

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CONSERVACION DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**EFICIENCIA DE LOS MÉTODOS ALTERNATIVOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE**  
**LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DEL SUELO**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**BARRAZA MACURI, PRISCILA YUSZARA**

**Tingo María – Perú**

**2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**Tingo María- Perú**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°078-2023-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 31 de agosto del 2023, a horas 06:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EFICIENCIA DE LOS MÉTODOS ALTERNATIVOS EN LA  
CUANTIFICACIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DEL  
SUELO”.**

Presentado por la Bachiller: **BARRAZA MACURI, Priscila Yuszara**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 19 de setiembre de 2023

**Dr. JOSE D. LEVANO CRISOSTOMO**  
**PRESIDENTE**

**Dr. NELINO FLORIDA ROFNER**  
**MIEMBRO**



**Dr. ROBERTO OBREGÓN PEÑA**  
**MIEMBRO**

**D. Sc. PAUL LAMA ISMINIO**  
**ASESOR**



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 270- 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

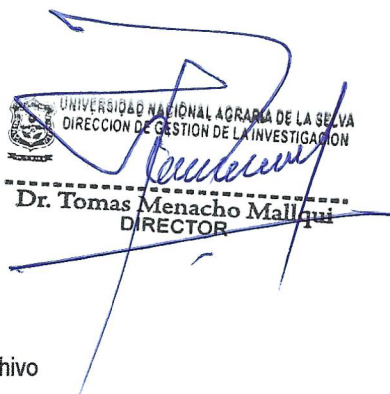
Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación
-------	---	--------------------------

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFICIENCIA DE LOS MÉTODOS ALTERNATIVOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DEL SUELO	BARRAZA MACURI, PRISCILA YUSZARA	<b>17 %</b> <b>Diecisiete</b>

Tingo María, 09 de octubre de 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
DIRECTOR

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**EFICIENCIA DE LOS MÉTODOS ALTERNATIVOS EN LA CUANTIFICACIÓN DE**  
**LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DEL SUELO**

<b>Autor</b>	: Priscila Yuszara Barraza Macuri
<b>Asesores</b>	: D.Sc. Paúl Lama Isminio Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez
<b>Programa de investigación</b>	: Ciencias Básicas
<b>Línea de investigación</b>	: Física y química de suelos
<b>Eje temático de investigación</b>	: Indicadores físicos y químicos de suelos
<b>Lugar de ejecución</b>	: Laboratorio de suelos, agua y ecotoxicología de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria de la Selva
<b>Duración</b>	: 6 meses
<b>Financiamiento</b>	: Monto S/ 5,741.2
	<b>FEDU</b> : No
	<b>Propio</b> : Sí
	<b>Otros</b> : No

## **DEDICATORIA**

A mi madre Nancy Macuri, por darme la vida y ser el motor y motivo para cumplir mis sueños superando cada obstáculo presente, por su apoyo incondicional y amor desmesurado desde que nací.

A mis abuelos Julia Vilcapoma y Marcial Macuri, por ser un soporte preciado en cada etapa de mi vida, siendo el pilar fundamental en mi familia.

A mis docentes por los conocimientos adquiridos y paciencia en la enseñanza.

A mis amigos que siempre me brindaron su apoyo cuando lo necesitaba, y a todas las personas que colaboraron con la ejecución del presente trabajo de investigación.

## **AGRADECIMIENTOS**

- De especial agradecimiento a Dios por su amor constante y desmedido brindándome la fuerza necesaria para no rendirme y cumplir cada una de mis metas acompañándome en cada día de mi vida.
  
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por la formación profesional contribuyendo a la educación y la oportunidad de seguir creciendo profesionalmente.
  
- A mis asesores Dr. Sc. Paúl Lama Isminio y al Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez, por los conocimientos adquiridos, en especial al Dr. Paúl por su amistad, asesoría y dedicación en la presente investigación.
  
- Al Dr. Ángelo Lama Isminio por el apoyo en la realización de los análisis químicos.
  
- A los técnicos de laboratorio Ing. Gilmer Neira y Thania Rosas Eduardo por su trato jovial y apoyo en la ejecución de la presente tesis.
  
- A Jorge Anthony Luciani Alegría por ser un gran compañero y mi ayuda idónea en cada etapa de mi vida y en el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Textura del suelo.....	3
2.2. Análisis granulométrico.....	3
2.3. Dispersión de las fracciones granulométricas.....	4
2.4. Método de la Pipeta de Robinson - MPR .....	6
2.5. Método del hidrómetro de Bouyoucos - MHB .....	7
2.6. Comparación entre los métodos de la Pipeta de Robinson e Hidrómetro de Bouyoucos .....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1. Lugar de ejecución.....	11
3.2. Ubicación de los puntos de muestreo .....	11
3.3. Aspectos generales y ecológicos .....	11
3.4. Muestreo de suelos .....	12
3.5. Tipo y nivel de investigación.....	13
3.5.1. Variables de estudio.....	13
3.6. Metodología.....	13
3.6.1. Análisis químicos .....	13
3.6.2. Método del Hidrómetro de Bouyoucos (MHB).....	14
3.6.3. Método del Hidrómetro Bouyoucos con el peso de la fracción arena (MHB-PA).....	14
3.6.4. Método de la Pipeta de Robinson (MPR).....	14
3.6.5. Método de la Pipeta de Robinson con mezcla de dispersantes (MPR-MD)..	16
3.6.6. Análisis estadístico .....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
4.1. Análisis químico .....	18
4.2. Análisis descriptivo .....	2
V. CONCLUSIONES .....	2
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	28

VII. REFERENCIAS .....	29
ANEXOS .....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Distribución de las muestras analizadas según su unidad litoestratigráfica dentro de la Eratema Mesozoica.....	12
2. Parámetros químicos analizadas y metodologías utilizadas.....	14
3. Tiempo de sedimentación de partículas con peso específico de 2.60 g cm <sup>-3</sup> y diámetro menor que 0.002 mm en función de la temperatura para la colecta de la fracción arcilla a 5 cm de profundidad a partir del nivel superior de la suspensión. ....	16
4. Resultados del análisis químico de las formaciones litoestratigráficas estudiadas.....	19
5. Valores promedio (n = 4) de la proporción de arena, limo y arcilla determinados por las cuatro metodologías estudiadas. ....	20
6. Proporción de arena, limo y arcilla en cada horizonte de los suelos analizados considerando los cuatro métodos estudiados.....	23
7. Proporción promedio (n=12) de arena, limo y arcilla en los cuatro suelos con tres horizontes analizados considerando los cuatro métodos estudiados. ....	24
8. Proporción promedio (n=48) de arena, limo y arcilla de todos los suelos y sus horizontes analizados considerando los cuatro métodos estudiados. ....	26
9. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Ap de a la Formación Sarayaquillo (JS-s).....	37
10. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Ap de la Formación Sarayaquillo (JS-s).....	37
11. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Ap de la Formación Sarayaquillo (JS-s). ....	38
12. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el Horizonte AB de la Formación Sarayaquillo (JS-s).....	38
13. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte AB de la Formación Sarayaquillo (JS-s). ....	39
14. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte AB de la Formación Sarayaquillo (JS-s). ....	39

15. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte $Bw_1$ de la Formación Sarayaquillo (JS-s). .....	40
16. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte $Bw_1$ de la Formación Sarayaquillo (JS-s).....	40
17. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte $Bw_1$ de la Formación Sarayaquillo (JS-s). .....	41
18. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte $Ap$ de la Formación Oriente (Ki-o).....	41
19. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte $Ap$ de la Formación Oriente (Ki-o). .....	42
20. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte $Ap$ de la Formación Oriente (Ki-o).....	42
21. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte $Bw_1$ de la Formación Oriente (Ki-o).....	43
22. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte $Bw_1$ de la Formación Oriente (Ki-o). .....	43
23. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte $Bw_1$ de la Formación Oriente (Ki-o).....	44
24. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte $Bw_2$ de la Formación Oriente (Ki-o).....	44
25. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte $Bw_2$ de la Formación Oriente (Ki-o). .....	45
26. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte $Bw_2$ de la Formación Oriente (Ki-o).....	45
27. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte $Ap$ de la Formación Chonta (Kis-ch). .....	46
28. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte $Ap$ de la Formación Chonta (Kis-ch). .....	46
29. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte $Ap$ de la Formación Chonta (Kis-ch).....	47
30. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte $BA$ de la Formación Chonta (Kis-ch). .....	47

31. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte BA de la Formación Chonta (Kis-ch).....	48
32. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte BA de la Formación Chonta (Kis-ch).....	48
33. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Bw <sub>1</sub> de la Formación Chonta (Kis-ch).....	49
34. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Bw <sub>1</sub> de la Formación Chonta (Kis-ch).....	49
35. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Bw <sub>1</sub> de la Formación Chonta (Kis-ch).....	50
36. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Ap de la Formación Chambará (Trji-ch).....	50
37. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Ap de la Formación Chambará (Trji-ch).....	51
38. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Ap de la Formación Chambará (Trji-ch).....	51
39. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte BA de la Formación Chambará (Trji-ch).....	52
40. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte BA de la Formación Chambará (Trji-ch).....	52
41. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte BA de la Formación Chambará (Trji-ch).....	53
42. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Bw <sub>1</sub> de la Formación Chambará (Trji-ch).....	53
43. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Bw <sub>1</sub> de la Formación Chambará (Trji-ch).....	54
44. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Bw <sub>1</sub> de la Formación Chambará (Trji-ch).....	54
45. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena de la Formación Sarayaquillo (JS-s).....	55
46. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo de la Formación Sarayaquillo (JS-s).....	55
47. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla de la Formación Sarayaquillo (JS-s).....	56

48. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena de la Formación Oriente (Ki-o).....	56
49. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo de la Formación Oriente (Ki-o).....	57
50. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla de la Formación Oriente (Ki-o). ....	57
51. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena de la Formación Chonta (Kis-ch).....	58
52. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo de la Formación Chonta (Kis-ch).....	58
53. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla de la Formación Chonta (Kis-ch). ....	59
54. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena de la Formación Chambará (Trji-ch). ....	59
55. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo de la Formación Chambará (Trji-ch).....	60
56. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla de la Formación Chambará (Trji-ch).....	60
57. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena.....	61
58. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo.....	61
59. Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla. ....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo. ....	11

## RESUMEN

La cuantificación de las fracciones granulométricas de arena, limo y arcilla de los diferentes suelos de nuestro país son ampliamente determinadas a través del método del Hidrómetro de Bouyoucos. Sin embargo, resultados diferentes e imprecisos suelen ser registrados. El objetivo del trabajo fue evaluar la eficiencia de los métodos de Hidrómetro de Bouyoucos con el peso de la arena (MHB-PA), método de la Pipeta de Robinson (MPR) y el método de la Pipeta de Robinson con mezcla de dispersantes (MPR-MD) en relación con el método padrón Hidrómetro de Bouyoucos (MHB). Para ello se utilizaron muestras de los tres primeros horizontes pertenecientes a las formaciones litoestratigráficas de Sarayaquillo, Chonta, Chambará y Grupo Oriente. Los datos registrados fueron sometidos a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, posteriormente los datos no paramétricos fueron normalizados por cuantiles a variables paramétricas e inmediatamente se realizó el análisis de variancia para posteriormente aplicar la prueba de Dunnett para identificar las diferencias estadísticas significativas en comparación con el método padrón. La eficiencia de los métodos se interpretó en base a la mayor proporción de la fracción arcilla. De los resultados obtenidos se verificó que el método padrón MHB es menos eficiente en la cuantificación de la fracción arcilla, siendo ampliamente superado por el MHB-PA y MPR-MD, demostrando así que ambos métodos podrían ser considerados para ser utilizados en condiciones de laboratorio con otras clases de suelos encontradas normalmente en nuestra región. La escala de eficiencia entre los métodos estudiados fue  $MHB-PA > MPR-MD > MHB = MPR$ .

**Palabras clave:** Textura de suelo, dispersantes químicos, formaciones litoestratigráficas.

## ABSTRACT

The quantification of granulometric fractions of sand, loam, and clay from different soils in our country [of Peru] are normally determined through the Bouyoucos hydrometer method. Nonetheless, different and imprecise results tend to be recorded. The objective of the work was to evaluate the efficiency of the Bouyoucos hydrometer methods with the weight of sand (MHB-PA – acronym in Spanish), [using] the Robinson pipette method and the Robinson pipette method for mixed dispersants (MPR-MD – acronym in Spanish), in relation to the standard Bouyoucos hydrometer method (MHB – acronym in Spanish). In order to do this, samples of the first three horizons belonging to the lithostratigraphic formations of Sarayaquillo, Chonta, Chambará, and Grupo Oriente were used. The recorded data was submitted to the Shapiro-Wilk test of normality, [where] later, the non-parametric data was normalized to the parametric variable by quantiles, and immediately the variance analysis was done in order to later apply the Dunnett test for identifying the significant statistical differences in comparison to the standard method. The efficiency of the methods was interpreted based on the greatest proportion of the clay fraction. From the results that were obtained, it was verified that the standard MHB method was the least efficient in quantifying the clay fraction, since it was easily surpassed by the MHB-PA and MPR-MD [methods]; thus demonstrating that both methods could be considered for use under laboratory conditions with other classes of soils normally found in our region. The efficiency scale between the methods in study was MHB-PA > MPR-MD > MHB = MPR.

**Keywords:** soil texture, chemical dispersants, lithostratigraphic formations

## I. INTRODUCCIÓN

La textura del suelo es una característica muy importante (Combatt et al., 2018) que está estrechamente relacionada con otras propiedades físicas, químicas y biológicas (Suarez y Gómez, 1976), así como su composición mineral, el área de superficie específica y el espacio poroso; afectando directamente en el desarrollo de las plantas (FAO, 2000). Es por ello que su determinación se torna importante debido a su aplicación en el uso y manejo de suelos, en recomendaciones de fertilización, en la evaluación de la dinámica de nutrientes y contaminantes, así como en estudios de génesis y clasificación de suelos (Mauri et al., 2011) con propósitos agronómicos y de ingeniería (García et al., 2008).

La cuantificación granulométrica del suelo es obtenida a través del análisis textural (Silva et al., 2004), para el cual existen varios métodos que permiten llevar a cabo el análisis (García et al., 2008), siendo los más populares el Método de la Pipeta de Robinson e Hidrómetro de Bouyoucos (Filgueira et al., 2006; Borja et al., 2014), de los cuales éste último es ampliamente utilizado en el Perú con ciertas modificaciones.

No obstante, diversos estudios demostraron que el método de la Pipeta de Robinson garantiza una mayor precisión en comparación con el método de Bouyoucos. Sin embargo, debido a la complejidad de su montaje y el tiempo de medición de las fracciones texturales, su uso se torna limitado. Favoreciendo la aceptación y uso del método de Bouyoucos debido a su fácil implementación, permitiendo también obtener mediciones rápidas y suficientemente seguras para muchos de los propósitos de los usuarios (García et al., 2008; Schindwein et al., 2011), por lo que viene siendo utilizado como método estándar para el análisis granulométrico, incluso para fines taxonómicos, siendo por ello que, Miller et al (1988) y Beretta et al (2014), consideran inaceptable el uso del Método de Bouyoucos para trabajos de taxonomía de suelos. Esto debido principalmente a que con este método se subestima la cuantificación de la fracción arcilla debido a que no hay una adecuada dispersión mecánica, llevando a una superestimación de la fracción limo, reportando de esta manera datos erróneos.

Delante lo expuesto, el presente trabajo plantea la siguiente interrogante ¿Existe diferencia significativa al comparar el método estándar del Hidrómetro de Bouyoucos vs los métodos alternativos (Método del Hidrómetro de Bouyoucos con el peso de la fracción arena; Método de la Pipeta de Robinson con el uso de NaOH y el Método de la Pipeta de Robinson con la mezcla de dispersantes NaOH y  $(\text{NaPO}_3)_6$ ) en suelos de la provincia de Leoncio Prado?

En la actualidad, en los laboratorios de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, el método de Bouyoucos viene siendo utilizado desde hace muchos años, inclusive para fines taxonómicos, por lo que podría estar generando una determinación incorrecta de las fracciones de arena, limo y arcilla del suelo comprometiendo el resultado del análisis. Es por ello que se hace necesario la comparación de las cantidades de las fracciones de arena, limo y arcilla en suelos de la Provincia de Leoncio Prado haciendo uso de diversas metodologías y dispersantes químicos adecuados para su determinación, principalmente cuando se trata de cuantificar de manera correcta el contenido de la fracción arcilla ya que estas podrían tener variaciones, no solo en cuanto a su naturaleza geológica sino también en función a la metodología utilizada, mostrando así cual o cuales de estos métodos es la mejor alternativa para el análisis cuantitativo de las partículas.

En base a los resultados se ha logrado contrastar la hipótesis dando a conocer que efectivamente existe una diferencia significativa al comparar el método estándar del Hidrómetro de Bouyoucos vs los Métodos alternativos (Método del Hidrómetro de Bouyoucos con peso de la fracción arena y Método de la pipeta de Robinson con mezcla de dispersantes NaOH y  $(\text{NaPO}_3)_6$ ) en suelos pertenecientes a la Provincia de Leoncio Prado.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo General**

Comparar los métodos alternativos frente al método estándar utilizado en el país con la finalidad de realizar una mejor cuantificación de las fracciones granulométricas del suelo minimizando la presencia de pseudocomponentes.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Realizar los análisis químicos de los tres primeros horizontes de cada formación y grupo litoestratigráfico.
- Cuantificar las fracciones de arena, limo y arcilla de suelos utilizando el Método del Hidrómetro de Bouyoucos
- Cuantificar las fracciones de arena, limo y arcilla de suelos utilizando el Método del Hidrómetro de Bouyoucos con el peso de la fracción arena.
- Cuantificar las fracciones de arena, limo y arcilla de suelos utilizando el método de la Pipeta de Robinson con NaOH como dispersante químico.
- Cuantificar las fracciones de arena, limo y arcilla de suelos utilizando el método de la Pipeta de Robinson con la mezcla de NaOH +  $(\text{NaPO}_3)_6$  como dispersantes químicos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Textura del suelo

Es definida como una propiedad física importante (Borja et al., 2015), relacionada con la distribución del tamaño de partículas de origen mineral (Combatt et al., 2018) con diámetro menores a 2 mm clasificadas en fracciones de arena, limo y arcilla (Mauri et al., 2011). El tamaño de partícula de un suelo mineral no sufre cambios rápidos; motivo por el cual la textura del suelo es considerada una característica intrínseca del propio material, siendo poco modificada por factores externos (Corá et al., 2009); por el cultivo u otras prácticas (Day, 1965).

Su adecuada determinación, en condiciones de laboratorio, se torna importante debido a que tiene inferencia directa sobre el potencial de compactación, disponibilidad de agua, aireación, conductividad del suelo, aire, agua y calor, así como por la capacidad de infiltración y redistribución del agua (Prevedello, 1996), la disponibilidad de nutrientes y la resistencia a la penetración por las raíces; por lo que tiene aplicaciones en el uso y manejo de suelos en diversos sistemas productivos para prácticas de fertilización y corrección de suelos (Mauri et al., 2011), que es realizado en base a porcentajes de arcilla (Tavares y De Magalhães, 2008). Permitiendo el uso racional y eficiente de fertilizantes (Dos Santos et al., 2010) que contribuyen a establecer prácticas de conservación del suelo (Lopes y Guimarães, 2000).

Por otro lado, la textura es ampliamente reconocida como primordial para la descripción, identificación y clasificación del suelo (Silva et al., 2004; De Sousa et al., 2009; Aparecida et al., 2012), por lo que su análisis es un componente clave para evaluar la calidad del suelo y sostenibilidad de prácticas de manejo agrícola (Kettler et al., 2001; Stefanoski et al., 2013). Recientemente, la distribución del tamaño de partículas se ha utilizado como una variable independiente en las funciones de pedotransferencia para la estimación de propiedades físicas del suelo más complejas como la retención de agua y la resistencia a la penetración (Tomasella et al., 2000; Keller y Gee, 2006; Da Silva et al., 2008), así como también en la hidrobiología (Rojas et al., 2021). Por ello, el análisis textural de un suelo es útil para diagnosticar y predecir el funcionamiento y uso del mismo (Filgueira et al., 2006).

### 2.2. Análisis granulométrico

La cuantificación de las fracciones de arena, limo y arcilla del suelo se realiza mediante un análisis textural o granulométrico (Da Silva et al., 2004). Para ello Ruiz (2005), divide el análisis textural en tres fases: aplicación de pretratamientos para la remoción de iones

cementantes o floculantes, dispersión de la muestra de suelo y cuantificación de fracciones de suelo. Para Oliveira et al. (2002), el requisito básico para todos los métodos de análisis granulométrico es generar la dispersión total de las partículas del suelo y que estas se mantengan separadas a lo largo de todo el proceso analítico. Beretta et al. (2014) establecen una relación entre el tamaño de partícula y la velocidad de sedimentación en agua. Esta técnica se basa, en la Ley de Stokes, siendo los métodos más difundidos el de la Pipeta de Robinson e Hidrómetro de Bouyoucos. (Filgueira et al., 2006; Borja et al., 2014) Ambos métodos tienen como objetivo cuantificar la fracción de partículas que se encuentran en suspensión a tiempos prefijados y relacionarla con los diámetros de las mismas (Filgueira et al., 2006). No obstante, el método de la Pipeta de Robinson realiza la determinación de las fracciones por medio de la masa de estos en un determinado volumen, en cuanto que, el método del Hidrómetro de Bouyoucos realiza la estimación de las fracciones.

Sch lindwein et al. (2011) mencionan que la decantación de las partículas del suelo pesadas y más grandes, como el limo y arena, es más rápida que la arcilla, que permanece más tiempo en suspensión. Por otro lado, la velocidad de decantación o sedimentación de partículas depende también de la temperatura del agua, ya que su aumento determina una reducción del efecto de la viscosidad y por consiguiente un aumento de la velocidad de caída de las partículas (Comini y Zegarra, 2020).

### **2.3. Dispersión de las fracciones granulométricas**

La dispersión consiste en separar las partículas unidas en formas de agregados a partículas individuales de arena, limo y arcilla (Mauri et al., 2011), el cual implica una combinación de dispersión físico o mecánico (DF) y químico (DQ).

La DF consiste en agitar la suspensión del suelo de tal manera que se genere la separación de agregados (Mauri et al., 2011 y Ruiz, 2005); siendo la agitación lenta de mayor eficiencia debido a que las partículas en suspensión mantienen un mayor tiempo de fricción entre ellas generando el quiebre de los agregados y por tanto la separación de las partículas granulométricas floculadas. Asimismo, Borja et al. (2014) y Dos Santos et al. (2010) encontraron que la agitación lenta proporciona una mejor dispersión física cuando es comparada con el método de agitación rápida, demostrando una mayor exactitud y precisión en los valores.

Por otro lado, la DQ se basa fundamentalmente en aumentar la repulsión de las partículas, utilizando dispersantes químicos solos o en combinación, con la finalidad de aumentar el pH de la solución y en consecuencia el aumento de la doble capa difusa mediante

la saturación del complejo de intercambio catiónico (Ruiz, 2005) por lo que Borja et al. (2014) resaltan que la separación eficiente de los agregados del suelo depende mucho del dispersante químico y la relación entre los iones presentes en las soluciones dispersantes, cargas permanentes y dependientes del pH en la fracción arcilla. Baver et al. (1972) menciona que para obtener una suspensión de suelo efectivamente dispersa, es necesario reemplazar los cationes flocculantes, como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , que a menudo se encuentran saturando las arcillas, por cationes monovalentes con un radio iónico hidratado más alto. Según Mauri et al. (2011), De Carvalho et al. (1988) y Baver et al. (1972) existe una escala de elementos de eficiencia que son  $\text{Li} > \text{Na} > \text{K} > \text{Rb} > \text{Cs}$ . No obstante, los compuestos químicos que contienen  $\text{Na}^+$  son los de mayor uso (Barreto, 1986), a pesar de que este elemento se encuentra en un segundo lugar dentro de la escala de eficiencia de dispersión. Esto debido a cuestiones de facilidad de mercado y costos.

El catión  $\text{Na}^+$  satura el complejo de intercambio catiónico aumentando las cargas negativas en respuesta al aumento del pH de la solución y disminuyendo la concentración de electrolitos, lo cual provoca la precipitación de los compuestos de  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Ca}^{2+}$ , de acuerdo al catión predominante en el complejo de intercambio depende la elección del dispersante a utilizar ya sea el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) o hexametáfosfato de sodio ( $\text{NaPO}_3)_6$ , respectivamente (Ruiz, 2005).

De ellos, el  $\text{NaOH}$  es el dispersante más utilizado en el análisis textural de suelos de regiones tropicales y húmedas por ser más efectivo que el  $(\text{NaPO}_3)_6$  (Cunha et al., 2014; Rodrigues et al., 2009). Sin embargo, en suelos con pH más alto ( $\text{pH} > 6,0$ ), pueden presentar cationes flocculantes como  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y/o predominio de cargas permanentes que presentan dificultad para estabilizar la suspensión. En ese sentido se hace necesario el uso del  $(\text{NaPO}_3)_6$ , debido a que esta sal aporta el  $\text{Na}^+$  necesario para la dispersión y también disminuye la presión osmótica de la solución, al precipitar fosfatos ligados a cationes alcalinotérreos (Baver et al., 1972).

Así también, Camargo et al. (2009) hacen referencia que, para suelos intemperizados con elevados contenidos de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , el  $(\text{NaPO}_3)_6$  en combinación con el  $\text{NaOH}$  es la solución dispersante más adecuado para la dispersión de la fracción arcilla frente al uso único del  $\text{NaOH}$ . Esto debido a que la combinación de ambos reactivos es la más adecuada para realizar el análisis granulométrico usándolo como referencia para la validación de otras metodologías de determinación (Silva et al., 2014 y Bezerra et al., 2021).

Akiyosi et al. (2009) sostienen que, el mayor problema de dispersión está relacionado con la fracción arcilla. Fracción que, al no ser dispersada adecuadamente, contribuye a una subestimación de su contenido, generando la sobreestimación, principalmente, del contenido de limo (García et al., 2008), es por ello que Donagemma et al. (2008); Silva et al. (2014) y Bezerra et al. (2021), al comparar los métodos de dispersión química en el análisis granulométrico, consideran más efectiva a aquel método que cuantifique mayor proporción de la fracción arcilla. Lo que indica una menor proporción de pseudolimos, cuyos microagregados del tamaño de un limo son formados por agregados de arcillas derivadas de la acción cementante de Fe y Al pobremente cristalizados.

Cunha et al. (2014) mencionan que la determinación precisa de la fracción arcilla es importante en las más diversas ramas de la ciencia del suelo, siendo que el contenido de arcilla y sus características propias pueden ser correlacionadas con niveles de  $K^+$  cambiante y no cambiante en el suelo (Medeiros et al., 2014) así como con otras variables de interés en trabajos específicos de suelos como la capacidad de intercambio catiónico (Otero et al., 1998; López et al., 2019); el comportamiento hidráulico del suelo (López et al., 2012); la regulación de funciones ecosistémicas agroforestales (Silva et al., 2020), así como también en los procesos sedimentarios de ecosistemas acuáticos (Rojas et al., 2021).

#### **2.4. Método de la Pipeta de Robinson - MPR**

Es un procedimiento de muestreo directo (Aparecida et al., 2012), considerado como estándar para la determinación del contenido de arcilla en el suelo debido a su eficiencia en relación a otros métodos (Schlindwein et al., 2011), por lo que Buol et al. (1973) recomienda que, en estudios de génesis, caracterización y clasificación de suelos, en la que se requiere una estimación precisa del contenido de arcilla de los horizontes genéticos se efectúen con el MPR, siendo inaceptable otros métodos para objetivos taxonómicos (Beretta et al., 2014), asimismo es un método muy eficaz para determinar la fertilidad del suelo y recomendar nutrientes (Schlindwein et al., 2011).

El MPR genera resultados exactos y precisos, no obstante, se necesita mucho tiempo para su ejecución (Beretta et al., 2014), por lo que Schlindwein et al., (2011) lo consideran como un método laborioso, lento y difícil de ejecutar de forma rutinaria en el laboratorio para el análisis físico. Quizás sea este el motivo por el cual no fue aceptado en los laboratorios de análisis de suelos del país.

## **2.5. Método del hidrómetro de Bouyoucos - MHB**

Es uno de los más extendidos mundialmente debido a que es muy fácil de implementar (García et al., 2008) y tiene la ventaja de dar resultados similares a los del MPR dentro de un tiempo razonable, sin necesidad de pretratamientos de las muestras, ni de largos periodos de reposo, evitando el pesaje exacto de pequeñas cantidades de sustancia coloidal (Norambuena et al., 2002), asimismo León (2001) encontró que el método que más se acerca, en precisión, al del MPR es el MHB.

En su metodología, el tamaño de los sólidos en suspensión se estima a partir de la densidad de la solución utilizando el hidrómetro (Beretta et al., 2014), el cual se basa en los principios de flotación utilizados para medir la gravedad específica de un líquido con respecto a la gravedad específica del agua pura, a una temperatura específica (Globe, 1997). Sin embargo, García et al. (2008), plantean que las mayores fuentes de error del método están asociadas a las lecturas del hidrómetro.

## **2.6. Fundamento del Método de Bouyoucos y Pipeta**

El método de Pipeta y Bouyoucos son fundamentadas en el principio de sedimentación de partículas descritas adecuadamente por la ley de Stokes la cual se basa en el análisis de sedimentación gravitacional de partículas en un fluido proporcionando una relación entre la velocidad de sedimentación de las partículas del suelo en un fluido y el tamaño de estas (Badillo y Rodríguez, 2005).

Sobre esta base la ley de Stokes describe la velocidad de sedimentación terminal de las partículas esféricas en función de su diámetro. El diámetro equivalente de una partícula se define como el diámetro de la esfera de la misma densidad la cual se asienta con la misma velocidad vertical en la suspensión (Valencia y Huertas, 2018).

(Delgado et al., 2013) menciona que la ley de Stokes es aplicable en sistemas donde las partículas son esferas no deformables ni mutuamente interactuantes moviéndose en el seno de un fluido viscoso en régimen laminar y de sedimentación libre (Filgueira et al, 2006) las partículas están suficientemente diluidas para asegurar que las partículas no se interfieran entre sí durante la sedimentación, el diámetro del cilindro de suspensión es grande comparado al diámetro de las partículas, todas las partículas alcanzan su velocidad terminal inmediatamente, y la densidad de la partícula es la misma en todas las partículas.

La Ley de Stokes está definida por la siguiente expresión:

$$V_p = \frac{g D_p^2 (\rho_l - \rho_p)}{18\mu} \quad (1)$$

En la que:

$V_p$  = Velocidad de precipitación

$D_p$  = Diámetro de la partícula esférica

$g$  = Aceleración de la gravedad 9.8 m/s<sup>2</sup>

$\mu$  = Viscosidad del fluido (pa\*s)

$\rho_l$  = Densidad del líquido o del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_p$  = Densidad de la partícula esférica

Al comienzo de la prueba de sedimentación todas las partículas de un mismo diámetro están distribuidas uniformemente en toda la suspensión, todas estas partículas se sedimentan a la misma velocidad calculada según la fórmula (1). Al pasar un tiempo determinado, todas las partículas del mismo diámetro habrán recorrido una distancia definida. Por encima de esa altura no habrá partículas del diámetro correspondiente a esa velocidad, mientras que, de ese nivel hacia abajo, las partículas de ese tamaño estarán en la concentración original, pues al bajar con la misma velocidad dichas partículas se habrán conservado sus posiciones relativas. Las partículas de tamaño mayor, correspondientes a la velocidad mencionada habrán descendido a una profundidad mayor, puesto que se sedimentan a mayor velocidad, por lo que a la profundidad definida solo habrá partículas de diámetro equivalente igual o menor que el diámetro de la partícula a la concentración original. El peso específico relativo de la suspensión de suelo, a una misma profundidad y en el tiempo es una medida de la cantidad de partículas de igual y menor tamaño contenidas en la muestra de suelo (Badillo y Rodríguez, 2005).

## **2.7. Comparación entre los métodos de la Pipeta de Robinson e Hidrómetro de Bouyoucos**

Para Beretta et al. (2014) y Norambuena et al. (2002), el MPR y el MHB difieren en el tratamiento de las muestras antes de la sedimentación. El MPR recomienda la destrucción

de la materia orgánica del suelo en la muestra, mientras que para el MHB no lo es. Los pretratamientos que se dan en el MPR tienen como objetivo la eliminación de agentes cementantes orgánicos (sustancias húmicas) e inorgánicos (óxidos de hierro y aluminio y carbonatos poco cristalizados, principalmente). También se aplica un pretratamiento para eliminar los agentes floculantes, como en el caso del análisis granulométrico de suelos afectados por sales, ya que la alta concentración salina en la solución del suelo reduce la doble capa difusa y favorece la floculación (Mauri et al., 2011).

El MHB es más fácil de usar, más rápido y conveniente para el análisis de rutina, pero es menos preciso que el método de la pipeta, sin embargo, dependiendo del tipo de suelo, el método puede mejorar destruyendo la materia orgánica del suelo y el carbonato de calcio, dispersando los coloides antes de la sedimentación (Beverwijk, 1967), o bien si un suelo tiene un bajo contenido de materia orgánica y se encuentra libre de sales solubles y de yeso (Norambuena et al., 2002). No obstante, los límites críticos en los cuales los valores de textura son confiables se dan en suelos con menos de 5% de materia orgánica y menos de 5% de carbonato de calcio (Pellegrini, 2019).

Una diferencia importante entre estos métodos es que la determinación de la fracción arcilla es realizado después de dos horas de sedimentación, cuando se utiliza el MHB (Cunha et al., 2014), por lo que esas 2 horas realmente miden partículas de 0.004 a 0.005 mm, pero el tamaño de 0.002 mm requiere tiempos más prolongados lo que ocasiona la sobreestimación significativa del contenido de arcilla incluso si la suspensión del suelo está perfectamente dispersa conllevando a un error potencial demasiado grande para la caracterización rutinaria del suelo (Miller et al., 1988) mientras que, en el MPR, el tiempo necesario para la determinación de la fracción arcilla depende de la temperatura de la solución y con frecuencia supera las dos horas (Beretta et al., 2014).

Gee y Or (2002), infieren que en el MPR las fracciones de arcilla se determinan con precisión debido a que el pesaje es directo, por lo que es probablemente superior a otros métodos de sedimentación. Por otro lado, para Pellegrini (2019), el MHB presenta problemas de pseudolimos o pseudoarenas en suelos con mucha MO o  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , mientras que el MPR no presenta problemas de esta índole; para el MHB se utiliza el hidrómetro a diferencia del MPR, en la que se pesan los sólidos en suspensión.

Beretta et al. (2014), trabajando con diferentes muestras de los horizontes A de distintos tipos de suelos, en Uruguay; comparando los métodos del Hidrómetro de Bouyoucos

(MHB), Hidrómetro de Bouyoucos Modificado (MHB-M) e Hidrómetro de Bouyoucos modificado con métodos de determinación gravimétrica del contenido de arena (MHB-MDGA) en comparación con el método MHB MPR, encontraron que, con el MHB, solo el 19 % de las muestras fueron similares a los registrados con el MPR, por el contrario, la comparación de las muestras analizadas con los métodos MHB-M y MHB-MDGA tuvieron una coincidencia de 31% y 52%, respectivamente, asimismo, el MHB en comparación con el MPR subestimó el contenido de arcilla y sobreestimó el contenido de arena.

Norambuena et al. (2002), realizando una comparación entre el MPR vs MHB y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la Zona Altiplánica de la Provincia de Panacota, en Chile, encontraron que el 6.8 % de las muestras de arena fue superior con el MPR en comparación con el MHB, al igual que con la fracción limo en un 93% y arcilla en un 66%. Mencionando que el MHB incrementa la fracción arena a causa de la dispersión incompleta de las muestras. De acuerdo con los resultados, los pseudo agregados que no se dispersan con el MHB están constituidos en mayor proporción por limo y en menor grado por arcilla. Los autores no recomiendan el uso del MHB para suelos con propiedades ándicas débilmente expresadas, a causa del efecto floculante de los minerales.

Silva et al. (2020), describen que en los sistemas agroforestales (SAFs) la precisión en la medición de la cantidad de las fracciones del suelo permite inferir la importancia de otras propiedades físicas de los suelos con funciones en sus regulaciones ecosistémicas en épocas de baja precipitación. Debido a su importancia, realizaron el análisis textural utilizando el MHB y MPR en un Oxisol de Colombia, con diferentes usos y manejo de suelo. Los resultados mostraron que el MHB subestima las fracciones más finas del suelo (limo y arcilla), sobreestimando la fracción arena frente al MPR. Con lo cual el MPR genera resultados más precisos de las fracciones más finas del suelo con un mejor balance textural y que contribuyen a una mejor regulación de las propiedades físico-químicas de los SAFs.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

El presente estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Ecotoxicología y, en el Laboratorio de Conservación de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco.

#### 3.2. Ubicación de los puntos de muestreo

Estas fueron ubicadas dentro de la Provincia de Leoncio Prado, en el cuadrángulo 19-k que comprenden las Formaciones Chambará, Grupo Oriente, Formación Chonta y Formación Sarayaquillo (Figura 1).

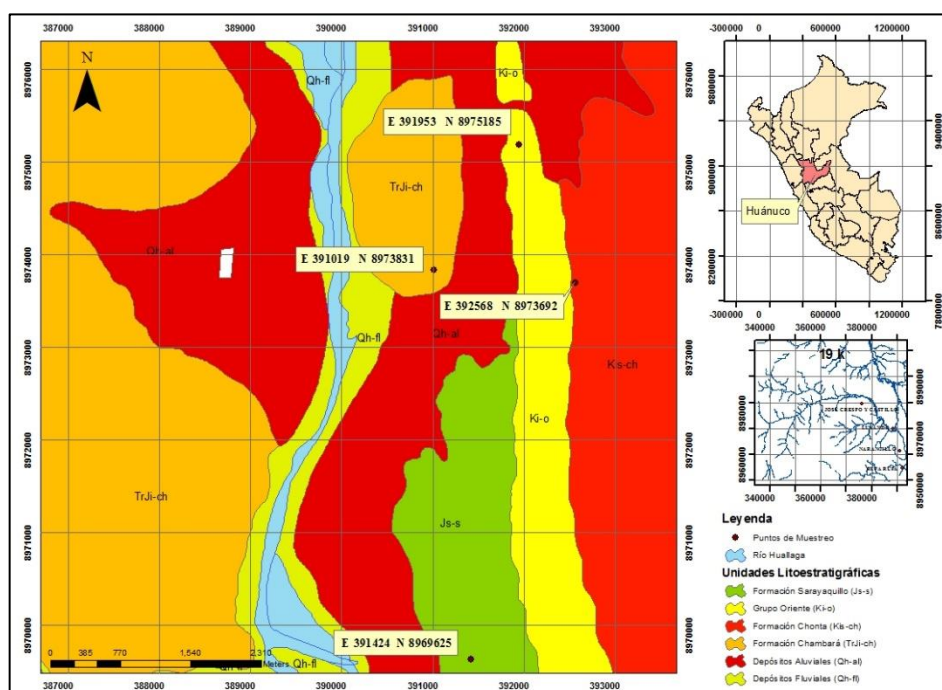


Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

#### 3.3. Aspectos generales y ecológicos

Según el mapa de clasificación climática del Perú – SENAMHI (2020), la provincia de Leoncio Prado pertenece a la región natural de Rupa Rupa o Selva Alta (entre 660 - 1 300 m s. n. m.), la cual presenta una precipitación superior a los 3 100 mm anuales, con una eficiencia térmica cálida que varía desde los 18.7°C hasta 30.3°C, y una concentración muy húmeda durante todo el año.

De acuerdo al mapa de zonas de vida del Perú, el área de estudio está definida como Bosque muy Húmedo Pre montano Tropical (bmh mt) (transicional al bosque muy húmedo tropical) (bmh-PT/T), hidrográficamente los puntos de muestreo se encuentran dentro de la cuenca del río Huallaga y la sub cuenca del río Monzón (Martínez et al., 1998).

### 3.4. Muestreo de suelos

Para la toma de las muestras fue considerada la variación del suelo según sus unidades litoestratigráficas (Martínez et al., 1998) (Tabla 1), de donde previa apertura y lectura de las calicatas, 12 muestras de suelo por unidad geológica de los primeros tres horizontes fueron separadas, identificadas y procesadas.

**Tabla 1.** Distribución de las muestras analizadas según su unidad litoestratigráfica dentro de la Eratema Mesozoica.

<b>Eratema</b>	<b>Sistema</b>	<b>Serie</b>	<b>Unidad Litoestratigráfica</b>	<b>Simbología</b>
Mesozoica	Cetáceo	Inferior	Formación Chonta	Kis-ch
			Grupo Oriente	Ki-o
	Jurásico	Superior	Formación Sarayaquillo	Js-s
	Triásico	Superior	Formación Chambará	Trji-ch

Fuente: Martínez et al. (1998).

Litológicamente, la Formación Sarayaquillo, cuyo lugar típico de afloramiento es en el río Sarayaquillo, en Contamana (Kummel, 1946); es encontrada en los alrededores de la ciudad de Tingo María como lodolitas rojas, algunas areniscas rojas en estratos medios y láminas de yeso. La Formación Chonta está formado por caliza gris cremas, en estratos medios de 40 a 50 cm, intercalada con limoarcillitas gris verdosas. La formación Chambará consiste de calizas grises gruesas, dolomías y abundante chert (Martínez et al., 1998) y por último, el Grupo Oriente presentan areniscas macizas de grano grueso a fino, de coloración blanco, amarillo y marrón intercaladas con lutitas (Zegarra y Olaechea, 1970) y limoarcillitas (Martínez et al., 1998).

Los análisis de los suelos y sus respectivos horizontes se realizaron con el objetivo de evaluar el efecto de las metodologías y sus variantes con un mayor número de muestras, considerando que, para el análisis textural en un laboratorio de análisis de suelos, no se tiene conocimiento previo de la naturaleza de las muestras de suelos que llegan, por lo que no es capaz de identificar el horizonte o tipo de suelos a la que pertenecen. Es por eso que la

evaluación general de todos los datos es relevante por permitir una mayor generalización de las conclusiones obtenidas.

### **3.5. Tipo y nivel de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada por la naturaleza del estudio, según Cordero (2019), ella trata de examinar y dar solución a problemas prácticos, el presente estudio tiene como finalidad determinar la metodología más eficiente para la determinación de la textura del suelo.

El nivel de investigación es descriptivo, comparativo y correlacional debido a que se realizaron comparaciones y correlaciones entre los métodos que se consideraron adecuados para la determinación de arena, limo y arcilla.

#### **3.5.1. Variables de estudio**

Para los análisis en función de las diversas metodologías, se realizó un diseño completamente al azar (DCA), donde las muestras de los suelos se seleccionaron según sus unidades litoestratigráficas (Kis-ch; Js-s; Trji-ch y Ki-o), de las cuales fueron utilizadas tres horizontes de cada perfil para su análisis textural con las metodologías alternativas.

##### **a) Variables independientes**

Métodos del Hidrómetro de Bouyoucos (MHB); Método del Hidrómetro de Bouyoucos con peso de la fracción arena (MHB-PA), Método de la Pipeta de Robinson (MPR) y Método de la Pipeta de Robinson con mezcla de dispersantes (MPR-MD).

##### **b) Variables dependientes**

Proporciones de arena, limo y arcilla

### **3.6. Metodología**

#### **3.6.1. Análisis químicos**

Para la caracterización química de todos los perfiles del suelo, cada uno de los horizontes registrados fueron analizados en el Laboratorio de Conservación de Suelos según los métodos descritos en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Parámetros químicos analizadas y metodologías utilizadas.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Metodología</b>
pH (relación 1:2.5)		Potenciómetro
Materia Orgánica	%	Walkley y Black
Ca <sup>2+</sup>	Cmolc/kg	Titulación
Ca <sup>2+</sup> y Mg <sup>2+</sup>	Cmolc/kg	Titulación
Na <sup>+</sup> y K <sup>+</sup>	Cmolc/kg	Fotometría de emisión
Al <sup>3+</sup>	Cmolc/kg	Titulación
CIC	Cmolc/kg	Suma de cationes (Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> + Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> +(Al+H))
CICe	Cmolc/kg	Suma de cationes (K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> +Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> +Al <sup>+3</sup> )

### 3.6.2. Método del Hidrómetro de Bouyoucos (MHB)

Para su determinación se siguió la metodología utilizada en las instalaciones del Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

### 3.6.3. Método del Hidrómetro de Bouyoucos con el peso de la fracción arena (MHB-PA)

Para su análisis se adicionó a la metodología antes mencionada la determinación del peso de la arena mediante su retención con el tamiz de 0.053 mm. La arena retenida se trasvasó a un vaso precipitado previamente tarado con una precisión de 0.0001 g y fue llevado a estufa a 100 – 105° C durante 24 horas. Transcurrido el tiempo las muestras fueron retiradas de la estufa y colocadas en el desecador para dejarlo enfriar a temperatura ambiente y posteriormente pesarlo con una precisión de 0.0001 g.

### 3.6.4. Método de la Pipeta de Robinson (MPR)

Fue determinada siguiendo la metodología descrita por Ruiz (2003) para suelos con bajos niveles de materia orgánica o sales solubles. Para ello 10 g de suelo seco al ambiente y pasado por tamiz de 0.053 mm fue pesado con aproximación de 0.01 g en un vaso de 250 mL para luego agregar 50 mL de solución de NaOH 0.1 mol L<sup>-1</sup> y 150 mL de agua destilada. Posteriormente, fue dejado en reposo por 6 horas y finalmente llevado a agitación mecánica de 50 rpm durante 16 horas.

Transcurrido el tiempo de agitación mecánica, fue realizada la separación de la fracción arena. Para ello, las muestras de suelos fueron pasadas por un tamiz de 0.053 mm, sobrepuesto sobre un embudo inserido en una probeta de 500 mL; evitando en todo momento salpicaduras de las muestras fuera de la probeta y, lavando los envases de vidrio con agua destilada para que todas las muestras de suelos pasen directamente a la probeta (principalmente las fracciones de limo y arcilla). La fracción arena retenida en el tamiz fue transferida a un vaso precipitado de 50 mL seco y limpio (previamente rotulado y pesado con una precisión de 0.0001 g). Seguidamente se eliminó el exceso de agua y se llevó secar al horno a 105-110°C por 12 horas. Finalmente, transcurrido el tiempo de secado, las muestras fueron retiradas del horno y colocadas en desecador para su enfriamiento. Posterior a ello fueron pesadas en balanza analítica con 0.0001 g de precisión.

Para la determinación de la fracción limo y arcilla, la probeta de 500 mL fue aferida con agua destilada. Posteriormente con la ayuda de una varilla de madera fue agitada la suspensión por aproximadamente 20 segundos e inmediatamente se colectó un volumen de 25 mL de la solución utilizando una pipeta calibrada. Seguidamente la muestra colectada (suspensión de limo + arcilla) fue colocada en un vaso precipitado de 50 mL, previamente tarado con aproximación de 0.0001 g y, llevado a la estufa a 100-105°C durante 48 h. La muestra se retiró pasado el tiempo de secado y se procedió a colocarlo en un desecador, se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y se pesó con aproximación de 0.0001 g.

Para la determinación de la fracción arcilla, fue determinada previamente la temperatura de la solución remanente (475 mL) y, por medio de la Ley de Stokes se calculó el tiempo necesario para la sedimentación de limo en los 5 cm superiores de la probeta (Tabla 2). Se agitó la suspensión durante 20 s con una varilla de vidrio y se dejó en reposo el tiempo estimado.

Recorrido el tiempo estimado, se introdujo cuidadosamente una pipeta calibrada de 25 mL, a una profundidad de 5 cm y se colectó la suspensión arcilla. Se transfirió a un vaso precipitado de 50 mL, previamente tarado con aproximación de 0.001 g y se llevó a la estufa a 100-105°C durante 48 h, pasado el tiempo se retiró de la estufa y se colocó en un desecador para dejarlo enfriar a temperatura ambiente y se pesó con aproximación de 0.0001 g.

**Tabla 3.** Tiempo de sedimentación de partículas con peso específico de  $2.60 \text{ g cm}^{-3}$  y diámetro menor que  $0.002 \text{ mm}$  en función de la temperatura para la colecta de la fracción arcilla a  $5 \text{ cm}$  de profundidad a partir del nivel superior de la suspensión.

Temperatura, °C	Horas	Minutos	Temperatura, °C	Horas	Minutos
15	4	23	23	3	36
16	4	16	24	3	31
17	4	10	25	3	26
18	4	4	26	3	21
19	3	58	27	3	17
20	3	52	28	3	13
21	3	46	29	3	9
22	3	41	30	3	5

Fuente: Ruiz, 2003

### 3.6.5. Método de la Pipeta de Robinson con mezcla de dispersantes (MPR-MD).

Para ello se siguió el mismo procedimiento descrito para el MPR con la única modificación de los dispersantes utilizados, los cuales fueron una solución de NaOH  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  y Hexametáfosfato de Sodio  $((\text{NaPO}_3)_6)$   $0.016 \text{ mol L}^{-1}$ .

Adicionalmente, para el cálculo de las fracciones de arena, limo y arcilla fue realizada la determinación de la humedad residual o factor  $f$  de las muestras del suelo. Para ello,  $20 \text{ g}$  de tierra fina seca al aire con aproximadamente  $0.0001 \text{ g}$  [ $M_{(R+TFSA)}$ ] fue pesado en un recipiente previamente tarado con aproximación de  $0.0001 \text{ g}$  ( $M_R$ ); seguido a ello se llevó a la estufa a  $100\text{-}105^\circ\text{C}$  durante 24 horas.

Se retiraron las muestras de la estufa y se colocaron en un desecador para dejar enfriar hasta temperatura ambiente para posteriormente pesarlo con aproximación de  $0.0001 \text{ g}$  [ $M_{(R+TFSE)}$ ].

$$f = \frac{M_{(R+TFSA)} - M_{(R+TFSE)}}{M_{(R+TFSE)} - M_R} = \frac{M_{TFSA} - M_{TFSE}}{M_{TFSE}} = \frac{M_{TFSA}}{M_{TFSE}}$$

#### Cálculos:

La proporción de arena en  $\text{kg/kg}$  fue calculada utilizando la siguiente expresión:

$$X_{A0} = M_{ASE} \frac{1}{M_{TFSA}} f$$

En que ( $M_{ASE}$ ) es la masa en gramos de la arena seca a estufa, ( $M_{TFSA}$ ) es la masa de la tierra fina seca al aire y ( $f$ ) que es el factor de humedad del suelo.

Para la sumatoria de fracciones igual a 100 % la diferencia se distribuyó de forma proporcional entre cada una de las fracciones como lo sugiere Ruiz (2005).

$$\text{Arena: } (X_{Ao} / \sum_{Ao+L+Ar}) * 100$$

$$\text{Limo: } (X_L / \sum_{Ao+L+Ar}) * 100$$

$$\text{Arcilla: } (X_{Ar} / \sum_{Ao+L+Ar}) * 100$$

En que, ( $X_{Ao}$ ) es la proporción de arena calculada, ( $X_L$ ) proporción de limo, ( $X_{Ar}$ ) proporción de arcilla (ambas fracciones calculadas por el método de Bouyoucos) y ( $\sum_{Ao+L+Ar}$ ) que es la suma de todas fracciones texturales.

### 3.6.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el Software estadístico de R-Studio en el que los resultados fueron previamente sometidas a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, posteriormente los datos no paramétricos fueron normalizados por cuantiles a variables paramétricas e inmediatamente fue realizado el análisis de variancia y en seguida se aplicó la prueba de Dunnett para identificar las diferencias estadísticas significativas en la comparación con el método estándar.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis químico

Los análisis de caracterización química (Tabla 4) muestran que los niveles de pH en H<sub>2</sub>O varían entre 4.05 y 4.76 clasificándose de fuertemente a extremadamente ácido mostrando poca variación entre los horizontes de cada suelo estudiado. Por otro lado, la MO muestra valores situados entre 0.36 y 2.96 %, contando con los valores más altos en los horizontes superficiales (horizontes Ap principalmente) de cada formación o grupo. Esto debido principalmente a la mayor presencia de residuos orgánicos y actividad microbiana en los primeros centímetros de profundidad del suelo. Considerando que la MO tiene un papel de agente floculante, Pellegrini (2019), menciona que los límites críticos en los cuales los valores de textura son confiables para la determinación textural del suelo, sin necesidad de remoción, es cuando los suelos presentan menos de 5 % de MO, es por ello que, en el presente trabajo, no fue necesario la oxidación de la MO para realizar el análisis textural con las metodologías propuestas.

Los valores de los cationes de Ca y Mg varían de 0.25 a 4.25 Cmolc kg<sup>-1</sup> y de 0 y 1.5 Cmolc kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Independientemente del total de cationes intercambiables se encuentra la predominancia del Ca<sup>2+</sup> entre los cuatro cationes, el cual está relacionado con las formaciones litoestratigráficas estudiadas de cada suelo, teniendo una mayor predominancia de este catión en la Formación de Chambará (producto de la presencia de calizas grises y dolomías) en relación con los suelos de las otras Formaciones, principalmente con la Formación Sarayaquillo, compuestas principalmente por lodolitas y areniscas rojas. Baver et al. (1972), mencionan que para obtener una suspensión de suelo efectivamente dispersa, es necesario reemplazar los cationes floculantes (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y Al<sup>3+</sup> que a menudo se encuentran saturando las arcillas), por cationes monovalentes con un radio iónico hidratado más alto. Los resultados de los análisis químicos muestran que la cantidad de cationes floculantes de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> en los suelos estudiados se encuentran en niveles bajos evitando así problemas en la dispersión por la floculación de ambos cationes, caso contrario sucede con el Al<sup>3+</sup> el cual se encuentra en niveles altos siendo la causa principal de la existencia de problemas en la dispersión por floculación.

**Tabla 4.** Resultados del análisis químico de las formaciones litoestratigráficas estudiadas.

Suelo/Formación	Horizonte	MO %	pH		$\Delta$ pH	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	Al+H	CICe	CICt	%Sat. Al
			Agua	KCl								
			1:2,5		cmolc kg <sup>-1</sup>							
Js-s	Ap	2.96	4.36	3.76	-0.60	0.75	0.25	4.21	11.4	5.214	12.4	80.22
	AB	1.82	4.43	3.86	-0.57	0.5	0	4.70	10.4	5.204	10.9	89.87
	B1	0.91	4.64	4.02	-0.62	0.5	0	3.82	8.2	4.322	8.7	87.82
Kis-ch	Ap	2.52	4.34	3.58	-0.76	0.71	0.71	5.98	13.3	7.49	14.76	79.82
	BA	1.64	4.69	3.71	-0.98	0.50	0.60	6.37	10.5	7.49	11.62	85.03
	Bw <sub>1</sub>	0.85	4.55	3.72	-0.83	0.50	0.10	6.96	10.6	7.58	11.25	91.77
Trji-ch	A	2.42	4.42	4.03	-0.39	4.25	1.5	2.06	10.6	7.808	16.35	26.23
	BA	1.40	4.38	3.86	-0.52	3.5	1.5	4.80	13.1	9.802	18.1	48.84
	BW <sub>1</sub>	0.84	4.28	3.85	-0.43	2	0.75	6.17	11.4	8.924	14.15	68.95
Ki-o	Ap	1.88	4.5	3.92	-0.58	1	0.25	7.94	13.4	9.188	14.65	86.03
	Bw <sub>1</sub>	0.75	4.6	3.96	-0.64	1	0	10.29	13.5	11.29	14.5	90.90
	Bw <sub>2</sub>	0.52	4.68	4.02	-0.66	0.5	0.25	9.90	12.6	10.648	13.35	92.70

Js-s: Formación Sarayaquillo; Kis-ch: Formación Chonta; Trji-ch: Formación Chambará; Ki-o: Grupo Oriente.

## 4.2. Análisis descriptivo

En la Tabla 5 se evidencian los resultados obtenidos para las fracciones de arena, limo y arcilla determinados con los dos métodos estudiados y sus respectivas variaciones conforme a los horizontes de cada unidad litoestratigráfica. Nótese que, para algunos horizontes, si bien es cierto que la clasificación textural llega a ser la misma, existe una variación entre la proporción de arcilla registrada según las metodologías utilizadas. Por otro lado, también se verificó clasificaciones texturales diversas en función de la metodología utilizada (horizontes AB y Bw<sub>1</sub> de la Formación Js-s; Horizonte A de la Formación Trji-ch y horizonte Ap del Grupo Oriente).

Cabe resaltar que dichas variaciones, principalmente de la fracción arcilla, están relacionadas con las metodologías utilizadas por considerar un tiempo de agitación mecánica diferente (1 hora para MHB, MHB-PA y 16 horas para MPR, MPR-MD), dispersantes químicos ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) para MHB y MBH-PA; NaOH para MPR y (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + NaOH para MPR-MD); a la estimación de las fracciones con el Hidrómetro de Bouyoucos (MHB y MHB-PA) y determinación de las fracciones por el peso de estas (MPR y MPR-PA) así como al tiempo de espera de 2 horas para una segunda lectura en el MHB y MHB-PA y más de 3 horas para la colecta de la fracción arcilla en el MPR y MPR-MD.

**Tabla 5.** Valores promedio (n = 4) de la proporción de arena, limo y arcilla determinados por las cuatro metodologías estudiadas.

Formaciones/ Grupos	Hz	Método	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
			%			
Js-s	Ap	MHB	52	19	29	Franco arcillo arenoso
		MHB-PA	49	20	31	Franco arcillo arenoso
		MPR	55	23	23	Franco arcillo arenoso
		MPR-MD	53	23	24	Franco arcillo arenoso
	AB	MHB	49	18	33	Franco arcillo arenoso
		MHB-PA	47	19	34	Franco arcillo arenoso
		MPR	52	29	19	Franco
		MPR-MD	49	29	22	Franco
	Bw <sub>1</sub>	MHB	47	14	39	Arcillo arenoso
		MHB-PA	44	15	41	Arcilla
		MPR	48	29	23	Franco
		MPR-MD	46	27	27	Franco arcillo arenoso

Kis-ch	Ap	MHB	31	26	44	Arcilla
		MHB-PA	15	32	53	Arcilla
		MPR	14	38	47	Arcilla
		MPR-MD	14	24	61	Arcilla
	BA	MHB	28	16	55	Arcilla
		MHB-PA	15	20	66	Arcilla
		MPR	10	31	59	Arcilla
		MPR-MD	10	19	71	Arcilla
	Bw <sub>1</sub>	MHB	27	11	62	Arcilla
		MHB-PA	12	13	75	Arcilla
		MPR	7	22	71	Arcilla
		MPR-MD	7	13	80	Arcilla
Trji-ch	A	MHB	34	21	46	Arcilla
		MHB-PA	19	25	56	Arcilla
		MPR	11	42	47	Arcillo limoso
		MPR-MD	12	36	52	Arcilla
	BA	MHB	27	11	62	Arcilla
		MHB-PA	13	13	74	Arcilla
		MPR	8	26	66	Arcilla
		MPR-MD	8	21	71	Arcilla
	Bw <sub>1</sub>	MHB	27	13	61	Arcilla
		MHB-PA	13	15	72	Arcilla
		MPR	9	29	62	Arcilla
		MPR-MD	9	22	69	Arcilla
Ki-o	Ap	MHB	41	21	38	Franco arcilloso
		MHB-PA	31	24	45	Arcilla
		MPR	27	34	39	Franco arcilloso
		MPR-MD	27	30	42	Arcilla
	Bw <sub>1</sub>	MHB	30	15	55	Arcilla
		MHB-PA	24	16	60	Arcilla
		MPR	17	24	59	Arcilla
		MPR-MD	19	18	64	Arcilla
	Bw <sub>2</sub>	MHB	32	10	57	Arcilla
		MHB-PA	24	12	64	Arcilla
		MPR	16	23	61	Arcilla
		MPR-MD	17	18	65	Arcilla

Js-s: Formación Sarayaquillo; Kis-ch: Formación Chonta; Trji-ch: Formación Chambará; Ki-o: Grupo Oriente; MHB: Métodos del Hidrómetro de Bouyoucos; MHB-PA: Variante del Método del Hidrómetro de Bouyoucos con peso de arena; MPR: Método de la Pipeta de Robinson; MPR-MD: Variante del Método de la Pipeta de Robinson con mezcla de dispersantes.

De los resultados obtenidos (Tabla 6), se verificó que para todos los suelos evaluados e independientemente de la metodología utilizada, la fracción arena siempre fue

mayor en los horizontes superficiales (horizontes Ap y A) con relación a los horizontes subsuperficiales (horizontes AB, B1, BA, Bw<sub>1</sub> y Bw<sub>2</sub>).

Por otro lado, para el caso de la fracción arcilla, estas incrementaron significativamente ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) cuando fueron utilizadas el MHB-PA y MPR-MD, en relación con el método de referencia (MHB) para todos los suelos, a excepción de la Formación Sarayaquillo, donde diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) fueron registradas producto de la disminución de esta fracción e incremento de las fracciones de arena y limo, tanto para el horizonte superficial Ap como en los horizontes subsuperficiales AB y B1, principalmente con el MPR y MPR-MD. Siendo el MHB-PA el que resalta por tener un incremento significativo en los horizontes subsuperficiales.

Coincidentemente, tanto los horizontes superficiales de todos los suelos como los horizontes subsuperficiales de la Formación Sarayaquillo presentan los mayores valores de MO del suelo (Tabla 4), el cual influye en la formación de pseudoarenas (Mauri, 2008), producto de la floculación de las partículas, así como la formación de pseudolimo que pueden estar generando una subestimación de la fracción arcilla, similar a lo reportado por Cunha et al. (2014).

Las variaciones en los contenidos de las fracciones texturales también fueron reportadas por Norambuena et al (2002) al comparar el MPR vs MHB, quienes concluyeron que las fracciones de arena, limo y arcilla difieren incluso en suelos que tienen contenidos bajos de MO ( $< 1.7\%$ ); contenidos de MO similares a los registrados en los suelos evaluados (0.52 – 2.96 %). Además de ello, esas variaciones también están relacionadas al tipo y concentración de dispersantes utilizados, así como a las características propias de cada suelo y las metodologías estudiadas.

La prueba de Dunnet, permitió determinar diferencias entre las metodologías alternativas con respecto al método de referencia (MHB). Considerando los cuatro suelos y para cada uno de los tres horizontes estudiados, se observó que solo el MHB-PA generó un incremento ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ) de la fracción arcilla superior al MHB. No obstante, los métodos alternativos MPR y MPR-MD, sólo mostraron mayor eficiencia en todos los horizontes de los suelos de la Formación Chambará, Chonta y Grupo Oriente, ya que en los suelos de la Formación Sarayaquillo, influyeron en una proporción inferior de la fracción arcilla con relación al MHB.

**Tabla 6.** Proporción de arena, limo y arcilla en cada horizonte de los suelos analizados considerando los cuatro métodos estudiados.

Formación Sarayaquillo (JS-s)									
Métodos	Horizonte Ap			Horizonte AB			Horizonte B1		
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla
	-----%-----								
MHB	52.15	18.74	29.12	49.48	17.88	32.64	46.94	14.02	39.04
MHB-PA	49.02 *	19.96	31.02	46.61 *	18.90	34.49 **	43.94	14.82	41.25 *
MPR	54.56	22.76	22.67 **	51.56	29.48 **	18.96 **	47.87	29.17 **	22.96 **
MPR-MD	52.87	23.32	23.81 **	48.81	28.73 **	22.46 **	46.05	27.05 **	26.91 **
Formación Chambará (Trji-ch)									
	Horizonte A			Horizonte BA			Horizonte Bw <sub>1</sub>		
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla
MHB	33.66	20.50	45.83	19.07	10.89	62.47	26.73	12.54	60.73
MHB-PA	19.07 **	25.01 *	55.92 **	12.69 **	12.96	74.35 **	13.25 **	14.84	71.91 **
MPR	11.06 **	41.71 **	47.23	7.77 **	25.85 **	66.39 **	8.96 **	28.56 **	62.48
MPR-MD	12.03 **	36.03 **	51.95 *	7.92 **	21.11 **	70.98 **	8.99 **	22.44 **	68.57 **
Formación Chonta (Kis-ch)									
	Horizonte Ap			Horizonte BA			Horizonte Bw <sub>1</sub>		
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla
MHB	30.60	25.85	43.56	28.21	16.42	55.36	26.96	10.80	62.24
MHB-PA	15.22 **	31.57 **	53.20 *	14.60 **	19.54 *	65.86 **	12.44 **	12.95	74.61 **
MPR	14.33 **	38.19 **	47.48	10.33 **	31.13 **	58.54 **	6.55 **	22.17 **	71.28 **
MPR-MD	14.29 **	24.36	61.35 **	9.75 **	18.79	71.46 **	7.15 **	12.57	80.28 **
Grupo Oriente (Ki-o)									
	Horizonte Ap			Horizonte Bw <sub>1</sub>			Horizonte Bw <sub>2</sub>		
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla
MHB	40.88	20.86	38.26	30.19	14.83	54.99	32.25	10.31	57.44
MHB-PA	30.58 **	24.50 *	44.92 **	23.72 **	16.20	60.07 **	24.23 **	11.53	64.24 **
MPR	26.90 **	34.22 **	38.88	17.15 **	24.25 **	58.60 *	15.52 **	23.09 **	61.40
MPR-MD	27.49 **	30.33 **	42.18 **	18.60 **	17.61 *	63.79 **	17.26 **	17.63 **	65.11 **

\*, \*\* Diferencias estadísticamente significativas al 5 y 1%, respectivamente, por la prueba de Dunnet en la comparación de los métodos alternativos (MHB-PA; MPR; MPR-MD) vs el método padrón (MHB).

MHB: Métodos del Hidrómetro de Bouyoucos; MHB-PA: Método del Hidrómetro de Bouyoucos con peso de arena; MPR: Método de la Pipeta de Robinson; MPR-MD: Método de la Pipeta de Robinson con mezcla de dispersantes.

Al promediar los datos obtenidos de los tres horizontes en cada suelo estudiado (Tabla 7), se observó que, para el caso del suelo de la Formación Sarayaquillo, los métodos alternativos no fueron estadísticamente superior con el MHB en la determinación de la proporción de la fracción arena.

Así también, nuevamente se registró una disminución de la fracción arcilla con un aumento de la fracción limo, principalmente, cuando estas fueron determinadas con el MPR y

MPR-MD, demostrando para este caso y este suelo una baja eficiencia de estos métodos en relación con el método de referencia MHB.

Por otro lado, tanto para los suelos de la Formación Chonta y Chambará, el MHB-PA registró incrementos significativos ( $p < 0.01$ ) de la fracción arcilla, superiores al MHB, producto de la disminución, principalmente, de partículas de pseudoarenas.

Dichos resultados son similares a los registrados por Norambuena et al. (2002), quienes mencionan que el MHB incrementa la fracción arena debido a una incompleta dispersión de las fracciones texturales. Además de ello, Beretta et al. (2014) sostienen que el error medido en la determinación de la fracción arena con el MHB aumenta cuando las muestras tienen menos contenido de arena presente en comparación con las proporciones determinadas por el MPR.

Finalmente, todos los métodos alternativos no registraron superioridad en la cuantificación de la fracción arcilla en el suelo del Grupo Oriente cuando comparados con el método de referencia. Incluso cuando fue registrado disminución ( $p < 0.01$ ) de la fracción arena con todos los métodos alternativos, influyendo principalmente con el incremento de la fracción limo ( $p < 0.05$ ;  $p < 0.01$ ).

**Tabla 7.** Proporción promedio ( $n=12$ ) de arena, limo y arcilla en los cuatro suelos con tres horizontes analizados considerando los cuatro métodos estudiados.

Métodos	Formación Sarayaquillo (Js-s)		
	Arena	Limo	Arcilla
	-----%-----		
MHB	49.52	16.88	33.60
MHB-PA	46.52	17.89	35.59
MPR	51.33	27.14 **	21.53 **
MPR-MD	49.24	26.36 **	24.39 **
	Formación Chonta (Kis-ch)		
	Arena	Limo	Arcilla
MHB	28.59	17.69	53.72
MHB-PA	14.09 **	21.35	64.56 **
MPR	10.40 **	30.49 **	59.10
MPR-MD	10.40 **	18.57	71.03 **
	Formación Chambará (Trji-ch)		
	Arena	Limo	Arcilla
MHB	29.01	14.64	56.35
MHB-PA	15.00 **	17.60	67.39 **
MPR	9.26 **	32.04 **	58.70
MPR-MD	9.64 **	26.53 **	63.83

<b>Grupo Oriente (Ki-o)</b>			
	<b>Arena</b>	<b>Limo</b>	<b>Arcilla</b>
MHB	34.44	15.33	50.23
MHB-PA	26.18 **	17.41	56.41
MPR	19.85 **	27.18 **	52.96
MPR-MD	21.12 **	21.86 *	57.03

\*, \*\* Diferencias estadísticamente significativas al 5 y 1%, respectivamente, por la prueba de Dunnet en la comparación de los métodos alternativos (MHB-PA; MPR; MPR-MD) vs el método padrón (MHB).

MHB: Métodos del Hidrómetro de Bouyoucos; MHB-PA: Método del Hidrómetro de Bouyoucos con peso de arena; MPR: Método de la Pipeta de Robinson; MPR-MD: Método de la Pipeta de Robinson con mezcla de dispersantes.

Con la finalidad de identificar el método más eficiente en el análisis textural del suelo, se realizó un análisis conjunto de las proporciones de arena, limo y arcilla de todos los suelos y sus respectivos horizontes (Tabla 8). Ello debido principalmente a que, para el análisis textural en un laboratorio de análisis de suelos, no se tiene conocimiento previo de la naturaleza de las muestras de suelos que llegan, por lo que no es capaz de identificar el horizonte o tipo de suelos a la que pertenecen, inclusive, muchas muestras son tomadas considerando parte del horizonte A y B, principalmente.

De los resultados obtenidos se observa que, menores proporciones de la fracción arena fueron registrados con todos los métodos alternativos ( $p < 0.01$ ), sin embargo, el aumento de la fracción arcilla solo fue registrado con el MHB-PA ( $p < 0.01$ ) y MPR-MD ( $p < 0.05$ ), mostrándose superiores al MHB (Tabla 8).

Estos resultados son explicables al tener en cuenta la modificación realizada en el MHB-PA en cuanto al peso de la fracción arena más el dispersante utilizado ( $(\text{NaPO}_3)_6$ ), el cual permitió determinar, por medio del peso, la cuantificación adecuada de por lo menos la fracción arena, influyendo en el incremento de la fracción arcilla. En cuanto que, con el método de referencia (MHB) estas determinaciones son realizadas por estimación de todas las fracciones. Por otro lado, realizando la mezcla de los dispersantes de NaOH y  $(\text{NaPO}_3)_6$  utilizado con el MPR-MD, se evidencia una adecuada dispersión del suelo con el aumento de la fracción arcilla confirmando lo mencionado por Camargo et al. (2009); Silva et al. (2014) y Bezerra et al. (2021), quienes concluyeron que la mezcla de ambos dispersantes produce una mejor dispersión de las muestras en relación con aquellas en las que sólo es utilizado un único dispersante.

Martendal (2004), menciona que no solo el  $\text{Na}^+$  es el que influye en la dispersión de los coloides del suelo sino también los “contra iones” que presentan, tales como, el hidróxido, hexametáfosfato y el carbonato, que actúan a favor de la neutralización de las

especies ácidas presentes en el suelo ( $H^+$ ,  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$ , etc.) y al aumento de cargas negativas en la superficie de las partículas coloidales, considerando que los suelos evaluados son electronegativos (Tabla 4).

Según Akiyoshi y Dalvan (2009) el mayor problema de dispersión está relacionado con la fracción de arcilla, debido a que la no dispersión de estas partículas puede resultar en agregados que subestiman su contenido, sobreestimando la fracción limo. Donagemma et al. (2008); Mauri (2011); Silva et al. (2014) y Bezerra et al. (2021) consideran que el método más efectivo es aquel que permite cuantificar una mayor proporción de la fracción arcilla, influyendo directamente en una menor proporción de pseudocomponentes o pseudolimos. Tomando, por tanto, como referencia a la proporción de arcilla podemos observar que los métodos MHB-PA y MPR-MD fueron significativamente superiores al método de referencia. Por lo tanto, serían considerados como los métodos adecuados para el análisis textural de los suelos de nuestra región.

A todo ello cabe resaltar que el MHB difiere de las metodologías más precisas, sin embargo, es considerada el método estándar utilizado en los laboratorios del país, por lo que su uso rutinario debe ser cuidadosamente estudiada para la obtención de resultados más precisos recomendándose principalmente para suelos más arenosos o con menor contenido de arcilla o según su análisis químico previo. Para Beretta (2014) la precisión de los métodos analíticos con el MHB es inaceptable para objetivos taxonómicos por la imprecisión de los resultados. Sin embargo, la modificación de este método con el peso de la fracción arena resultó en una mejor cuantificación de la fracción arcilla de los suelos estudiados, similares al método de la Pipeta de Robinson normalmente utilizados en algunos estados de Brasil con la mezcla de  $NaOH + (NaPO_3)_6$  (MPR-MD).

**Tabla 8.** Proporción promedio (n=48) de arena, limo y arcilla de todos los suelos y sus horizontes analizados considerando los cuatro métodos estudiados.

<b>Método</b>	<b>Arena</b>	<b>Limo</b>	<b>Arcilla</b>
	-----%-----		
MHB	35.39	16.14	48.47
MHB-PA	25.45**	18.56	55.99**
MPR	22.71**	29.21**	48.07
MPR-MD	22.60**	23.33**	54.07*

\*, \*\* Diferencias estadísticamente significativas al 5 y 1%, respectivamente, por la prueba de Dunnett en la comparación de los métodos alternativos (MHB-PA; MPR; MPR-MD) vs el método padrón (MHB).

MHB: Métodos del Hidrómetro de Bouyoucos; MHB-PA: Método del Hidrómetro de Bouyoucos con peso de arena; MPR: Método de la Pipeta de Robinson; MPR-MD: Método de la Pipeta de Robinson con mezcla de dispersantes.

## V. CONCLUSIONES

- El método de referencia MHB, resultó ser menos eficiente en la cuantificación de la fracción arcilla de los suelos estudiados.
- El método alternativo MHB-PA, resultó ser más efectivo, comprobado por una mayor proporción de la fracción arcilla registrada para todos los suelos.
- El método MPR, siguió un comportamiento similar al método de referencia e inferior a los otros métodos alternativos.
- La mezcla de dispersantes NaOH + ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) utilizados con el MPR-MD, resultó superior que el método de referencia MHB y superado sólo por el método MHB-PA, demostrando de esta manera que ambos métodos podrían ser considerados para ser utilizados en condiciones de laboratorio con otras clases de suelos encontradas normalmente en nuestra región.
- En escala de eficiencia, tomando en cuenta la determinación de una mayor proporción de arcilla, se tendría lo siguiente: MHB-PA > MPR-MD > MHB = MPR.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

- Continuar con los estudios de dispersantes, métodos, tiempo de agitación mecánica, y otras variables con los diferentes métodos utilizados para diversos suelos de nuestra región y/o país con el objetivo de estandarizar el método más adecuado en función al tipo de suelo para determinadas regiones.
- Se recomienda el uso del método del Hidrómetro de Bouyoucos solo para estudios referenciales y no para aquellas investigaciones en la que se requiera conocer la determinación exacta de las cantidades granulométricas del suelo.

## VII. REFERENCIAS

- Aparecida, T., Silva, L. F. S., & Marinho, M. De A. (2012). Performance of a reciprocal shaker in mechanical dispersion of soil samples for particle-size analysis. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 36(4), 1131–1148. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/YfJptyNMSzgmPfSDq3fNgpd/?lang=en>
- Akiyoshi, L. & E Dalvan, J. 2009. Teor de argila de solos sob diferentes tempos de agitação horizontal. Tempo de contato do dispersante químico e dispersão mecânica. Santa Maria, Brasil. p.605.616. [http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao\\_Resumos/XVRBMCSA\\_16.pdf](http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Resumos/XVRBMCSA_16.pdf)
- Badillo, J. & Roriguez R. (2005). *Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos.* 627 p. <https://veteranos1927.files.wordpress.com/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>
- Baver, L.D.; Gardner, W.H. & Gardner, W.R. *Soil physics.* New York, John Wiley & Sons, 1972. 498 p.
- Bezerra, M.A; Silva M.,Pereira M.G., Viana J.H.M., Donagemma G.K. & Wadt P.G.S. (2021). Método de referência para determinação das frações de areia, silte e argila em solos do Estado do Acre. *Universidad Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)* 12 p. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4088861?show=full>
- Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., & García, A. (2014). Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. *Ciencia e Investigacion Agraria*, 41(2), 263–271. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ciagr/v41n2/art13.pdf>
- Beverwijk, A. (1967). Particle size analysis of soils by means of the hydrometer method. *Sedimentary Geology*, 1(1), 403–406. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003707386790070X>
- Borja, K., Mercado, J., & Combatt, E. (2015). Methods of mechanical dispersion for determining granulometric fractions in soils using four dispersant solutions. *Agronomia Colombiana*, 33(2), 253–260. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v33n2/v33n2a16.pdf>

- Borja Martínez, K., Mercado Lázaro, J., & Combatt Caballero, E. M. (2014). Dispersantes químicos y cuantificación de fracciones texturales por los métodos Bouyoucos y pipeta. *Acta Agronomica*, 64(4), 308–314. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.45722>  
<http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v64n4/v64n4a04.pdf>
- Buol, S., F. Hole. & R. Mc Cracken, 1973. *Soil genesis and classification*. 306 p. The Iowa University Press, Ames, Iowa, USA. 360 p.
- Camargo, O. A.; Moniz, A C; Jorge, J. A. & Valadares, J. M. A S. *Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônômico de Campinas*. Campinas, Instituto Agrônômico; 2009.77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada). [http://lab.iac.sp.gov.br/Publicacao/BT\\_106\\_ANALISES%20FISICAS\\_DE\\_SOLO\(2009\).pdf](http://lab.iac.sp.gov.br/Publicacao/BT_106_ANALISES%20FISICAS_DE_SOLO(2009).pdf)
- Combatt, E. M., Palencia-L, M., & Borja-M, K. (2018). Particle size distribution by Bouyoucos in slightly alkaline soils from department of Cordoba, Colombia. *Acta Agronomica*, 67(1), 126–132. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169959093018>
- Comini, B. C. & Zegarra J. L. (2020). Determinación experimental de la velocidad de caída de sedimentos no cohesivos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 236–247. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052020000200236](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052020000200236)
- Corá, J. E., Fernandes, C., Beraldo, J. M. G., & Marcelo, A. V. (2009). Adição De Areia para Dispersão de Solos na Análise Granulométrica. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 33(2),255–62.<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/GyT5XhXrk4tPPjHxmmBn6GF/?lang=pt>
- Cordero, Z. & R. V. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista educación*, 33(1), 155-165.
- Cunha, G. O., Almeida, J. A., Barboza, B., Friederichs, A., Rech, C., Heberle, D. A., & Grohskopf, M. A. (2014a). Comparação de métodos de determinação de argila em diferentes solos brasileiros. *Pesquisa Agropecuaria Gaúcha*, 20(1/2), 126–136. <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/101>
- Cunha, J. C., Freire, M. B. G. S., Ruiz, H. A., Fernades, R. B. A. & Alvarez, V. H. (2014b). Comparação de dispersantes químicos na análise granulométrica de solos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(8), 783–789. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wSNQvkbd6GZCgyYYx3JJdmR/?lang=pt>

- Da Silva, Á. P., Tormena, C. A., Fidalski, J. & Imhoff, S. (2008). Funções de Pedotransferência para as Curvas de Retenção de Água e de Resistência Do Solo À Penetração. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 32(1), 1–10.
- Day, P. (1965). *Particle Fractionation and Particle-Size Analysis*. c15 (ed.); American S). 1986.
- Delgado, J.; Gutierrez, C.; Salazar F.; Guevara M.; Mercado R. & Pereira J. (2013). Aplicación de conceptos clásicos de la Física en la práctica ingenieril. La ley de Stokes como herramienta conceptual en el análisis de procesos de deshidratación de petróleo. p 62 <https://www.elsevier.es/es-revista-educacion-quimica-78-articulo-aplicacion-conceptos-clasicos-fisica-practica-S0187893X13731963>
- De Sousa Neto, E. L., Figueiredo, L. H. A., & Beutler, A. N. (2009). Dispersão da fração argila de um latossolo sob diferentes sistemas de uso e dispersantes. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 33(3), 723–728. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/pZwnNzyMFPRZV5p7sgFCNZs/?lang=pt>
- Donagemma, G. K.; Ruiz, H.A.; Alvarez V. V. H.; Ker, J. C. & Fontes, M.P.F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1785-1791, 2008. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/XyhP8Bwy7ZmYYKY7xTrJGWb/?lang=pt&format=pdf>
- Dos Santos, L. N. S., Passos, R. R., Da Silva, L. V. M., Oliveira, P. P., García, G. O., & Cecilio, R. A. V. (2010). Avaliação de alguns atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, 26(6), 940–947. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-911710>
- EMBRAPA. (2017). *Análise granulométrica (Parte I - Análises Físicas)*. Manual de Métodos de Análise de Solo (Portuguese), 573.
- FAO (2000) *Manual de práticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Boletín técnico n° 8. 234 p. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/manual-pract-integradas.pdf>
- Filgueira, R. R., Pachepsky, Y. A., Fournier, L. L., García, M. G., & Sarli, G. O. (2006). Sedimentación de partículas con distribución de tamaño fractal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), 277–282.

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/MGLdNd7rPmR6SyPWDNjbgdG/?format=pdf&lang=es>

- García, J., Medina, H., & Núñez, D. (2008). El Método del Hidrómetro: Influencia de los tiempos de lecturas en el cálculo de la distribución del tamaño de partículas en suelos de la Habana. 29(2), 21–26. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362008000200004&script=sci\\_abstract](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362008000200004&script=sci_abstract)
- Gee, W.G., & D. Or. 2002. Particle-Size Analysis.p. 255–293. In: Dane, J., and G.C. Topp (eds.). *Methods of Soil Analysis*. Book Series: 5. Part 4. Soil Science Society of America.USA.
- GLOBE. (1997). Programa Globe-Guía del Maestro (El Program, p. 109).
- IAC, I.C. (2021) Métodos de Análise de Solos do Instituto Agronômico de Campinas: Boletim Técnico Análise Granulométrica Campinas. Instituto Agronômico, p. 33
- Keller, J. M. & G.W., G. (2006). Comparison of American Society of Testing Materials and Soil Science Society of America Hydrometer Methods for Particle-Size Analysis (Soil Scien).<https://www.proquest.com/openview/a51bed52d6114f4267e8a991ac0609f7/1?pq-origsite=gscholar&cbl=40901>
- Kettler, T. A., Doran, J. W. & Gilbert, T. L. (2001). Simplified Method for Soil Particle-Size Determination to Accompany Soil-Quality Analyses. *Soil Science Society of America Journal*, 65(3), 849–852. [https://www.researchgate.net/publication/43277537\\_Kettler\\_TA\\_Doran\\_JW\\_Gilbert\\_TL\\_Simplified\\_method\\_for\\_soil\\_particle-size\\_determination\\_to\\_accompany\\_soil-quality\\_analyses\\_Soil\\_Sci\\_Soc\\_Am\\_J\\_65\\_849-852](https://www.researchgate.net/publication/43277537_Kettler_TA_Doran_JW_Gilbert_TL_Simplified_method_for_soil_particle-size_determination_to_accompany_soil-quality_analyses_Soil_Sci_Soc_Am_J_65_849-852)
- León Arteta, R. (2001). Comparacion de Metodos de Analisis Mecanico de Suelos. *Terra*, 19(3), 219–225. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319303.pdf>
- Lopes, A. S., & Guimarães, L. R. (2000). Uso Eficiente de Fertilizantes e Corretivos Agrícolas. *ANDA Associação Nacional Para Difusão de Adubos São Paulo*, 4, 1–70. <https://docplayer.com.br/247288-Uso-eficiente-de-fertilizantes-e-corretivos-agricolas-aspectos-agronicos-anda-associacao-nacional-para-difusao-de-adubos.html>
- Mauri, J., Ruiz, H. A., Fernandes, B. A., Ker, J. C., & Rezende, R. M. (2011). Dispersantes Químicos Na Análise Granulométrica de Latossolos. 1, 1277–1284.

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/dMKfZsDqHqfrrcxMFbFyFdm/?lang=pt>

- Martendal, E. (2004). Estudio comparativo entre hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio atuando como dispersantes químicos de argila (Tesis para optar el grado de Ingeniero). Universidade federal de santa catarina . p. 61
- Martínez W., Valdivia, E. J. & Cuyubamba, V. (1998). Geología de los cuadrángulos de Aucayacu, Río Santa y Tingo Maria . Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Lima (Perú). Boletín Técnico n° 112. 212 p. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/INGEMMET\\_0d29c034de988284bedbde e3f9678e51](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/INGEMMET_0d29c034de988284bedbde e3f9678e51)
- Mayorga, LA. (2022). Manual de Metodología de la Investigación. Cusco: Yachay
- Miller, W.P., D.E. Radcliffe, & D.M. (1988). An historical perspective on the theory and practice of soil mechanical analysis. Published in Journal Agronomy Education 17:24-28. <https://www.crops.org/files/publications/jnr/se/pdfs/jnr017/017-01-0024.pdf>
- Norambuena V., Pablo, Luzio L., Walter, & Vera E, Wilfredo. (2002). Comparación entre los Métodos de la Pipeta y Bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la zona altiplánica de la Provincia de Parinacota, Chile. Agricultura Técnica, 62(1), 150-157. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072002000100015](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072002000100015)
- Oliveira, G. C., Dias Junior, M. S., Vitorino, A. C. T., Ferreira, M. M., Sa, M. A. C., & Lima, J. M. (2002). Agitador Horizontal de Movimento Helicoidal na Dispersão Mecânica de Amostras de Três Latossolos do Sul e Campos das Vertentes de Minas Gerais. Ciência e Agrotecnologia, 26(5), 881–887.
- Pellegrini, A. (2019). Apunte de edafología. Curso Edafología Departamento de Ambiente y Recursos Naturales Facultad de Ciencias Agraria y Forestales U.N.L.P., 21.
- Prevedello, C.L. (1996) Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, Salesward-Discovery, 446 p.
- Ruiz, H.A. (2003). Física do solo. Universidad Federal de Vicosa. p. 64
- Ruiz, H. A. (2005). Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila). Revista Brasileira de Ciência Do Solo, 29(2), 297–300. <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cYzwCbPfXQFj4vGDzjFN7DF/abstract/?lang=pt>

- Rodrigues, W.S.; Lacerda, N.B. & Oliveira, T.S. (2009). Análise granulométrica em solos de diferentes classes por agitação horizontal. *Rev. Ciência Agronômica*, Fortaleza, v.40, n.4, p. 474-485. <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/886>
- Schindwein, J. A., Miotti, A. A., Fioreli-Perira, E. C., Pequeno, P. L. De L., Bortolon, L., & Marcolan, A. L. (2011). Adjustment of the expedite method for clay content determination in Rondônia soils. *Ciência Rural*, 41(12), 2096–2100.
- Silva, E. M. Da, Lima, J. E. F. W., Rodrigues, L. N., & Azevedo, J. A. de. (2004). Comparação de modelos matemáticos para o traçado de curvas granulométricas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(4), 363–370.
- Silva, L. M.; Martins, R. A; Wadt, P. G. S.; Viana, H. M & Donagema, G. K (2014) Dispersantes químicos e tipos de agitação mecânica na determinação das frações granulométricas de solos do Estado do Acre. In: II Reunião de Ciência do Solo da Amazônia Ocidental, Porto Velho; 2014. p. 43-47. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/115947/1/25397.pdf>
- Stefanoski, D. C., Santos, G. G., Marchão, R. L., Petter, F. A., & Pacheco, L. P. (2013). Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(12), 1301–1309.
- Suarez, S., & Gómez, A. (1976). Eficiencia de dispersantes químicos en el análisis de textura de suelos derivados de cenizas volcánicas. 11.
- Tavares-Filho, J. & De Magalhães, F. S. (2008). Dispersão de Amostras de Latossolo Vermelho Eutroférico Influenciadas por Pré-Tratamento para Oxidação da Matéria Orgânica e pelo tipo de agitação mecânica. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 32(4), 1429–1435.
- Tomasella, J., Hodtnett, M. G. & Rossato, L. (2000). Pedotransfer Functions for the Estimation of Soil Water Retention in Brazilian Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64(1), 327–338.
- U.S.D.A. (2017). National Soil Survey Manual. 639 p. <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre50.pdf>
- Valencia, C.A. & Huertas L.G. (2018) Análisis de granulometría por hidrómetro y un método automatizado para suelos bentónicos. Universidad Católica de Colombia. 143 p.

## **ANEXOS**



## UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Laboratorio de Conservación de Suelos

### ANÁLISIS DE SUELOS – CARACTERIZACIÓN



**Procedencia: FORMACIONES LITOESTRATIGRÁFICAS PERTENECIENTES A LA PROVINCIA LEONCIO PRADO**

**Solicitante: PRISCILA YUSZARA BARRAZA MACURI**

**Fecha: 24/11/2022**

Muestra		Análisis mecánico (Bouyoucos)				pH Agua	pH KCl	M.O %	CATIONES CAMBIABLES cmolc kg <sup>-1</sup>							
		Arena %	Limo %	Arcilla %	TEXTURA				CIC	Ca	Mg	Al + H	% SB	% AC	CICe	
Coordenadas	Suelo															
1	E 391953 N 8975185	Js-s Ap	52	19	29	Franco arcillo arenoso	4.36	3.76	2.96	12.4	0.75	0.25	11.4	8.07	91.93	5.214
		Js-s AB	49	18	33	Franco arcillo arenoso	4.43	3.86	1.82	10.9	0.5	0	10.4	4.59	95.41	5.204
		Js-s BW1	47	14	39	Arcillo arenoso	4.64	4.02	0.91	8.7	0.5	0	8.2	5.75	94.25	4.322
2	E 391019 N 8973831	Kis-ch Ap	31	26	44	Arcilla	4.34	3.58	2.52	14.76	0.71	0.71	13.3	9.62	90.11	7.49
		Kis-ch BA	28	16	55	Arcilla	4.69	3.71	1.64	11.62	0.50	0.60	10.5	9.46	90.36	7.49
		Kis-ch Bw1	27	11	62	Arcilla	4.55	3.72	0.85	11.25	0.50	0.10	10.6	5.33	94.22	7.58
3	E 392568 N 8973692	Trji-ch A	34	21	46	Arcilla	4.42	4.03	2.42	16.35	4.25	1.5	10.6	35.17	64.83	7.808
		Trji-ch BA	27	11	62	Arcilla	4.38	3.86	1.40	18.1	3.5	1.5	13.1	27.62	72.38	9.802
		Trji-ch BW1	27	13	61	Arcilla	4.28	3.85	0.84	14.15	2	0.75	11.4	19.43	80.57	8.924
4	E 391424 N 8969625	Ki-o Ap	41	21	38	Franco arcilloso	4.5	3.92	1.88	14.65	1	0.25	13.4	8.53	91.47	9.188
		Ki-o BW1	30	15	55	Arcilla	4.6	3.96	0.75	14.5	1	0	13.5	6.89	93.10	11.29
		Ki-o BW	32	10	57	Arcilla	4.68	4.02	0.52	13.35	0.5	0.25	12.6	5.62	94.38	10.648

**Tabla 9.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Ap de a la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo al 5%				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-4.803333	-9.320516	-0.2861502	0.0368 *
MPR-MHB	2.423333	-2.093850	6.9405164	0.3755
MPR-MD-MHB	0.320000	-4.197183	4.8371831	0.9949
Significativo al 1%				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-4.803333	-10.819700	1.213033	0.0369 **
MPR-MHB	2.423333	-3.593033	8.439700	0.3754
MPR-MD-MHB	0.320000	-5.696366	6.336366	0.9949

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 10.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Ap de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo al 5%				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.292500	-8.122161	16.70716	0.6848
MPR-MHB	7.975000	-4.439661	20.38966	0.2489
MPR-MD-MHB	8.963333	-3.451328	21.37799	0.1780
Significativo al 1%				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.292500	-12.242396	20.82740	0.6848
MPR-MHB	7.975000	- 8.559896	24.50990	0.2491
MPR-MD-MHB	8.963333	- 7.571562	25.49823	0.1783

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 11.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Ap de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	0.950000	-0.9718679	2.8718679	0.4364
MPR-MHB	-3.414167	-5.3360346 -	-1.4922988	0.0011 *
MPR-MD-MHB	-2.885000	-4.8068679	-0.9631321	0.0044 *
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	0.950000	-1.609706	3.5097062	0.4364
MPR-MHB	-3.414167	-5.973873	-0.8544605	0.0011 **
MPR-MD-MHB	-2.885000	-5.444706	-0.3252938	0.0045 **

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 12.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el Horizonte AB de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-3.5341667	-6.7234197	-0.3449136	0.0297 *
MPR-MHB	3.0550000	-0.1342531	-0.3449136	0.0297 *
MPR-MD-MHB	-0.8666667	-4.0559197	2.3225864	0.8088
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-3.5341667 -	7.781884	0.7135502	0.0295 **
MPR-MHB	3.0550000 -	1.192717	7.3027169	0.0610
MPR-MD-MHB	-0.8666667 -	5.114384	3.3810502	0.8090

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 13.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte AB de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	2.234167	-1.551929	6.020262	0.3067
MPR-MHB	22.379167	18.593071	26.165262	2.5e-14 ***
MPR-MD-MHB	21.210833	17.424738	24.996929	1.3e-12 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	2.234167	-2.808476	7.276809	0.3067
MPR-MHB	22.379167	17.336524	27.421809	3.2e-15 ***
MPR-MD-MHB	21.210833	16.168191	26.253476	1.6e-09 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 14.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte AB de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	0.887500	0.2272652	1.547735	0.0093 **
MPR-MHB	-7.420000	-8.0802348	-6.759765	<2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-5.519167	-6.1794015	-4.858932	<2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	0.887500	0.008143444	1.766857	0.0092 **
MPR-MHB	-7.420000	-8.299356559	-6.540643	<2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-5.519167	-6.398523221	-4.639810	<2e-16 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 15.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte  $Bw_1$  de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-2.371667	-5.485531	0.7421973	0.1500
MPR-MHB	1.326667	-1.787197	4.4405307	0.5459
MPR-MD-MHB	-0.495000	-3.608864	2.6188640	0.9497
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-2.371667	-6.518974	1.775641	0.1500
MPR-MHB	1.326667	2.820641	5.473974	0.5458
MPR-MD-MHB	-0.495000	-4.642307	3.652307	0.9497

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 16.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte  $Bw_1$  de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	2.54250	-4.212009	9.297009	0.6312
MPR-MHB	27.54750	20.792991	34.302009	4.4e-09 ***
MPR-MD-MHB	24.31042	17.555908	31.064926	6.2e-07 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	2.54250	-6.453726	11.53873	0.6312
MPR-MHB	27.54750	18.551274	36.54373	6.3e-09 ***
MPR-MD-MHB	24.31042	15.314190	33.30664	3.9e-07 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 17.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Bw<sub>1</sub> de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	1.069167	0.1375615	2.000772	0.0244 *
MPR-MHB	-8.623333	-9.5549385	-7.691728	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-6.479167	-7.4107718	-5.547562	8.9e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	1.069167	-0.1716239	2.309957	0.0243 *
MPR-MHB	-8.623333	-9.8641239	-7.382543	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-6.479167	-7.7199572	-5.238376	1.4e-14 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 18.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Ap de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-4.510833	-7.271924	-1.749742	0.0024 **
MPR-MHB	-7.760833	-10.521924	-4.999742	3.5e-05 ***
MPR-MD-MHB	-7.065833	-9.826924	-4.304742	3.3e-05 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-4.510833	-8.188288	-0.8333789	0.00246 **
MPR-MHB	-7.760833	-11.438288	-4.0833789	3e-05 ***
MPR-MD-MHB	-7.065833	-10.743288	-3.3883789	0.00015 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 19.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Ap de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.38750	0.1705106	8.604489	0.0413 *
MPR-MHB	19.06917	14.8521773	23.286156	8.0e-10 ***
MPR-MD-MHB	14.30000	10.0830106	18.516989	7.9e-07 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.38750	-1.229043	10.00404	0.0411 *
MPR-MHB	19.06917	13.452624	24.68571	3.0e-08 ***
MPR-MD-MHB	14.30000	8.683457	19.91654	3.1e-06 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 20.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Ap de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.4091667	3.0606262	5.757707	6.1e-07 ***
MPR-MHB	0.6641667	-0.6843738	2.012707	0.43914
MPR-MD-MHB	2.8441667	1.4956262	4.192707	0.00024 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.4091667	2.613066	6.205267	4.8e-07 ***
MPR-MHB	0.6641667	-1.131934	2.460267	0.4390 7
MPR-MD-MHB	2.8441667	1.048066	4.640267	0.0002 5 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 21.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte  $Bw_1$  de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-5.711667	-7.058333	-4.365001	4.7e-08 ***
MPR-MHB	-11.191667	-12.538333	-9.845001	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-8.827500	-10.174166	-7.480834	< 2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-5.711667	-7.50527	-3.918063	2.2e-08 ***
MPR-MHB	-11.191667	-12.98527	-9.398063	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-8.827500	-10.62110	-7.033896	2.5e-14 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 22.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte  $Bw_1$  de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	2.330833	-1.9096784	6.571345	0.3576
MPR-MHB	16.930833	12.6903215	21.171345	1.5e-08 ***
MPR-MD-MHB	5.110833	0.8703216	9.351345	0.0183 *
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	2.330833	-3.3170389	7.978706	0.3577
MPR-MHB	16.930833	11.2829611	22.578706	2.6e-08 ***
MPR-MD-MHB	5.110833	-0.5370389	10.758706	0.0185 *

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 23.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Bw<sub>1</sub> de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.652917	1.8747430	7.431090	0.0019 **
MPR-MHB	3.351250	0.5730764	6.129424	0.0187 *
MPR-MD-MHB	11.187083	8.4089097	13.965257	2.8e-08 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.652917	0.9527101	8.353123	0.0018 **
MPR-MHB	3.351250	-0.3489566	7.051457	0.0187 *
MPR-MD-MHB	11.187083	7.4868768	14.887290	8.3e-08 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 24.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Bw<sub>2</sub> de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-6.64250	-8.497513	-4.787487	2.0e-07 ***
MPR-MHB	-13.76333	-15.618346	-11.908321	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-11.85000	-13.705013	-9.994987	1.3e-14 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-6.64250	-9.113163	-4.171837	1.3e-07 ***
MPR-MHB	-13.76333	-16.233996	-11.292671	2.2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-11.85000	-14.320663	-9.379337	1.4e-15 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 25.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Bw<sub>2</sub> de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	2.615833	-5.399764	10.63143	0.7184
MPR-MHB	24.366667	16.351069	32.38226	2.5e-05 ***
MPR-MD-MHB	14.150833	6.135236	22.16643	0.0014 **
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	2.615833	-8.060017	13.29168	0.7184
MPR-MHB	24.366667	13.690816	35.04252	9.1e-06 ***
MPR-MD-MHB	14.150833	3.474983	24.82668	0.0013 **

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 26.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Bw<sub>2</sub> de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	10.089583	6.1162614	14.062905	2.8e-05 ***
MPR-MHB	3.550833	-0.4224886	7.524155	0.0826
MPR-MD-MHB	9.644583	5.6712614	13.617905	5.6e-05 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	10.089583	4.797577	15.38159	3.3e-05 ***
MPR-MHB	3.550833	-1.741173	8.84284	0.0826
MPR-MD-MHB	9.644583	4.352577	14.93659	6.0e-05 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 27.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Ap de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-13.31000	-15.53437	-11.08563	2.0e-10 ***
MPR-MHB	-14.58833	-16.81270	-12.36397	5.6e-13 ***
MPR-MD-MHB	-14.55583	-16.78020	-12.33147	2.3e-15 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-13.31000	-16.27260	-10.34740	5.6e-11 ***
MPR-MHB	-14.58833	-17.55093	-11.62573	1.3e-14 ***
MPR-MD-MHB	-14.55583	-17.51843	-11.59323	8.2e-15 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 28.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Ap de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	9.735833	5.660235	13.811432	0.0001 ***
MPR-MHB	13.920000	9.844401	17.995599	5.7e-06 ***
MPR-MD-MHB	-2.174167	-6.249765	1.901432	0.3797
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	9.735833	4.307606	15.16406	5.0e-05 ***
MPR-MHB	13.920000	8.491773	19.34823	3.1e-06 ***
MPR-MD-MHB	-2.174167	-7.602394	3.25406	0.3796

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 29.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Ap de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	5.263750	0.824336	9.703164	0.0206 *
MPR-MHB	2.586667	-1.852747	7.026081	0.3157
MPR-MD-MHB	15.218333	10.778919	19.657747	8e-08 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	5.263750	-0.649037	11.176537	0.0203 *
MPR-MHB	2.586667	-3.326120	8.499454	0.3157
MPR-MD-MHB	15.218333	9.305546	21.131120	5.7e-07 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 30.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte BA de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-12.69083	-14.88956	-10.49211	1.5e-11 ***
MPR-MHB	-18.82917	-21.02789	-16.63044	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-19.84333	-22.04206	-17.64461	< 2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-12.69083	-15.61928	-9.762385	1.2e-13 ***
MPR-MHB	-18.82917	-21.75761	-15.900719	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-19.84333	-22.77178	-16.914885	< 2e-16 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 31.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte BA de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	6.115417	0.06373637	12.16710	0.0475 *
MPR-MHB	26.418333	20.36665304	32.47001	2.5e-08 ***
MPR-MD-MHB	5.386250	-0.66543030	11.43793	0.0840
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	6.115417	-1.944723	14.17556	0.0476 *
MPR-MHB	26.418333	18.358194	34.47847	5.9e-11 ***
MPR-MD-MHB	5.386250	-2.673890.	13.44639	0.0839

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 32.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte BA de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	14.091667	12.129566	16.053768	<2e-16 ***
MPR-MHB	3.295833	1.333732	5.257934	0.0020 **
MPR-MD-MHB	18.016667	16.054566	19.978768	<2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	14.091667	11.4783745	16.704959	5.5e-14 ***
MPR-MHB	3.295833	0.6825412	5.909125	0.0021 **
MPR-MD-MHB	18.016667	15.4033745	20.629959	< 2e-16 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 33.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte  $Bw_1$  de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-14.37417	-15.46944	13.27889	- <2e-16 ***
MPR-MHB	-24.20583	-25.30111	-23.11056	<2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-23.27000	-24.36527	-22.17473	<2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-14.37417	-15.83295 <	-12.91539	2e-16 ***
MPR-MHB	-24.20583	-25.66461	-22.74705	<2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-23.27000	-24.72878	-21.81122	<2e-16 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 34.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte  $Bw_1$  de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	3.810833	-0.7978789	8.419546	0.1124
MPR-MHB	22.239167	17.6304545	26.847879	3.1e-09 ***
MPR-MD-MHB	3.516667	-1.0920455	8.125379	0.1493
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	3.810833	-2.327439	9.949106	0.1120
MPR-MHB	22.239167	16.100894	28.377439	2e-09 ***
MPR-MD-MHB	3.516667	-2.621606	9.654939	0.1491

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 35.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Bw<sub>1</sub> de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	15.33833	13.191085	17.48558	5.6e-16 ***
MPR-MHB	10.85750	8.710252	13.00475	4.3e-11 ***
MPR-MD-MHB	19.48833	17.341085	21.63558	< 2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	15.33833	12.478447	18.19822	2.2e-16 ***
MPR-MHB	10.85750	7.997613	13.71739	8.1e-12 ***
MPR-MD-MHB	19.48833	16.628447	22.34822	< 2e-16 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 36.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Ap de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-10.73750	-12.83904	-8.635962	2.5e-12 ***
MPR-MHB	-21.51583	-23.61737	-19.414295	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-20.22417	-22.32570	-18.122629	< 2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-10.73750	-13.53651	-7.938494	1.3e-11 ***
MPR-MHB	-21.51583	-24.31484	-18.716827	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-20.22417	-23.02317	-17.425161	< 2e-16 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 37.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Ap de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	5.386667	0.6753929	10.09794	0.0249 *
MPR-MHB	24.580000	19.8687262	29.29127	3.9e-14 ***
MPR-MD-MHB	20.388333	15.6770595	25.09961	2.3e-10 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	5.386667	-0.8882062	11.66154	0.0251 *
MPR-MHB	24.580000	18.3051272	30.85487	1.1e-10 ***
MPR-MD-MHB	20.388333	14.1134605	26.66321	6.4e-06 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 38.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Ap de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	7.120833	3.6355188	10.606148	0.00032 ***
MPR-MHB	1.114167	-2.3711479	4.599481	0.72985
MPR-MD-MHB	4.288333	0.8030188	7.773648	0.01637 *
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	7.120833	2.4787967	11.762870	0.0004 ***
MPR-MHB	1.114167	-3.5278700	5.756203	0.7298
MPR-MD-MHB	4.288333	-0.3537033	8.930370	0.0163 *

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 39.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte BA de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-13.01083	-13.81913	-12.20253	$< 2e-16$ ***
MPR-MHB	-21.25083	-22.05913	-20.44253	$< 2e-16$ ***
MPR-MD-MHB	-21.03250 <	-21.84080	-20.22420	$2e-16$ ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-13.01083	-14.08739	-11.93427	$< 2e-16$ ***
MPR-MHB	-21.25083	-22.32739	-20.17427	$< 2e-16$ ***
MPR-MD-MHB	-21.03250 <	-22.10906	-19.95594 <	$2e-16$ ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 40.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte BA de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	3.662083	-2.081701	9.405867	0.2541
MPR-MHB	27.837083	22.093299	33.580867	$3.9e-11$ ***
MPR-MD-MHB	19.981250	14.237466	25.725034	$5.6e-07$ ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	3.662083	3.987974	11.31214	0.2539
MPR-MHB	27.837083	20.187026	35.48714	$3.6e-09$ ***
MPR-MD-MHB	19.981250	12.331193	27.63131	$1.3e-06$ ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 41.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte BA de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	14.12917	10.896939	17.36139	6.1e-10 ***
MPR-MHB	7.03500	3.802772	10.26723	0.00016 ***
MPR-MD-MHB	10.67417	7.441939	13.90639	1.1e-06 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	14.12917	9.824213	18.43412	8.8e-08 ***
MPR-MHB	7.03500	2.730046	11.33995	0.00029 ***
MPR-MD-MHB	10.67417	6.369213	14.97912	1.3e-06 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 42.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena para el horizonte Bw<sub>1</sub> de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-12.86417	-14.92479	-10.80355	9e-11 ***
MPR-MHB	-19.96667	-22.02729	-17.90605	<2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-19.82917	-21.88979	-17.76855	<2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-12.86417	-15.60868	-10.11966	3.3e-10 ***
MPR-MHB	-19.96667	-22.71118	-17.22216	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-19.82917	-22.57368	-17.08466	< 2e-16 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 43.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo para el horizonte Bw<sub>1</sub> de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.912917	-4.918941	14.74477	0.42831
MPR-MHB	30.639583	20.807726	40.47144	2.4e-06 ***
MPR-MD-MHB	18.515000	8.683143	28.34686	0.00094 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.912917	-8.181982	18.00782	0.42827
MPR-MHB	30.639583	17.544684	43.73448	1.8e-06 ***
MPR-MD-MHB	18.515000	5.420101	31.60990	0.00082 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 44.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla para el horizonte Bw<sub>1</sub> de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad (p<0.05)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	13.367500	8.021297	18.71370	4.7e-05 ***
MPR-MHB	2.519167	-2.827037	7.86537	0.47202
MPR-MD-MHB	10.041667	4.695463	15.38787	0.00068 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad (p<0.01)				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	13.367500	6.246974	20.488026	3.6e-05 ***
MPR-MHB	2.519167	-4.601359	9.639692	0.47204
MPR-MD-MHB	10.041667	2.921141	17.162192	0.00081 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 45.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-3.5697222	-7.286385	0.1469407	0.0622
MPR-MHB	2.2683333	-1.448330	5.9849963	0.3252
MPR-MD-MHB	-0.3472222	-4.063885	3.3694407	0.9918
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-3.5697222	-8.264185	1.124741	0.0621
MPR-MHB	2.2683333	-2.426130	6.962796	0.3252
MPR-MD-MHB	-0.3472222	-5.041685	4.347241	0.9918

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 46.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	3.023056	-3.118678	9.164789	0.4946
MPR-MHB	19.300556	13.158822	25.442289	7.4e-10 ***
MPR-MD-MHB	18.161528	12.019794	24.303261	2.9e-08 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	3.023056	-4.734479	10.78059	0.4947
MPR-MHB	19.300556	11.543021	27.05809	1.8e-09 ***
MPR-MD-MHB	18.161528	10.403993	25.91906	1.9e-07 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 47.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla de la Formación Sarayaquillo (JS-s).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	0.9688889	-0.9341268	2.871905	0.4681
MPR-MHB	-6.4858333	-8.3888490	-4.582818	4.6e-10 ***
MPR-MD-MHB	-4.9611111	-6.8641268	-3.058095	1.6e-07 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	0.9688889	-1.434783	3.372560	0.4681
MPR-MHB	-6.4858333	-8.889505	-4.082162	7.2e-11 ***
MPR-MD-MHB	-4.9611111	-7.364783	-2.557440	3.4e-07 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 48.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-5.621667	-9.109607	-2.133726	0.00087 ***
MPR-MHB	-10.905278	-14.393219	-7.417337	3.8e-09 ***
MPR-MD-MHB	-9.247778	-12.735719	-5.759837	1.6e-07 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-5.621667	-10.02723	-1.216099	0.00093 ***
MPR-MHB	-10.905278	-15.31085	-6.499710	1.8e-08 ***
MPR-MD-MHB	-9.247778	-13.65335	-4.842210	2.0e-07 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 49.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	3.111389	-6.767621	12.99040	0.7849
MPR-MHB	20.122222	10.243212	30.00123	2.6e-05 ***
MPR-MD-MHB	11.187222	1.308212	21.06623	0.0229 *
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	3.111389	-9.366645	15.58942	0.7848
MPR-MHB	20.122222	7.644189	32.60026	3.5e-05 ***
MPR-MD-MHB	11.187222	-1.290811	23.66526	0.0229 *

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 50.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla de la Formación Oriente (Ki-o).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	6.383889	-1.6994866	14.46726	0.1493
MPR-MHB	2.522083	-5.5612922	10.60546	0.7893
MPR-MD-MHB	7.891944	-0.1914311	15.97532	0.0570
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	6.383889	-3.826105	16.59388	0.1494
MPR-MHB	2.522083	-7.687911	12.73208	0.7893
MPR-MD-MHB	7.891944	-2.318050	18.10194	0.0571

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 51.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-13.45833	-17.41689	-9.499772	1e-10 ***
MPR-MHB	-19.20778	-23.16634	-15.249217	<2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-19.22306	-23.18162	-15.264494	<2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-13.45833	-18.45833	-8.458332	2.6e-10 ***
MPR-MHB	-19.20778	-24.20778	-14.207777	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-19.22306	-24.22306	-14.223054	< 2e-16 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 52.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	6.554028	-4.952252	18.06031	0.37907
MPR-MHB	20.859167	9.352886	32.36545	0.00017 ***
MPR-MD-MHB	2.242917	-9.263364	13.74920	0.93444
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	6.554028	-7.979388	21.08744	0.37899
MPR-MHB	20.859167	6.325751	35.39258	0.00018 ***
MPR-MD-MHB	2.242917	-12.290499	16.77633	0.93445

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 53.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla de la Formación Chonta (Kis-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	11.56458	2.638530	20.49064	0.0080 **
MPR-MHB	5.58000	-3.346053	14.50605	0.3067
MPR-MD-MHB	17.57444	8.648391	26.50050	4.7e-05 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	11.56458	0.2902156	22.83895	0.0080 **
MPR-MHB	5.58000	-5.6943677	16.85437	0.3067
MPR-MD-MHB	17.57444	6.3000767	28.84881	4.3e-05 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 54.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-12.20417	-15.23396	-9.174376	-1.2e-11 ***
MPR-MHB	-20.91111	-23.94090	-17.881320	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-20.36194	-23.39174	-17.332154	< 2e-16 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-12.20417	-16.03105	-8.377282	3.4e-13 ***
MPR-MHB	-20.91111	-24.73800	-17.084226	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	-20.36194	-24.18883	-16.535060	< 2e-16 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 55.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.653889	-5.184757	14.49254	0.5254
MPR-MHB	27.685556	17.846909	37.52420	6.2e-08 ***
MPR-MD-MHB	19.628194	9.789548	29.46684	6.0e-05 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.653889	-7.773162	17.08094	0.5254
MPR-MHB	27.685556	15.258505	40.11261	5.3e-08 ***
MPR-MD-MHB	19.628194	7.201143	32.05525	4.4e-05 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 56.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla de la Formación Chambará (Trji-ch).

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	11.539167	2.9528180	20.12552	0.0059 **
MPR-MHB	3.556111	-5.0302376	12.14246	0.6230
MPR-MD-MHB	8.334722	-0.2516265	16.92107	0.0589
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	11.539167	0.6938745	22.38446	0.0057 **
MPR-MHB	3.556111	-7.2891811	14.40140	0.6230
MPR-MD-MHB	8.334722	-2.5105700	19.18001	0.0588

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 57.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arena.

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-8.713472	-14.55520	-2.871749	0.0015 **
MPR-MHB	-12.188958	-18.03068	-6.347235	4.3e-06 ***
MPR-MD-MHB	-12.295000	-18.13672	-6.453277	4.4e-06 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	-8.713472	-15.99237	-1.434579	0.0015 **
MPR-MHB	-12.188958	-19.46785	-4.910065	5.4e-06 ***
MPR-MD-MHB	-12.295000	-19.57389	-5.016107	3.9e-06 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 58.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción limo.

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.33559	-0.4802178	9.151398	0.0878
MPR-MHB	21.99187	17.1760669	26.807683	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	12.80497	7.9891572	17.620773	7.6e-09 ***
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	4.33559	-1.664994	10.33617	0.0878
MPR-MHB	21.99187	15.991291	27.99246	< 2e-16 ***
MPR-MD-MHB	12.80497	6.804381	18.80555	3.5e-09 ***

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.

**Tabla 59.** Prueba de Dunnett entre los métodos alternativos y el MHB en la cuantificación de la fracción arcilla.

Significativo a nivel de 5% de probabilidad ( $p < 0.05$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	7.614132	1.505175	13.723089	0.0100 *
MPR-MHB	1.293090	-4.815867	7.402047	0.9244
MPR-MD-MHB	7.210000	1.101043	13.318957	0.0157 *
Significativo a nivel de 1% de probabilidad ( $p < 0.01$ )				
	diff	lwr.ci	upr.ci	p - Valor
MHB-PA-MHB	7.614132	0.00226016	15.226004	0.0098 **
MPR-MHB	1.293090	-6.31878151	8.904962	0.9244
MPR-MD-MHB	7.210000	-0.40187178	14.821872	0.0161 *

Diff: Diferencia; lwr: Valor más bajo del intervalo de confianza; upr.ci: Valor más alto del intervalo de confianza.