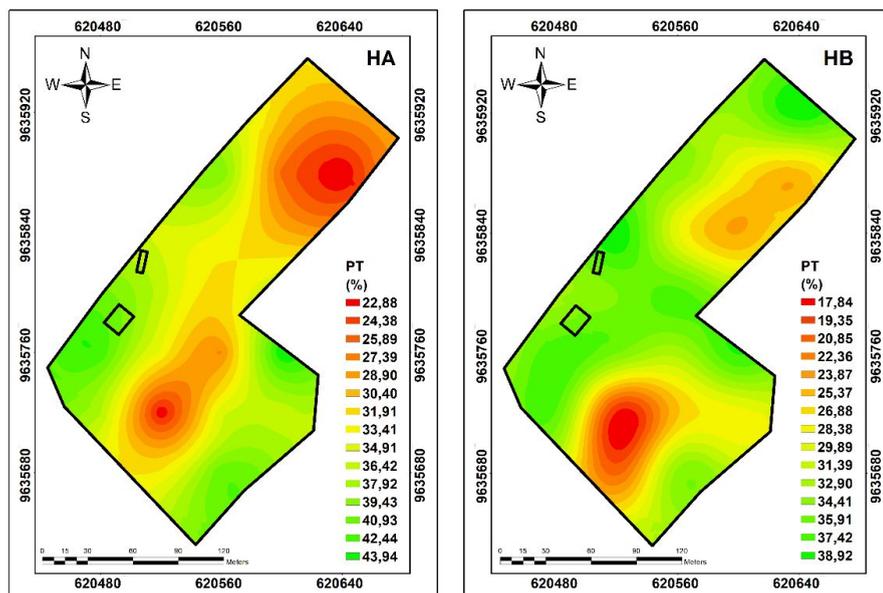
Según Heredia (2013) valores muy menores a 2.65 g/cm³ de Dr hacen referencia a contenidos altos de MO, lo cual se aprecia en el predio, puesto que, en lugares de baja Dr existe un comportamiento alto de MO.

Figura 14. Distribución espacial de la Dr en HA y HB



La porosidad total se adaptó mejor al modelo teórico esférico para HA y gaussiano para HB, presentando un coeficiente de determinación de 0.963 y 0.985, Nash de 0.883 y 0.859, y RMSE de 3.39 y 4.2 para el HA y HB respectivamente. La varianza se estabilizó en una meseta de 50 y un alcance de 100 y 55.41 para los 2 perfiles de estudio.

Figura 15. Distribución espacial del porcentaje de PT en HA y HB



La porosidad al tener correlación inversa con la Da se concentró porcentajes mayores en las partes extremas del predio, lugares donde la Da es menor y valores bajos en el centro puesto que la densidad aparente ahí es alta. Lo cual da lugar a la identificación de áreas que necesitan la inclusión de actividades que favorezcan el desarrollo radicular de las plantas.

La capacidad de campo en los dos perfiles de estudio se ajustó de mejor forma al modelo teórico esférico con un coeficiente de determinación de 0.948 y 1, Nash de 0.973 y 1, RMSE de 1.88 y 0.13 para HA y HB respectivamente. En el HA la semivarianza se volvió constante cuando la meseta y rango llegaron a valores de 80 y 130 m a diferencia del HB que llegó a estabilizar la semivarianza en valores como 438 y 142 m de meseta y rango respectivamente.

Las propiedades hídricas como CC y PmP tiene correlación directa con el contenido de arcilla en el suelo, situación que se corrobora con la distribución espacial de estas propiedades, concentrándose porcentajes mayores en las mismas áreas donde el contenido de arcilla es alto. Esta relación se da por la función coloidal que cumple las partículas de arcilla en el recurso suelo favoreciendo la actividad hídrica.

Figura 16. Distribución espacial del porcentaje de CC en HA y HB

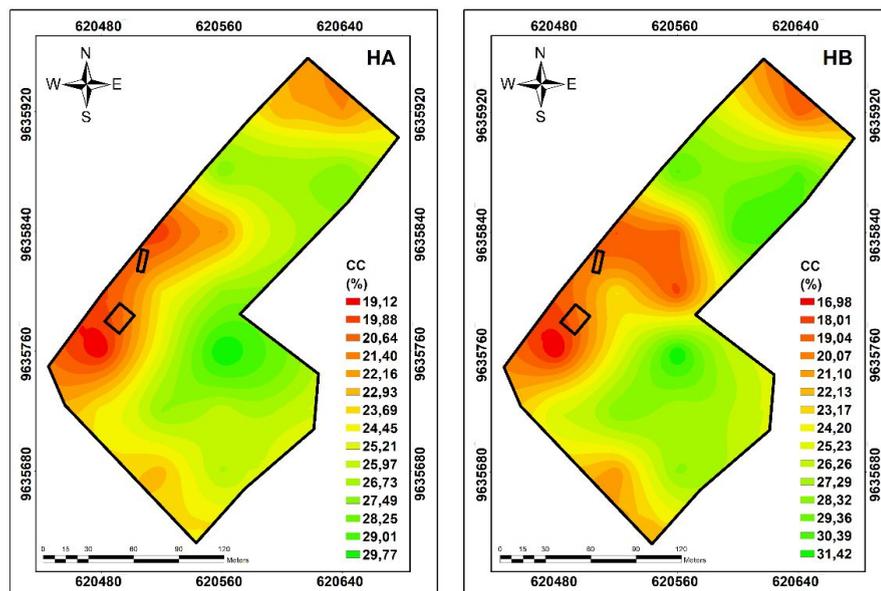
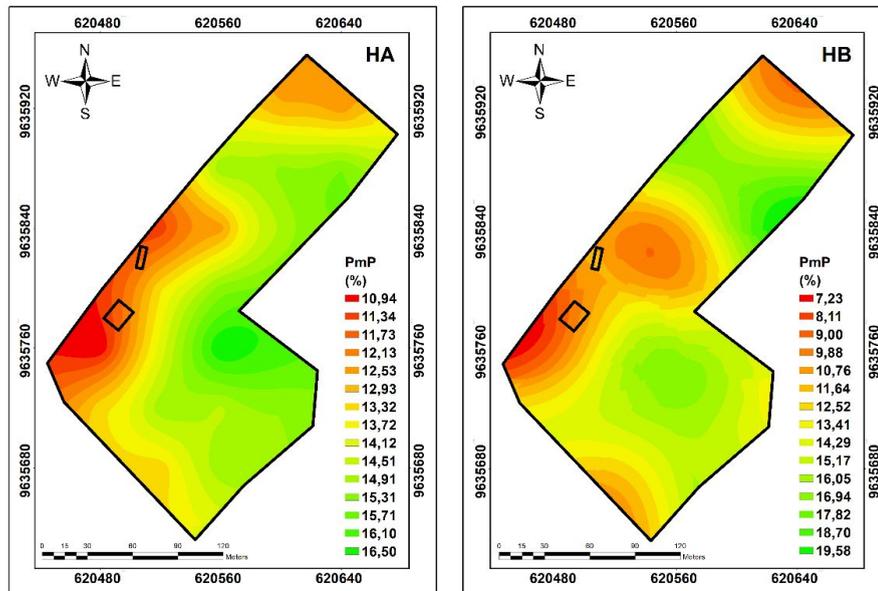


Figura 17. Distribución espacial del porcentaje de PmP en HA y HB

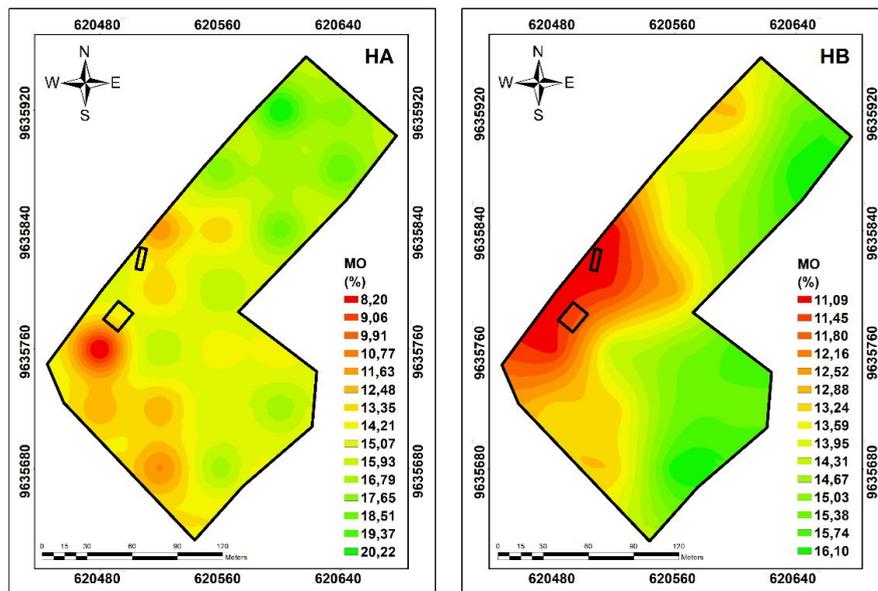


La materia orgánica se ajustó mejor al modelo teórico gaussiano para HA y esférico para HB, presentando un coeficiente de determinación de 1 y 0.929, Nash de 1 y 0.999, y RMSE de 0.05 y 0.86 para el HA y HB respectivamente. La varianza se volvió constante en una meseta de 646.2 y 1200 con un alcance de 30 y 200 para los 2 perfiles de estudio.

La distribución del contenido de MO se presentó de manera descendente, en el norte los valores más altos hasta el Sur-Oeste los más bajos para el HA y en una dirección Sur-Este los valores más altos hasta el lindero en dirección Norte-Oeste con valores bajos para el HB.

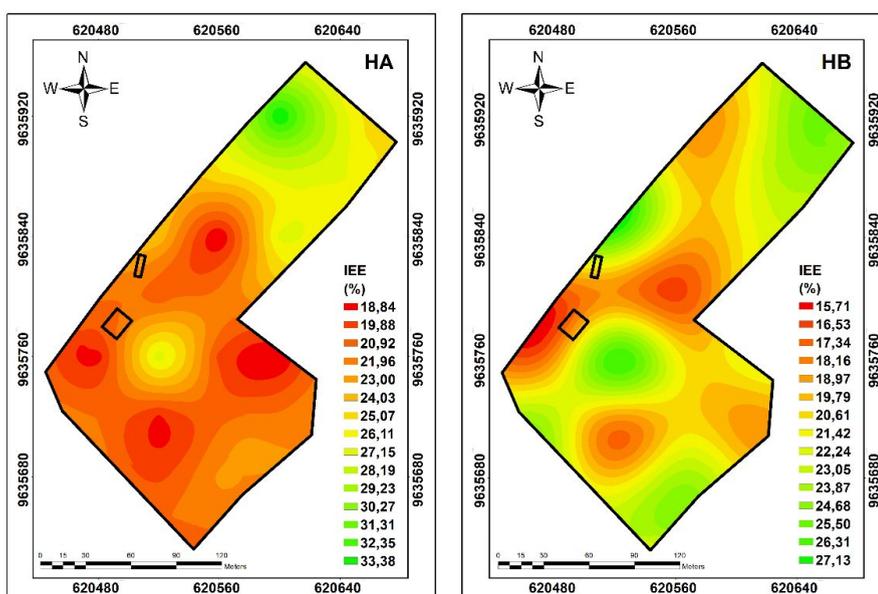
En las condiciones hídricas como retención de humedad la MO y la Arcilla inciden de forma importante y directa, puesto que estas favorecen la capacidad de almacenar agua, situación que se corrobora con el comportamiento espacial al presentar valores altos y bajos en las mismas áreas, en contraste con la Arena que infiere de forma inversa, es decir, a mayor porcentaje de arena menor capacidad hídrica, lo cual también es posible apreciar en los mapas de distribución espacial.

Figura 18. Distribución espacial del contenido de MO en HA y HB



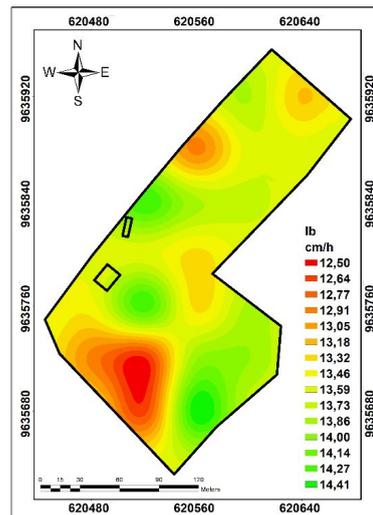
En general el predio presentó un suelo estructuralmente estable para los dos perfiles de estudio, en este índice intervienen de forma directa las propiedades como Arcilla, Limo y MO. Lo cual da un indicio de las áreas del predio que requiere de actividades como coberturas vegetales, incorporación de materia orgánica, entre otras, que permitan obtener un suelo mucho más homogéneo y aumentar el rendimiento de los cultivos.

Figura 19. Distribución espacial del IEE en HA y HB



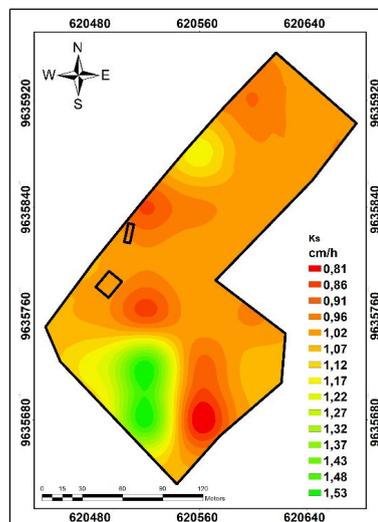
Se presentó mejor capacidad de infiltración en las áreas de alto contenido de MO y PT, las cuales están en dirección Norte-Este y Este-Sur, y en los sitios de mayor densidad aparente la infiltración disminuye debido a la presencia de suelos más compactos, estos en dirección de Sur-Oeste.

Figura 20. Distribución espacial de la Infiltración Básica.



La conductividad hidráulica hace referencia a la velocidad con la que se mueve el agua en el suelo, ésta en general se clasificó como muy lenta presentando los valores mayores al Sur del predio, bajos en el centro y medios hacia los extremos. La Ib y Ks son parámetros importantes en la planificación y diseño de sistemas de riego que mediante la distribución espacial permite evitar encharcamientos y pérdidas de agua.

Figura 21. Distribución espacial de la Conductividad Hidráulica



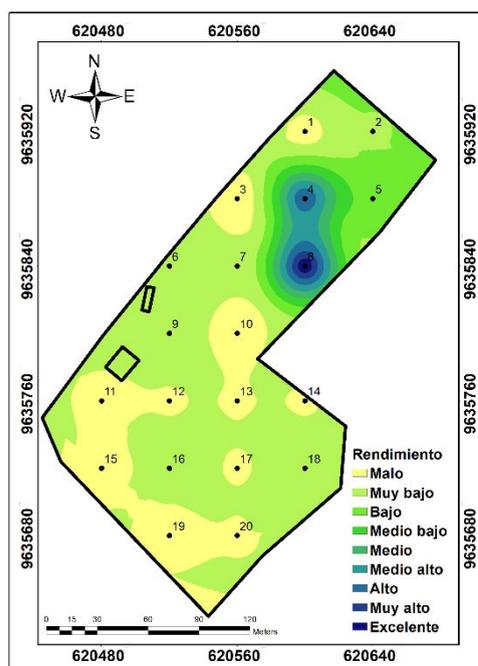
De la toma de datos de número de mazorcas de cinco árboles por sitio de muestreo se observó los mejores promedios en el punto 4 y 8 con valores de 20 y 25 mazorcas respectivamente (**Tabla 17**), los cuales se presentan en la **Figura 22** con una calificación excelente, en contraste, los demás puntos presentaron una calificación en general mala.

Tabla 17. Rendimiento por sitio de muestreo

	Mazorcas por sitio de muestreo																			
Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Media	1	4	0	20	8	3	3	25	4	0	0	2	2	2	0	3	1	3	0	1

En las áreas con mejores rendimientos se encontró el cultivar ICS-95 con una baja densidad poblacional, a diferencia de los demás sitios con cultivares como CCN-51, Criollo, Forastero y Trinitario los cuales se encuentran establecidos con mayores densidades poblacionales y abundancia de follaje.

Figura 22. Distribución espacial del rendimiento del Predio



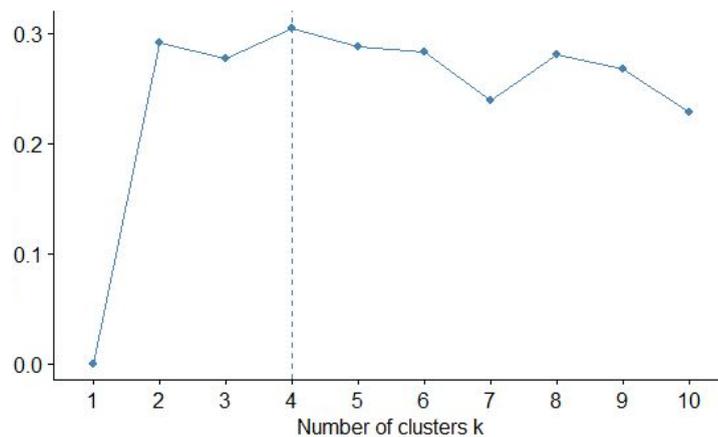
Se observó los valores más altos de M.O, CC, PmP y PT en puntos donde el rendimiento alcanza valores de 1 y 0 mazorcas como el P1 y P3 respectivamente, por lo cual no se le atribuye incidencia del comportamiento espacial de las propiedades hidrofísicas en la capacidad actual de producción del predio.

La baja producción de cacao en el área de estudio se presume que es efecto de un mal manejo agronómico, pues en el predio no existe un sistema de riego establecido y por ende el suministro de agua es escaso, además de la presencia de plagas y enfermedades como la monilia y afectación en los pocos frutos por pájaros, la falta de luz solar y aire en el centro de la planta por abundancia de follaje, ese decir, falta de podas de sanidad y formación como se puede observar en el **Anexo 10**.

4.3 Delimitación de zonas Homogéneas

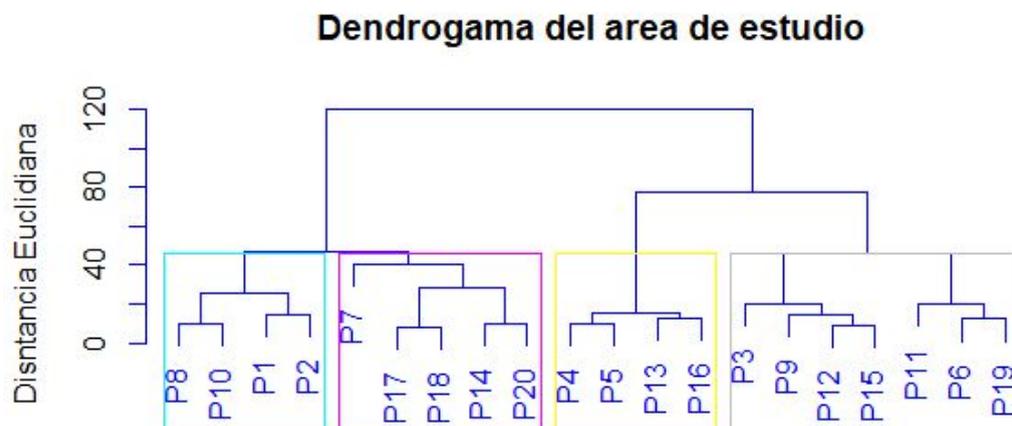
En la **Figura 23**, se puede observar el número óptimo de clúster o agrupaciones representativas en el área de estudio para el HA, determinadas por medio del método de la Silueta.

Figura 23. Número óptimo de clúster para HA.



Las cuatros zonas homogéneas para el Horizonte A alcanzaron distancias euclidianas de 50. El primer grupo compuesto por dos variables de estudio como MO e IEE, propiedades que representan el mejor estado de fertilidad del suelo en el predio. Y, por tanto, se tendría en cuenta en los diseños de fertilización con el fin de optimizar y fraccionar la aplicación de insumos agrícolas.

Figura 25. Formación de clúster en sitios de muestreo para HA



En la zona 2 se observa mayor contenido de partículas gruesas haciendo referencia a un suelo más suelto permitiendo un mejor tránsito del agua en suelo, situación que se debe tener en cuenta al momento de diseñar sistemas de drenaje,

puesto que al tener menor estructura el suelo, se puede provocar derrumbe de los taludes y generar erosión.

Tabla 18. Características de las Zonas Homogéneas para HA

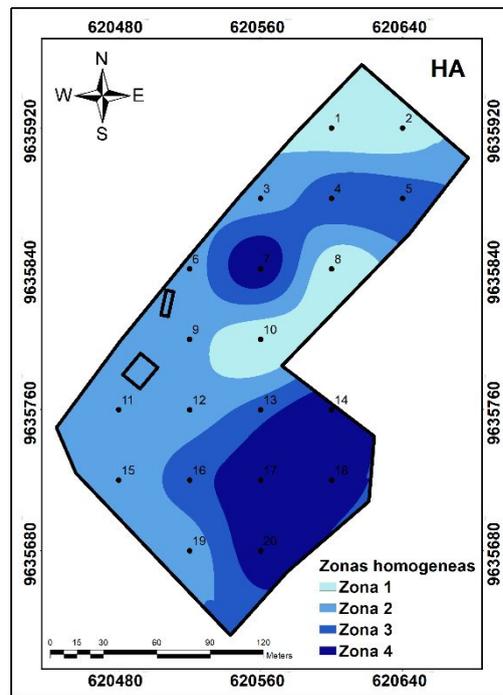
Propiedad	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4	
	Media	CV	Media	CV	Media	CV	Media	CV
Arena	33,15	18,02	43,28	21,70	32,00	11,41	24,40	9,21
Limo	48,00	9,00	33,74	11,42	33,98	7,57	59,09	16,47
Arcilla	18,85	37,14	22,99	34,00	34,03	9,17	16,51	61,42
CC	24,26	15,19	23,45	20,65	29,99	6,05	25,40	15,07
PMP	13,60	17,03	13,09	23,25	17,19	6,63	14,32	16,80
PT	30,78	2,99	39,06	11,81	21,38	18,30	40,79	18,03
Da	1,64	2,35	1,62	6,39	1,68	6,43	1,53	1,71
Dr	2,42	4,53	2,58	7,31	2,14	3,18	2,50	7,51
MO	18,68	10,17	13,22	25,26	16,11	18,18	15,71	10,07
IEE	28,28	18,37	23,12	14,23	23,73	18,84	20,79	10,50
Ib	13,60	2,05	13,53	4,99	13,34	3,77	14,07	1,88
K	1,02	4,21	1,05	22,97	1,03	25,22	0,99	11,99

En la zona 3 se expresa de mejor manera la capacidad de retener humedad al estar representada por las propiedades como Arcilla, CC, PMP situación que incide en el diseño de sistemas de riego y planificación de calendarios de suministro de agua, asegurando la satisfacción de las necesidades hídricas de las plantas evitando pérdidas de producción por excesos o déficit de agua.

Finalmente, para el horizonte A, en la zona 4 se observa altos porcentajes de espacio poroso y partículas de Limo, lo cual se puede entender que, al no existir un suministro periódico de agua en el área, las partículas de limo se agrupan al sufrir sequías generando pequeñas grietas que aceleran la infiltración de agua, actividad que también es representativa de la zona 4.

En la **Figura 26**, se puede observar la distribución de las cuatro zonas homogéneas existentes en la profundidad de 0 – 10 centímetros.

Figura 26. Zonas homogéneas delimitadas en el Horizonte A.



Para el HB, se puede observar en la **Figura 27**, el número óptimo de clúster o agrupaciones que fueron representativas, determinadas por medio del método de la Silueta.

De lo anterior, se delimitaron dos zonas homogéneas que alcanzaron distancias euclidianas de 60 como se muestran en la **Figura 28**.

Figura 27. Número óptimo de clúster para HA

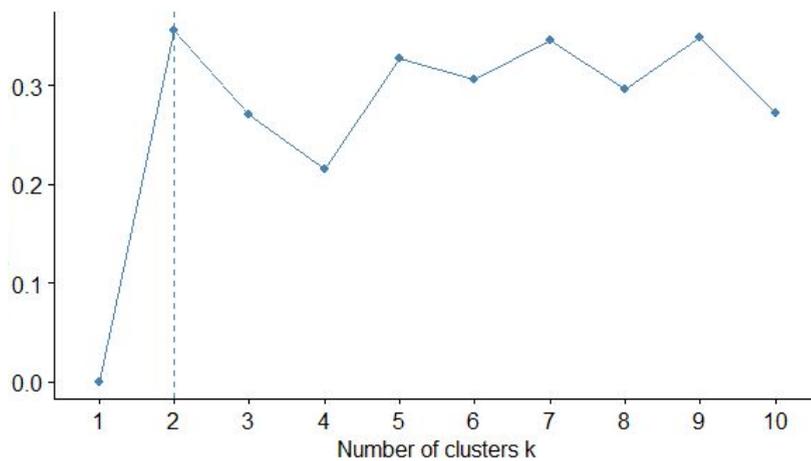
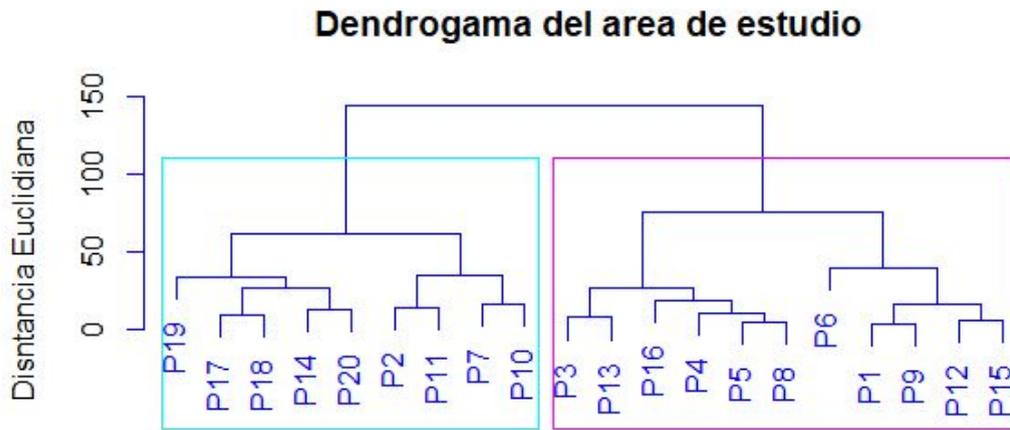


Figura 28. Formación de clúster en sitios de muestreo para HB



En la zona 1 son representativas las partículas grandes como la arena y pequeñas como las arcillas, esta última importante en las capacidades de almacenamiento de agua. La distribución de esta zona representa que a una profundidad de 10-20 cm existe una mayor homogeneidad en el predio de las capacidades hídricas al abarcar mayores sitios de muestreo que en al HA.

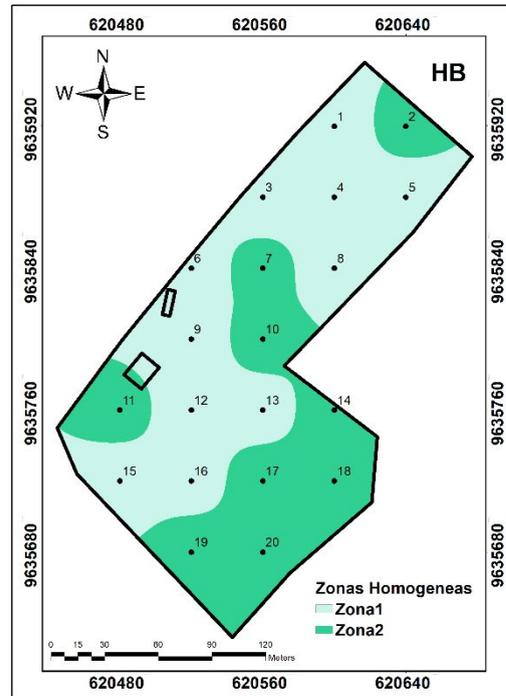
Así mismo, la estructura del suelo presenta menos heterogeneidad favoreciendo el desarrollo simultáneo del sistema radical de las plantas.

Tabla 19. Características de las Zonas Homogéneas para HB

Propiedad	Zona 1		Zona 2	
	Media	CV	Media	CV
Arena	37,15	24,85	31,62	24,68
Limo	32,46	15,21	54,49	16,56
Arcilla	30,39	18,48	13,89	67,01
CC	27,51	14,55	22,82	19,48
PMP	15,64	16,08	12,69	22,01
PT	31,42	32,05	33,77	29,58
Da	1,67	8,74	1,64	8,81
Dr	2,46	9,51	2,50	8,68
MO	13,94	15,09	14,40	16,33
IEE	22,36	12,88	21,06	12,07

La zona 2 del HB coincidió con la zona 4 del HA, ambas representaron las propiedades Limo y porosidad total en la misma área homogénea con la diferencia que a mayor profundidad el contenido de MO fue menor, pero más homogéneo en los sitios de muestreo.

Figura 29. Zonas Homogéneas delimitadas para Horizonte B.



En general a mayor profundidad las propiedades presentan menor variabilidad lo que se denota con la diferencia en el agrupamiento de las variables en ambos perfiles, las zonas delimitadas tanto para HA como para HB son importantes y decisivas en el aumento de la producción mediante la integración de prácticas tanto culturales como nutritivas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El suelo del predio es estructuralmente estable, con porcentajes altos de materia orgánica, sin embargo, existen sitios con valores de densidad aparente altos causados por agrupamientos densos de partículas pequeñas como respuesta a la escasez del recurso agua.

Todas las variables se ubicaron en una clasificación de moderada a relativamente homogénea por su CV a diferencia de la Arena que se ubicó en normalmente heterogéneas por su alto porcentaje del coeficiente de variación, así mismo los valores promedio de las propiedades en HA son representativas en HB al presentar significancia mayor al p-valor en todas las medias.

Las propiedades presentaron dependencia espacial débil, a excepción de la densidad aparente y porosidad total que se calificaron como fuerte y moderada respectivamente.

Para la determinación del comportamiento espacial los modelos teóricos que mejor se ajustaron a las propiedades de estudio fueron el Esférico y Gaussiano, presentando coeficientes de determinación y Nash mayor a uno y un error cuadrático medio menor entre todos los modelos.

Se delimitaron cuatro zonas homogéneas en el primer perfil de estudio con una distancia euclidiana de 50 y dos en el segundo perfil con distancia euclidiana de 60. Permitiendo diferenciar zonas que necesitan de la integración de actividades culturales de recuperación del predio.

La mejor producción se encontró en cultivar ISC-95 en los puntos 4 y 8 con promedio de número de mazorcas de 20 y 25 respectivamente.

Finalmente, el comportamiento espacial de las propiedades hidrofísicas no inciden de forma directa en la producción del área, puesto que ésta es baja principalmente

por falta de podas y escasez de suministro adecuado de agua, presentando en la mayoría del predio plantas con uno o dos mazorcas como mejor rendimiento.

5.2 Recomendaciones

El diseño e implementación de un sistema de riego por zonificación basado en las áreas de mayor y menor capacidad de retención de humedad e infiltración previamente delimitadas en el estudio permitirán aumentar el rendimiento del predio y hacer un mejor uso del recurso agua y suelo.

La asociación de análisis de variabilidad espacial de propiedades químicas con el presente estudio permitirá realizar una mejor planificación de la incorporación de insumos agrícolas y coberturas vegetales que aumentarán la producción.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANECACAO. (2019). *Sector Exportador de Cacao*. Recuperado de: <http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>.
- Araujo, M. (2011). Variabilidad Espacial de las Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de dos Suelos Agrícolas de la Provincia de Quebec, Canadá. *Revista Facultad de Agronomía (28)*, pág. 223-241.
- Awadhwal, N. K., & Thierstein, G. E. (1985). Soil crust and its impact on crop establishment. *Soil and Tillage Research 5*, pag. 289-302.
- Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., & Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense, 37(2)*, 247-264.
- Bustamante, M. (2016). *Efecto De Mejoradores Físico Y Químico De La Compactación En Suelos Bananeros, Bajo Sistema De Riegos Presurizados*. Machala-Ecuador: Universidad Técnica de Machala. Retrieved from http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7701/1/DE00054_TR_ABAJO.
- Bustamante, M., Chabla, J., & Barrezueta, S. (2018). LA DENSIDAD Y HUMEDAD CRÍTICA COMO INDICADORES DE LA COMPACTACIÓN DE SUELOS CULTIVADOS CON BANANO. *Agroecosistemas, 6(1)*, pág. 170-174.
- Castilla, N. (2007). *INVERNADERO DE PLÁSTICO: Tecnología y manejo (segunda)*. Barcelona: Mundi-Prensa. Retrieved from <https://basesdedatos.utmachala.edu.ec:2136/lib/utmachalasp/reader.action?docID=3206880&query=punto%2Bde%2Bmarchitez%2Bpermanente%2B>
- Chabla, J. (2018). *Efecto de mejoradores físicos , químicos y biológicos de la compactación de suelos bananeros bajo sistemas de riego (tesis doctoral)*.

La Coruña: Universidade da Coruña. Disponible en:
<http://hdl.handle.net/2183/20296>.

Chapin Patiño, J. L. (2020). *Análisis geoestadístico y multivariado de propiedades químicas de un suelo en cultivo de banano, finca Marquez, La Peaña, cantón Pasaje (trabajo de titulación)*. Machala-Ecuador: UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias. Disponible en:
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15533>.

Chartres, C. J., & Geeves, G. W. (1998). The impact of soil seals and crusts on soil water balance and runoff and their relationship with land management. *Advances in GeoEcology*, 31, pag. 539-548.

Corwin, D. L., & M, L. S. (2010). Delineating site-specific management units with proximal sensors. *Geostatistical applications for precision agriculture*, Estados Unidos. Oliver Mo, editores.

Cueva Rivera, E. I. (2020). *Análisis geoestadístico y multivariado de atributos físicos de un suelo en cultivo de banano finca Márquez la Peaña cantón Pasaje (trabajo de titulación)*. Machala, Ecuador: UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias.

Delgado-Londoño, D. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos*, 1(17), 77-83.
doi:<https://doi.org/10.21501/21454086.1907>.

Deutsch, C. (2006). A sequential indicator simulation program for categorical variable with point and block data: BlockSIS. *Computers and Geosciences* 32, pag. 1669-1681.

Dörner, J., Salas, R., Ordóñez, I., & Valle, S. (2016). Variación espacial de propiedades físicas de un suelo derivado de cenizas volcánicas sometido a distintas estrategias de mejoramiento de una pradera degradada. *Agro Sur*, 44(3), pág. 29-40 Disponible en:
<https://doi.org/10.4206/agrosur.2016.v44n3-04>.

FAO. (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelo. *Boletín de tierras y aguas de la FAO*, Roma – Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- FAO. (2009). *Guía para la descripción de Suelos*. Roma, Italia : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación .
- FAO. (2020). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. FAOSTAT: Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- FAO. (2020b). *Degradación de suelos*. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/en/>.
- FAO. (2020c). El método del triángulo textural para determinar las clases texturales básicas. *Textura del suelo*, Disponible en: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm#top.
- Fiorin, T. (2008). Estimativa da Infiltração de água no solo a partir de pedofunções. *Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Tese de Doutorado*, 8-18.
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. Retrieved from:<http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUALDELLABORATORIODEFISICADESUELOS.pdf>.
- Forero, J. (2000). *Parámetros Hidrodinámicos para Riego*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.
- Gabriels, D., Horn, R., Villagra, M. M., & Hartman , R. (1997). Assessment, prevention and rehabilitation of soil structure caused by soil surface sealing, crusting and compaction. *Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in Soil Science, CRC Press, Boca Raton, Florida*, pag. 129-165.
- Gallardo, A. (2006). Geoestadística. *Asociación Española de Ecología Terrestre. Ecosistemas 15*, pag. 48-58.
- García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión. *Ciencia y tecnología*, 8, pág. 99-115.
- Gavande, S. A. (1972). *Física de suelos: principios y aplicaciones*. México: Limusa - Wiley S.A.
- Giraldo, R. (2002). *Introducción a la Geoestadística*. Universidad Nacional de Colombia: Teoría y Aplicación. Bogotá D. C. .

- Giraldo, R., Pacheco, Ó., & Orozco, A. (2017). Geoestadística aplicada a series de tiempo autorregresivas: un estudio de simulación. *Revista Integración*, 35(1), pág. 83-102 Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revint.v35n1-2017006>.
- Godwin, R., & Miller, C. (2003). Review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosystems Engineering, Amsterdam*, v.84, pag 393-407.
- González, M., & Pérez de Vargas, A. (2009). *Una introducción a los procesos estocásticos y a la geoestadística*. Estadística aplicada una visión instrumental. Díaz de Santos.: In A. Calvete (Ed.).
- Goovaerts, P. (1998). Geostatistical tools for characterizing. *Biology and Fertility Soil* 27, pag. 315-334.
- Goovaerts, P. (1999). Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma, Amsterdam*, v.89, p. 1-45.
- Grauer-gray, J., & Hartemink, A. E. (2017). Variation of soil property depth functions. *ResearchGate*, (July). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27635.84001>.
- Heredia, E. (2013). *Densidad real, aparente y porosidad del suelo* . Pontificia Universidad Católica de Peru: Disponible en: https://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_POROSIDAD_DEL_SUELO.
- INEC. (2018). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec//estadisticas-agropecuarias-2/> .
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, I. (2012). Anuario Meteorológico 2012. . *Servicio Meteorológico*, (52), 134. , <https://doi.org/http://wDisponible> en: ww.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf.
- Jaramillo, D. (2012). Variabilidad espacial del suelo: Bases para su estudio . *Revista de La Facultad de Ciencias*, 1(1), pág. 73-87 disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/49004>.

- Jaramillo, D., Anaya, M., Restrepo, C., González, H., & Álvarez, F. (2011). Variables físicas que explican la variabilidad de suelo aluvial y su comportamiento espacial. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46, pag. 1707-1715.
- Jimenez, A., & Siavosh, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381 - 397. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ORTON.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&exp>.
- Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Myers, D. B., Drummond, S. T., & Hong, S. Y. (2005). Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture*. 46, pag. 285 - 308.
- López, M., & Estrada, H. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Bioagrobiencias*, 8(1), pág. 3-11.
- López, W., Reynoso, R., López, J., Camas, R., & Tasistro, A. (2018). Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), pág. 65-79. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.848>.
- Lozano, W. (2018). *Suelos : guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio*. Bogotá: universidad piloto de colombia.
- MAG, & SIPA. (2020). *Informe de rendimientos objetivos de cacao (almendra seca) 2019*. Quito: Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria : Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cacao/rendimiento-del-cacao-ecuador>.
- Martin, E., & Muñoz, C. (2017). *Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego* . Retrieved from <http://hdl.handle.net/10150/625275>: Extensión Cooperativa de La Universidad de Arizona, (AZ1220s), 8.
- Martinez, N., & De Sabando, M. (2019). Agricultura de Precisión, El futuro ya llegó. *Engormix*.

- Medina, C., Camacho-Tamayo, J. H., & Cortés, C. (2012). Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods. *Engenharia Agrícola* 32, pag. 91-101.
- Mejia, O., Beteancur, T., & Londoño, L. (2007). APLICACIÓN DE TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS EN LA HIDROGEOLOGÍA DEL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO. *Dyna*, julio, año/vol. 74, número 152, pág. 137-149.
- Montenegro, G., & Malagón, C. D. (1990). Propiedades Físicas de los Suelos. *Subdirección de Agrología*, IGAC.
- Mori, L., Alavi, E., & Mooney, M. (2017). Apparent density evaluation methods to assess the effectiveness of soil conditioning. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 175 - 186.
- Muñoz Iniestra, D., Ferreira Ramírez, M., Escalante Arriaga, I., & López García, J. (2013). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Terra Latinoamericana*, 31(3) , pág. 201-210.
- Obalum, S. E., Chibuike, G. U., Peth, S., & Ouyang, Y. (2017). Soil organic matter as the sole indicator of soil degradation. *EnvironMonit Assess*, pag. 176-189.
- Orellana Guanuchi, T. F. (2010). *Validación de los métodos de laboratorio para la determinación de la capacidad de retención de agua en suelos (Bachelor's thesis)*. Cuenca : Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/746>.
- Orjuela-Matta, H. M., Rubiano-Sanabria, Y., & Camacho-Tamayo, J. H. (2012). Spatial Analysis of Infiltration in an Oxisol of the Eastern Plains of Colombia. *Chilean Journal Agricultural Research* 72, pag. 404-410.
- Ortega, R., & Flores, L. (1999). Introducción al manejo sitio-específico. *Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (ed.) En Agricultura de precisión. CRI Quilamapu-Chile.*, pag. 13-46.
- PROECUADOR. (2013). *Análisis del sector Cacao y elaborados*. Quito: Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones.
- Pulido-Moncada, M., Flores, B., Rondón, T., Hernández, R., & Lozano, Z. (2010). Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos,

- inceptisol y ultisol, por su uso en cultivos de cítricos. *Bioagro*, 22(3), pág. 201-210.
- Ramírez, W. A. (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), pag. 1-8.
- Ramos, D., & Terry, E. (2014). GENERALIDADES DE LOS ABONOS ORGÁNICOS: IMPORTANCIA DEL BOCASHI COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL PARA SUELOS Y PLANTAS. *Generalities of the organic manures: Bocashi's importance like nutritional alternative for soil and plants* 35(4), pag. 52-59 Disponible en: <http://ediciones.inca.edu.cu/>.
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetalera colombiana. *Cenicafé*, 56(4) , 381-397. <https://doi.org/10.23840/agehrd.2009.41.1.191>.
- Sánchez, V., Zambrano, J., & Iglesias, C. (2019). *La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe*. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. Recuperado de: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5382>.
- Sandoval E, M., Dorner F, J., Seguel S, O., Cuevas B, J., & Rivera S, D. (2012). *MÉTODOS DE ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS*. Universidad de Concepción, Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Chillán, Chile: Publicación N° 5. 80 p.
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: el significado de la porosidad del suelo*. FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents>.
- Silva, L. (2007). Fitting infiltration equations to centre-pivot irrigation data in a mediterranean soil. *Agricultural Water Management* 94, pag. 83-92.
- Staff Soil Survey. (2010). *Claves para la Taxonomía de Suelos, 11th ed*. Washington, DC: USDA-Natural Resources Conservation Service.

- Tecniagricola. (19 de Febrero de 2013). Obtenido de La capacidad de campo de un suelo: <https://www.tecnicoagricola.es/la-capacidad-de-campo-de-un-suelo/>
- USDA. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos: Décima segunda edición. *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos*, Servicio de Conservación de los suelos.
- Valbuena, C., Martínez, L., & Henao, R. (2008). Variabilidad Espacial del Suelo y su Relación con el rendimiento de Mango (*Mangifera indica* L). *Revista Brasileira de Fruticultura* 30, pag. 1146-1151.
- Van Deuren , J., Lloyd , T., Chhetry, S., Liou, R., & Peck, J. (2002). *Remediation Technologies screening matrix and reference guide, 4th edition*. Disponible en: http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html. Fecha de consulta: junio 2006.
- Varón Ramírez, V. M. (2016). *Caracterización de las propiedades hidrofísicas de los suelos del Centro Agropecuario Marengo CAM y su incidencia en su capacidad productiva*. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- 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), pág. 449-456.
- Vasu, D., Kumar, S., Kumar Ray, S., Perumal, D., Tiwary, P., Chandran, P., . . . Anantwar, S. G. (2016). Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma* 282, pag. 70-79.
- Vélez, J. (2010). *Curso de Edafología*. Universidad Técnica de Machala – Facultad de Ciencias Agropecuarias. Machala, Ecuador. 179 p.
- Villaseñor, D. (2016). *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo*. Machala: Universidad Técnica de Machala.
- Vivas, F., Corrales, J., & Ramírez, G. (2016). Aproximación a un modelo contextual para calidad de datos en agricultura de precisión. *Revista*

Ingenierías Universidad de Medellín, 15(29), pag. 99-112 Disponible en:
<https://doi.org/10.22395/rium.v15n29a6>.

Warrick, A. W., Myers, D. E., & Nielsen, D. R. (1986). Geostatistical Methods Applied to Soil Science. Methods of Soil Analysis. Part 1. *Physical and Mineralogical Methods - Agronomy Monograph 9*, pag. 53-81.

7. ANEXOS



Anexo 1. Toma de muestra de dos profundidades en los puntos de muestreo



Anexo 2. Secado de las 40 muestras de 20 sitios de muestreo



Anexo 3. Determinación de D_a por método de cilindro metálico



Anexo 4. Determinación de D_r por método del balón aforado



Anexo 5. Determinación de textura por método de Hidrómetro



Anexo 6. Determinación de textura por método de Hidrómetro



Anexo 7. Determinación de coeficientes hídricos por relación de pesos



Anexo 8. Pruebas de infiltración con anillos de Munz



Anexo 9. Afectación de plagas y enfermedades en la producción



Anexo 10. Abundancia de follaje por falta de prácticas culturales