



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA
DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA
LA DETERMINACIÓN**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: CAMILA STHEFANNY SUCUY BONILLA

JESSICA LILIANA CASTILLO CABEZAS

DIRECTOR: Ing. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Camila Sthefanny Sucuy Bonilla & Jessica Liliana Castillo Cabezas

Se autoriza la reproducción total o parcial con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, JESSICA LILIANA CASTILLO CABEZAS y CAMILA STHEFANNY SUCUY BONILLA declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 17 de septiembre del 2021



Jessica Liliana Castillo Cabezas

C.I: 0604691857



Camila Sthefanny Sucuy Bonilla

C.I: 0605188895

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de Titulación, tipo: Proyecto de Investigación “**EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN**” de responsabilidad de las señoritas: **JESSICA LILIANA CASTILLO CABEZAS** y **CAMILA STHEFANNY SUCUY BONILLA** ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SOFIA CAROLINA GODOY PONCE	2021-09-17
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2021-09-17
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2021-09-17

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de investigación a mis padres Patricio Sucuy y Marina Bonilla por su amor incondicional y sacrificio diario a lo largo de toda mi vida estudiantil. Por su ayuda en mi crecimiento como persona inculcando principios de empeño, perseverancia y coraje para alcanzar mis metas.

A mis hermanos Israel, Diego y Ariel no solo por su cariño y respaldo absoluto sino por brindarme momentos de inmensa felicidad.

Camila Sthefanny Sucuy Bonilla

El presente trabajo está dedicado a mis padres, hermanos y sobrinos que con su infinito amor y apoyo incondicional desde que inicie en este camino me alentaron a seguir en cada momento difícil. Solo su entrega y esfuerzo permitieron que cada sueño y meta trazada pudiera llegar a convertirse en una realidad. A mis abuelitos que desde mi infancia fueron los ángeles que cada día me entregaron momentos que vivirán plasmados en mi ser.

Jessica Liliana Castillo Cabezas

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por su guía y bendiciones en el camino recorrido.

Gracias a nuestros padres por su enseñanza de bondad y respeto, y por su trabajo en velar por el bienestar económico y moral incondicionalmente.

Gracias a todas las personas que conforman el grupo de investigación (GIDAC), en especial al Ingeniero Andrés Beltrán y al Ingeniero Freddy Armijos por compartir su sabiduría y conocimientos, importantes en mi formación profesional y en el desarrollo del presente trabajo de titulación.

Camila & Jessica

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1. Bases teóricas.....	7
1.1.1. Suelo	7
1.1.1.1. Perfil del suelo	7
1.1.1.2. Ecosistema de Páramo.....	8
1.1.1.3. Textura del suelo.....	8
1.1.1.4. Importancia.....	9
1.1.1.5. Clasificación por tamaño granulométrico.....	9
1.1.1.6. Diagrama de clases texturales o granulometría.....	10
1.1.1.7. Suelos de la familia gruesa o livianos.....	11
1.1.1.8. Suelos medios.....	12
1.1.1.9. Suelos de la familia fina o pesada.....	13
1.1.2. Análisis Granulométrico	13
1.1.2.1. Ley de Stokes.....	14
1.1.2.2. Método de Bouyoucos-Day	15
1.1.2.3. Método de la Pipeta	15
1.1.3. Análisis de costo – beneficio para toma de decisiones	16
1.1.4. Estándar para la competencia de laboratorio (ISO 17025)	16
1.2. Bases conceptuales	17
1.2.1. Granulometría	17
1.2.2. Textura arcillosa	17
1.2.3. Textura arenosa	18
1.2.4. Textura limosa.....	18

1.2.5.	<i>Sedimentación.</i>	18
1.2.6.	<i>Hidrómetro o Densímetro</i>	18
1.2.7.	<i>Dispersante.</i>	19
1.2.8.	<i>Pipeta graduada</i>	19
1.2.9.	<i>NTE INEN-ISO/IEC 17025</i>	19
1.3.	Bases legales	20

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	21
2.1.	Área de estudio	21
2.2.	Tipo de investigación	22
2.3.	Hipótesis	22
2.3.1.	<i>Hipótesis nula</i>	22
2.3.2.	<i>Hipótesis alternativa</i>	22
2.4.	Población de estudio	23
2.5.	Muestra	23
2.5.1.	<i>Tamaño y selección de muestra</i>	23
2.6.	Diseño experimental	25
2.6.1.	<i>Análisis de normalidad Shapiro - Wilk</i>	25
2.6.2.	<i>Prueba del rGango con signo de Wilcoxon</i>	26
2.6.3.	<i>Prueba t-Student.</i>	26
2.7.	Materiales y Equipos	27
2.7.1.	<i>Materiales de muestreo en campo</i>	27
2.7.2.	<i>Materiales y equipos en el laboratorio</i>	28
2.7.3.	<i>Reactivos en laboratorio</i>	29
2.8.	Metodología para campo	30
2.9.	Metodología en el laboratorio	30
2.9.1.	<i>Determinación de granulometría por Método de Bouyoucos-Day</i>	30
2.9.1.1.	<i>Instrumento de medición para el método: Hidrómetro H151</i>	31
2.9.1.2.	<i>Procedimiento</i>	32
2.9.2.	<i>Determinación de granulometría por Método de la Pipeta</i>	36
2.9.2.1.	<i>Procedimiento</i>	37
2.9.2.2.	<i>Tratamientos previos a la separación de las fracciones del suelo</i>	38
2.10.	Metodología para análisis de Costo-Beneficio para la toma de decisiones	41
2.10.1.1.	<i>Procedimiento</i>	41

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS ANÁLISIS	43
3.1.	Comparación del Método de Bouyoucos-Day y Método de la Pipeta.....	43
3.1.1.	<i>Distribución porcentual de las fracciones granulométricas</i>	43
3.1.2.	<i>Análisis estadístico</i>	47
3.1.3.	<i>Análisis comparativo de los usos de los métodos de estudio</i>	50
3.1.3.1.	<i>Método de Bouyoucos – Day.....</i>	50
3.1.3.2.	<i>Método de la Pipeta</i>	52
3.1.4.	<i>Análisis de Costo-Beneficio para la toma de decisiones</i>	53
3.1.5.	<i>Análisis de costo de servicio aplicado al análisis granulométrico.....</i>	57
3.2.	Clasificación textural según el USDA.....	59
3.2.1.	<i>Microcuenca del río Ozogoche</i>	59
3.2.2.	<i>Microcuenca del río Atillo</i>	61
3.2.3.	<i>Microcuencas del río Ozogoche y Atillo (perfiles de suelo).....</i>	64
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES.....	67
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Sistemas de clasificación para el tamaño de fracciones granulométricas.....	10
Tabla 2-1: Muestras seleccionadas para el análisis granulométrico	23
Tabla 2-2: Materiales utilizados en el muestreo de campo	27
Tabla 2-3: Materiales y equipos utilizados en el laboratorio	28
Tabla 2-4: Reactivos utilizados en el laboratorio.....	29
Tabla 2-5: Clases texturales de suelos según el USDA.....	35
Tabla 2-6: Tiempos de sedimentación para limo y arcilla en función de la temperatura.....	39
Tabla 3-1: Fracciones obtenidas mediante el MBD y el MP	43
Tabla 3-3: Test de normalidad Shapiro-Wilk al 5%	47
Tabla 3-4: Test de Wilcoxon al 5% con respecto a los métodos.....	48
Tabla 3-5: Test de normalidad Shapiro –Wilk al 5%.....	49
Tabla 3-6: Test t-Student al 5% con respecto a los métodos.....	49
Tabla 3-7: Test de Wilcoxon al 5% con respecto a las microcuencas	50
Tabla 3-8: Análisis costo- beneficio del método de Bouyoucos-Day.....	53
Tabla 3-9: Análisis costo- beneficio del método de la Pipeta.....	55
Tabla 3-10: Análisis costo- beneficio para el MBD y MP.....	56
Tabla 3-11: Análisis de costo para el método de Bouyoucos – Day.....	57
Tabla 3-12: Análisis de costo para el método de la Pipeta	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Triángulo de texturas USDA	11
Figura 2-1: Microcuenca del río Ozogoche y río Atillo	21
Figura 2-2: Ubicación de puntos de muestreo en la microcuenca del río Ozogoche	24
Figura 2-3: Ubicación de puntos de muestreo en la microcuenca del río Atillo.....	24
Figura 2-4: Diagrama de flujo del procedimiento para el método de Bouyoucos-Day.	32
Figura 2-5: Diagrama semilogarítmico para determinación de porcentaje en peso.....	34
Figura 2-6: Diagrama triangular de la textura del suelo según el USDA	35
Figura 2-7: Diagrama de flujo del procedimiento para el método de la Pipeta	37
Figura 3-1: Clases texturales mediante el método de Bouyoucos-Day en Ozogoche.....	59
Figura 3-2: Clases texturales mediante el método de Bouyoucos-Day en Ozogoche.....	60
Figura 3-3: Clases texturales mediante el método de Bouyoucos-Day en Atillo.	61
Figura 3-4: Clases texturales mediante el método de Bouyoucos-Day en Atillo.	62
Figura 3-5: Clases texturales mediante el método de la Pipeta en Ozogoche.....	60
Figura 3-6: Clases texturales mediante el método de la Pipeta en Ozogoche.....	61
Figura 3-7: Clases texturales mediante el método de la Pipeta en Atillo.	62
Figura 3-8: Clases texturales mediante el método de la Pipeta en Atillo.	63
Figura 3-9: Clases texturales en perfiles de la microcuencas.	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1: Porcentaje de arena obtenido a partir del MBD y MP.....	44
Gráfico 3-2: Porcentaje de arena en los perfiles obtenido a partir del MBD y MP.	44
Gráfico 3-3: Porcentaje de limo obtenido a partir del MBD y MP.	45
Gráfico 3-4: Porcentaje de limo en perfiles obtenido a partir del MBD y MP.	45
Gráfico 3-5: Porcentaje de arcilla obtenido a partir del MBD y MP.	46
Gráfico 3-6: Porcentaje de arcilla en perfiles obtenido a partir del MBD y MP.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PROTOCOLO PARA EL MÉTODO DE BOUYOUCOS-DAY

ANEXO B: PROTOCOLO DEL MÉTODO DE LA PIPETA

ANEXO C: FASE DE CAMPO

ANEXO D: FASE DE LABORATORIO

ANEXO E: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE BOUYOUCOS-DAY

ANEXO F: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE BOUYOUCOS-DAY

ANEXO G: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE LA PIPETA

ANEXO H: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE LA PIPETA

ANEXO I: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE LA PIPETA

ANEXO J: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE LA PIPETA

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue la evaluación granulométrica de los suelos de la subcuenca del río Cebadas, específicamente de la microcuenca del río Ozogoche y Atillo mediante la aplicación del Método de Bouyoucos – Day y de la Pipeta para ser comparados en términos de variabilidad, uso y costo - beneficio. En Ozogoche, se seleccionaron muestras a profundidades de 0.30 y 0.60m y un perfil de 0 a 3.5m y para Atillo a profundidades de 0.30 y 0.60m y un perfil de 0.30 a 4.50m. En el laboratorio se determinó la distribución del tamaño de partícula mediante los métodos basados en la Ley de Stokes que proporcionan información cualitativa y cuantitativa; esta última fue analizada estadísticamente mediante el test de Shapiro-Wilk, el test Wilcoxon y de Student para la identificación de diferencias significativas al 5% de significancia utilizando el programa R Studio, con lo cual se evaluó que los métodos son diferentes entre sí con respecto a la variabilidad de las fracciones granulométricas; además en términos cualitativos y en promedio, los suelos de la microcuenca del río Ozogoche y Atillo muestreados a profundidades de 0.30 y 0.60m se nominaron “arenoso” y “arenoso franco” por la predominancia de arena sobre el 70% y los perfiles “arenoso franco” debido al ligero aumento de limos y arcillas en ciertos horizontes. También, se establecieron protocolos con procedimientos apropiados para el análisis de distribución granulométrica basados en la norma NTE INEN ISO-IEC 17025:2018. Se concluyó que el método de Bouyoucos-Day fue el más empleado para la determinación porcentual de arena, limo y arcilla en ámbitos agrícolas, ambientales y de construcción; representó un costo de servicio tres veces menor en relación al de la Pipeta. Se recomendó ampliar la aplicación de los métodos en zonas que demuestren características más variadas.

Palabras clave: <GRANULOMETRÍA>, <BOUYOUCOS-DAY>, <PIPETA >, <SUELO>, <PÁRAMO>, <PROTOCOLOS>, <COSTO>, <BENEFICIO>.



1918-DBRA-UTP-2021

SUMMARY

The aim of the research was the granulometric evaluation of Cebadas river sub-basin soils, specifically the Ozogoche and Atillo river micro-basin through the application of the Bouyoucos-Day and Pipette methods to be compared in terms of variability, use and cost-benefit. In Ozogoche, samples were selected at depths of 0.30 and 0.60m and a profile from 0 to 3.5m and for Atillo at depths of 0.30 and 0.60m and a profile from 0.30 to 4.50m. Once in the laboratory, the particle size distribution was determined using Stokes' Law methods that provide qualitative and quantitative information; The quantitative information was statistically analyzed using Shapiro-Wilk, Wilcoxon and Student's test. To identify important differences at a significance level of 5%, it was necessary to use R Studio program which revealed that the methods are different from each other as to variability of granulometric fractions; Furthermore, in qualitative terms and on average, the soils of Ozogoche and Atillo river micro-basin which were sampled at depths of 0.30 and 0.60m were “sandy” due to the sand predominance over 70%, and “sandy loam” due to the slight increase in silts and clays in certain horizons. In addition, some protocols with appropriate procedures for the granulometric distribution analysis were established based on the NTE INEN ISO-IEC 17025: 2018 norm. It was concluded that the Bouyoucos-Day method was the most used to determine the percentage of sand, silt and clay in agricultural, environmental and construction areas. It also has a service cost which was three times lower than the one of the Pipette. It was recommended to extend the application of these methods in areas with more varied characteristics.

Keywords: <GRANULOMETRY>, <BOUYOUCOS-DAY>, <PIPETTE>, <SOIL>, <MOORLAND>, <PROTOCOLS>, <COST>, <BENEFIT>.



ARMAS PESANTEZ
PAUL ROLANDO
ARMAS PESANTEZ

INTRODUCCIÓN

Los páramos son ecosistemas frágiles ubicados en las altas montañas tropicales que se encuentran aproximadamente entre 3000 y 4500 msnm, poseen características especiales con respecto a ecologías, edafologías y geomorfologías (Díaz et al., 2005: pp. 5-7). Además, son especiales social y culturalmente porque su población genera recursos económicos con la producción agrícola, gestiona el turismo y la recreación (Chuncho y Chuncho, 2019: p.70).

Según Zuñiga, et al. (2018: p. 184), el suelo está íntimamente ligado con el paisaje, la vegetación, el clima y la sociedad como tal; por lo tanto, su conservación es fundamental para la preservación de otros recursos, entre ellos el agua. Este recurso está formado por partículas de diversas formas y tamaños, entre los principales componentes se encuentran arcilla, grava, arena y limo. En su gran mayoría, los suelos están conformados por una mezcla de dos o más de estos.

A partir de tal afirmación, nace el término “textura” que hace alusión a la constitución y conformación de los agregados (Gisbert, et al., 2012: p. 17). Esta es una de las propiedades más importantes ya que depende de la naturaleza de la roca madre y de los procesos de evolución del suelo, además porque permite interpretar información con respecto a propiedades físicas que influyen notablemente en el manejo del suelo y del agua; entre tales propiedades está la retención y circulación del agua, la erosión, la capacidad de intercambio catiónico, la humedad a capacidad de campo, el punto de saturación, el punto de marchitez permanente, la densidad aparente, la capacidad de regulación de pH, entre otros (León, 2001: p. 220). El suelo y su textura está relacionada con el suministro de materias primas que garantiza la retención y acaparamiento de carbono, el almacén del patrimonio geológico, la ayuda en la reserva de agua, el ciclo de nutrientes y la mantención de la biodiversidad (FAO, 2013: p.20).

Por tal razón, es fundamental la caracterización adecuada de un suelo mediante el análisis de la distribución del tamaño de partícula que permite obtener información cuantitativa y cualitativa en términos de proporción relativa en peso de cada grupo determinado (Inia, 2015: pp. 22-28) y la clase textural correspondiente de acuerdo a dichas proporciones. El análisis consiste en la separación de las fracciones granulométricas arena, limo y arcilla, que se lleva a cabo mediante el empleo de métodos basados en la Ley de Stokes cuyo enunciado indica que una partícula esférica se mueve a una velocidad uniforme mientras cae en un medio viscoso.

Si bien es cierto, existe una amplia variedad de metodologías de evaluación granulométrica en suspensión, sin embargo, según Fernández (2017: p. 75), el Método de Bouyoucos y el Método de la Pipeta son los más aplicados para tal finalidad. Referente al primero, el método ha sido modificado a lo largo del tiempo (Bouyoucos-Day) convirtiéndolo en un método cuya seguridad depende del control de temperatura, dispersante y tiempo de mediciones de la densidad con el hidrómetro (González, et al., 2007: p.60). Además, el método de Bouyoucos-Day (MBD) ha adquirido tanta relevancia que puede competir con el método de la Pipeta que depende de los mismos

controles con la diferencia de que las muestras requieren un pretratamiento para eliminación de agentes cementantes y la medición se realiza mediante la toma alícuotas de la mezcla (León, 2001: p. 220).

Para el estudio, se ha seleccionado el Método de Bouyoucos-Day (MBD) y el Método de la Pipeta (MP) por sus características de mayor fiabilidad. Tales métodos son aplicados en condiciones habituales de laboratorio a muestras procedentes de la subcuenca del Río Cebadas. Los métodos serán comparados a partir de los datos de distribución porcentual de arena, limo y arcilla generados, mismos que son analizados estadísticamente mediante el test de normalidad de Shapiro-Wilk, test de comparación de medias como Wilcoxon y T-student. Además son comparados en términos de uso y relación costo – beneficio (B/C). Por otro lado, la investigación persigue el establecimiento de protocolos adecuados para la aplicabilidad de los métodos, ya que es importante estandarizarlos cumpliendo los requisitos relativos a la norma NTE INEN – ISO/IEC 17025:2018 que promueve la confianza en la operación de los laboratorios con la capacidad de generar resultados confiables, de tal manera que exista una excelente cooperación entre laboratorios y organismos nacionales e internacionales. Cabe mencionar que el seguimiento de dicha norma permite que los laboratorios operen de acuerdo a los principios de la ISO 9001 que hace alusión a la gestión de la calidad (INEN, 2018: p.4).

En definitiva, el objetivo de la presente investigación es la evaluación granulométrica de los suelos de la subcuenca del río Cebadas, específicamente de la microcuenca del río Atillo y río Ozogoche mediante ensayos de laboratorio con la aplicación del Método de Bouyoucos – Day (MBD) y el Método de la Pipeta (MP) a fin de compararlos en términos de variabilidad, uso y costo beneficio, además de la elaboración de protocolos estandarizados que permitan la aplicación efectiva de los métodos en futuros proyectos.

ANTECEDENTES

La palabra “páramo” procede del término en latín “paramus” que significa “lugar frío y desamparado”. En Sudamérica, los páramos están ubicados en países como Ecuador, Colombia, Venezuela, norte de Perú, Costa Rica y Panamá, con pequeñas áreas en estos dos últimos. Es un ecosistema húmedo de alta montaña en el cual se realizan actividades de producción y de vida, debido a su clima tropical con una extensa variabilidad térmica (Llambí, et al., 2012: p.18). Una de las características más destacadas son sus suelos, principalmente porque son sustentadores fundamentales en la captación y distribución de agua hacia superficies bajas (Mena y Hofstede, 2006: p. 94). Por lo general, los suelos de páramos son gruesos, tienen horizontes francos con una proporción equilibrada de arena, limo y arcilla (Llambí, et al., 2012: p.19).

Valencia y Huertas (2018: pp. 38-45) realizaron el análisis granulométrico por hidrómetro en muestras de suelos bentónicos, cuyos resultados han sido comparados con la finalidad de conocer las ventajas y desventajas respectivas. Hablando netamente del Método de Bouyoucos, se propuso una metodología específica que consiste en la utilización de Hexametáfosfato de sodio como dispersante y la toma de datos con un hidrómetro o densímetro, mismo que es introducido en una suspensión de suelo a diferentes tiempos. Concluyeron que el método del hidrómetro es económico ya que se puede realizar varios ensayos a la vez. Sin embargo, indica que el método no es tan apropiado para tipos de suelos muy finos y por lo tanto, requiere de precisión por parte del laboratorista ya que los tiempos de lectura son muy extensos.

Maldonado (2016: p. 51) indica que la dosis de Hexametáfosfato de Sodio ($NaPO_3$)₆ a 1N más adecuada es de 25 ml para el análisis y determinación textural de arena, limo y arcilla en muestras de 50 g, ya que se obtuvo una mejor dispersión de las muestras. Mediante los resultados conseguidos concluyeron que el dispersante utilizado convierte al método de Bouyoucos en un método preciso y menos costoso.

También se han realizado comparaciones entre el método de Bouyoucos y el método de la Pipeta en el análisis de arena, limo y arcilla utilizando calgón y una mezcla propuesta de pirofosfato de sodio 0.1 M; y calgón en proporción 2:1. Los resultados analizados estadísticamente demuestran que no existen diferencias significativas entre las dos metodologías. Además, mediante el análisis de porcentajes de arena, limo y arcilla indican que la clasificación textural de suelos para los dos métodos, es equivalente. Sin embargo, la mezcla propuesta de dispersantes químicos genera una disminución en los porcentajes de arena e incremento en los de arcilla, este último indicando una certeza del proceso de dispersión debido la disminución de componentes, como el limo. En el método de Bouyoucos usando solamente calgón como dispersante se obtienen contenidos superiores de arcilla frente a los obtenidos con el método de la pipeta (Martínez, et al., 2015: pp.308-314).

Fernández, et al. (2017: pp. 75-81), muestran que para la separación de fracciones se emplean varios métodos que constituyen una dispersión inicial de partículas individuales. El Método de la Pipeta es uno de estos métodos, ya que demanda la destrucción de microagregados contenidos en la materia orgánica que actúa como agente cementante. Los autores analizaron muestras de suelos de uso agrícola y en vegetación natural de la Región Semiárida Pampeana a profundidades de 0 a 45 cm, a las cuales añadieron ácido acético al 5% para eliminación de material calcáreo, peróxido de hidrógeno para eliminación de materia orgánica y solución de Hexametáfosfato al 1% para la dispersión completa, conjuntamente con la agitación en un agitador de tipo vaivén y de ultrasonido. Los resultados indicaron que la fracción arena se encuentra en un rango de 50.9% a 54 %, el limo varía entre 33.6% a 38%, para ambos casos la proporción es significativamente mayor en una profundidad de 40 a 45 cm, la arcilla se encuentra en un intervalo de 9.1% a 15.5% siendo significativa a una profundidad de 17 a 22 cm. De acuerdo a los resultados de clasificación textural, los investigadores determinaron que los suelos son de textura franco y franco arenoso y recomiendan el método de la Pipeta en suelos con contenidos de materia orgánica.

Beretta, et al. (2014: p. 268), utilizaron datos existentes del método de la pipeta que fue tomado como control y se comparó con tres métodos modificados de Bouyoucos (Bouyoucos Day, Bouyoucos_M y Bouyoucos M_T). Explican que, en el método de la pipeta las partículas de la suspensión se miden a medida que se mueven a través del cilindro y previamente las muestras son sometidas a tratamiento, en cambio en el método de Bouyoucos el tamaño de los sólidos se estima a partir de la densidad de la solución con el hidrómetro y las muestras no requieren de tratamiento alguno. Para el caso de Bouyoucos _M se destruyó la materia orgánica del suelo y se aumentó la concentración del dispersante y finalmente, Bouyoucos M_T es igual que el anterior sumado que la fracción de arena se determinó de manera gravimétrica mediante tamizado a través de un tamiz de 53 micrómetros. Como conclusión, indican que ninguno de los procedimientos analíticos para determinar la textura con el hidrómetro tiene la precisión requerida para clasificar el suelo en clases texturales tal como lo indica la USDA, ya que al ser comparados con el método de la pipeta tienen coincidencias diferentes en algunas muestras. Así, Miller y sus colaboradores sugieren que para utilizar la textura con fines taxonómicos se debe utilizar el método de la pipeta y Bouyoucos-Day. Además, determinaron que el método Bouyoucos M-T es adecuado para determinar textura del suelo cuando esta propiedad está destinada a ser utilizada para inferir otras propiedades como coeficiente de erodabilidad, agua retenida a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Para la evaluación textural de los suelos propios de los ecosistemas de páramo, comúnmente se han aplicado métodos netamente cualitativos basados solamente en la perspectiva del investigador siendo necesario el establecimiento de métodos que tienen la capacidad de examinar un suelo en términos nominales y porcentuales. Los métodos que reúnen dichas características son el método de Bouyoucos-Day y el método de la Pipeta, los cuales son ampliamente conocidos pero escasamente aplicados en laboratorios de suelos, por lo tanto su importancia radica en una adecuada estandarización ajustada a la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025: 2018 que implica la selección, verificación, y validación del método que asegure la validez de los resultados. Por ello, la falta de la aplicabilidad de métodos y/o protocolos en la determinación de porcentajes de arena limo y arcilla generan baja fiabilidad en la interpretación textural del suelo de la microcuenca. ¿Cuál se aproxima más a los métodos convencionales y muestra una mejor eficiencia?

JUSTIFICACIÓN

La subcuenca del río Cebadas es una unidad ambiental que está ubicada en la región Sierra y sus partes altas corresponden a los páramos; su importancia radica en los servicios ecosistémicos que ofrece por la presencia de fuentes hidrológicas, zonas turísticas y asentamientos humanos que realizan actividades agrícolas y ganaderas. Específicamente, para el área cercana a de las microcuencas del río Ozogoche y Río Atillo existe una escasez de información con respecto a la clase textural del suelo, inclusive hay carencia en datos porcentuales de las fracciones texturales de arena, limo y arcilla (Gobierno Autónomo Descentralizado de Cebadas, 2015: p.25). Por ello, es importante realizar el estudio de evaluación granulométrica ya que, el suelo puede sufrir erosión como consecuencia de los cambios de uso de suelo y los sistemas agrícolas, perdiendo su capacidad de retención de grandes volúmenes de agua y controlar su flujo a través de las cuencas hidrográficas (Daza, et al., 2014: p. 7192).

Para la determinación de los datos porcentuales de las fracciones texturales se considera la aplicación del Método de Bouyoucos-Day y Método de la Pipeta porque se consideran métodos cuantitativos y cualitativos con un alto nivel de fiabilidad (Borja, et al., 2014: 309); además es primordial el establecimiento adecuado de protocolos coherentes para cada metodología en el laboratorio, lo cual se lleva a cabo mediante el acatamiento de la norma NTE INEN – ISO/IEC 17025:2018, principalmente en aspectos como la selección, verificación y validación de los métodos y el aseguramiento de la validez de los resultados descrito en el punto 7.2 y 7.7, respectivamente. Asimismo, la norma establece los requisitos para la competencia, imparcialidad y confianza entre laboratorios (Núñez, 2020: pp.17-19).

A partir de los resultados del análisis granulométrico de los suelos de la subcuenca del río Cebadas se propone realizar una comparación de los dos métodos en términos de variabilidad, uso y costo beneficio a fin de escoger el mejor método para futuras investigaciones que lo requieran. Con respecto a la variabilidad del método, se determina mediante el análisis estadístico y, en cuanto al análisis de relación costo beneficio (B/C) se emplea un enlistado de las actividades realizadas con sus gastos y todos los beneficios que generan un ahorro (Aguilera, 2017: p.325). Ambas comparaciones buscan tomar una decisión rápida, actual y eficiente del método.

El estudio aportará significativamente al laboratorio de Protección Ambiental y Grupo de Investigación para el Desarrollo, Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo con la finalidad de fortalecer la línea de investigación de estudio de suelos altos andinos y contribuir con su valoración y protección ambiental.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la granulometría de los suelos de la subcuenca del Río Cebadas (microcuenca río Atillo y río Ozogoché) mediante la aplicación del método de Bouyoucos-Day y del método de la Pipeta.

Objetivos Específicos

- Evaluar la variabilidad del porcentaje de arenas, limos y arcillas en suelo de la microcuenca del río Atillo y Ozogoché.
- Establecer los protocolos para los ensayos de laboratorio que permitan estandarizar los métodos.
- Analizar la clase textural de los suelos de la microcuenca del río Atillo y río Ozogoché.
- Comparar los métodos aplicados en términos de uso y costo – beneficio.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Bases teóricas

1.1.1. Suelo

Según el Instituto Nacional Tecnológico, es la capa superficial meteorizada que cubre la superficie terrestre, el cual está conformado por materiales orgánicos (organismos vivos, residuos vegetales, raíces) y material inorgánico (partículas rocosas, nutrientes, minerales primarios y secundarios). Además, el suelo está constituido por agua y aire, mismos que ocupan los poros también llamados espacios intersticiales (INATEC, 2016: p. 9).

El suelo es el manto más externo del planeta tierra en cuestión de cobertura en donde ocurre el desarrollo de las plantas y la producción de alimentos y frutos de primer orden. De acuerdo con Thompson y Troeh citados en (Maldonado, 2016: p.1), el suelo tiene un espesor que va desde algunos centímetros a tres o cuatro metros de profundidad.

La mayoría de suelos son originados a partir del material llamado roca madre y de su degradación, la cual es sometida a procesos lentos (miles de años) y continuos de meteorización y edafización, mismos que son intervenidos por factores biológicos, químicos y físicos para transformar y dar lugar a partículas cada vez más pequeñas.

Gracias a las características que posee puede cumplir funciones de tipo ecológico como: Producción de biomasa, interacción ambiental, hábitat ecológico, reserva ecológica de flora y fauna; y de funciones ligadas a la acción humana: medio físico, fuente de materia prima, herencia cultural (Alecívar, 2020: pp. 4-8).

1.1.1.1. Perfil del suelo

El suelo está conformado por varias capas horizontales que pueden ser visualizadas cuando el suelo está expuesto en una carretera o cuando se realiza una calicata en el mismo. A estas capas se las ha denominado “horizontes”, los cuales son distintos en términos de grosor, color, textura y composición química. En este conjunto de horizontes, cada corte se conoce como perfil de suelo, cada perfil representa una combinación de factores de formación del suelo, es decir son producto de la influencia e interacción del clima, la vegetación, la biota y precipitaciones que intervienen sobre la roca madre (Owen, 2008: p. 70). En definitiva, según Porta, et al. (2019: p. 29), el perfil del suelo es un corte vertical del terreno que permite estudiar la organización de los horizontes desde la parte superficial hasta el material originario.

Económicamente, el perfil del suelo es de gran importancia para el agrónomo, ya que le permite identificar condiciones adecuadas para el cultivo, el agostadero, la silvicultura y la recreación (Owen, 2008: p. 70).

1.1.1.2. Ecosistema de Páramo

Se consideran ecosistemas húmedos, frágiles y neo-tropicales ubicados en alta montaña y su importancia radica en la gestión de los recursos hídricos de los países vecinos, además de que cumplen el rol de recolectar, regular, mantener y suministrar agua. Según Llambí, et al. (2012: p. 20), la extensión de los páramos en el Ecuador es de 1835.834 Ha, aproximadamente; y su altitud promedio es de 3300 msnm y corresponde al 7% del territorio ecuatoriano, con temperaturas que varían entre 3 y 6 °C (Chuncho. C y Chuncho. G, 2020: p. 72).

Con respecto al suelo, en los páramos más altos son rocosos y poco profundos en el que predomina la arena y son excesivamente infértiles. En altitudes medias, los suelos son húmedos y ácidos con color característico negro o café, y en los páramos de la zona baja son oscuros, contiene mínimas cantidades de calcio y altos niveles de agua (Llambí, et al., 2012: p. 23).

Se caracteriza por su vegetación natural típica que forma pajonales (gramíneos y asteráceos), mismos que crecen sobre los 2900 msnm (MAE, 2013: p.18). Las especies vegetales han desarrollado estrategias adaptativas para hacer frente a las condiciones abióticas extremas, por ello el área representa un 6.7% de plantas endémica del mundo. Según Chuncho. C y Chuncho. G (2020: p, 72), los páramos del Ecuador carecen de árboles y presenta una vegetación herbácea, dentro del cual podemos diferenciar pastos, cojines, rosetas y arbustos tamaño pequeño.

Además, debido a las características topográficas y climatológicas de los páramos, estos permiten la formación de distintos tipos de humedales (turberas, lagunas, pantanos, entre otros) que son áreas inundadas y semi-inundadas y se mantienen saturados de agua por periodos largos de tiempo (Vega, 2017: pp. 4-8).

1.1.1.3. Textura del suelo

Es aquella característica del suelo que se basa en la cantidad de las partículas menores a 2 mm de diámetro como es el caso de las arenas, arcillas y limos que están presentes en los horizontes del suelo (Maldonado, 2016: p.62). En otras palabras, es una propiedad que proviene del tamaño de las partículas del suelo y la proporción relativa de las fracciones de este (Cordero, 2016: p. 18).

La textura es una de las propiedades permanentes del suelo, sin embargo, puede experimentar cambios por laboreo que produce la mezcla de horizontes; la erosión eólica que da lugar a suelos más gruesos por la pérdida de material y la erosión hídrica que produce la deposición de materiales más finos (Casanova, et al., 2015: pp. 105-113). Según Carrasco y Riquelme (2010: p. 56), cada

uno de los materiales minerales del suelo poseen su propia constitución mineralógica por lo que su proporción define la textura.

1.1.1.4. Importancia

El conocimiento de la distribución del tamaño de partícula en el suelo es útil para caracterizarlos en términos de su idoneidad para una variedad de proyectos de carácter agrícola, de ingeniería o de recuperación (Ashworth, et al., 2001: p. 633). Según Casanova, et al. (2015: p. 105), la importancia de la textura de un suelo radica en la facilidad de realizar suposiciones en cuanto a sus propiedades y ajustarlas a las prácticas de manejo y planificación agrícola, es decir, se puede definir peligros de erosión, inconvenientes de drenaje, capacidad de admitir aguas residuales contaminadas, establecer dosis de fertilizantes o abonos, entre otros.

Además, con la textura se puede estimar la capacidad de retención de agua, el riesgo de compactación y la disponibilidad de nutrientes, importante para el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Gisbert, et al., 2012), pues la permeabilidad, la consistencia, la capacidad de intercambio de iones, la retención hídrica, distribución de poros, infiltración y estructura, son características del suelo que dependen considerablemente de ella.

Asimismo, la fijación y soporte adecuado del sistema radicular de las plantas y su nutrición, es posible cuando la proporción de las partículas del suelo son equilibradas. Dicha proporción establece la facilidad de abastecimiento de los nutrientes, agua y aire, esenciales en la vida de las plantas.

1.1.1.5. Clasificación por tamaño granulométrico

Generalmente, los suelos se han separado por lo menos en tres clases: arena, limo y arcilla. Sin embargo, se han planteado algunas clasificaciones de las fracciones, las cuales varían de acuerdo al autor.

Tal como se muestra en la Tabla 1-1, según el criterio del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, clasifica de manera general las fracciones en arena, limo y arcilla.

También, según la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS), las clasifica de manera general en arena, limo y arcilla. Ambas clasificaciones expresan los diámetros en micrómetros (μm) (Pellegrini, 2019: p. 4).

Tabla 0-1. Sistemas de clasificación para el tamaño de fracciones granulométricas.

FRACCION GRANULOMÉTRICA	RANGO DE DIÁMETRO DE PARTÍCULA (μm)	
	USDA	ISSS
ARENA	2000-50	2000-20
LIMO	50-2	20-2
ARCILLA	<2	<2

Fuente: PELLEGRINI, 2019.

Es muy común que las partículas de menor tamaño se agrupen de manera estable, formando microagregados del tamaño del limo o de las arenas, dando lugar a los denominados pseudo - limo o pseudo – arena.

El sistema de clasificación USDA es ampliamente utilizado a nivel global para análisis de suelo de carácter investigativo en el área científica. Con este se pueden clasificar casi todos los tipos de suelo existentes en el mundo debido a que su actualización en información se realiza de manera constante, de allí su gran utilidad y frecuente empleo en la mayoría de estudios actuales (Rojas, 2018: p. 4).

1.1.1.6. Diagrama de clases texturales o granulometría

El diagrama textural de la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América) es un instrumento para determinar las clases texturales de grupos de suelos en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla (Maldonado, 2016: p.62).

La clase textural se origina de la combinación de las tres fracciones fundamentales: arena, limo y arcilla. Estas clases texturales son asociaciones en donde las propiedades influidas por la textura presentan un comportamiento equivalente.

Según la USDA de Estados Unidos, los porcentajes de arena, limo y arcilla se muestran sobre los tres catetos del triángulo equilátero que se muestra en el Figura 1-1, donde la distribución de su tamaño se encuentra representada por un único punto en el interior del diagrama. Cada punto correspondes una de las doce clases texturales, el cual se obtiene al hacer intersectar los valores de porcentaje de la fracción de partículas.

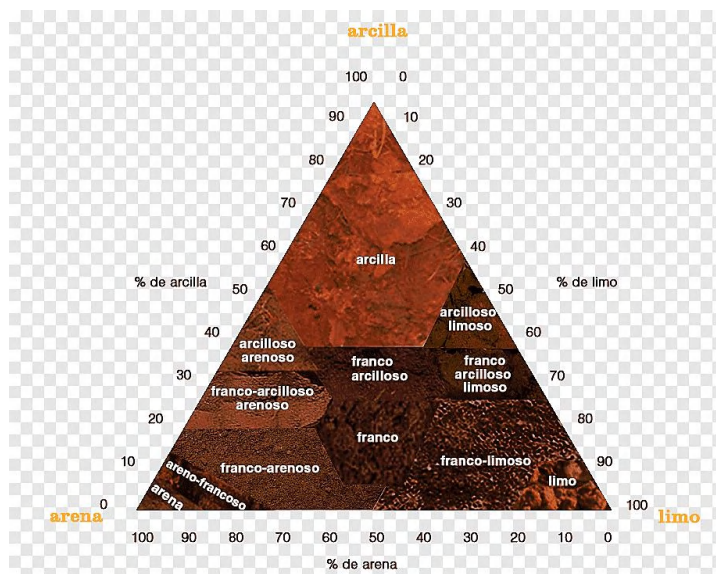


Figura 0-1: Triángulo de texturas USDA

Fuente: (Maldonado, 2016).

1.1.1.7. Suelos de la familia gruesa o livianos

Arenoso. Es característico de suelos livianos debido a su carencia de plasticidad y su facilidad para trabajarlo ya que no brindan resistencia al laboreo. Las raíces de plantas penetran con facilidad, sin embargo, los suelos arenosos son de baja fertilidad, debido a que la acumulación de materia orgánica es ínfima y el lavado de los compendios minerales es alto (Pellegrini, 2019: p. 5; Gisbert, et al., 2012: p.12).

Asimismo, es de excelente porosidad y drenaje que solamente por la presencia de lluvias intensas se producen encharcamientos o escorrentía, pero por lo general son pobres almacenadores de agua (Gisbert, et al., 2012: p.12). Además, estas texturas son susceptible a la erosión, por la baja superficie específica, falta de cargas y baja capacidad para formar estructuras (Pellegrini, 2019: p. 5). Cabe mencionar que es una textura que contiene menos del 15% de arcilla (Garay y Ochoa, 2010: p. 20).

Arenoso Franco. Es un tipo de suelo grisáceo oscuro y no se distinguen partículas finas con facilidad (limos y arcillas) pese a encontrarse presentes, dichas partículas son fácilmente volátiles por la presencia de correntadas. Tienen un aspecto áspero menor al tipo arenoso, precisamente por la presencia de partículas finas. Posee una estructura bastante individual con granos separados, pero no del todo (Ciancaglini, 2019: pp. 6-9). Contiene arena en un porcentaje entre 70 y 86%, menos del 30% de limo y hasta el 15% de arcilla.

1.1.1.8. Suelos medios

Franco Arenoso. Se caracterizan por su color marrón claro o gris claro. En su constitución predominan las partículas gruesas, mismas que pueden ser apreciadas cuando el suelo está seco. La estructura que se tiene es granular, pero blanda de tipo laminar con tendencia a dura (Ciancaglini, 2019: pp. 6-9). En sus proporciones tiene entre 50 y 70% de arena, no más del 50% de limo y menos del 20% de arcilla.

Franco. Es fácilmente destacable de otros suelos por ser de estructura granular blanda. Sus propiedades son intermedias con respecto a finura, retención hídrica y cohesión (Pellegrini, 2019: p. 5), lo que indica que las fracciones de arena, limo y arcilla se encuentran proporcionales entre sí, sin que predomine ninguna (Ciancaglini, 2019: pp. 6-9). Los suelos se caracterizan por tener un mayor equilibrio entre sus componentes, por lo cual se considera ideal para el uso agrícola. Esta clase otorga las mejores condiciones para el crecimiento de las plantas, por su adecuado gradiente de partículas finas que favorecen tanto al almacenaje de nutrientes y agua como al desarrollo de una superficie activa. Además, la presencia de partículas gruesas posibilita una correcta permeabilidad y aireación. Cabe mencionar que esta textura tiene menos del 25% de arcilla (Garay y Ochoa, 2010: p.20).

Franco Limoso. Su color es beige muy característico para identificarlo y su la estructura es laminar levemente dura. En esta clase predominan las partículas finas indicando que posee en mayor proporción limo y arcilla, se disgrega con mucha facilidad por poseer una textura suave similar a una harina (Ciancaglini, 2019: pp. 6-9). Sus características con respecto a retención de agua, soltura y bienestar mineral son intermedias entre arena y arcilla (Carrasco y Riquelme, 2010: p. 56). Se distingue por tener un máximo del 15% de arcilla.

Limoso. Se caracteriza por ser una derivación de las arenas por procesos de alteración física. Presenta escasez de propiedades coloidales formadoras de estructura, dando lugar a suelos apelmazados que entorpecen la aireación y el movimiento del agua. Además, en ellos se forman fácilmente costras superficiales que imposibilitan la emergencia de las plántulas, es depositado generalmente por el arrastre del agua o por acción del viento sobre los terrenos o lechos de los ríos en especial en inundaciones (Gisbert, et al., 2012: p.20).

1.1.1.9. Suelos de la familia fina o pesada

Franco Arcilloso. Su contenido de arcilla es bastante elevado, está por encima de lo que se considera adecuado en un suelo. La textura de este suelo es más suave que la del franco arenoso, además puede moldearse esto por su capacidad de retener agua (Zuleta, 2015: pp. 95-97).

Franco arcillo arenoso. Las fracciones de arena y arcilla se encuentran en equilibrio, de textura áspera, por la presencia de arenas se nota separación en las partículas (Ciancaglino, 2019: pp. 6-9). Tiene un 15% a 25% de arcilla, más del 55% de arena y menos del 25% de limo (Garay y Ochoa, 2010: p.20).

Franco arcillo limoso. Tiene arcilla y limo en proporciones relativamente similares, son suelos de textura suave con tendencia a formar agregados (Ciancaglino, 2019: pp. 6-9). Tiene más del 45% de limo y entre el 15 y 25% de arcilla (Garay y Ochoa, 2010: p. 20).

Areno arcillosa. Su textura es áspera, si se encuentra agua en su interior puede formar una especie de masa de baja cohesión. No es apto para labores agrícolas (Ciancaglino, 2019: pp.6-9).

Arcillo limosa. Son suelos de textura suave, por la presencia de agua pueden formar agregados de consistencia fuerte que son muy difíciles de romper (Ciancaglino, 2019: pp.6-9).

Arcillosa. Los suelos de textura arcillosa son reconocidos como “pesados”, estos se caracterizan por ser suelos plásticos y adhesivos, dificultosos de trabajar. El agua, el aire y las raíces penetran con dificultad debido al pequeño tamaño de sus partículas. Además, se identifican por retener una gran cantidad de agua y de nutrientes debido a la microporosidad y por su gran capacidad de intercambio catiónico. Es decir, por su ínfimo tamaño de partícula, tiene valores elevados de superficie específica activa por lo que incurre favorablemente en la fertilidad de los suelos y almacenamiento de agua (Pellegrini, 2019: p. 5).

1.1.2. Análisis Granulométrico

Es importante diferenciar entre los términos textura y granulometría ya que pese a parecerse, los dos se refieren a distintos conceptos. La textura se refiere a describir lo que se siente al pasar a través del tacto en los dedos especialmente de una muestra húmeda, siendo un análisis rápido, mientras que la granulometría se refiere ya al hecho de realizar una prueba de laboratorio mediante una técnica normalizada (Alcívar, 2020: pp.2-12).

Para Chakraborty, et al. (2006) citados en Borja, et al. (2014: pp. 309 -310) indican que el análisis granulométrico es una experiencia importante en las determinaciones físicas del suelo y son usualmente aplicadas en la clasificación textural, ya que sirve para determinar de manera cuantitativa las fracciones de las partículas contenidas en el suelo (arena, limo y arcilla), basándose en los principios de sedimentación de las mismas.

Además, con el uso de los datos levantados a partir de este proceso, es posible realizar la descripción, identificación, documentación y mapeo de los suelos (Maldonado, 2016: p.20).

1.1.2.1. Ley de Stokes

Para el caso de la velocidad de sedimentación, se ha propuesto la ley de Stokes que se basa en el análisis físico de la sedimentación gravitacional de partículas en un fluido (Delgado, et al., 2013: p. 58).

Dicha ley establece la relación entre la velocidad de sedimentación, el tamaño de partícula, la densidad aparente y la viscosidad del medio que actúa como dispersante. Esta ley es válida en el movimiento de partículas esféricas de tamaño pequeño, las cuales se mueven a velocidades lentas (Leyva de la Cruz, et al., 2016: p. 21). Según Delgado (2013: p. 58), es aplicable en sistemas donde las partículas son esferas indeformables ni mutuamente interactuantes moviéndose en el seno de un fluido viscoso en régimen laminar, es decir, la ley de Stokes se cumple si el movimiento de las partículas hacia la parte de abajo no es lo suficientemente rápido como para causar turbulencia. Las partículas más pequeñas solamente sedimentan cuando son centrifugadas (Maldonado, 2016: p.25).

El movimiento de partículas en un medio sea este el aire o un líquido, estará regido por fuerzas como la gravedad, fuerza de empuje y fuerza de fricción que dan lugar a la sedimentación. La gravedad es una fuerza que sumada a la masa de la partícula genera el peso de esta que es lo que ocasione su empuje hacia abajo, la fuerza de empuje se debe a que al encontrarse en un medio y totalmente sumergida, la partícula tendrá esta fuerza que será en sentido contrario y la llevará hacia arriba y la fuerza de fricción debido al rozamiento de la partícula con el medio en el que se encuentra dando una oposición al libre movimiento, esta fuerza tendrá influencia tanto del tamaño como por la forma de la partícula y será proporcional a la velocidad de sedimentación que experimenten las partículas; todas estas fuerzas finalmente se equilibran permitiendo que la velocidad presente un valor constante (Delgado, et al., 2013: pp. 58-59).

Los principios básicos enunciados por esta Ley son la base para el análisis granulométrico por el método de Bouyoucos-Day y el método de la Pipeta para determinar la textura del suelo mediante la experimentación en una suspensión de partículas, las cuales empiezan un proceso de sedimentación con velocidad uniforme, regida por propiedades del medio y a tiempos de lectura (Alcivar, 2020: p. 6).

1.1.2.2. Método de Bouyoucos-Day

En el año de 1961, George John Bouyoucos desarrollo este método también denominado método del hidrómetro para la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla. Cuatro años más tarde, Paul Day utilizó el mismo fundamento planteado inicialmente, sin embargo modifico ciertos parámetros como el tipo del hidrómetro, tiempos de lectura y procesamiento de datos, mismas modificaciones que lo convierten en un método más preciso al cual denominó Bouyoucos-Day.

El análisis de las partículas del suelo por este método se basa en la relación que existe entre la velocidad de deposición y el diámetro de la partícula del suelo, es decir, la ley fundamental para realizar tal análisis, es la de Stokes (Borja, et al., 2014: p.312). Es decir, el tamaño de los sólidos en la suspensión se estima a partir de la densidad del medio, la cual varía directamente con la cantidad de partículas presentes.

Es una técnica de rápida y sencilla operación debido a que la muestra de suelo no requiere pretratamientos, simplemente requiere de una dispersión química con Hexametafosfato de Sodio y una dispersión física mediante agitación mecánica (Alcívar, 2020: p.10).

Además, el método implica el uso de un hidrómetro o densímetro que se fundamenta en el tamaño, peso y medio en el cual se encuentran las partículas y de cómo tales factores influyen directamente en la velocidad de sedimentación tomando en cuenta que la densidad de la suspensión disminuye a medida que las partículas se asientan (Maldonado, 2016: p.25).

1.1.2.3. Método de la Pipeta

Es un método que garantiza una mayor precisión, que parte de una suspensión uniforme de agua y suelo que con el tiempo se altera, ya que las partículas de mayor diámetro se precipitan a mayor velocidad, establecido en la ley de Stokes. En este método en lugar de sumergir el hidrómetro, a una misma profundidad predeterminada y tiempo establecido se toma una muestra del agua con el suelo en suspensión con una pipeta, a medida que avanzan el laberinto de sólidos de un volumen conocido.

En los últimos años, el método se ha intentado reemplazar debido a que los protocolos para su ejecución son un poco demorados por la utilización de reactivos con el fin de someter la muestra a un pretratamiento, que consiste en la destrucción de agentes cementantes con una variedad de sustancias químicas. A pesar de que dicho proceso requiere de más tiempo, permitirá obtener resultados más exactos, sin necesidad de aplicar correcciones.

Las partículas presentes en la suspensión avanzan por el cilindro de volumen conocido, mientras tanto se define una profundidad y tiempo en función de la temperatura y se sumerge la pipeta para

la toma de alícuotas. La muestra tomada se seca en estufa y luego es pesada con una balanza analítica (Alcívar, 2020: p.10).

1.1.3. Análisis de costo – beneficio para toma de decisiones

El costo beneficio a través de un análisis del flujo de los costos y beneficios determina si un curso de acción (proyecto, método o procedimiento) merece ser realizado. Tanto el costo como el beneficio son parte de la valoración de alternativas cuya finalidad es optar por la opción más adecuada (Jácome y Carvache, 2017: pp. 2-14). En palabras más sencillas este término permite saber si una actividad cualquiera que sea su índole provoca una cantidad de beneficios más alta que lo que pueda llegar a costar su ejecución.

Además, según Ortega (2012: pp.147-149) consiste en la formulación de propuestas útiles para determinar la conveniencia y provecho de una particular asignación de recursos.

El análisis involucra la determinación total de costos y beneficios asociados a las opciones para seleccionar la mejor. La técnica está ligada con la teoría de decisión mediante la relación de los costos y beneficios expresados en términos monetarios para ser valorados y evaluados (Aguilera, 2017: 326). Su cualidad más importante es la objetividad ya que se deben dejar de lado intereses personales y subjetivos (Cantó, 2009: pp.6-9). Por ello, se deben tomar en cuenta todos los hechos, sucesos y operaciones para determinar la alternativa que brinda los mejores resultados al menor costo invertido. Para Ortega (2012: pp.147-149), el análisis costo beneficio muestra quien gana y quien pierde entre dos o más opciones y decidir si la ejecución de un proyecto o método en especial, es deseable.

Cabe recalcar que el tomar una decisión implica la selección entre dos o más cursos de acción alternativos, y es irrelevante que tan eficaz sea la alternativa o propuesta elegida, siempre existirá un costo (Aguilera, 2017: p.326).

También es importante mencionar que un método con una relación costo beneficio óptima puede excluirse por la influencia de otros parámetros más importantes (Castro, 2015: p.39).

1.1.4. Estándar para la competencia de laboratorio (ISO 17025)

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) tiene la competencia de reglamentar normalizar las leyes, tratados, acuerdos y convenios de la República del Ecuador. Ofrece los principios primordiales para la elaboración de los documentos normativos (INEN, 2014: p.4).

La norma NTE INEN-ISO/IEC 17025 permite a los laboratorios cumplir con un rol adecuado en sus operaciones, demostrando que son competentes y confiables con la capacidad de generar En su apartado 7.2 se mencionan las consideraciones para la selección, verificación y validación de métodos. Entre dichas consideraciones están:

- Se deben usar métodos y procedimientos adecuados, así como técnicas estadísticas para el trabajo y análisis de datos dentro del laboratorio.
- El método que se aplica debe ser el último vigente y su procedimiento incluirá todas las particularidades a emplearse para el desarrollo efectivo del método.
- Siempre se seleccionarán los métodos que se hayan publicado en normas internacionales, organizaciones técnicas y revistas científicas sin embargo también se podrán emplear métodos creados o reformados por el laboratorio.
- Es necesario que los métodos aplicados no normalizados, creados y modificados se validen para asegurar su eficacia. Esta validación se puede realizar mediante la evaluación por comprensión teórica de los métodos y experiencia práctica de desempeño del método.

En su apartado 7.7 se mencionan las consideraciones para el aseguramiento de la validez de los resultados en el laboratorio. Entre estas consideraciones están:

- Se deber realizar el seguimiento de la validez de resultados mediante un correcto registro de datos que permita la aplicación de técnicas estadísticas y la revisión de resultados.
- Los datos obtenidos en el seguimiento se deben analizar, utilizar para controlar y para mejorar las actividades del laboratorio (INEN, 2018: p.6).

1.2. Bases conceptuales

1.2.1. Granulometría

Se refiere a la composición en porcentaje de los tamaños de agregados en un suelo, cuyas proporciones de cada fracción se indican en una cifra referida al peso que se calcula de acuerdo a un sistema de clasificación como la USDA que posee estándares ya definidos. La determinación de la granulometría se puede hacer por varios métodos el más sencillo es aquel en el que se emplean tamices de varios tamaños, pero existen otros métodos que se pueden emplear como el Método de la pipeta y de Bouyoucos-Day.

Los análisis granulométricos se realizan principalmente para estudios donde es necesario conocer con exactitud los porcentajes de cada fracción del suelo, para establecer de esta manera características como su uso, tendencia a inundaciones- deslaves, plasticidad entre otros (Toirac, 2012: pp. 293-334).

1.2.2. Textura arcillosa

Suelos de color amarillento y textura extremadamente suave. Además retienen agua muy fácilmente por lo que en sus superficies es muy común la ocurrencia de inundaciones (Ciancaglini,

2019: pp.6-9). Poseen poco espacio entre las partículas y por ende presentan una permeabilidad baja, salvo que estén bien estructurados y formen un buen sistema de grietas (Gisbert, et al., 2012: p.10).

1.2.3. Textura arenosa

Generalmente, son de color gris muy oscuro, tienen un aspecto áspero y no forma agregados, es decir se disgrega con facilidad. Su estructura se muestra con granos simples y separados (Ciancaglioni, 2019: pp.6-9). Concede la fracción esquelética del suelo, donde sus partículas dejan macroporos entre sí, los cuales aumentan la permeabilidad (Pellegrini, 2019: p.5).

1.2.4. Textura limosa

Por su tamaño menor, tiene la capacidad de rellenar los espacios dejados por las arenas, limitando un poco la permeabilidad e infiltración que se da en zonas de riego, principalmente. Su consistencia conjuntamente con el agua, es plástica (Pellegrini, 2019: p. 5).

1.2.5. Sedimentación

(Arguedas, et al., 2016: p.56), la define como un fenómeno físico donde se da una remoción por acción de la gravedad de las partículas de gran peso específico en suspensión presentes en el agua, generando un fluido clarificado y una suspensión concentrada. En otras palabras, es el proceso de deposición de partículas discretas que son aquellas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante su caída.

1.2.6. Hidrómetro o Densímetro

Instrumento empleado para establecer el porcentaje de partículas presentes en los suelos dispersados que persisten en suspensión en un tiempo específico. Es un instrumento de medición, utilizado para medir la densidad de líquidos. Se caracteriza por su cuerpo cilíndrico de vidrio o de cualquier material incoloro, en su parte inferior presenta un bulbo alargado con material a manera de lastre para ajustar la masa del instrumento de medición, permitiéndolo flotar en posición vertical al momento de sumergirlo (Ramos, 2009: pp.35-61). En la parte superior parte tiene un vástago donde se halla la escala de valores marcada, que corresponden a la densidad del líquido a medir.

El mismo dará datos en unidades de masa por el volumen (g/l, mg/cm³), para realizar la lectura de este instrumento no se cuenta con numeraciones si no con líneas ubicadas de manera horizontal y en las que en cada tiempo de medida se pueden tomar los valores (Maldonado, 2016: pp. 20-21).

1.2.7. *Dispersante*

Es un producto químico que genera una acción de dispersión, ya que permite que las partículas que se encuentran en suspensión en un medio acuoso se comporten de manera individual, es decir que éstas no se agrupan y sedimenten con velocidad diferente entre sí, dependiendo de sus características como radios, forma, peso y densidad. El objetivo de este agente dispersante es la máxima separación de arena, limo y arcilla procurando la mínima alteración de la materia orgánica asociada, esto se puede llevar a cabo mediante agitación y la aplicación de dispersantes como el Hexametafostato de Sodio o resina sódica, en algunos casos en combinación con técnicas ultrasónicas (Maldonado, 2016: p. 26).

1.2.8. *Pipeta graduada*

Es un material de vidrio que permite medir volúmenes de líquidos o suspensiones con una gran precisión por lo que se usan para procedimientos gravimétricos, existen una gran cantidad de estos materiales disponibles pueden ser de 5ml, 10ml, 25ml, entre otras, que son utilizadas de acuerdo a las necesidades de cada investigador se seleccionará la capacidad de la pipeta. Es importante que las pipetas sean graduadas para tomar solo el volumen correcto, evitando errores analíticos (Gómez, 2013: pp. 19).

1.2.9. *NTE INEN-ISO/IEC 17025*

Es una norma que constituye los Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, idéntica a la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2017. La norma tiene la finalidad de fomentar la confianza de operación competente y coherente de los laboratorios para la generación de resultados válidos y la prevención de efectos negativos mediante la correcta organización de actividades. La norma es aplicable a todas aquellas organizaciones que realicen trabajos de laboratorio, lo cual aporta en la planificación e implementación de acciones adecuadas para abordar todos los riesgos y oportunidades que se presenten (INEN, 2018: p.6).

1.3. Bases legales

Los sistemas lacustres de Ozogoche y Atillo forman parte del Parque Nacional Sangay, el parque es considerado uno de las 49 áreas protegida del Patrimonio de Áreas Naturales del Estado, el intercepta entre las provincias de Chimborazo, Morona Santiago, Cañar y Tungurahua (Bonilla, 2016, p. 9-10), fue creado por el Acuerdo Ministerial N° 190 de 16 de Junio de 1995, se categorizó como parque nacional en 1979 (Aguirre, 2014: p.13). Además, fue declarada Patrimonio Nacional de la Humanidad en 1983 por la UNESCO. De acuerdo con el rango supra legal, la Constitución de la República del Ecuador con registro oficial 449 del 20 de octubre de 2008; en ella se establecen las referencias que rigen el cuidado y conservación del sistema de áreas naturales en el Título VII, Capítulo segundo, Biodiversidad y recursos naturales, en la sección tercera de Patrimonio natural.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudio

2.1.1 Ubicación de la microcuenca del río Ozogoche y río Atillo

Ozogoche se encuentra localizado en la parroquia Achupallas, cantón Alausí, sureste de la provincia de Chimborazo, aproximadamente a una distancia de 90 km desde la ciudad de Riobamba. Forma parte del Parque Nacional Sangay, conteniendo el Sistema Lacustre Ozogoche. El área está a una altitud a más de 3000 msnm y sus temperaturas varían desde 4 a 20 grados centígrados (Orellana, 2017: pp.20-24).

Atillo se encuentra localizado en la parroquia Cebadas, cantón Guamote, provincia de Chimborazo, formando parte del Parque Nacional Sangay. El área está a una altitud de 3410 a 3480 msnm y su temperatura promedio es de 8 grados centígrados (Jara, 2013: p. 48).

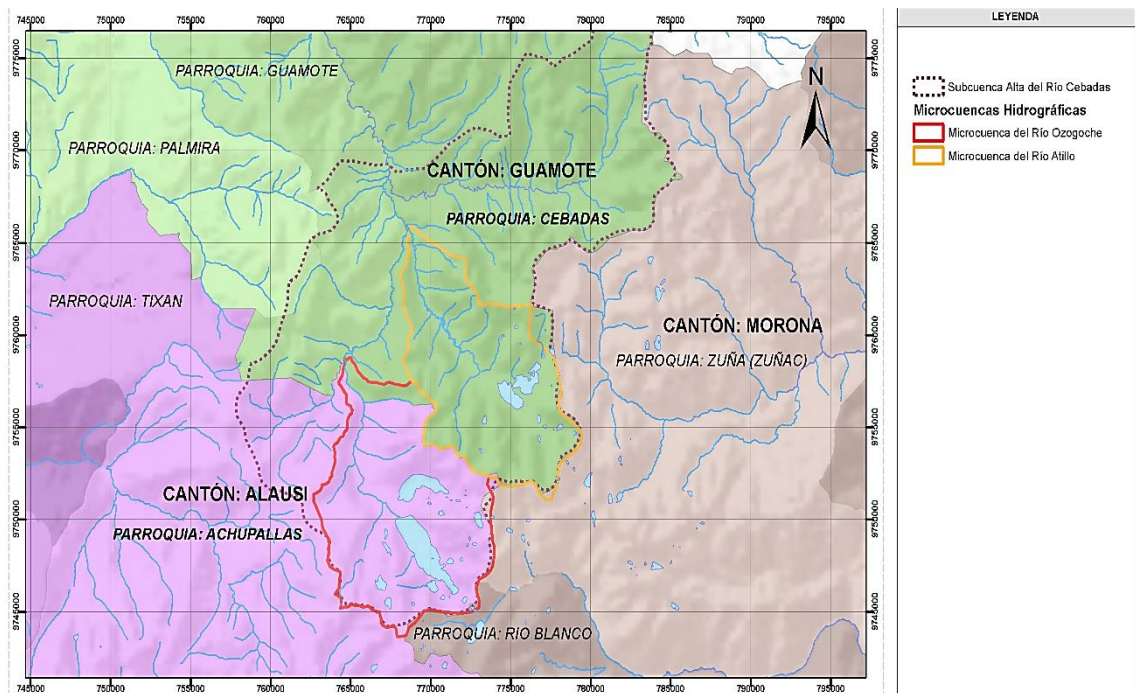


Figura 0-1: Microcuenca del río Ozogoche y río Atillo

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

2.2. Tipo de investigación

Por su nivel de profundidad la investigación es exploratoria porque pretende examinar los métodos de evaluación granulométrica (Método de Bouyoucos-Day y Método de la Pipeta) que son relativamente desconocidos, buscando obtener una información completa en cuanto a sus protocolos.

Además, el método de la investigación tiene un enfoque cuantitativo porque utiliza la recolección de datos con base en la medición numérica y el análisis estadístico con el fin de probar teorías. El objetivo de la aplicación de los métodos antes mencionados es obtener los porcentajes de arena, limo y arcilla.

Este estudio es de carácter no experimental ya que está enfocado en observar como ocurren los fenómenos de manera natural sin ninguna clase de manipulación o intervención deliberada de variables, es decir no se tienen control directo sobre las mismas.

Finalmente, según el periodo temporal en el que se lleva a cabo es transeccional o transversal porque los datos se recolectan en un momento único con la finalidad de describir, analizar e interrelacionar las variables en un momento dado.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis nula

H_{01} : No existe una diferencia significativa entre los porcentajes de arena obtenida por el Método de Bouyoucos-Day respecto a los obtenidos por el Método de la Pipeta

H_{02} : No existe diferencia significativa entre los porcentajes de limo obtenida por el Método de Bouyoucos-Day respecto a los obtenidos por el Método de la Pipeta.

H_{03} : No existe diferencia significativa entre los porcentajes de arcilla obtenida por el Método de Bouyoucos-Day respecto a los obtenidos por el Método de la Pipeta.

2.3.2. Hipótesis alternativa

H_{a1} : Existe diferencia significativa entre los porcentajes de arena obtenida por el Método de Bouyoucos-Day respecto a los obtenidos por el Método de la Pipeta.

H_{a2} : Existe diferencia significativa entre los porcentajes de limo obtenida por el Método de Bouyoucos-Day respecto a los obtenidos por el Método de la Pipeta.

H_{a3} : Existe diferencia significativa entre los porcentajes de arcilla obtenida por el Método de Bouyoucos-Day respecto a los obtenidos por el Método de la Pipeta.

2.4. Población de estudio

Se tiene una población de estudio que corresponde a la zona periglacial de la microcuenca del río Atillo y río Ozogoche, las cuales tienen un área de 1919,8 Ha y 1973,6 Ha, respectivamente; de las cuales se considera un punto por cada km²

2.5. Muestra

2.5.1. Tamaño y selección de muestra

Acorde a estudios previos realizados en el GIDAC, el nivel de heterogeneidad de la zona de estudio respecto a textura se encuentra en el orden de entre el 10% y 25%. Para este caso, el nivel de heterogeneidad que indica lo diverso que es el universo es de 20 %. El tamaño de la población es 19 puntos, el margen de error considerado es del 10% y el nivel de confianza es de 95%.

$$\text{Tamaño muestral} = \frac{\frac{Z^2 * p(1-p)}{c^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{Z^2 * p(1-p)}{c^2} - 1 \right)}$$

$$\text{Tamaño muestral} = \frac{\frac{1.96^2 * 0.2 (1 - 0.2)}{0.1^2}}{1 + \frac{1}{19} \left(\frac{1.96^2 * 0.2 (1 - 0.2)}{0.1^2} - 1 \right)} = 14.7 = 15$$

De acuerdo al tamaño muestral, se define para cada microcuenca lo siguiente: 14 puntos con una profundidad de 30 y 60 cm y 1 punto con profundidad variable mayor a 3 m, como se indica en la Tabla 2-1:

Tabla 0-1: Muestras seleccionadas para el análisis granulométrico

Microcuenca	Muestras		Total de muestras
Ozogoche	14 puntos con 28 muestras. Profundidad: 30-60 cm	Un punto con 10 muestras Profundidad de 0 a 3.5 m	38 muestras
Atillo	14 puntos con 28 muestras. Profundidad: 30-60 cm	Un punto con 12 muestras profundidad de 0.30 a 4.5 m	40 muestras

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

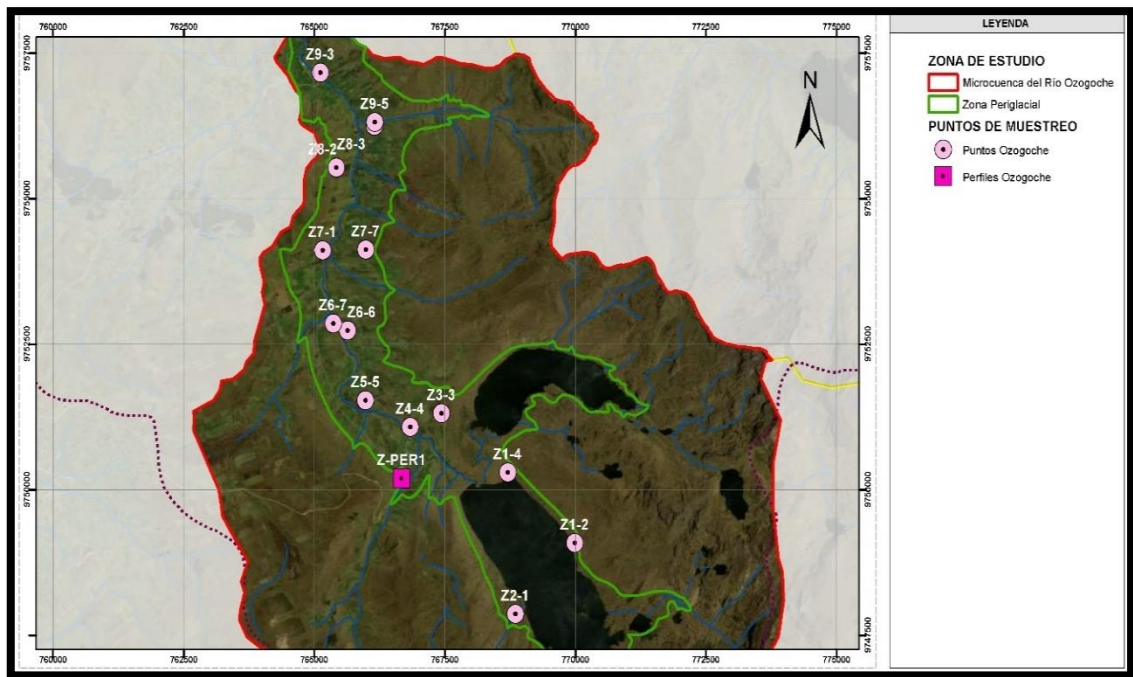


Figura 0-2: Ubicación de puntos de muestreo en la microcuenca del río Ozogoché

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

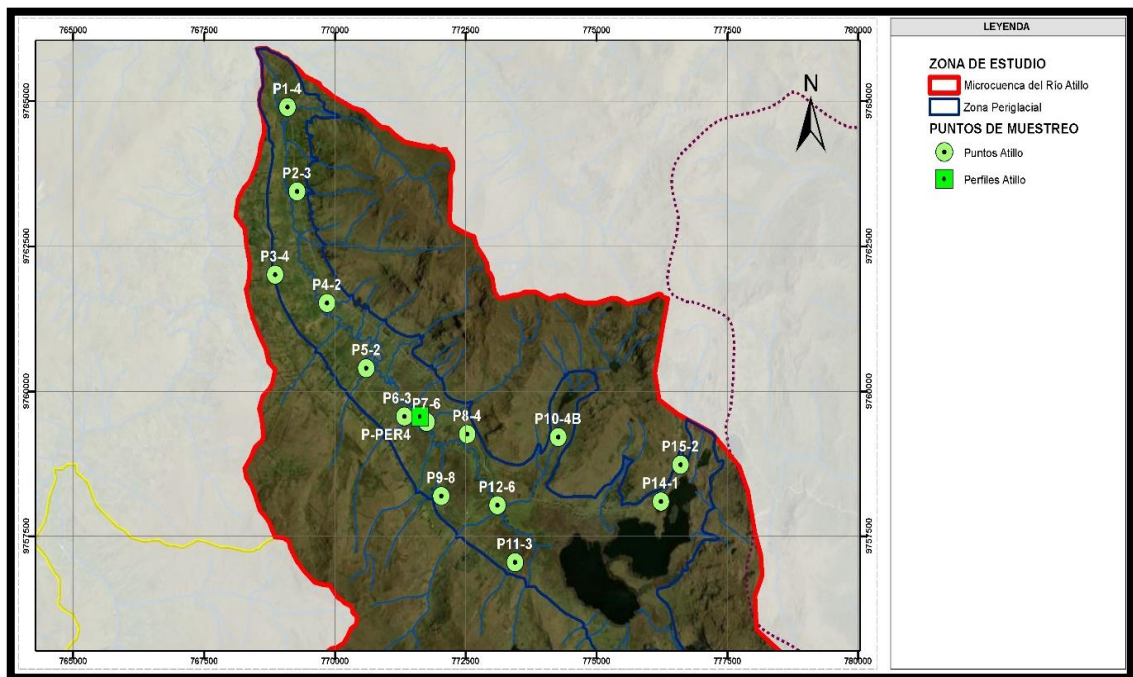


Figura 0-3: Ubicación de puntos de muestreo en la microcuenca del río Atillo

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

2.6. Diseño experimental

Ante cualquier análisis que se desee aplicar a los datos obtenidos de manera experimental, es importante primero conocer su comportamiento y distribución. Esta primera observación es fundamental porque permite determinar el test estadístico a aplicar, para conseguir las diferencias en el contraste de las hipótesis planteadas. Para ello, se aplican métodos para definir la normalidad entre ellos el más recomendado es el de Shapiro-Wilk (Droppelmann, 2018: pp. 40-41).

2.6.1. Análisis de normalidad Shapiro – Wilk

Fue una de las primeras pruebas en detectar desviaciones de la normalidad debido a asimetría y actualmente, es una de las técnicas más consolidada por su mayor potencia y sensibilidad a la no normalidad (Mohd y Bee, 2011: pp.21-33). En otras palabras, su objetivo de esta prueba de normalidad es evaluar el alejamiento de los datos en relación a un modelo normal.

La prueba considera la regresión de las observaciones sobre los valores esperados de la distribución, la cual está representada por la letra W que representa el cociente de dos estimaciones de la varianza de una distribución normal (Pedrosa et al., 2014: p.10). Además, resulta adecuada para un tamaño de la muestra menor o igual a 50, de tal manera que la prueba se ajusta mejor.

Según López y Fachelli (2015: p.17), para la aplicación de la prueba de Shapiro –Wilk se realiza:

– Formulación de hipótesis.

H_0 : La distribución es normal/ Los datos son normales, existe normalidad

H_a : La distribución no es normal/ Los datos no son normales, no existe normalidad.

- Determinación del nivel de significancia (α) que por lo general es de 0.05 que representa un 5% de riesgo y una seguridad del 95%. Según Fernández y Díaz (2001: pp.59-61), Fisher recomienda tal significación como límite para establecer lo que sucede en los datos.
- Cálculo del valor estadístico muestral W obtenido en el programan analítico R Studio en el cual se ejecuta la función *shapiro.test* el cual incluye el cálculo de varianza muestral.
- Decisión sobre la significación del estadístico mediante los valores arrojados por el programa estadístico.

Si p es menor o igual al nivel de significación dado, se rechaza la hipótesis nula (H_0), es decir, no existe normalidad o las muestras tienen un comportamiento no paramétrico. Por el contrario, si es mayor la distribución es normal (Mohd y Bee, 2011: pp.21-33).

2.6.2. Prueba del rango con signo de Wilcoxon

Es una prueba estadística no paramétrica empleada en vez de t-Student para comparar la mediana de dos muestras o datos pareados con la finalidad de establecer diferencias entre ellas, la prueba permite una mejor valoración de las diferencias de manera cuantitativa entre los pares de observaciones. Esta prueba es menos estricta y es utilizada cuando no se presupone ningún tipo de distribución específica (Gómez, et al., 2003: pp.91-99).

La prueba examina cuan mayor, menor, grande o pequeño es un valor observado con respecto a una mediana hipotética.

Según (Gómez, et al., 2003: pp.91-99), para la aplicación de la prueba de suma de rangos de Wilcoxon se realiza:

- Formulación de hipótesis

Ho: No existe diferencia significativa entre medianas

Ha: Existe diferencias significativas entre medianas

- Determinación del nivel de significancia (α) que por lo general es de 0.05 que representa un 5% de riesgo y una seguridad del 95%. Según Fernández y Díaz (2001: p.193), Fisher recomienda tal significación como límite para establecer si hay diferencias en los tratamientos.
- Calculo del valor estadístico Z obtenido en el programan analítico R Studio en el cual se introduce la función *wilcox.test*, que consiste en calcular las diferencias entre los pares de datos a los cuales se les asigna un signo de acuerdo a la diferencia original, los signos positivos y negativos se suman por separado y se obtiene un promedio. Los datos pareados que no sufren un cambio son descartados
- Decisión sobre la significación del estadístico mediante los valores arrojados por el programa estadístico.

Si el valor de p es menor o igual al nivel de significación, la hipótesis nula se rechaza es decir, indica que existen diferencias significativas.

2.6.3. Prueba t-Student

Es una prueba paramétrica que examina las diferencias entre dos medias de muestras independientes, es decir, se emplea para la valorar si dos grupos de muestras se diferencian de manera significativa respecto a su media. Es importante que dichas muestras tengan una distribución normal.

Según Sánchez (2015: pp.59-61), para la aplicación de la prueba t-Student se realiza:

- La comprobación de que las muestras son normales o tienen una distribución normal mediante el test Shapiro-Wilk.

- Formulación de hipótesis

Ho: No existe diferencia significativa entre medianas

Ha: Existe diferencias significativas entre medianas




- Determinación del nivel de significancia (α) que por lo general es de 0.05 que representa un 5% de riesgo y una seguridad del 95%. Según Fernández y Díaz (2001: pp.59-61), Fisher recomienda tal significación como límite para establecer si hay diferencias en los tratamientos.
- Calculo del valor estadístico t obtenido en el programa analítico R Studio en el cual se introduce la función $t.test$, mismo que consiste en la relación entre la diferencia de medias y cálculo de error estándar de las medias para consultar el grado de libertad.
- Decisión sobre la significación del estadístico mediante los valores arrojados por el programa estadístico.



Si el valor de p es menor o igual al nivel de significación seleccionado, la hipótesis nula se rechaza es decir, indica que existen diferencias significativas.

2.7. Materiales y Equipos

2.7.1. Materiales de muestreo en campo

Tabla 0-2: Materiales utilizados en el muestreo de campo







Material	Cantidad	Descripción	Uso / Actividad
	1	Excavadora manual (Hoyadora)	Extracción de muestras de suelos a profundidad de 30 y 60 cm
	1	Pala	Trasladar las muestras de suelo a la respectiva funda.
	1	GPS de mano	Posicionamiento de los puntos de muestreo.






	100	Fundas Ziploc grandes	Almacenamiento de muestras sin aire para ser llevadas al laboratorio.
	1	Rotulador	Identificación de muestras mediante códigos

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

2.7.2. Materiales y equipos en el laboratorio

Tabla 0-3: Materiales y equipos utilizados en el laboratorio



Materiales y Equipos	Cantidad	Descripción	Uso/Actividad
	1	Hidrómetro ASTM 151H	Medición de la densidad en una suspensión de suelo
	1	Balanza Analítica modelo OHAUS	Pesaje de muestras de suelo
	1	Tamiz analítico Fisherbrand 2000 µm	Separación de la fracción de grava.
	1	Tamiz analítico Fisherbrand 53 µm	Separación de la fracción de arena.
	1	Estufa modelo ESCO	Secado de muestras a temperatura determinada.
	1	Batidora de mano eléctrica	Remoción de las muestras de suelo para separación de partículas.


	2	Desecador	Enfriamiento de muestras sin pérdida de estas.
	40	Crisoles	Colocación de muestras dentro de la estufa.
	12	Probetas de vidrio (1000ml)	Preparación de la suspensión de cada muestra de suelo y medición con el hidrómetro.
	2	Balones de aforo de vidrio (1000ml)	Preparación de soluciones.
	5	Pipetas de vidrio de 25 ml	Extracción de suspensión de suelo.

Realizado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

2.7.3. Reactivos en laboratorio

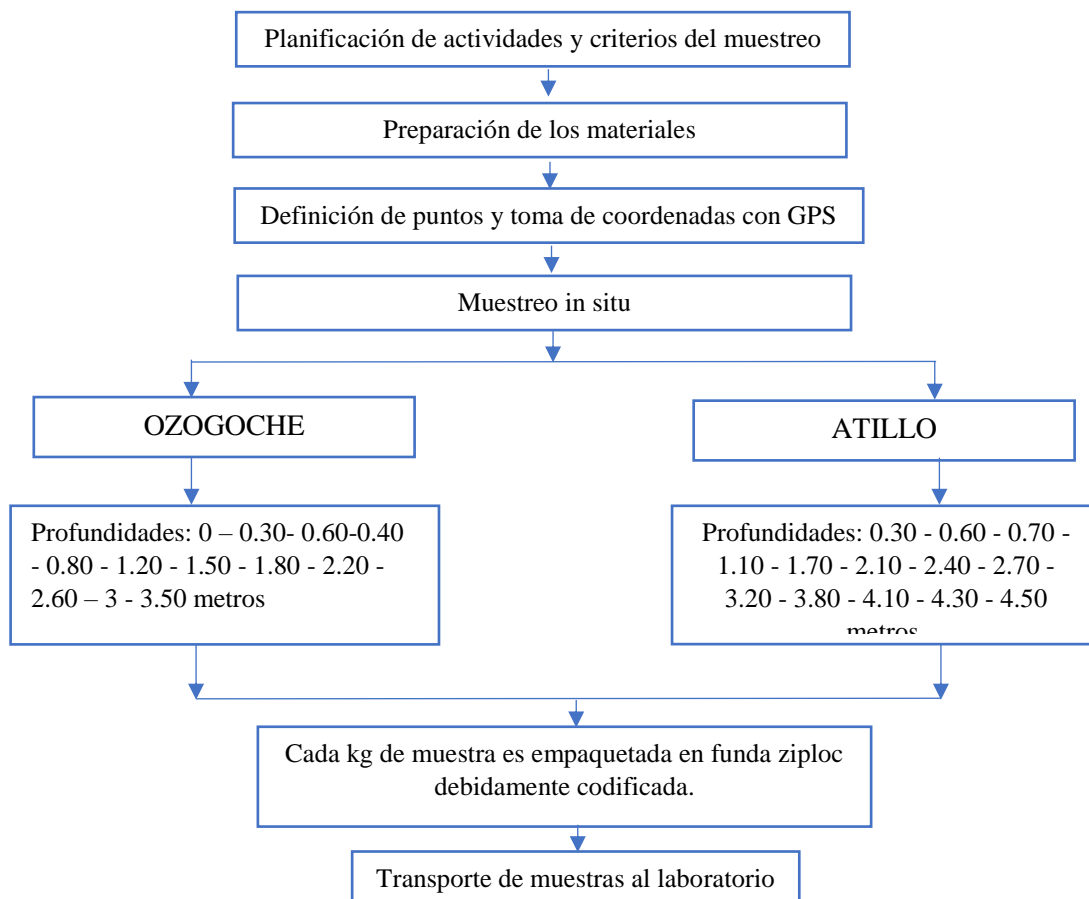
Tabla 0-4: Reactivos utilizados en el laboratorio

Reactivos	Cantidad	Descripción	Uso/Actividad
	1 kg	Hexametafosfato de sodio (NaPO_3) ₆	Dispersión de partículas del suelo
	2 litros	Peróxido de Hidrógeno	Destrucción de materia orgánica

	1 kg	Acetato de sodio	Remoción de carbonatos y sales solubles.
---	------	------------------	--

Realizado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

2.8. Metodología para campo



Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

2.9. Metodología en el laboratorio

2.9.1. Determinación de granulometría por Método de Bouyoucos-Day

En el año de 1961, George John Bouyoucos desarrollo el método que lleva su nombre, también denominado método del hidrómetro, que consiste en una técnica de rápida y sencilla operación debido a que la muestra de suelo no requiere pretratamientos.

El tamaño de los sólidos en la suspensión se estima a partir de la densidad del medio, la cual varía directamente con la cantidad de partículas presentes (Maldonado, 2016: p. 20). El análisis de las partículas del suelo por este método se basa en la relación que existe entre la velocidad de deposición y el diámetro de la partícula del suelo, es decir, la ley fundamental para realizar tal análisis, es la de Stokes (Borja, et al., 2014: pp. 309-310)

Cuatro años más tarde, Paul Day utilizó el mismo fundamento planteado inicialmente, sin embargo, modificó ciertos parámetros como el uso del hidrómetro, tiempos de lectura y procesamiento de datos, mismas modificaciones que lo convierten en un método más preciso al cual denominó Bouyoucos-Day.

2.9.1.1. Instrumento de medición para el método: Hidrómetro H151

El uso de un hidrómetro o densímetro se basa en la velocidad diferencial de sedimentación de las partículas con base a su tamaño, peso y medio en que se sedimentan, tomando en cuenta que la densidad de la suspensión disminuye a medida que las partículas se asientan (Maldonado, 2016: p. 20).

En el método modificado por Day (Bouyoucos-Day), se utiliza un hidrómetro más alargado y esbelto con la punta en forma de cono (León, 2001: p. 221).

El hidrómetro 151H tiene una longitud de 28 centímetros y sus divisiones son de 0.001, por lo cual tiene una precisión de ± 0.001 . Tiene una estandarización de temperatura de 20°C.

2.9.1.2. Procedimiento

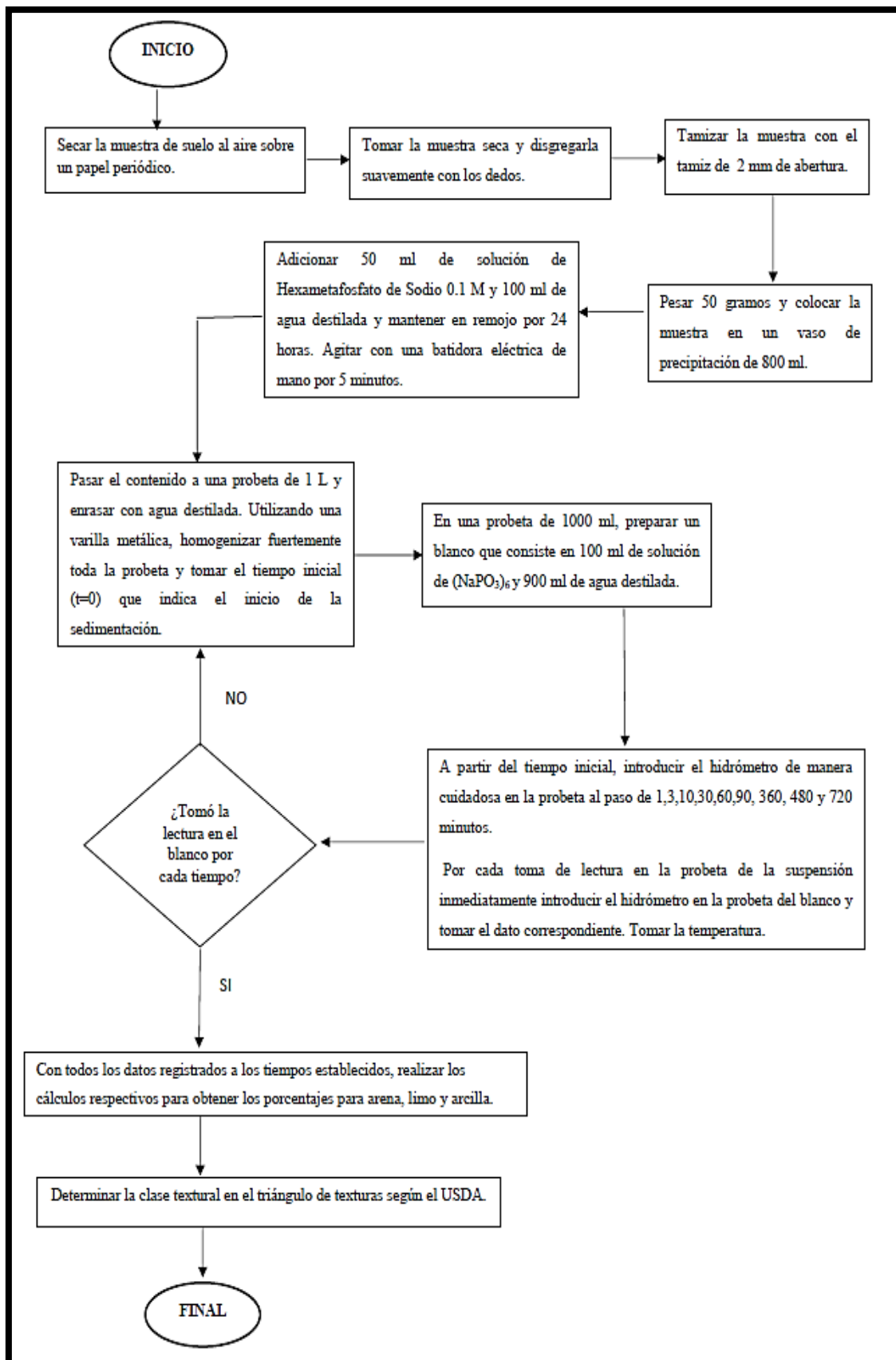


Figura 0-4: Diagrama de flujo del procedimiento para el método de Bouyoucos-Day.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila 2021.

En primera instancia, la muestra de suelo es sometida a un proceso de secado al aire y disgregación. Luego, es pasada por un tamiz de 2.00 mm de diámetro. Los 50 gramos de muestra pesada se coloca en un vaso de precipitación de 800 ml (Andrades, et al., 2015: pp.25-27).

Dispersión de la muestra. La dispersión de la muestra incluye una dispersión química con Hexametáfosfato de Sodio (NaPO_3)₆ y una dispersión física mediante agitación mecánica (Alcívar, 2020: pp. 4-8)

En el vaso de precipitación se adiciona 50 ml de solución de Hexametáfosfato de Sodio 0.1 M y 100 ml de agua destilada para mantenerlo en remojo por 24 horas. Para completar este proceso, se agita con una batidora eléctrica por 5 minutos.

Se prepara un blanco que consiste en 100 ml de solución de (NaPO_3)₆ y 900 ml de agua destilada en una probeta de 1L.

Toma de mediciones en las muestras. El contenido (suelo + dispersante) se pasa a una probeta de 1 L y se enrasa con agua destilada. Utilizando una varilla metálica, se homogeniza fuertemente toda la probeta y se toma el tiempo inicial (t=0) que indica el inicio de la sedimentación.

Tiempos de lectura. En 1962, Bouyoucos planteó tiempos de 40 segundos y 2 horas para estimar el porcentaje relativo de arena, limo y arcilla. A lo largo del tiempo, varios investigadores han propuesto lecturas al tiempo después de 40 s y 8h, se considera que este último tiempo tomado desde el tiempo cero proporciona una medida más precisa del porcentaje de arcilla de la muestra (Rojas, et al., 2014: p.27). En última instancia, Bouyoucos Day determinó que las medidas adecuadas son tomadas desde 30 s hasta 12 horas (León, 2001: p. 221).

Se sabe que los diferentes tiempos de lectura del hidrómetro son esenciales para determinar las clases texturales de manera más precisa, por ello se introduce el hidrómetro de manera cuidadosa en la probeta al paso de 1,3,10,30,60,90, 360, 480 y 720 minutos.

Cabe mencionar que por cada toma de lectura en la probeta de la suspensión inmediatamente se introduce el hidrómetro en la probeta del blanco y se toma el dato correspondiente. Además, se toma la temperatura que debe ser la misma que la probeta de la suspensión.

Cálculos para la distribución porcentual del tamaño de partículas

Para el diámetro de partícula corregido y expresado en micrómetros (D), se toma en cuenta el parámetro de sedimentación (θ), expresado en función de la lectura del hidrómetro en la suspensión. Además, se utiliza un factor de corrección $\left(\sqrt{\frac{n_{x^{\circ}C}}{n_{30^{\circ}C}}}\right)$, el cual se encuentra en función de la temperatura de la suspensión que debe ser la misma que la del blanco.

$$D = \frac{\theta}{\sqrt{t}} \times \sqrt{\frac{n_{x^{\circ}C}}{n_{30^{\circ}C}}}$$

Para el porcentaje en peso de partículas, se considera la lectura del hidrómetro en la suspensión (L_n) y la lectura del hidrómetro en el blanco (L_o), además del peso inicial de la muestra seca al aire (P).

$$\%P = \frac{(L_n - L_o)}{P} \times 100$$

Los datos de diámetro de partícula (D) y porcentaje en peso (%P) son graficados en un papel semilogarítmico de textura de la Figura 2-5, los cuales son identificados en el eje de las abscisas y ordenadas, respectivamente. Es decir, la escala logarítmica en las abscisas presenta los tamaños de las partículas en micrómetros y el porcentaje en peso de cada fracción se obtiene al dibujar la curva, cuyos puntos establecidos en la misma son intersecados con el eje correspondiente.

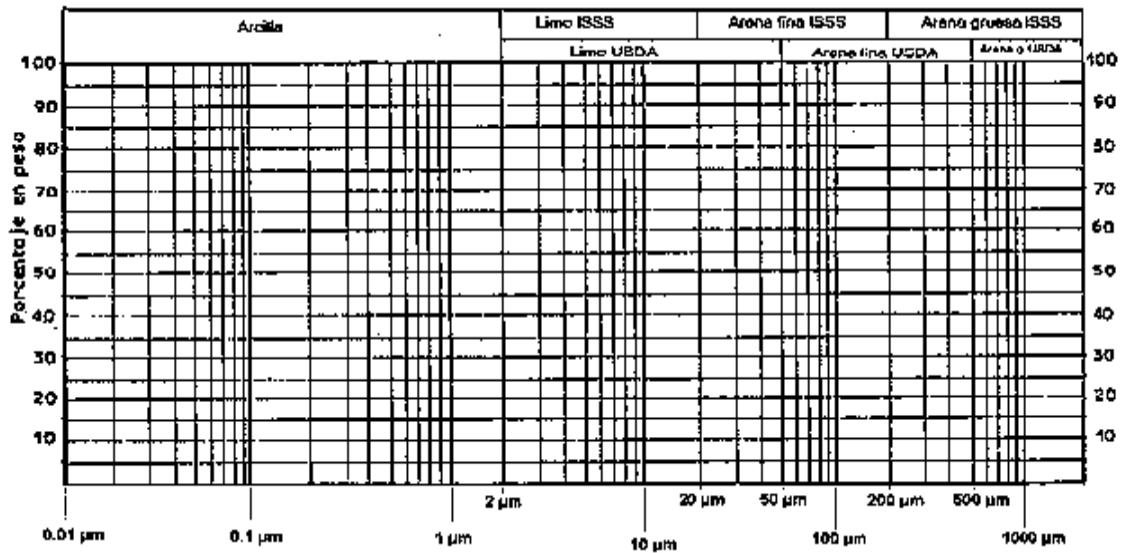


Figura 0-5: Diagrama semilogarítmico para determinación de porcentaje en peso.

Fuente: (Andrades, et al., 2015: pp.25-31).

Al obtener los porcentajes de limo y arcilla en el diagrama, se procede a la aplicación de ecuaciones para calcular los porcentajes de arena, limo y arcilla definitivos.

$$\%Arcilla = \%Arcilla_{diag.}$$

$$\%Limo = \%Limo_{diag.} - \%Arcilla$$

$$\%Arena = 100 - \%Arcilla - \%Limo$$

Determinación de la clase textural según la clasificación del USDA. El triángulo equilátero de clasificación de texturas más utilizado, es el americano que se presenta en la Figura 2-6. Este tiene una escala de diez en la cual se fijan los límites porcentuales de cada fracción, arena, limo y arcilla.

Al cabo de la obtención de los porcentajes correspondientes a cada fracción, se ubica los datos en el triángulo. Se sitúa el valor del porcentaje de la fracción y se siguen las líneas paralelas a las otras dos fracciones. La intersección de las tres líneas conformadas recaerá sobre el área que indique la textura correspondiente.

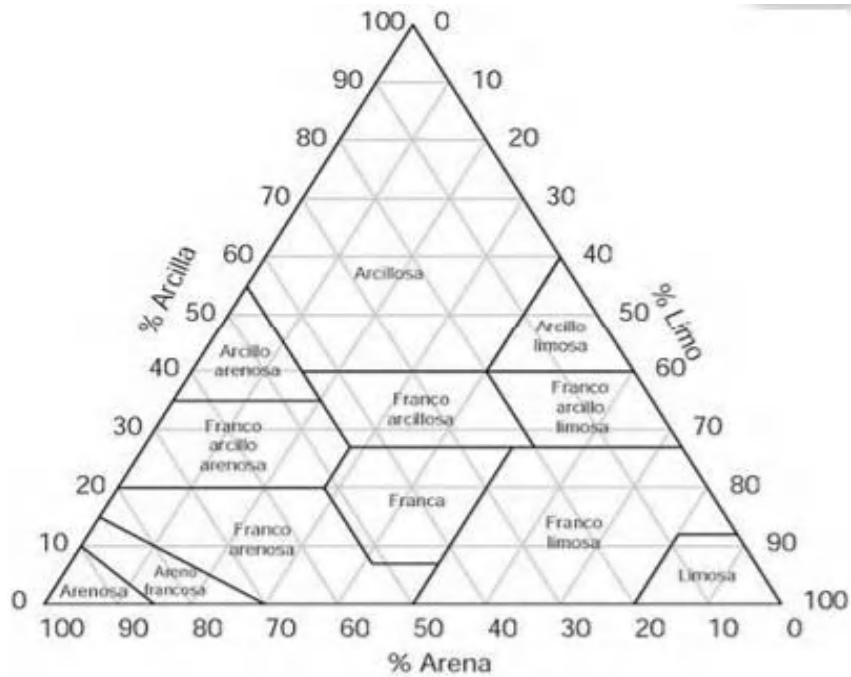


Figura 0-6: Diagrama triangular de la textura del suelo según el USDA.

Fuente: (Rucks, et al., 2004).

Para comprobar la clase textural del suelo establecido mediante el diagrama triangular, se puede utilizar la siguiente Tabla 2-5 con la finalidad de evitar errores en los resultados.

Tabla 0-5: Clases texturales de suelos según el USDA.

Contenido porcentual (%)			Clase textural
Arena	Limo	Arcilla	
86-100	0-14	0-10	Arenoso
70-86	0-30	0-15	Arenoso franco
50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
23-52	28-50	7-27	Franco
20-50	74-88	0-27	Franco limoso
0-20	88-100	0-12	Limoso
20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso

45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
0-45	0-40	40-100	Arcilloso

Fuente: (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1987).

2.9.2. Determinación de granulometría por Método de la Pipeta

Es un método usado ampliamente considerado uno de los mejores para determinar la granulometría (Pellegrini, 2019: p.10). Garantiza una mayor precisión, que parte de una suspensión uniforme de agua y suelo que con el tiempo se altera, ya que las partículas de mayor diámetro se precipitan a mayor velocidad, tal como lo establece la ley de Stokes.

Las partículas presentes en la suspensión avanzan por el cilindro de volumen conocido, mientras tanto se define una profundidad y tiempo en función de la temperatura y se sumerge la pipeta para la toma de alícuotas (Alcívar, 2020: p.10).

2.9.2.1. Procedimiento

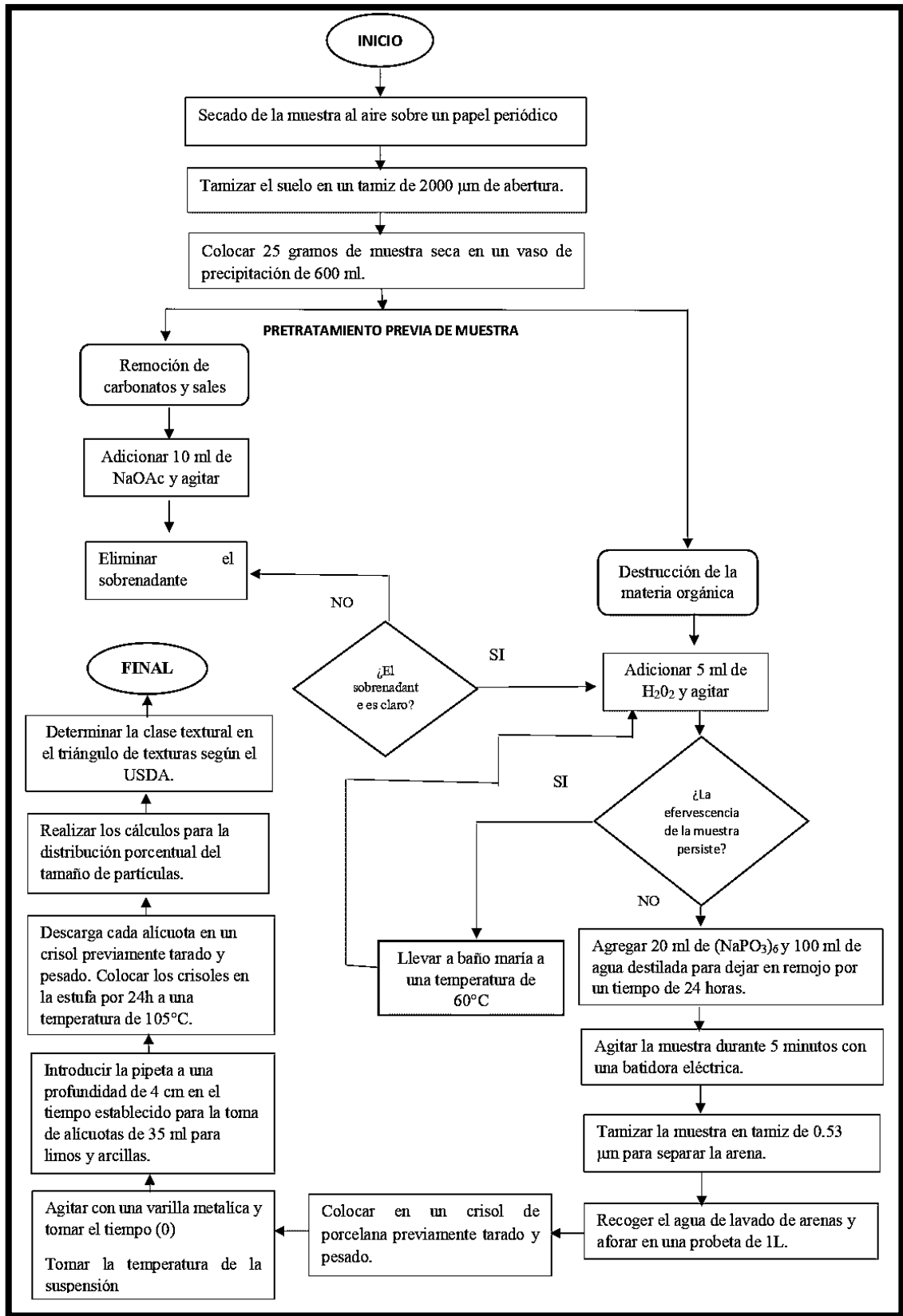


Figura 0-7: Diagrama de flujo del procedimiento para el método de la Pipeta.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila 2021.

Para empezar, la muestra de suelo es sometida a un proceso de secado al aire y disgregación. La muestra seca se pasa por un tamiz de 2.00 mm de diámetro.

2.9.2.2. Tratamientos previos a la separación de las fracciones del suelo

Dentro del pretratamiento de la muestra se incluye la destrucción de la materia orgánica, carbonatos y sales que se puedan hallar en el suelo (Gómez, 2013: p. 19).

Maldonado (2016: p. 18), indica que tal proceso es importante para eliminar los agentes cementantes y agregados de la muestra, así como la dispersión de las partículas de arcilla.

Remoción de carbonatos y sales solubles. Según el Manual de Procedimientos Analíticos de la UNAM (Flores y Alcalá, 2010: pp. 13-15), la presencia de carbonatos tiene como consecuencia la agregación y la no adecuada dispersión de las partículas del suelo. La remoción de tales compuestos se la realiza acidificando la muestra con NaOAc 1M pH 5, siendo el más conveniente porque no destruye partículas arcillosas.

Se coloca 30 gramos de muestra seca en un vaso de precipitación de 600 ml, se agrega 100 ml de agua destilada y 10 ml de NaOAc 1M pH 5 p y se agita. Se repite el proceso tres veces y en cada una se elimina el sobrenadante hasta que éste se torne claro.

Remoción de materia orgánica. (Flores y Alcalá, 2010: pp. 13-15), indican que reactivos como el peróxido de hidrogeno (H_2O_2), hipoclorito de sodio y permanganato de potasio son ampliamente utilizados en la remoción de materia orgánica y su efecto cementante. Sin embargo, el peróxido es el oxidante estándar para dicho fin porque no es agresivo con las fracciones (Marín, 2011: pp. 44-45).

En la muestra de suelo sin el sobrenadante, se adiciona 5 ml de H_2O_2 y se agita por varios minutos. En caso de que se presente efervescencia, agregue agua fría para disminuir la reacción. En caso de que la efervescencia se presente en exceso, la muestra se somete a baño maría y se calienta a una temperatura de 60°C. Se repite el mismo procedimiento hasta que ya no haya reacción y el suelo tenga un color más claro, lo cual indica que la materia orgánica fue destruida con éxito (Flores y Alcalá, 2010: pp. 13-15).

Dispersión de la muestra. Para completar el proceso de separación de partículas, se adiciona 20 ml de $(NaPO_3)_6$ que es una sal utilizada para la limpieza que permite romper los disgregados del suelo haciendo que las partículas tanto finas y gruesas presentes, se individualicen; y 100 ml de agua destilada para dejar en remojo por un tiempo de 24 horas. Después del periodo de reposo, la muestra es agitada durante 5 minutos con una batidora eléctrica (Flores y Alcalá, 2010: pp. 13-15).

Separación de la fracción de arenas. Se pasa la suspensión anterior por un tamiz de 0.053 micrómetros de abertura, mismo que se encuentra sobre un vaso de precipitación para recoger el agua destilada utilizada en el lavado de arenas. Las arenas retenidas en el tamiz, se colocan en una capsula de porcelana previamente tarada y pesada, la cual es introducida a la estufa a una temperatura de 105° C (Flores y Alcalá, 2010: pp. 13-15).

Tiempo de toma de alícuotas. Según Lorenz (2005: p.16), los tiempos de sedimentación para la toma de alícuotas de la mezcla (suelo pre tratado-agua) son definidos en función de la temperatura y la profundidad a la que se introduce la pipeta.

Tabla 0-6: Tiempos de sedimentación para limo y arcilla en función de la temperatura.

Profundidad	4 cm	
	Limo 50 µm -20 µm (m:ss)	Arcilla menor a 2 µm (h:mm:ss)
18	1:59	3:18:57
19	1:57	3:15:08
20	1:54	3:09:26
21	1:51	3:05:14
22	1:49	3:00:51
23	1:46	2:56:40
24	1:43	2:52:29
25	1:41	2:48:40
26	1:39	2:44:51
27	1:37	2:37:36

Fuente: (LORENZ, 2005: p.16).

Separación de la fracción de limos. La suspensión sobrante del vaso de precipitación, se transfiere a una probeta de 1000 ml y enrasar con agua destilada. Utilizando una varilla metálica, homogenizar fuertemente toda la probeta y se toma el tiempo inicial (t=0) que indica la iniciación de la sedimentación. Para la extracción de la alícuota se toma la temperatura de la suspensión y se introduce la pipeta a una profundidad de 4 cm en el tiempo establecido según la Tabla 2-6, tomando en cuenta desde el tiempo cero. Es importante considerar que la pipeta se ingresa a la probeta 15 segundos antes del tiempo establecido.

Se toma la alícuota de 25 ml para luego descargarla en una capsula previamente tarada y pesada, ésta es colocada en la estufa por 24h a una temperatura de 105°C.

Separación de la fracción de arcillas. Considerando el tiempo (t=0) de iniciación de la sedimentación. Se introduce nuevamente la pipeta 15 s antes del tiempo establecido. Para la

extracción de la alícuota se toma la temperatura de la suspensión y se introduce la pipeta a una profundidad de 4 cm en el tiempo establecido en la Tabla 2-6, tomándolo en cuenta desde el tiempo cero. Es importante considerar que la pipeta se ingresa a la probeta 15 segundos antes del tiempo establecido.

Se toma la alícuota de 25 ml para luego descargarla en una capsula previamente tarada y pesada, ésta es colocada en la estufa por 24h a una temperatura de 105°C.

Cálculos para la distribución porcentual del tamaño de partículas

Todos los crisoles son colocados en un desecador para enfriarlos y evitar la pérdida de muestra. Para el peso de la muestra seca (C), se considera el peso de cada uno de los crisoles con la muestra seca (B) y el peso de los crisoles vacíos pesados previamente (A).

$$Peso\ de\ la\ muestra\ seca\ (C) = B - A$$

En cada caso, el peso de la muestra seca de arena, limo y arcilla conforman una totalidad (Pts). Dicho dato es esencial en la obtención de los porcentajes correspondientes.

$$Pts = C_{arena} + C_{limo} + C_{arcilla}$$

$$\%Arena = \frac{C_{arena}}{Pts} \times 100$$

$$\%Limo = \frac{C_{limo}}{Pts} \times 100$$

$$\%Arcilla = \frac{C_{arcilla}}{Pts} \times 100$$

Determinación de la clase textural según la clasificación del USDA. Como se mencionó anteriormente, el triángulo americano de clasificación de texturas más utilizado, el cual se presenta en la Figura 2-6, este tiene una escala de diez en la cual se fijan los límites porcentuales de cada fracción, arena, limo y arcilla. De igual manera se puede utilizar la Tabla 2-5.

Al cabo de la obtención de los porcentajes correspondientes a cada fracción, se ubica los datos en el triángulo. Se sitúa el valor del porcentaje de la fracción y se siguen las líneas paralelas a las otras dos fracciones. La intersección de las tres líneas conformadas recaerá sobre el área que indique la textura correspondiente.

2.10. Metodología para análisis de Costo-Beneficio para la toma de decisiones

En 1849, Dupuit fue el precursor del análisis costo-beneficio al medir que utilidad tenían las obras públicas, pago de peajes y gastos generados en el transporte público. Con estos trabajos se establecieron aspectos importantes para el costo beneficio como la identificación de los beneficios desprendidos de proyectos. En el año 2010, Cervone convirtió al análisis costo beneficio en un instrumento para la toma de decisiones, siendo útil para proyectos que se basan en consideraciones, fundamentos, argumentos y observaciones (Jácome y Carvache, 2017: pp. 2-14).

Para Ortega (2012: pp.147-149), el análisis costo beneficio muestra quien gana y quien pierde entre dos o más opciones y decidir si la ejecución de un proyecto o método en especial es deseable.

2.10.1.1. Procedimiento

Establecimiento de factores de análisis. Se toma en cuenta los requerimientos y limitaciones presentes en cada alternativa (método) identificadas claramente a partir del profundo conocimiento del objetivo de análisis y de cómo se va a ejecutar (Ortega, 2012: pp.147-149), esto para que el estudio sea lo más preciso posible.

Los factores posibles a considerar son: materiales y equipos, mantenimiento de instrumentos, implementos de limpieza, reactivos, capacitaciones, mano de obra de los investigadores, tiempo requerido para cada proceso, salario del investigador, entre otros. Tales factores son designados de acuerdo a las características de los métodos a evaluar.

Incorporar toda la información relevante. Utilizar todos los aspectos tangibles e intangibles de cada alternativa identificados en la ejecución de su respectivo procedimiento, relacionándolos con cada factor planteado ya que, para Aguilera (2017: p.332) prestar atención a los aspectos intangibles da como resultado una mejor competencia y eficiencia para administrar los recursos.

Además, es importante contar con registros de información relacionada con los métodos que son objeto de comparación, ya que para Ortega (2012: pp.147-149), los costos y beneficios manifiestan todos los recursos empleados, incluyendo los impactos positivos y negativos presentes en cada proceso. De tal manera que permita enlistar y justificar exhaustivamente los costos y beneficios apropiadamente, de acuerdo a cada factor.

Determinar y/o estimar monetariamente los costos y beneficios. Una vez que los costos y beneficios son identificados, justificados y cuantificados en términos físicos, recursos empleados y los posibles resultados por cada alternativa (Ortega, 2012: pp. 147-149).

Se determinan todos los costos o gastos, por ejemplo, en la compra de insumos o en el pago de salarios a colaboradores. En algunos casos, los costos serán puntuales mientras que otros solo

podrán estimarse. Esto debido a que los costos incluyen los recursos físicos necesarios y los costos del esfuerzo humano involucrado en todas las fases de los métodos en cuestión. Es importante considerar todos los costos relacionados para que los resultados sean más cercanos a la realidad. Para el caso de los beneficios, se toma en cuenta todas las actividades que generan un ahorro económico estos se detallan a fin de obtener su cantidad monetaria. Los beneficios son relevantes porque permiten conocer la utilidad de aplicar el método. Cabe mencionar que los beneficios de las alternativas que no se pueden definir en un mercado, la valoración monetaria la hacen directamente quienes estén a cargo del método según los cambios e impactos percibidos (Mendoza, 2008: pp. 28-29).

Cuantificar el valor total de los costos y beneficios. Una vez que cada costo y beneficio tenga su respectivo valor en dólares, se procede a sumar cada lista y a anotar el resultado final para compararlos.

Establecer una relación donde los beneficios sean el numerador y los costos el denominador (beneficios/costos) Se obtiene un valor total de costos y beneficios, respectivamente. Luego, se establece la relación (B/C) mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$B/C = \frac{\text{Valor del Costo total del método}}{\text{Valor del Beneficio total del método}}$$

Esta acción se realiza en los dos métodos (alternativas).

Realizar una comparación de las relaciones beneficios-costos. Mediante el valor obtenido de las relaciones (B/C) se identifica la mejor solución.

Si $B/C > 1$ El Método es eficiente

Si $B/C < 1$ El Método no es eficiente

Si $B/C = 1$ El Método es ligeramente eficiente

Si los beneficios totales superan en número a los costos totales, entonces existe un caso para que se continúe con la decisión. Si los costos totales superan en número a los beneficios total, se debe reconsiderar la propuesta.

Evaluar y comparar cada alternativa. Para Ortega (2012: pp.147-149), el análisis costo beneficio busca la ordenación de alternativas para evitar una asignación de recursos errónea.

Por lo tanto, de acuerdo a los valores totales obtenidos se discute y se define el método más adecuado en términos de eficiencia y rendimiento económico (Castro, 2015: p.39).

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS ANÁLISIS

3.1. Comparación del Método de Bouyoucos-Day y Método de la Pipeta

3.1.1. Distribución porcentual de las fracciones granulométricas

Se determinó los porcentajes de arena, limo y arcilla tal como se muestra en la tabla 3-1, a través del método de Bouyoucos-Day, donde el porcentaje de arena presenta un promedio de 78% seguido del limo con 19% y arcilla 3% hablando específicamente de la zona periglacial de Ozogoche la clase textural predominante es “arenoso franco”; asimismo, para la zona de Atillo, el promedio de arena es de 77%, limo 15% y arcilla 1%, predominando la misma clase textural. Por su parte, con el método de la Pipeta en la zona de Ozogoche, el promedio de arena, limo y arcilla es de 89.4%, 11.2% y 2.3%, respectivamente, siendo la clase textural predominante “arenoso” y en Atillo los promedios de 81.4%, 16.2% y 2.2%, dando una clase “arenoso franco”. Con respecto al coeficiente de variabilidad, el método de Bouyoucos-Day indica una mayor dispersión en la fracción de arcillas contenidas en el suelo de las microcuencas de Atillo y Ozogoche con valores de 2.17 y 1.56, respectivamente.

Tabla 0-1: Fracciones obtenidas mediante el MBD y el MP.

% PORCENTAJE DE LAS FRACCIONES	MÉTODO DE BOUYOUCOS-DAY (MBD)					
	OZOGOCHÉ			ATILLO		
	ARENA	LIMO	ARCILLA	ARENA	LIMO	ARCILLA
VALOR MÁXIMO	92	31	18	95	36	9
VALOR MÍNIMO	62	7	0	73	5	1
PROMEDIO	78	19	3	77	15	1
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.09	0.30	1.56	0.09	0.38	2.17
CLASE TEXTURAL	“Arenoso franco”			“Arenoso franco”		
	MÉTODO DE LA PIPETA (MP)					
VALOR MÁXIMO	94.704	23.980	44.412	89.394	30.437	16.209
VALOR MÍNIMO	70.810	4.701	0.582	61.459	10.263	0.343
PROMEDIO	89.412	11.288	2.301	81.479	16.223	2.298
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.05	0.30	0.92	0.08	0.30	1.04
CLASE TEXTURAL	“Arenoso”			“Arenoso franco”		

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

En la figura 3-1, se aprecia que los porcentajes de arena evaluados con ambos métodos son elevados en ambas microcuencas. Sin embargo, en su mayoría con el método de la Pipeta los porcentajes son mayores debido al proceso de tamización inicial que las separa completamente, pese a que en dicho proceso existe la pérdida de muestra (León 2001: pp. 221-222).

Además, se evidencia que el método de Bouyoucos –Day tuvo una adecuada cuantificación de arenas compitiendo favorablemente con el de la Pipeta lo que proporciona resultados porcentuales cercanos.

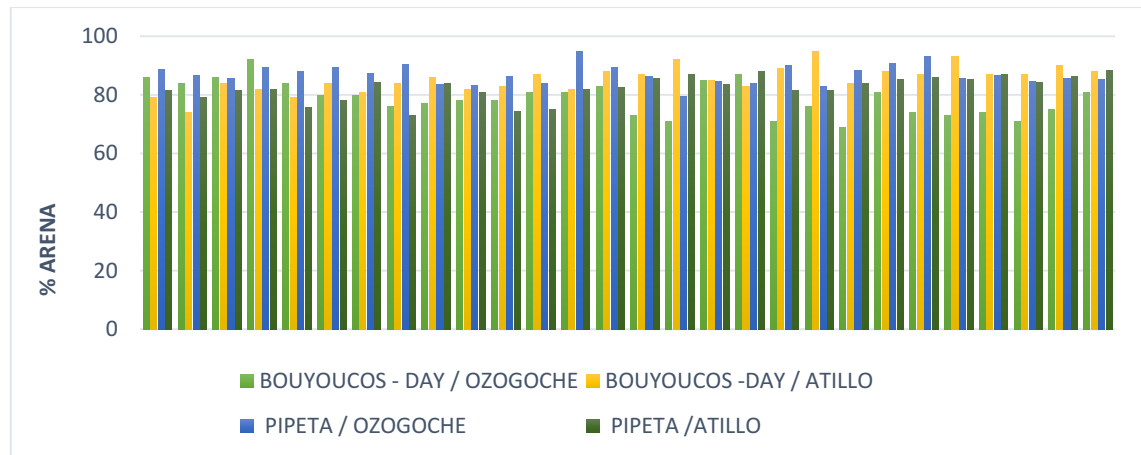


Gráfico 0-1: Porcentaje de arena obtenido a partir del MBD y MP.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

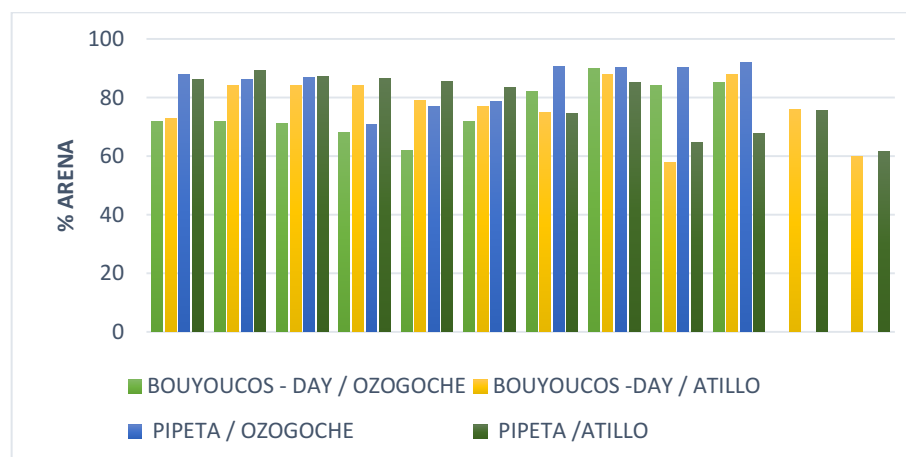


Gráfico 0-2: Porcentaje de arena en los perfiles obtenido a partir del MBD y MP.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

La figura 3-3 y 3-4, en su mayoría los porcentajes de limo son mayores con el Método de Bouyoucos-Day, resultado de la utilización de varios tiempos de lectura con el hidrómetro, pues según (García et al., 2008: pp.21-26) de eso depende una mejor precisión y la no presencia de fuentes

de error. Además, debido a que las fracciones de limo y arcilla se mantienen mayor tiempo en suspensión, requieren de tiempos de sedimentación amplios de 6 y 8 horas a fin de identificar los porcentajes de limo (Medina et.al., 2007: p.23), lo que permite asegurar que para dicha fracción, el método de Bouyoucos-Day es adecuado.

En los casos donde los porcentajes son menores en el método de la Pipeta, pueden ser producto de la cantidad de muestra utilizada inicialmente o por la pérdida de muestra de suelo en la evaporación que se produce cuando ocurre el proceso de efervescencia con el agua oxigenada o en el proceso de secado en la estufa, así lo indica León (2001: pp. 221-222).

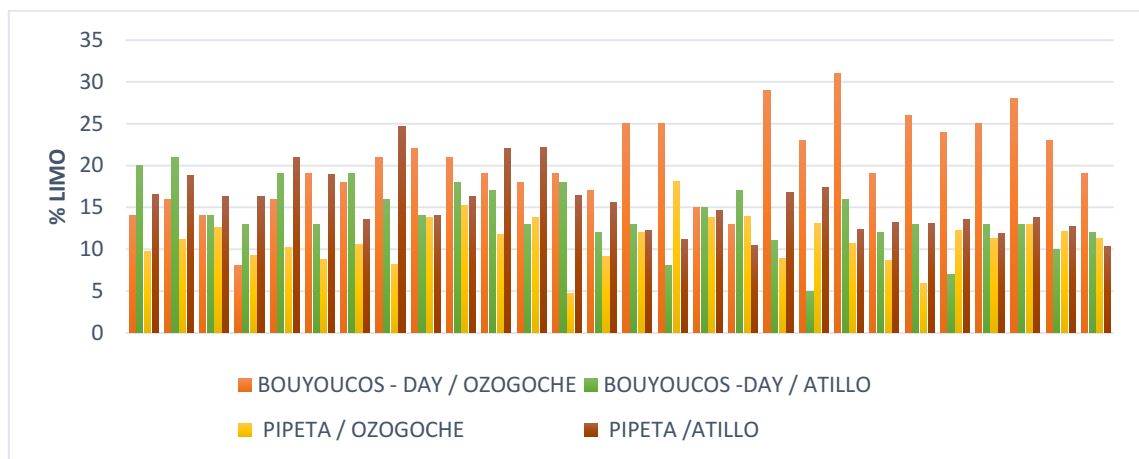


Gráfico 0-3: Porcentaje de limo obtenido a partir del MBD y MP.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

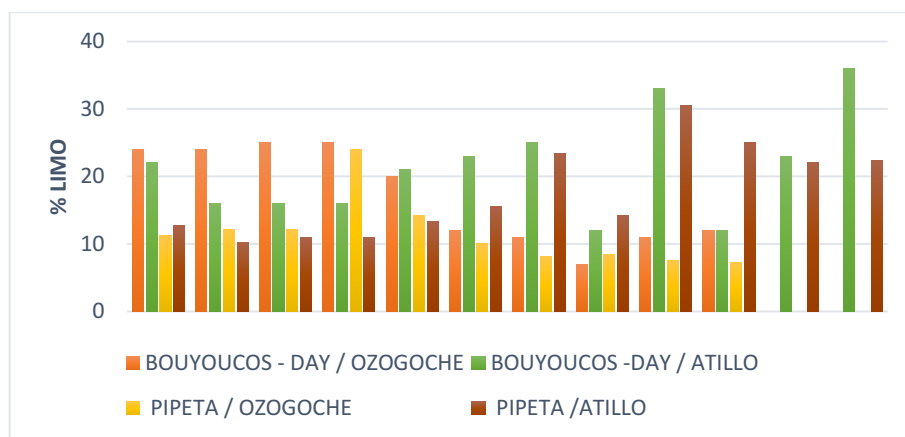


Gráfico 0-4: Porcentaje de limo en perfiles obtenido a partir del MBD y MP.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

Para la fracción de arcilla, la figura 3-5 y 3-6, expone los porcentajes de las muestras analizadas con el método de Bouyoucos-Day, indican la ausencia de arcilla con valores de 0% en algunas muestras, sobre todo en las que corresponden a profundidades de 30 y 60 cm. Asimismo, según

León (2001: p.223) en algunas muestras la fracción ha sido detectada por la acción del Hexametáfosfato de sodio y la agitación mecánica aplicada, especialmente en los perfiles de suelo.

Por el contrario, al utilizar el método de la Pipeta la fracción de arcilla es cuantificada a pesar de mostrarse en valores bajos, se considera que esto sucede por la destrucción del agente cementante de la materia orgánica que ocasiona el desprendimiento de partículas de arcilla, provocando la disgregación a una escala mayor.

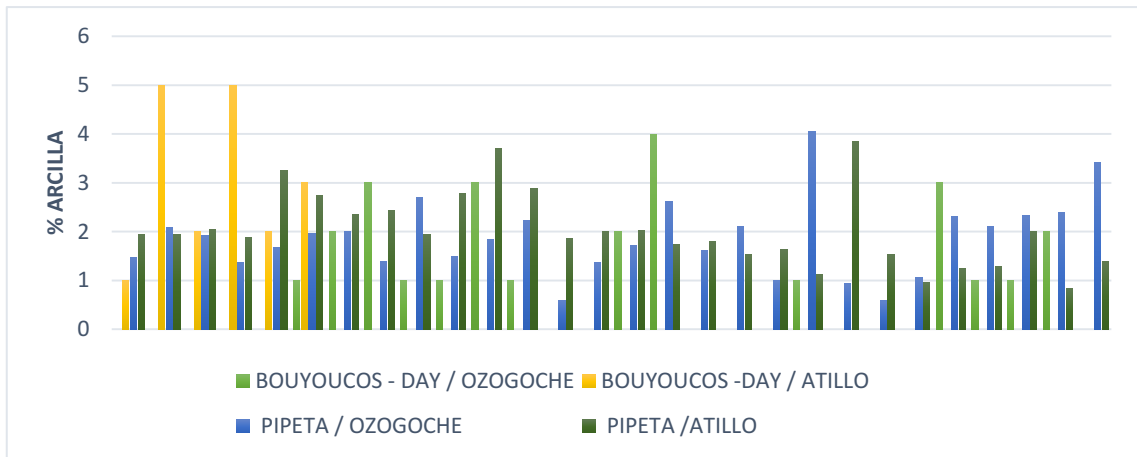


Gráfico 0-5: Porcentaje de arcilla obtenido a partir del MBD y MP.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

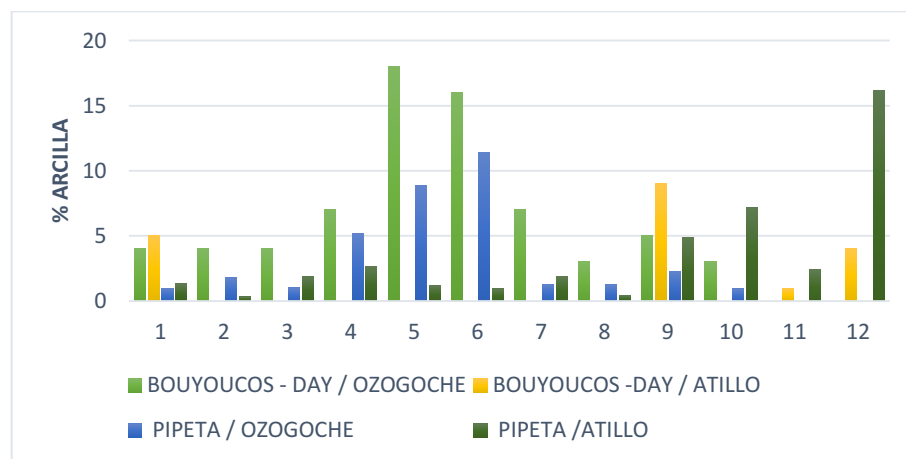


Gráfico 0-6: Porcentaje de arcilla en perfiles obtenido a partir del MBD y MP.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

3.1.2. Análisis estadístico

Es importante analizar el comportamiento de diferentes grupos de datos con respecto a la normalidad. A lo largo del tiempo, se ha afirmado que para la aplicación de métodos estadísticos es necesario conocer la distribución que siguen los datos en estudio para definir la aplicación de métodos de distribución paramétrica y distribución libre (Flores et al., 2017: p.368).

Por tanto, se ha aplicado el test de normalidad Shapiro-Wilk a todos los datos experimentales correspondientes a los porcentajes de arena, limo y arcilla. La Tabla 3-2 muestra que $p < 0.05$ para las tres fracciones con respecto a los métodos evidenciando que los datos no son normales, sin embargo para el caso del porcentaje de limo obtenido por el método de Bouyoucos-Day donde el valor de $p > 0.05$ si existe normalidad. Entonces, por el hecho de que la mayoría rechaza la hipótesis nula, se determina que no existe normalidad.

Tabla 0-2: Test de normalidad Shapiro-Wilk al 5%

FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS	p-valor	
	Método de Bouyoucos-Day	Método de la Pipeta
Arena	0.01179	9.20e-06
Limo	0.1518	0.0023
Arcilla	1.75e-13	7.47e-14

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

De acuerdo a Flores (2017: p.368), el hecho de que los datos analizados no sean normales no constituye un problema ya que solo se debe a la presencia de muchos datos altos y bajos, lo cual hace que el promedio no se encuentre en el centro de la distribución. Además, tal situación permite la aplicación de los métodos de distribución libre que constituyen un instrumento de análisis de gran valor para el investigador porque aportan información sobre la posible diferencia entre las poblaciones estudiadas.

De acuerdo con Droppelmann (2018: pp. 40-41), al estar frente a una nula normalidad, recomienda el empleo de transformaciones con la finalidad de que los datos sigan una distribución normal. Sin embargo, al aplicar raíz cuadrada y logaritmo, los datos se mantenían como no normales.

Tal realidad nos permite suponer que la presencia de datos altos y bajos se debe a que el muestreo fue realizado aleatoriamente en la zona periglacial de las microcuencas sin tomar en cuenta un único criterio. Además, el análisis de muestras de perfiles de suelo constituye una notable variación en los porcentajes porque fracciones granulométricas varían con respecto a la profundidad (Zuñiga et al., 2017: pp.183-196).

Flores, et al., (2017: p.368), indica que otra alternativa para manejar la no normalidad es la aplicación de métodos más generales de distribución libre, los cuales están hechos para probar hipótesis y permiten tener conocimientos o no de la distribución.

Uno de los métodos de distribución libre que permite la comparación de dos datos y el reconocimiento de diferencias significativas es el Test de Wilcoxon (Gómez et al., 2003: pp.91-99). En la Tabla 3-3, se evidencia la existencia de diferencias significativas entre las cantidades de arena, limo y arcilla obtenidas al aplicar el método de Bouyoucos-Day y la cantidad de fracciones de arena, limo y arcilla obtenidos mediante el método de la Pipeta. Esta afirmación se establece porque $p < 0.05$ en los tres casos.

Tabla 0-3: Test de Wilcoxon al 5% con respecto a los métodos.

MÉTODOS	FRACCIONES GRANULOMETRICAS	p-valor
Método de Bouyoucos-Day y	Arena	0.0005997
	Limo	9.516e-06
Método de la Pipeta	Arcilla	0.00737

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

La comparación revelada se considera buena en vista de que el procedimiento en los dos métodos es evidentemente diferente. Según Bouyoucos (1951: p.436), el análisis granulométrico está influenciado por el grado de agitación y el pretratamiento, no necesariamente de la utilización del hidrómetro o la pipeta. Con respecto al grado de agitación o dispersión mecánica de los suelos con la utilización de la batidora de mano donde su principal eficiencia radica en la hélice de la varilla de agitación, cuando esta se desgasta por el uso continuo su eficiencia va disminuyendo y no cumple a cabalidad con su función. Además, en el método de Bouyoucos-Day, el suelo no es tratado previamente con Acetato de Sodio ni con peróxido de hidrogeno por lo que la materia orgánica y carbonatos se distribuyen en diferentes tamaños.

Como se explicó anteriormente, los perfiles influyen en la distribución de los datos obtenidos. Por lo tanto, se ha considerado la evaluación de los datos experimentales sin tomar en cuenta las muestras recogidas a otra variedad de profundidades. Por tanto, se ha aplicado el test de normalidad Shapiro-Wilk a todos los datos experimentales correspondientes a los porcentajes de arena, limo y arcilla, tomando en cuenta solo las muestras de profundidades de 30 y 60 cm.

Tabla 0-4: Test de normalidad Shapiro –Wilk al 5%

FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS	p-valor	
	Método de Bouyoucos-Day	Método de la Pipeta
Arena	0.3711	0.1678
Limo	0.5503	0.1412
Arcilla	3.94e-10	0.03231

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

La Tabla 3-4, muestra que $p > 0.05$ para las fracciones arena y limo con respecto a los métodos evidenciando que los datos presentan una normalidad, sin embargo para el caso a del porcentaje de arcilla obtenido por el método de Bouyoucos-Day donde el valor de $p < 0.05$ no existe normalidad y con respecto al método de la Pipeta, ocurre lo mismo pero con un valor de p más cercano a la normalidad, lo que indica que el método aplicado tiene mayor capacidad de cuantificarlas por más ínfima que sea su cantidad. Entonces por el hecho de que la mayoría acepta la hipótesis nula, se determina que existe normalidad en el grupo de datos.

Según Flores et al., (2017: p.367), para la comparación de grupos con variables cuantitativas continuas y con una distribución normal se pueden aplicar pruebas estadísticas paramétricas donde la más conocida y recomendada es la t de Student.

Tabla 0-5: Test t-Student al 5% con respecto a los métodos.

MÉTODOS	FRACCIONES GRANULOMETRICAS	p-valor
Método de Bouyoucos-Day y	Arena	0.01722
	Limo	0.0004214
Método de la Pipeta	Arcilla	6.585e-8

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

En la tabla 3-5, se evidencia que definitivamente si existen diferencias significativas entre los porcentajes de arena, limo y arcilla al utilizar ambos métodos, lo cual se define porque $p < 0.05$. Con respecto a la fracción de arcilla, la diferencia significativa se presenta en mayor grado porque de acuerdo con Gee y Bauder (1979: p.12) el error en la lectura de una escala de hidrómetro puede ser de 0.5%, el cual puede aumentar al analizar suelos con una cantidad relativamente pequeña de esta fracción. Asimismo, tal situación puede deberse a la introducción de un error producido al tomar la alícuota, pues la succión de la pipeta atrae partículas no consideradas.

En la tabla 3-6, para las fracciones de arena y limo, las diferencias significativas son menores con respecto a la arcilla. Esto sucede porque según Bouyoucos (1962: pp.464-465), la fracción granulométrica de limos es más sensible a la dispersión. Por lo tanto, estos pudieron haberse

encontrado formando pseudo-arenas y al ser dispersados con Hexametafosfato de Sodio, arenas y limos fueron cuantificadas favorablemente para los dos métodos de análisis.

Tabla 0-6: Test de Wilcoxon al 5% con respecto a las microcuencas.

Microcuenca del río Ozogoche y Atillo	FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS	p-valor	
		Profundidades: 30 y 60 cm / Perfil: 0-3.50 m y 0.30-4.50 m	Profundidades: 30 y 60 cm
	Arena	0.8956	0.6085
	Limo	0.1918	0.8023
	Arcilla	0.04004	0.5401

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

Al realizar la comparación de las fracciones de arena, limo y arcilla pertenecientes a la microcuenca del río Ozogoche y Atillo que se muestra en la tabla 3-6, se define que para el caso de la arena y limo no existen diferencias significativas porque los $p > 0.05$, en cambio para arcilla si existen diferencias significativas por la razón de que $p < 0.05$. Tal decisión indica que la arcilla tiene cierta variabilidad en virtud de que se analizan datos de muestras recolectadas a distintas profundidades, sobre todo en los perfiles la fracción se presenta en distintas cantidades.

En el caso de analizar los datos de las muestras recolectadas a profundidades de 30 y 60 cm, se establece que no existe diferencias significativas por el valor de $p > 0.05$, lo que permite establecer que las tres fracciones granulométricas son equivalentes o similares a dicha profundidad.

3.1.3. Análisis comparativo de los usos de los métodos de estudio

3.1.3.1. Método de Bouyoucos – Day

Agricultura

Fertilidad del suelo. La cantidad de nutrientes que se encuentran en un suelo definen la fertilidad de este que no es otra cosa si no la capacidad de producir y albergar plantas de manera adecuada. El método más empleado para definir la textura es el método de Bouyoucos-Day que define de manera cualitativa y cuantitativa un suelo. Nutrientes como el potasio y fósforo son principales promotores de la fertilidad de los suelos que se ven grandemente influenciados por las proporciones en las que se encuentran arena, limo y arcilla siendo esta última la que más influencia tiene sobre su comportamiento. En suelos con cantidades elevadas de arcilla la cantidad disponible de estos nutrientes será muy escasa (Andrades, 2014: pp. 15-16).

Disponibilidad de fósforo (P) en suelos agrícolas. Se ha aplicado el método con la finalidad de establecer la clase textural del suelo y su influencia en la disponibilidad de fósforo en suelos agrícolas. Según (Flores et al., 2013: pp.211-220), la textura permite estimar el tipo de drenaje lo cual influye en las pérdidas de fósforo por lixiviación de las aguas superficiales. Considerando que la estimación de fósforo aprovechable por las plantas es mayor en un suelo franco.

Área ambiental

Biodegradación de Hidrocarburos. Debido a la facilidad que tienen los hidrocarburos de adsorberse en partículas de suelo como las arcillas ante un derrame esto dificulta la acción de los microorganismos degradadores de estos compuestos. Es necesario conocer que fracción es la dominante en el suelo contaminado por hidrocarburos, en caso de predominar la fracción arcillosa se estima que existe mayor adhesividad de estos. Es necesario aplicar un método adecuado de determinación granulométrica el más recomendado es el método de Bouyoucos-Day por su inmediata obtención de resultados (Silva y Carrera, 2009: p.107).

Indicadores para el cálculo de los índices de calidad del suelo. Las fracciones granulométricas son indicadores fundamentales en el cálculo de los índices de calidad de suelos, especialmente contaminados con Arsénico. Según Cordero (2016: pp.14-18), los porcentajes de arena limo y arcilla que aseguran la calidad de un suelo están entre los intervalos de 6.92%-48.92%, 10%-88% y 1.08%-51.08%, respectivamente.

Evaluación de riesgo de deslizamiento de tierra. La textura es fundamental en la identificación de posibles riesgos de deslizamientos de tierra, ya que esta influye en el grado de resistencia y plasticidad de un suelo. Según Cabrera (2010: p.231), la plasticidad depende de las cantidades de arcilla presentes en un suelo y su relación con el carbono orgánico, estableciendo que mientras el contenido de arcilla se encuentre por debajo al 25% y el carbono orgánico sea mayor al 1% los suelos no presentan características plásticas, lo cual ha permitido diagnosticar la posibilidad de que estos sufran deslizamientos en gran medida.

Remediación de suelos. La mayoría de suelos son remediados y rehabilitados mediante un proceso de lavado y adición de mejoradores. La determinación de porcentajes granulométricos especialmente de arenas y limos mediante el método de Bouyoucos-Day constituye un factor importante para definir si el proceso de remediación es óptimo. En caso de que el suelo sea arenoso el proceso es rápido y sencillo, por el contrario, si el suelo es limoso el proceso resulta lento y costoso (Barbosa, 2011: pp.9-176).

Industria de la construcción

Dosificación en mezclas asfálticas. El método de Bouyoucos-Day es muy útil determinar los porcentajes de las partículas de las mezclas asfálticas que contienen material granular con la finalidad de mitigar las consecuencias de ahuellamiento y por ende fallos en la capa asfáltica de una obra (Reyes y Camacho, 2008: pp. 26-42).

3.1.3.2. Método de la Pipeta

Área Ambiental

Determinación del almacenamiento de Carbono en suelos. Conocer las reservas de carbono que contienen los suelos de páramo es fundamental por el rol que este desempeña. Ante la influencia que pueden tener las fracciones de arena, limo y arcilla sobre la cantidad de carbono es importante determinar previamente los porcentajes en los que estos se encuentran presentes. Una mayor cantidad de arena favorece a una mayor acumulación de carbono por el contrario si la cantidad de limo y arcilla es mayor la cantidad de este disminuye (Huamán et al., 2021: pp.83-90). El método de la Pipeta es el más apropiado para este fin porque separa las fracciones de arena, limo y arcilla en las cuales se puede realizar un análisis más específico.

Análisis granulométrico de suelos tratados con lodos de depuradora. Los suelos son tratados con lodos de depuradora con el propósito de recuperar suelos degradados. Se ha utilizado el método de la Pipeta para el fraccionamiento de los sedimentos de dichos suelos antes y después del tratamiento para identificar la influencia de los lodos en sus propiedades físicas y en la formación de agregados, y la probabilidad de que los suelos reduzcan su escorrentía y sus niveles de erosión. Principalmente, el método ha sido aplicado para la identificación de fracciones finas (limo y arcilla) que son importantes en la buena estructura y características nutricionales del suelo (Ojeda et al., 2003: pp.135-145).

Estimación de la humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Una determinación adecuada de las fracciones porcentuales de un suelo y su clase textural, permite la evaluación cualitativa y cuantitativa de propiedades físicas como la humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. El primero se refiere al momento en el que el suelo se satura de manera que el drenaje de agua disminuye y el agua se estabiliza. La segunda propiedad se presenta cuando el suelo tiene el límite más bajo de humedad y las plantas no pueden absorber agua lo que provoca su marchitez. En caso de que el método identifique texturas finas, indica que la cantidad de agua será mayor en un suelo (León, 2001: p. 220).

Electrorremediación de suelos contaminados. A partir de los porcentajes de limos y arcillas identificadas por medio del método de la Pipeta, se puede reconocer aquellos suelos que sean aptos para la aplicación de la electrorremediación para suelos contaminados con hidrocarburos, ya que es exitoso para suelos de característica fina y baja permeabilidad (Alba, 2011: p. 30).

Industria de la Construcción

Elaboración de mezclas para construcción. Conocer las proporciones adecuadas de las fracciones de partículas finas y gruesas en una mezcla de suelo-cemento. Es necesario un análisis de las fracciones de arena, limo y arcilla que permita conocer con exactitud las proporciones de estos en el suelo, el método de la Pipeta es el más apto para este fin ya que proporciona datos numéricos puntuales que pueden ser fácilmente interpretados para las mezclas. En este tipo de mezclas los rangos que debe contener el suelo son: arena 55-75 %, limo 0-28% y arcilla 15-18% estos deben cumplirse con rigor, ya que hasta una mínima variación puede ocasionar que los costos se eleven y se generen problemas de tipo estructural (Toirac, 2008: p.300).

3.1.4. Análisis de Costo-Beneficio para la toma de decisiones

El método de Bouyoucos-Day y el método de la Pipeta cumplen a cabalidad su principal objetivo la determinación de la granulometría de los suelos, sin embargo, es importante determinar cuál de estos dos métodos es el más conveniente para obtener resultados óptimos al invertir menor capital y esfuerzo posible (Chuya, 2020: pp.4-15).

Los costos y beneficios definidos para el análisis son aquellos denominados directos, tangibles y reales desestimándose los que no resultan de relevancia para los métodos propuestos, tal como lo menciona Weller (2016: p.6), si un costo o beneficio no responde al fin que se requiere alcanzar debe descartarse.

Cabe mencionar que el siguiente análisis es realizado para la evaluación de una única muestra de suelo, que permita realizar posteriores estimaciones de acuerdo a las circunstancias requeridas.

Tabla 0-7: Análisis costo- beneficio del método de Bouyoucos-Day.

Método de Bouyoucos - Day		
Lista de costos		
Adquisición de todo tipo de equipos, instrumentos y materiales para el análisis de suelo.	vidrio (probeta de 1000ml y 50 ml, beakers de 800ml y 250ml, varillas, balones de aforo de 1000ml)	\$ 64,20
	Instrumentos de medición (hidrómetro H151)	\$144,98
	Equipos (balanza)	\$2210

	Instrumentos y materiales adicionales (batidora eléctrica de mano, espátula, bandejas, tamiz de 2000 micrómetros)		\$139,75
	Materiales de limpieza (jabón, toallas absorbentes, papel periódico)		\$4,90
Adquisición de reactivos.	Reactivos (agua destilada, Hexametáfosfato de Sodio)		\$75
Mantenimiento de instrumentos. Compra de materiales nuevos	Mantenimiento o compra de instrumentos (batidora eléctrica de mano) En caso del rompimiento de materiales de vidrio		\$60,00
Salario mensual	Un investigador		\$1200
Total			\$3895.83
Lista de beneficios			
Ahorro en la compra de reactivos adicionales.	Efectividad en la evaluación granulométrica de textura gruesa para suelos de páramo por lo tanto solo se usa Hexametáfosfato de sodio como dispersante.	El ahorro se define descartando el costo de los reactivos usados en el método de la pipeta	\$106,94
Ahorro de tiempo, mejora en la rapidez y organización de la experimentación.	Toma rápida de medidas con el hidrómetro. El método muestra la facilidad de realizar otras actividades simultáneamente. En este caso, se puede realizar cálculos en tanto que las medidas son tomadas. Además, existe la posibilidad de analizar varias muestras a la vez. El método dura aproximadamente 17.15 h semanales para 24 muestras.	En comparación con el método de la Pipeta, que no presenta intervalos extensos de tiempo para realizar otra actividad, el método dura aproximadamente 15.08 h semanales para 16 muestras. Por lo tanto, existe un ahorro en el salario del investigador.	\$1.55
Ahorro en la adquisición de equipos y materiales.	El método no requiere una fase de secado de muestras.	El ahorro se define descartando el uso de estufa, pinza, pipetas graduadas, crisoles, desecador, tamiz de 53 micrómetros, reverbero, etc.	\$1483,84
Disminución de costos de capacitación.	Ahorro de tiempo en capacitación del proceso, uso del hidrómetro H151, equipos, preparación de soluciones.	No se requiere la capacitación por parte de un experto. El ahorro es definido a partir de un	\$1200

		salario mensual igual al del investigador.	
Aprovechamiento de las soluciones preparadas.	El investigador prepara la solución de 1 litro de Hexametáfosfato de Sodio, lo cual puede ser utilizado en una gran cantidad de muestras.	La solución preparada servirá para dispersar 17 muestras y el costo del reactivo por solución es de \$0.43	\$7.31
Total			\$2799.64

Realizado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

Tabla 0-8: Análisis costo- beneficio del método de la Pipeta.

Método de la Pipeta			
Lista de costos			
Adquisición de todo tipo de equipos, instrumentos y materiales para el análisis de suelo.	Materiales de vidrio (probeta de 1000ml y 50 ml, beakers de 800 ml y 250 ml, varillas, balones de aforo de 1000ml, pipeta graduada de 25, 10, 5 ml, desecador)		\$ 282,40
	Equipos (balanza, estufa)		\$3275
	(Instrumentos y materiales adicionales (batidora eléctrica de mano, espátula, bandejas, crisoles, pinza, tamiz de 2000 y 53 micrómetros, reverbero, pera de succión)		\$300,70
	Materiales de limpieza (jabón, toallas absorbentes, papel periódico)		\$4,90
Adquisición de reactivos.	Reactivos (agua destilada, Acetato de Sodio, Hexametáfosfato de Sodio, Peróxido de hidrogeno)		\$181,94
Mantenimiento de instrumentos. Compra de materiales nuevos	Mantenimiento o compra de instrumentos (batidora eléctrica de mano)		\$50
	En caso del rompimiento de materiales de vidrio		\$10
Salario mensual	Un investigador		\$1200
Total			\$5304.94
Lista de beneficios			
Ahorro de tiempo en la obtención de resultados.	Los cálculos no requieren correcciones y se aplican fórmulas sencillas para determinar los porcentajes de cada fracción.	La obtención de resultados mediante cálculos es muy sencilla por lo que se demora 1 h semanal en comparación con el de Bouyoucos-Day que requiere 2 h semanales.	\$9.82
Aprovechamiento de las soluciones preparadas.	El investigador prepara la solución de 1 litro de Hexametáfosfato de Sodio y Acetato de Sodio lo cual puede ser utilizado en una gran cantidad de muestras.	La solución preparada servirá para dispersar 50 muestras y el costo del reactivo por solución es de \$0.172 y para el Acetato	\$24.10

		de Sodio de igual manera con un costo de \$0.31.	
Facilidad en la generación de otros temas de investigación.	El método permite la separación de fracciones, las cuales pueden emplearse para la investigación de otros parámetros de manera más específica.	Los investigadores evitan realizar algún procedimiento de separación de fracciones para otros estudios. El ahorro se considera en el uso de reactivos, de materiales de limpieza y el mantenimiento de equipos.	\$246,84
Total			\$280.76

Realizado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

En la tabla 3-7 y 3-8 se muestra el análisis de costo- beneficio para el método de Bouyoucos-Day y el método de la Pipeta. En el primer método la totalidad de costos es \$2799.64 y beneficios es \$3895.83 y para el segundo de \$5304.94 y \$280.76, respectivamente. En los dos métodos es notable la superioridad de los costos frente a los beneficios.

Tabla 0-9: Análisis costo- beneficio para el MBD y MP.

	Método de Bouyoucos-Day	Método de la Pipeta
Total de Costos	3895.83	5304.94
Total de Beneficios	2799.64	280.76
Relación (B/C)	0.72	0.05

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

Tal como lo indica Rucoba et al., (2006: p. 3) el valor total de los costos y los beneficios permiten definir la relación costo-beneficio (B/C). Para el método de Bouyoucos-Day la relación (B/C) es de 0.72 y para el método de la Pipeta esta relación es de 0.05, lo cual (Santos, 2002: pp. 2-15) considera que no es posible elegir ninguno de los métodos debido a que los costos superan a los beneficios convirtiéndolos en técnicas que no se igualan a los métodos convencionales.

Pese a que la relación costo beneficio muestra valores menores a 1 para ambos métodos, el método de Bouyoucos-Day supera al de la Pipeta, lo cual indica una mayor aceptabilidad, en virtud de que el valor de sus costos y beneficios son parejos. De acuerdo a (Velázquez, 2011: pp. 5-19) si los costos y beneficios no muestran una diferencia alta entre sí, su relación costo beneficio se mantiene con valores cercanos a 1. Además, según Santos (2002: pp. 16-87) dicha aceptabilidad se

debe a que el método se caracteriza por ofrecer más beneficios, influyendo de manera positiva sobre este parámetro.

Tal como lo explica Guerrero (2014: p.9) únicamente es este análisis el que aporta información relevante en el ámbito económico para determinar la conveniencia de la ejecución de un proyecto o método.

3.1.5. *Análisis de costo de servicio aplicado al análisis granulométrico*

Tabla 0-10: Análisis de costo para el método de Bouyoucos – Day

Método de Bouyoucos-Day		
Soluciones	Cantidad utilizada	Costo por análisis
Hexametafostato de Sodio (61.17g en 1000ml)	61.17 g	0,43
Hexametafostato de Sodio para la solución blanco (6.12g en 100ml)	1.53 g	0,21
Agua destilada en soluciones (1 L de solución alcanza para 17 muestras, es decir 0.06 L/muestra)	0,06	0,01
Agua destilada para el aforo de probetas	1 l	0,13
Agua destilada para la solución blanco (0.91L)	0.9 l	0,12
Dispersión mecánica		
Electricidad 110v (225W) se bate la muestra por 6 minutos		0,0027
Restitución de la batidora de mano (nuevo 50\$ asumiendo que el equipo cumple con su vida útil en 500 muestras.		0,10
Operador		
Estimando que analiza 24 muestras/semana con un sueldo de \$1200	0,71	4,84
TOTAL COSTOS		6

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

Tabla 0-11: Análisis de costo para el método de la Pipeta

Método de la Pipeta		
Soluciones	Cantidad utilizada	Costo por análisis
Hexametafostato de Sodio (61,17 g en 1000ml)	61,17	0,172
Acetato de Sodio (82,0343 en 1000ml)	82,0343	0,31
Peróxido de Hidrogeno 15 ml/ muestra	15 ml	0,09
Agua destilada para la solución de Hexametafosfato de Sodio (1L de solución alcanza para 50 muestras, es decir 0.02l / muestra)	0,02	0,0026
Agua destilada para la solución Acetato de Sodio (1 l de solución alcanza para 17 muestras, es decir 0.05l / muestra)	0,05	0,0065
Agua destilada para lavado de arenas 40 ml/ muestra	40,00	5,20

Agua destilada para el aforo de probetas	1 l	0,13
Dispersión mecánica		
Electricidad batidora de mano 110v (225W), se bate la muestra por 6 minutos		0,0027
Restitución de la batidora de mano (nuevo 50\$ asumiendo que el equipo cumple con su vida útil en 500 muestras.		0,10
Secado de muestra		
Electricidad estufa 220v (2080W) se usa por 24 horas	24	5,99
Baño maría		
Electricidad reverberos 110v (225 W) se utiliza por 20 minutos	0,5	0,015
Operador		
Estimando que analiza 16 muestras/semana con un sueldo de \$1200	0,94	6,41
TOTAL COSTOS		18

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

En la Tabla 3-10 y 3-11, se expone el análisis los costos de servicio para el análisis granulométrico de una muestra aplicando los métodos cuantitativos y cualitativos correspondientes al de Bouyoucos-Day y de la Pipeta. Se ha considerado factores que implican un consumo de recursos en las fases de cada proceso y el tiempo de ejecución total de los métodos. Para el caso del método de Bouyoucos-Day, el análisis de una muestra de suelo cuesta \$6 en el cual el operador tiene la capacidad de examinar 98 muestras al mes y para el método de la Pipeta, el costo supera tres veces al método anterior con un valor de \$18 donde el operador puede examinar 64 muestras al mes.

3.2. Clasificación textural según el USDA

3.2.1. Microcuenca del río Ozogoche

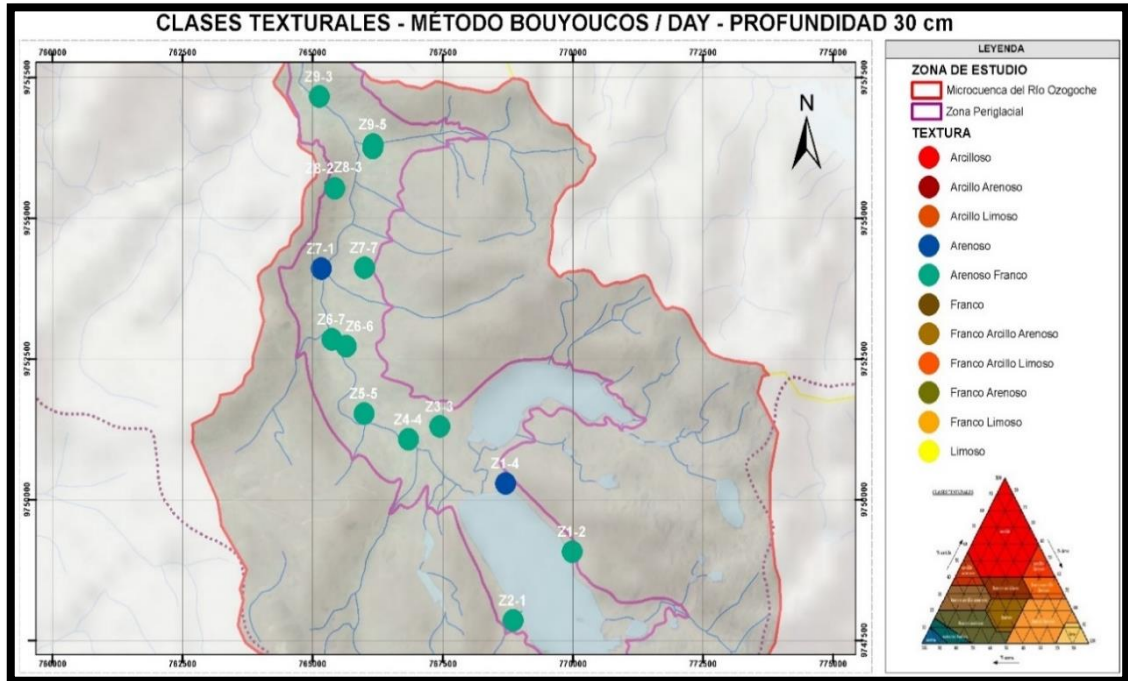


Figura 0-1: Clases texturales mediante el método de Bouyoucos-Day en Ozogoche.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

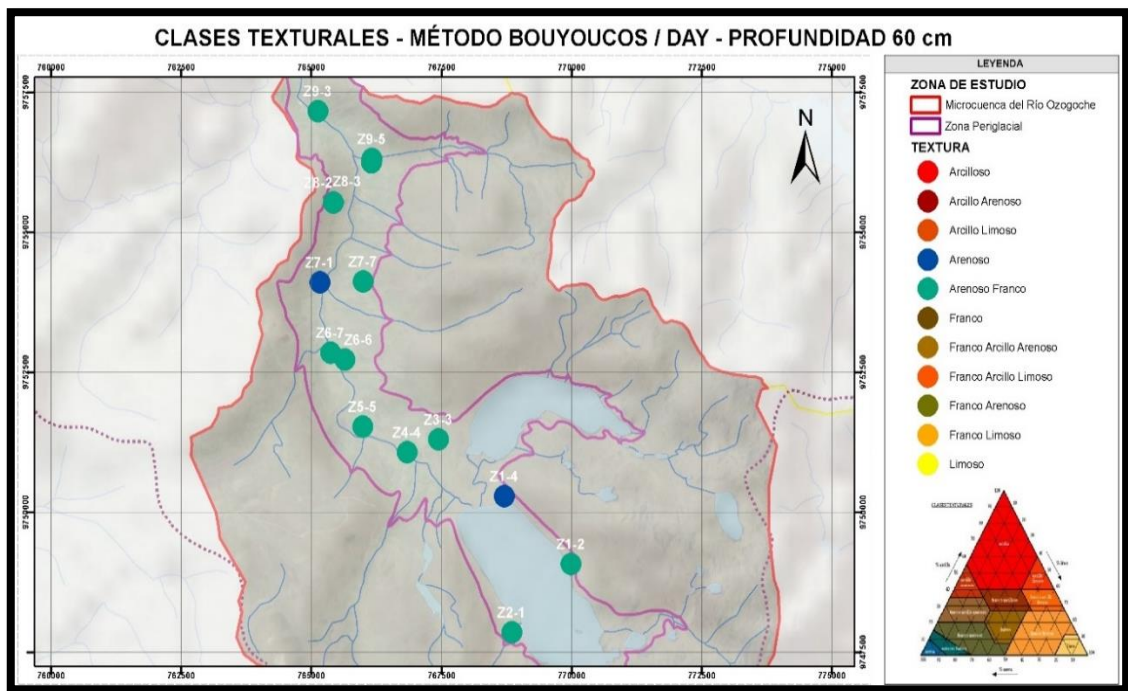


Figura 0-2: Clases texturales mediante el método de Bouyoucos-Day en Ozogoché.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

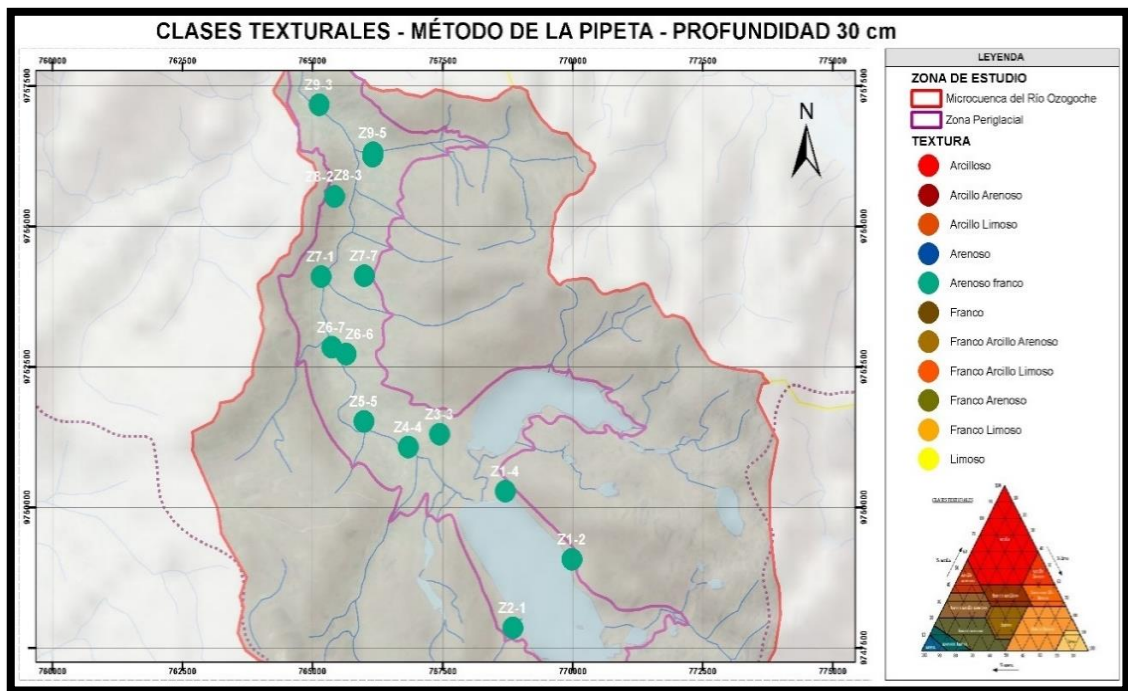


Figura 0-3: Clases texturales mediante el método de la Pipeta en Ozogoché.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

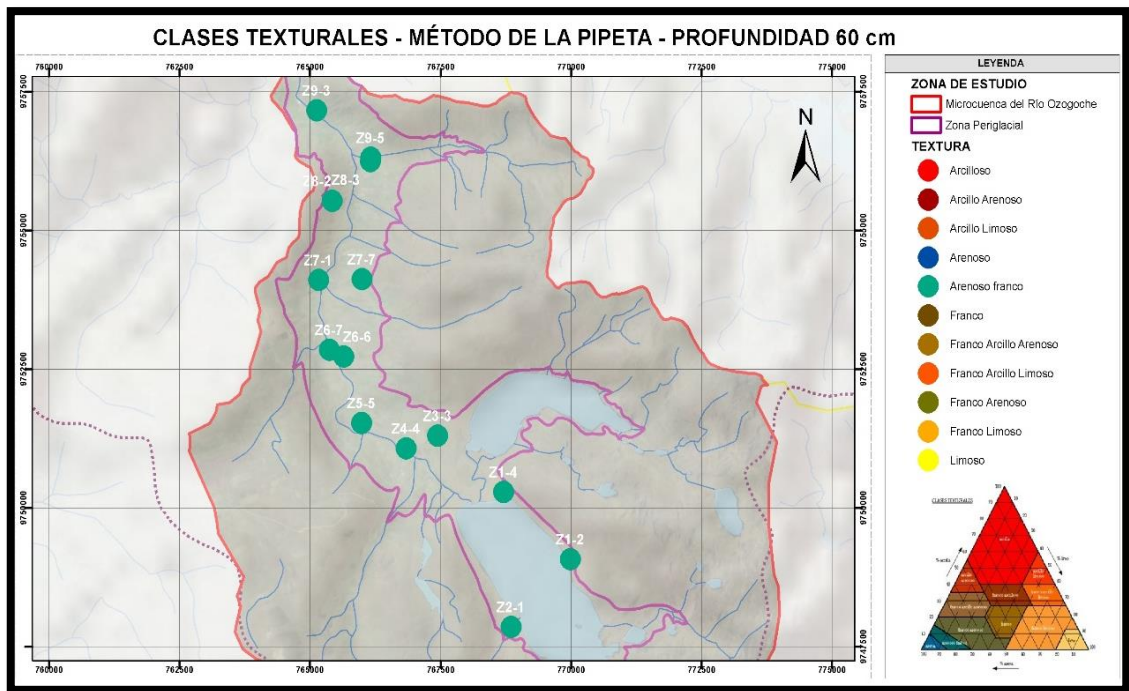


Figura 0-4: Clases texturales mediante el método de la Pipeta en Ozogoché.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

3.2.2. Microcuenca del río Atillo

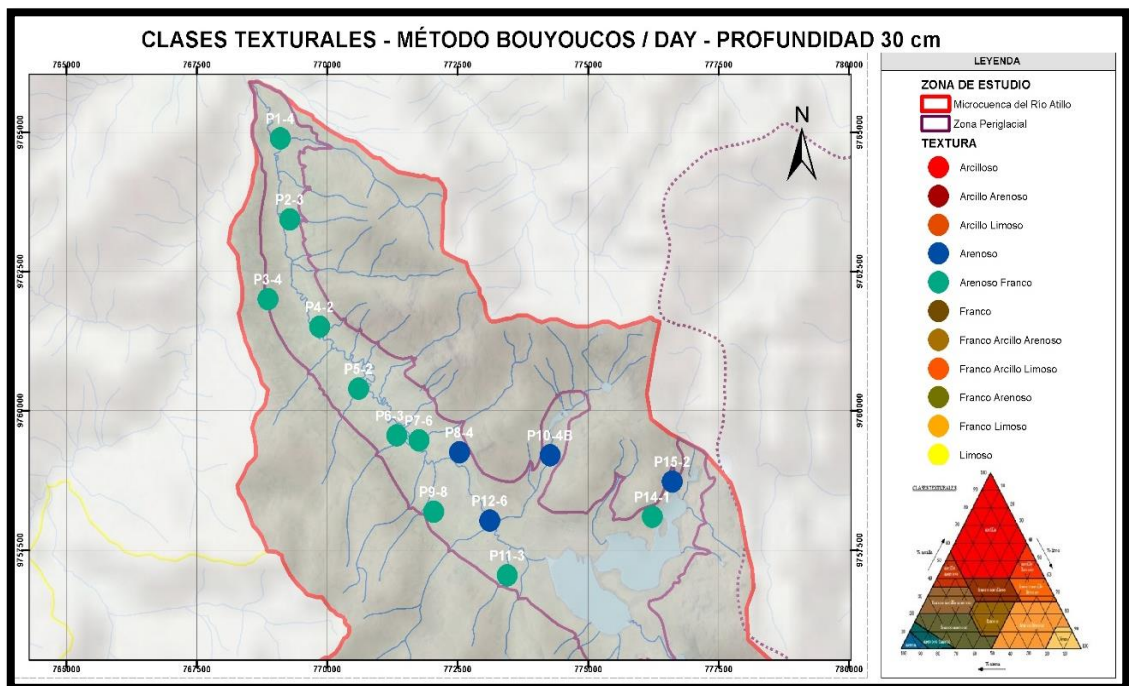


Figura 0-5: Clases texturales mediante el método de Bouyoucos-Day en Atillo.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

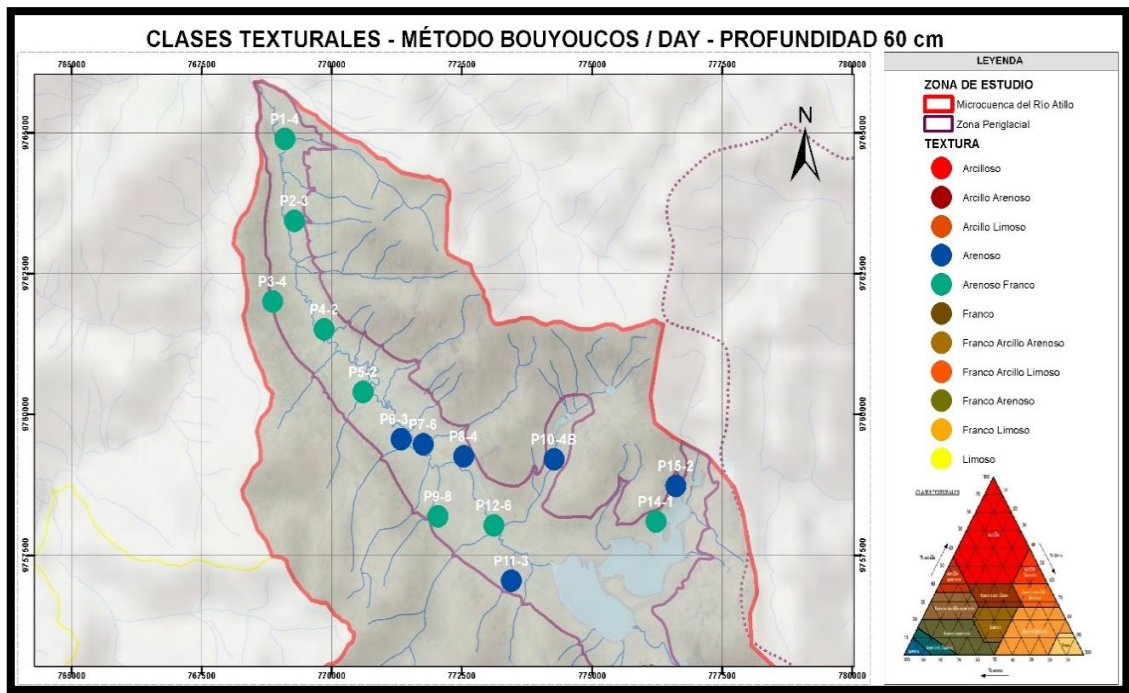


Figura 0-6: Clases texturales mediante el método de Bouyoucos-Day en Atillo.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

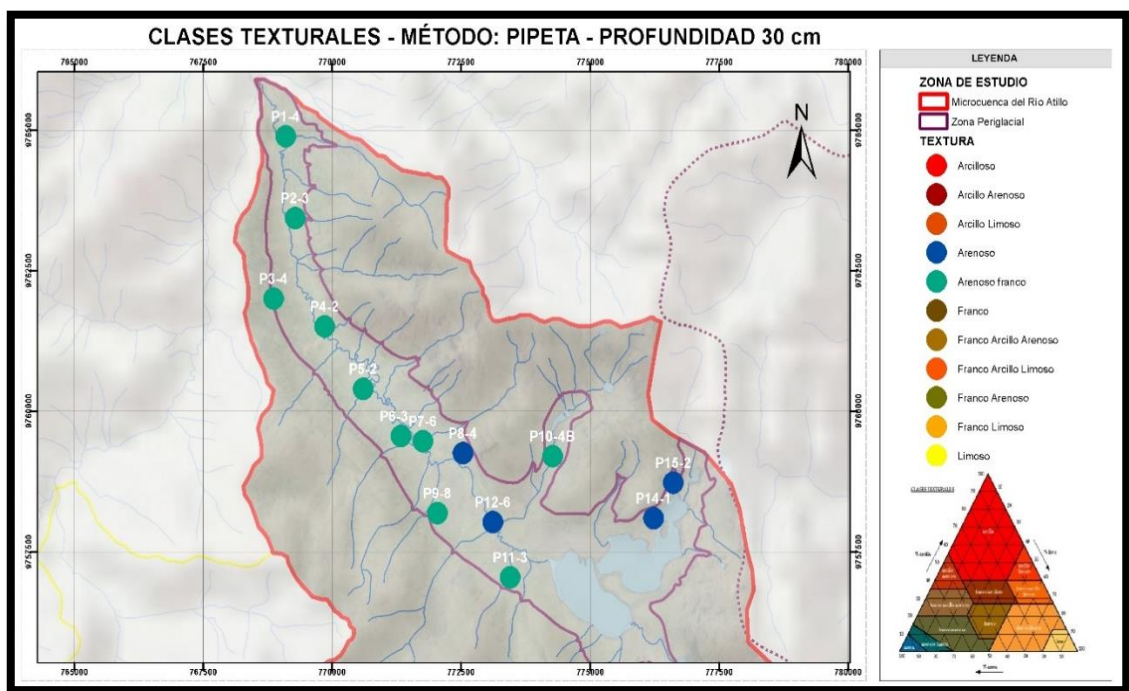


Figura 0-7: Clases texturales mediante el método de la Pipeta en Atillo.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

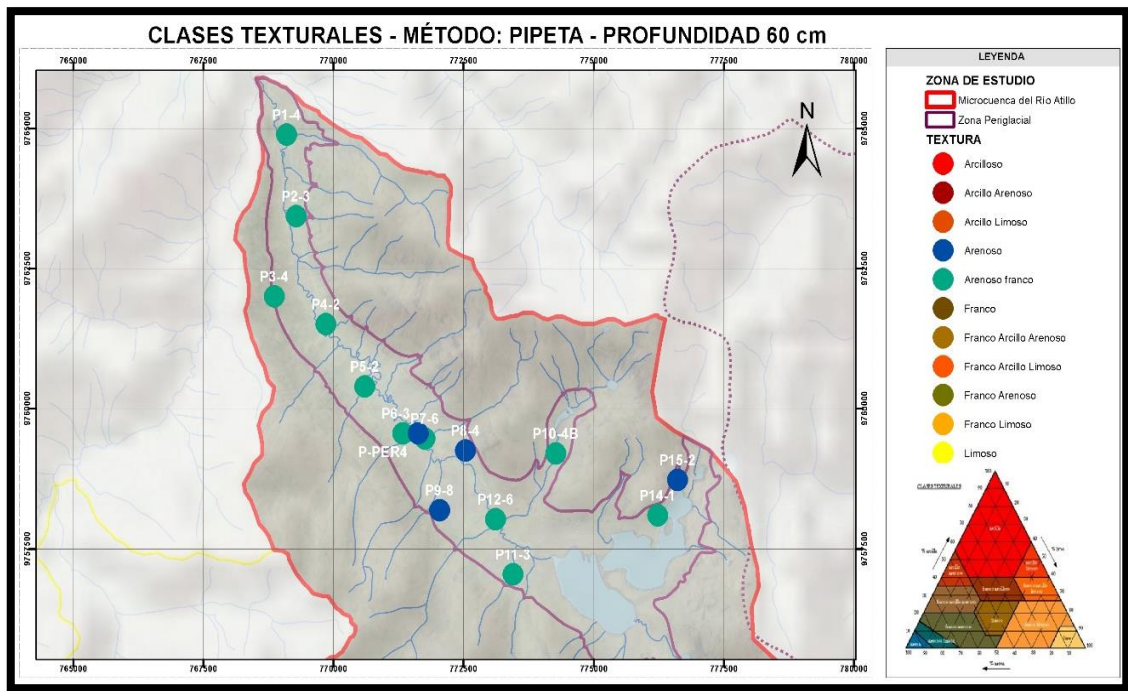


Figura 0-8: Clases texturales mediante el método de la Pipeta en Atillo.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

Al aplicar los métodos de Bouyoucos-Day y método de la Pipeta, se define una clasificación textural de “arenoso” y “arenoso franco” en las microcuencas del río Ozogoche y Atillo, pertenecientes a la subcuenca del río Cebadas, que concuerda con Rhoades (2006: p.10) que indica que el porcentaje de arena en estos suelos de tipo páramo se encuentra en mayor proporción por lo que los suelos se mantendrán con textura arenosa y franco arenosa típicamente calificándolo como suelo grueso. Además, los suelos presentan dichas texturas por su baja cantidad de arcilla que se debe a la presencia de Andosoles.

También, el alto porcentaje de dicha fracción puede deberse a que los suelos de estudio se encuentran a una altitud que va de 3000 a 3500 msnm, ya que según Llambi et al., (2012: p.12), los suelos ubicados a una mayor elevación, presentan una considerable proporción de arena. Además, según Zárate (2008: p.60) otro factor que influye sobre la textura arenosa y franco arenoso es la pendiente que con valores de 5-70%.

Debido a la información nominal de los suelos, se deduce que corresponden a características de los páramos secos que contienen arena en un porcentaje aproximado de 73%, que indica que la porosidad en suelos de las microcuencas con un porcentaje de 60.8, sabiendo que los suelos de páramo, especialmente de clase textural franco arenoso los valores pueden estar dentro del rango 60-90%, que permite la adecuada aireación de la zona radicular (Llambi et al., 2012: p.12).

Los suelos de las microcuencas son originados por materiales productos de erupciones volcánicas como ceniza volcánica y piroclásticos finos que se acumularon sobre esta área durante varios

millones de años. La influencia de estos materiales son los que han ocasionado que la textura en estos suelos de páramo sea de tipo arenoso y franco arenoso con la predominancia de arena en valores sobre el 70% (Bermeo y Correa, 2020: p.13).

3.2.3. Microcuencas del río Ozogoche y Atillo (perfiles de suelo)

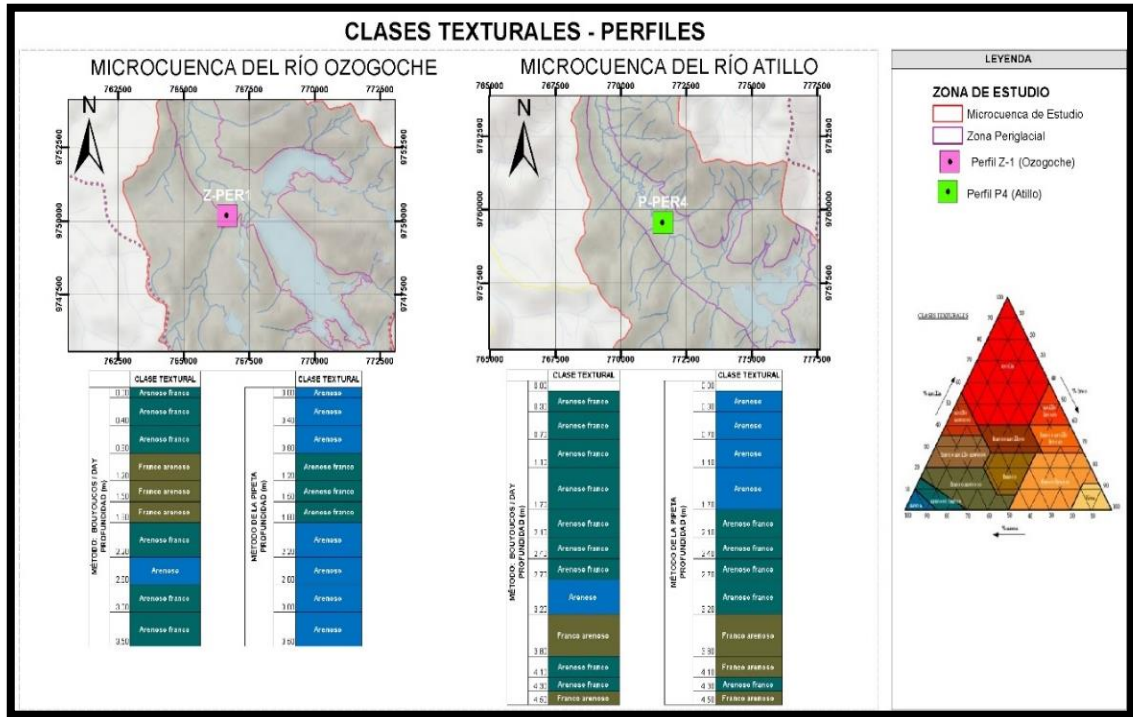


Figura 0-9: Clases texturales en perfiles de la microcuencas.

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

Debido a que las muestras analizadas fueron recolectadas a diferentes profundidades por tratarse de perfiles de suelo en la microcuenca de Ozogoche y Atillo, existe una ligera variación en su clase textural. De acuerdo a García y Schlatter (2012: p.460), la fracción de limo y arcilla se encuentra en mayor proporción en algunos de los horizontes más profundos del suelo. Por ello, en la Figura 3-9 en el perfil de la microcuenca del río Atillo, la presencia de limos y arcillas va en aumento desde los 3.80 metros de profundidad dando lugar a clases texturales del tipo “franco arenoso”. Pare el caso de la microcuenca del río Ozogoche, existe una ligera variación de limos y arcillas, pero no se debe a la profundidad, sino a que las muestras analizadas fueron recogidas en áreas cercanas a cuerpos de agua provocando una escorrentía de sedimentos que da como resultado una clase textural “franco arenosa” a profundidades de 1 a 2 metros.

Con respecto a las arenas, según García y Schlatter (2012: p.460), en los perfiles que corresponden a los páramos de la región interandina ubicados a una altitud entre 3840 y 1500 msnm, existe una gran cantidad de la fracción en casi todos los horizontes a lo largo de todo el perfil.

CONCLUSIONES

Al evaluar los porcentajes granulométricos, la fracción de arcilla presentó una mayor variabilidad en sus porcentajes en los suelos constituyentes de las microcuencas de estudio. Además, tal fracción presenta diferencias significativas como consecuencia de la heterogeneidad de las muestras analizadas; en cuanto a los porcentajes de arena y limo no presentan diferencias significativas y por lo tanto la variabilidad es menor en virtud de que dichas fracciones fueron predominantes. El método de Bouyoucos-Day presentó un mejor comportamiento frente a los porcentajes de arena y limo por su establecimiento de amplios tiempos de lectura y la aplicación de dispersante; con respecto a la fracción de arcilla, el método no rinde adecuadamente por el error producido en el hidrómetro y la gran cantidad de arenas de la muestra. Por lo cual el método es apto solamente para análisis de suelo de páramo.

Se estableció los protocolos de análisis de distribución granulométrica mediante el método de Bouyoucos-Day y método de la Pipeta que constituyen procedimientos apropiados para llevar a cabo las actividades de laboratorio que aseguran la aplicación de los métodos de forma coherente cumpliendo con el desempeño requerido por los investigadores. Los métodos fueron estandarizados mediante el apoyo de revisión bibliográfica en manuales, textos y revistas científicas de organizaciones técnicas de alto impacto y la norma NTE INEN ISO-IEC 17025:2018 que especifica los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo; además, los métodos fueron ajustados por medio de la identificación de la influencia de los tiempos de toma de medidas y alícuotas en los porcentajes de cada fracción.

Los suelos de la microcuenca del río Atillo y río Ozogoché muestreados a profundidades de 0.30 y 0.60 metros fueron nominados en la clase textural “arenoso” y “arenoso franco”, debido a la predominancia de la fracción arena sobre el 70%. Se analizó que este predominio puede deberse a la influencia de factores como la altitud, presencia de Andosoles y materiales producto de las erupciones volcánicas. Los suelos muestreados en los perfiles a profundidades hasta 4.50 metros fueron nominados en la clase “arenoso franco” debido al ligero aumento de limos y arcillas, lo cual puede estar influenciado por la profundidad de los horizontes, altitud y cuerpos de agua.

Por lo tanto, los suelos de las microcuencas en estudio son de origen volcánico con alta porosidad y variedad textural en sus horizontes.

El método de Bouyoucos-Day resultó ser el más empleado para la determinación porcentual de arena, limo y arcilla en procesos de fertilización del suelo, disponibilidad de nutrientes en suelos agrícolas, biodegradación de hidrocarburos, determinación de índices de calidad del suelo, evaluación de riesgos de deslizamientos de tierra, remediación de suelos y dosificación de mezclas asfálticas. Al ser comparado con el método de la Pipeta, el de Bouyoucos-Day presenta una mejor aceptación por su inmediata obtención de resultados y su fácil aplicación.

En términos de costo – beneficio (B/C), el método de Bouyoucos –Day demostró ser más

económico y simple en lo que respecta a la inversión inicial y a la cantidad de beneficios que promete. Además, el método representó un costo de servicio tres veces menor en relación al de la Pipeta con un costo accesible de análisis granulométrico de una muestra de suelo en \$6, el cual constituye información cualitativa y cuantitativa que supera a otros métodos convencionales.

RECOMENDACIONES

Dado que el método Bouyoucos-Day no es tan adecuado para la identificación de arcilla se propone la implementación de pretratamientos destinados a la eliminación de materia orgánica que permita una mejor distribución de las partículas.

Para reducir la incertidumbre de medida al aplicar el método de la Pipeta es importante la verificación de los equipos calibrados y la protección de la muestra contenida en los crisoles para evitar las pérdidas por convección del aire en las estufas. Además, es esencial la realización de réplicas del análisis para ratificar los resultados.

Dado que el método de la pipeta demanda mayor tiempo operativo e implica mayores costos se sugiere aprovechar las muestras obtenidas de cada fracción granulométrica para el análisis específico de carbono, iones, cationes, nutrientes, entre otros; que aporten significativamente en investigaciones futuras.

En la Subcuenca del río Cebadas se observó la predominancia de suelos arenosos y franco arenosos por lo que se recomienda el planteamiento de otras investigaciones en áreas cuyas características del suelo sean diferentes a las estudiadas en este trabajo de investigación con la finalidad de ampliar la comparación del método de Bouyoucos-Day y el método de la Pipeta.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA DÍAZ, Anailys. "El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas". *Revista Scielo* [en línea], 2017, 11 (2), (Cuba), pp. 322-343. [Consulta: 14 de agosto del 2021]. ISSN 2073-6061. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/cofin/v11n2/cofin22217.pdf>

AGUIRRE, Z. *Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador* [en línea]. Loja-Ecuador: 2014. [Consulta: 18 diciembre 2020]. Disponible en: <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/snap-del-ecuador-2014-za.pdf>

ALCÁZAR, Daniel; & FUENTES, Fabio [et. -al]. *Manual de Prácticas de Laboratorio de Química General* [En línea]. Barranquilla-Colombia: Educosta, 2016. [Consulta: 18 de agosto del 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312328309_Manual_de_Practicas_de_Laboratorio_de_Quimica_General

ALCIVAR MONTESDEOCA, Arely Lisbette. Métodos para determinar granulometría de los suelos [en línea] (Trabajo de titulación) (Grado) Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Manabí-Ecuador. pp 2-12 [Consulta: 18 diciembre 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/343894015_METODOS_PARA_DETERMINAR_G_RANULOMETRIA_DE_LOS_SUELOS

ALBA, G. Estudio comparativo de tres diferentes métodos de remediación de suelo tipo Gleyson contaminado con hidrocarburo (Trabajo de titulación) (Maestría) Centro de investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (Sandfandila-México). 2011. pp: 2-132.

ANDRADES, Marisol. *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen* [En Línea]. 3. Rioja-España: M^a Elena Martínez, 2014. [Consulta: 11 de septiembre del 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267902.pdf>

ANDRADES, M; et al. *Métodos didácticos para análisis de suelo.* Rioja- España: Servicio de Publicaciones, 2015. ISBN 978-84-608-5117-2, pp: 9-77

ARGUEDAS ZUMBADO, N; et al. “Propuesta de remodelación del sistema de sedimentación del quebrador de materiales de la empresa CONCREPAL, Barranca, Costa Rica”. *Revista de Ciencias Ambientales* [en línea], 2016, (Costa Rica) 50 (1). pp. 53-74 [Consulta: 11 de Noviembre del 2020]. ISSN 2215-3896. Disponible en: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/8650>

ASHWORTH, J; et al. “Standard Procedure in the hydrometer method for particle size analysis” *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [en línea], 2007 (Canadá) 32 (5-6). pp. 633-642. [Consulta: 11 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://sci-hub.mkxa.top/10.1081/CSS-100103897>

BARBOSA, H. *Remediación de suelos*. Los Reyes, La Paz-Estado de México: TES OEM, 2011, pp: 9-176.

BERETTA, A; et al. "Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method ". *Ciencia e Investigación Agraria* [en línea], 2014, (Uruguay) 41(2), p. 264. [Consulta: 10 de noviembre del 2020]. ISSN 263-271. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ciagr/v41n2/art13.pdf>

BERMEO BRITO, Catherine Johanna; & CORREA GUAÑA, Monserrath Azucena. Determinación de carbono orgánico en el suelo andino de Ichubamba y Guargualla, Parroquia Cebadas [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2020. p.13 [Consulta: 12 de septiembre del 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13957/1/156T0011.pdf>

BONILLA VALVERDE, Jorge Eduardo. Plan de salvaguarda para el festival de los Cuvivis en el complejo Lacustre Ozogoché, Parque Nacional Sangay [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ecoturismo, Escuela de Ingeniería en Turismo. Riobamba- Ecuador. 2016. pp. 9-10 [Consulta: 27 de Agosto del 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4714/1/23T0509.pdf>

BORJA MARTÍNEZ, K; et al. “Dispersantes químicos y cuantificación de fracciones texturales por los métodos Bouyoucos y pipeta”. *Ciencias del Suelo: Química, Física, Biología, Bioquímica e Hidrología* [en línea], 2014, (Colombia) 64(4), pp. 308-314. [Consulta: 10 de Noviembre del 2020]. ISSN 0120-2812. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v64n4/v64n4a04.pdf>

BOUYOUCOS, G. “A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils” *Agronomy Journal* [en línea], 1951, 43, pp. 434-438. [Consulta: 28 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x>

BOUYOUCOS, G. “Hydrometer Method Improved for Making Particule Size Analyses of Soils” *Agronomy Journal* [en línea], 1962, 54 (4), pp. 464-465. [Consulta: 28 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>

BOUYOUCOS, G. “Particle Size Analysis by Hydrometer: A Simplified Method for Routine Textural Analysis and a Sensitivity Test of Measurement Parameters” *Soil Science Society of America Journal* [en línea], 1979, 43 (5), pp. 1004-1007. [Consulta: 28 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/sssaj1979.03615995004300050038x>

CABRERA, María; et al. Estudio exploratorio de las propiedades físicas de los suelos y su relación con los deslizamientos superficiales: Cuenca del río Maracay, estado Aragua-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*. [En línea], 2010, 51 (2), (Venezuela) pp. 225-247. [Consulta: 11 de septiembre del 2021]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730385004>

CANTÓ, Alejandro. La Técnica del análisis costo-beneficio [En línea]. Primera edición. Los Caobos, Caracas-Venezuela: Láser Gráfica, 2009. [Consulta: 16 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://cedice.org.ve/wp-content/uploads/2019/06/Monografia-63-Tecnica-ACB.pdf>

CÁRDENAS FONSECA, Myriam Stephanie. Evaluación de la calidad de los suelos de páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna Monjas Bajo, Parroquia Juan Montalvo, Cantón Cayambe [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Quito-Ecuador. 2015. p.58 [Consulta: 12 de septiembre del 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9368/1/UPS-QT07111.pdf>

CARRASCO, J; & RIQUELME, J. “Manejo de Suelos para el establecimiento de Huertos Frutales” *Boletín INIA* [en línea], 2010, (Chile) (207), p. 56. [Consulta: 10 de Febrero del 2020]. ISSN 0717-4829. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7335/NR37049.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASANOVA, Manuel; et al. “Direct measurement and prediction of bulk density on alluvial soils of central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* [en línea], 2015, (Chile) 76(1). pp. 105-113. [Consulta: 18 diciembre 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/chiljar/v76n1/15.pdf>

CASTRO MONGE, Jenny. Determinación del análisis costo/beneficio para la implementación de un sistema automático para el procesamiento de créditos de consumo producto y para la empresa ABC [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Costa Rica, Sistema de estudios de Posgrado. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica. 2015. P. 39 [Consulta: 19 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/27856/TRABAJO%20FINAL%20DE%20GRADUACION%20YENNY%20CASTRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CHUNCHO, Carlos; & CHUNCHO, Guillermo. “Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión”. *Bosques Latitud Cero* [en línea], 2019, (Ecuador) 9(2). pp. 71-83. [Consulta: 18 junio 2020]. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1_m4ZobqzjfgTfv2S3CvB4AIjSh5IIPnS/view

CHUYA CÓRDOVA, Mariuxi. El costo beneficio en un proyecto de inversión para determinar su factibilidad [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Empresariales, Carrera de Administración de Empresas. Machala-Ecuador. 2020. pp. 14-15 [Consulta: 17 de agosto del 2021]. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15464/1/E-11299_CHUYA%20CORDOVA%20MARIUXI%20ELIZABETH.pdf

CIANCAGLINI, Nicolás. *R- 001- Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. Primera Edición. San Juan-Argentina, 2019, pp. 1-10.

CORDERO, C.Y. Determinación de granulometría y Textura de Suelos de Matehuala, San Luis Potosi Contaminados con Arsénico (Trabajo de titulación) Universidad Tecnológica de Tabasco (Tabasco, México). 2016. pp. 14-18.

CORRAL, José. " EL SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN". *Ciencia y Sociedad* [en línea], 2008, 33 (4), (República Dominicana) pp. 520-571. [Consulta: 11 de septiembre del 2021]. ISSN: 0378-7680. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87012672003.pdf>

DAZA, M; et al. "Effect of Land Use on Water Holding Capacity in the Sumapaz Paramo-Colombia" *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* [en línea], 2013, (Colombia) 67(1). pp. 7189-7200 [Consulta: 19 junio 2021]. ISSN 0304-2847 Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v67n1/v67n1a06.pdf>

DELGADO LINAREA, José; et al. "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 del petróleo". *Revista Educación Química* [en línea], 2013, (México) 24(1). pp. 57-62 [Consulta: 19 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v24n1/v24n1a10.pdf>

DÍAZ, Mario; et al. "Páramos: Sensitive Hydrosystems". *Revista de Ingeniería* [en línea], 2005, (Bogotá) (22), pp 64-73.[Consulta: 19 julio 2020]. ISSN 0121-4993. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932005000200008

DROPPELMANN, Guillermo. "PRUEBAS DE NORMALIDAD: Normality Test". *REVISTA ACTUALIZACIONES CLÍNICA MEDS* [en línea], 2018, (Chile) 2 (1), 39-43. [Consulta: 28 de agosto del 2021]. ISSN: 0719-8620. Disponible en: <https://www.meds.cl/wp-content/uploads/Art-5.-Guillermo-Droppelmann.pdf>

DUCHE GUAMAN, Vanessa Brighth; & LLUGSA PAREDES, Mayra Elizabeth. Estimación de carbono orgánico total en el suelo y biomasa del páramo andino de Yasipan y Atillo [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2020. p.60 [Consulta: 12 de septiembre del 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/13956/1/156T0010.pdf>

FAO. *Plan de Manejo y Cogestión del territorio hídrico de Cebadas.* Guamate-Cebadas-Ecuador: Promeran, 2013. [Consulta: 16 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/45911-061c766151d9e1f9f523d495406d1dff6.pdf>

FERNANDEZ, R; et al. *Métodos de análisis e implementación de Calidad en el Laboratorio de Suelos* [en línea]. La Pampa-Argentina: INTA, 2017. [Consulta: 16 junio 2021]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/68416/CONICET_Digital_Nro.dce6dd46-c299-430c-b97b-7b2efba859d4_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

FLORES, Eric; et al. "The research protocol VI: How to choose the appropriate statistical test. Inferential statistics" *Revista Alergia México Pediatría* [en línea], 2017, México 64(3) pp. 364-370 [Consulta: 20 de agosto 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ram/v64n3/2448-9190-ram-64-03-0364.pdf>

FLORES, Juan; et al. "TEXTURA DEL SUELO Y TIPO DE AGUA DE RIEGO EN LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO DE ESTIERCOL BOVINO" *Terra Latinoamericana*. [En línea], 2013, 31 (3), (México) pp. 211-220. [Consulta: 11 de septiembre del 2021]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57328903005>

FLORES, L; & ALCALÁ, J. *Manual de procedimientos Analíticos* [en línea]. México: Departamento de Edafología, 2010 [Consulta: 16 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>

FERNÁNDEZ, P; & DÍAZ, P. "Significancia estadística y relevancia clínica" *Cad Aten Primaria Pediatría* [en línea], 2001, La Coruña-España (8) pp. 191-195 [Consulta: 20 de agosto 2021]. Disponible en: https://www.fisterra.com/mbe/investiga/signi_estadi/signi_estadisti2.pdf

GARAY CANALES, O; & OCHOA ACEVEDO, Á. *Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del río Mantaro* [en línea]. Lima-Perú: Publi Rabbit Diseño y Produccion Gráfica, 2010. [Consulta: 16 junio 2021]. Disponible en: <http://met.igp.gob.pe/proyectos/incagro/datos/manual.pdf>

GARCÍA, J; et al. "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" *Cultivos Tropicales* [en línea], 2008, (Cuba) 29 (2), pp. 21-26 [Consulta: 13 de junio del 2021]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362008000200004

GARCÍA CRUZATTY, Luz. C; & SCHLATTER VOLLMANN, Juan. E. "Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador". *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias* [en línea], 2012, (Brasil) 7 (2) pp. 456-464. [Consulta: 29 de julio del 2021] .0365-2807. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119024529014.pdf>

GISBERT BLANQUER, J; et al. *La textura del suelo* [en línea]. Valencia – España: UPV, 2012 [Consulta: 16 diciembre 2020]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE CEBADAS. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Fase de Diagnóstico* [en línea]. Cebadas-Ecuador, 2015 [Consulta: 16 julio 2021]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0660818930001_Diagn%C3%B3stico_Cebadas_15-05-2015_15-57-20.pdf

GONZÁLEZ, H; et al. “El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], 2007, (Cuba) 16(3), pp. 19-24 [Consulta: 13 de junio del 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/932/93216305.pdf>

GÓMEZ GIRALDO, J. *MANUAL DE PRÁCTICAS DE CAMPO Y DEL LABORATORIO DE SUELOS* [Libro electrónico]. Primera Edición. SENA Bogotá-Colombia. 2013 [Consulta: 19 de mayo del 2021]. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf;jsessionid=3766D8C4B63EACB35CDCF22ED7209316?sequence=1

GÓMEZ, Manuel; et al. “Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. ¿Cuándo se usan?” *Revista Mexicana de Pediatría* [en línea], 2003, México 70(2) pp. 91-99 [Consulta: 20 de agosto 2021]. Disponible en: <https://www.ugr.es/~fmocan/MATERIALES%20DOCTORADO/Sinopsis%20de%20pruebas%20estadisticas%20no%20parametricas.pdf>

HUAMÁN CARRIÓN, Mary; et al. "Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos ". *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2021, 12 (1), (Perú) pp. 83-90. [Consulta: 11 de septiembre del 2021]. ISSN: 2077-9917. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v12n1/2306-6741-agro-12-01-83.pdf>

INATEC. *Prácticas de Conservación de suelos y agua.* [En línea] Nicaragua. 2016. pp. 1-122. [Consulta: 10 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/26138357-Practicas-de-conservacion-de-suelos-y-agua.html>

INEN. *Norma de Normas. Principios de Normalización.* NTE INEN 2847. 31ª ed. Quito-Ecuador: 2014

INEN. *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.* NTE INEN-ISO/IEC 17025. 1ª ed. Quito-Ecuador: 2018

INIA. *El Suelo.* Tacuarembó - Uruguay: Jornadas de Puertas Abiertas, 2015, pp. 3-19.

JÁCOME LARA, Ibett; & CARVACHE FRANCO, Orly. " Análisis del costo – beneficio una herramienta de gestión". *Revista Académica: Contribuciones de la economía* [en línea], (2017), 2(1) (España) pp. 2-14. [Consulta: 16 de mayo del 2021]. ISSN 1696-8360. Disponible en: <https://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=24011>

JARA, V. Plan de Desarrollo Turístico sostenible para mejorar la gestión turística del cantón Guamote- provincia de Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Riobamba-Ecuador, 2013. pp. 3-164 [Consulta: 08 de junio 2020]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/623/1/UNACH-EC-IG.TUR-2013-0005.pdf>

LALINDE, Elena. *Operaciones básicas de laboratorio* [En línea]. España: Mª TERESA MORENO GARCÍA, 2018. [Consulta: 18 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://www.unirioja.es/dptos/dq/docencia/material/obl/OBLFINAL.PDF>

LEÓN, R. “Comparación de métodos de análisis mecánico de suelos” *Terra Latinoamericana* [en línea], 2001, (Chapongo-México) 19(3), p. 219-225 [Consulta: 08 junio 2020]. ISSN 2395-8030. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319303>

LEYVA DE LA CRUZ, Benigno; et al. “Influencia de la concentración de sólido en la velocidad de sedimentación de lodo de la industria de áridos”. *Minería y Geología* [en línea], 2016, (Cuba) 32(4) pp. 17-32. [Consulta: 20 diciembre 2020]. ISSN 1993-8012. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223548649002>

LORENZ, G. *Métodos de análisis de suelos* [en línea]. Argentina: 2005. [Consulta: 20 agosto 2021]. Disponible en: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/SD-12%20Lorenz.pdf>

LÓPEZ, P; & FACHELLI, S. *Metodología de la Investigación Social Cuantitativa* [en línea] Barcelona- España: UAB, 2015 [Consulta: 20 de agosto 2021]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2016/163568/metinvsocua_cap3-8a2016.pdf

LLAMBÍ, L; et al. *Ecología, hidrología y suelos de páramos: Proyecto Páramo Andino*. Quito. 2012 ISBN: 9789942115492, pp. 7-262

MAE. *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental* [en línea]. Quito-Ecuador: 2013. [Consulta: 16 agosto 2021]. Disponible en: <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>

MALDONADO PAUCAR, David Alejandro. Evaluación de diferentes dosis de Hexametafosfato de Sodio (NaPO_3)₆ en la determinación de tres tipos texturales de suelo, mediante el Método de Bouyoucos [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito-Ecuador, 2016. pp. 1-77 [Consulta: 16 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8135/1/T-UC-0004-42.pdf>

MARTÍNEZ, K; et al. “Chemical dispersants and quantification textural fractions by Bouyoucos and pipette methods”. *Acta Agronómica* [en línea], 2015, (Colombia) 64(4) pp. 308-314. [Consulta: 16 diciembre 2020]. ISSN 0120-2812. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v64n4/v64n4a04.pdf>

MEDINA, H., GARCÍA, J; & NÚÑEZ, D. “El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2007, volumen (16), (Cuba) pp .19-24. [Consulta: 01 de septiembre del 2021]. ISSN 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/932/93216305.pdf?fbclid=IwAR29ac5dDZFIO3ciDOgkp63kfH5pSFelCdG4p1nYq4CwNEPcmXoqyKOJoOQ>

MENDOZA, Ginés de Rus. *Análisis de Coste-Beneficio* [en línea]. 3ª ed. Barcelona- España: Editorial Ariel S.A, 2008 [Consulta: 18 de agosto del 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=JTAvaCYSkvwC&printsec=frontcover&dq=factores+de+analisis+en+costo+beneficio+que+son%3F&hl=es419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=beneficio&f=false

MENA, P y HOFSTEDE, R. “Los páramos ecuatorianos”. *Botánica económica de los Andes Centrales*, 2006, pp. 91-109.

MOHD RAZALI, Nornadiah; & BEE WAH, Yap. “Power comparisons of Shapiro-Wil, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests”. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, vol 2, n° 1 (2011). (Malaysia) pp: 21-33

NORAMBUENA, P; et al. “Comparación entre los métodos de Pipeta y Bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos del altiplano andino. Provincia de Parinacota, Chile” *Agricultura Técnica. Agronómica* [en línea], 2002, (Chile) 62(1) [Consulta: 16 agosto 2021]. ISSN 0365-2807. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072002000100015

NÚÑEZ VILLACIS, Maritza Paola. Propuesta de diseño de un sistema de gestión bajo la norma NTEINEN- ISO / IEC 17025: 2018 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, Área de Gestión. Quito-Ecuador. 2020. págs. 17-19 [Consulta: 14 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/7780/1/T3356-MGCI-N%C3%BA%C3%B1ez-Propuesta.pdf>

OJEDA CASTRO. G; et al. “Escorrentía y granulometría de sedimentos en suelos tratados con diversos tipos de lodos de depuradora”. *EDAFOLOGÍA* [en línea], 2003, 10 (2), (España) pp. 135-145. [Consulta: 11 de septiembre del 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/273063326>

ORELLANA, Maite. Ecolodge en las lagunas de Ozogoché [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Facultad de Arquitectura e Ingeniería civil. (Samborondón).2017. pp. 20-24 [Consulta: 12 de noviembre del 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/1739>

ORTEGA AGUAZA, B. “Análisis Coste-Beneficio” *eXtoikos*, 5(2012) pp. 147-149.

OWEN, O.S. *Conservación de recursos naturales*. 2da ed. México D.F: Pax México, 2008. ISBN 968-860-039-3. pp. 1-620.

OWJI, Alireza; et al. "The effects off hydrometer reading times on the spatial variability of soil textures in southeast Iran". *Saudi Society Geosciences* [en línea], 2014. 7(4), pp. 1491-1499. [Consulta: 12 de mayo del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257785985_The_effects_of_hydrometer_reading_times_on_the_spatial_variability_of_soil_textures_in_southeast_Iran

PELLEGRINI, Andrea. *TEMA 3: "TEXTURA Y COLOR DEL SUELO"*. Primera Edición. Buenos Aires- Argentina: 2019

PORTA, Jaume; et al. *Edafología: Uso y protección de suelo.* 4° ed. Madrid: Mundi - Prensa, 2019. ISBN: 978-84-8476-750-3, pp. 21-579

RAMOS, O. "Calibración de hidrómetros con el uso de un sistema semi-automatizado d ajuste y de adquisición de datos" *Ingeniería.* 19,2 (2009) (Costa Rica), pp. 35-61.

REYES, O; & CAMACHO, J. "Influencia de la granulometría en la resistencia al ahuellamiento de mezclas asfálticas". *Ingeniería y Desarrollo.* . [En línea], 2008, (23), (Colombia) pp. 26-42. [Consulta: 11 de septiembre del 2021]. ISSN: 0122-3461. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612008000100004

RHOADES, Robert. E. *Desarrollo con identidad: comunidad, cultura, y sustentabilidad en los Andes* [Digital]. Primera Edición. Quito - Ecuador: Abya Yala, 2006. [Consulta: 28 de julio del 2021]. Disponible en: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1086&context=abya_yala

ROJAS GARCÍA, Julio Gianni. *Diversidad de Macrofauna edáfica en diferentes tipos taxonómicos de suelos en el sector Trampolín, Pumahuashi – Leoncio Prado-2018.* [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Escuela Profesional de Conservación de suelos y agua. Tingo María - Perú. 2018. pp. 3-57 [Consulta: 2020-07-07]. Disponible en: http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1589/JGRG_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

RUCOBA GARCÍA; et al. "Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero en la región centro-sur de Chihuahua". *Revista Mexicana de Agronegocios* [en línea], 2006, 10 (19), (México) p. 0 [02 de septiembre de 2021]. ISSN: 1405-9282. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/141/14101909.pdf>

SANCHEZ, R. “t-Student. Usos y abusos” *Revista Mexicana de Cardiología Pediatría* [en línea], 2015, México 26(1) pp. 59-61 [Consulta: 20 de agosto 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmc/v26n1/v26n1a9.pdf>

SANTOS CASTAÑEDA, María. Análisis de la relación Beneficio/Costo de la implementación de obras de conservación de suelo: Ocho estudios de caso en la comunidad de La Ciénega, San Antonio de Oriente, Honduras. [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado ZAMORANO, Carrera de desarrollo socioeconómico y ambiente, Honduras. 2002. pp. 1-87 [Consulta: 02 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2286/1/IAD-2002-T043.pdf>

SILVA ROJAS, Orlando; & CARRERA RAMÍREZ, Jesús. *Estudios de la zona no saturada del suelo* [En Línea]. España: CIMNE, 2009. [Consulta: 11 de septiembre del 2021]. Disponible en: https://abe.ufl.edu/faculty/carpenna/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v9/ZNS09.pdf

THOMSON L.M; & TROEH F.R. *Los suelos y su fertilidad* [en línea]. 4° ed. Barcelona – España: Reverté, 2002 [Consulta: 20 de mayo del 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=AegjDhEIVAQC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

TOIRAC CORRAL, José. "Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la república dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón “. *Ciencia y Sociedad* [en línea], (República Dominicana) 37 (3), pp. 293 -334. [Consulta: 07-07-2021]. 0378-7680. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024622003.pdf>

VALENCIA PATIÑO, Camilo; & HUERTAS DAZA, Lina. Análisis de Granulometría por Hidrómetro y un Método Automatizado para suelos bentónicos [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá-Colombia. 2018. pp. 38-45

VEGA TRÁVEZ, Andrea. Análisis de concentración de carbono y composición vegetal en humedales de páramo altoandinos en una gradiente altitudinal en el Parque Nacional Cayambe Coca (Trabajo de titulación). (Grado). Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales (Quito-Ecuador). 2017. pp. 7-30.

VELÁZQUEZ VADILLO, Fernando. "Análisis comparativo entre las perspectivas económica y administrativa de la determinación del nivel de producción y beneficio de la empresa". *Revista Análisis Económico* [en línea], 2011, 26 (61), (México) pp .5-19. [02 de septiembre de 2021]. ISSN: 0185-3937. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/413/41318401002.pdf>


VILLASEÑOR ORTÍZ, Diego. *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo* [en línea]. Primera Edición. Machala-Ecuador: Ediciones UTMACH. 2015. [Consulta: 16 de mayo del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS%20Y%20PROCEDIMIENTOS.pdf>

WELLER, Joe. Análisis de costo-beneficio: ¿Qué es? [En línea]. Boston: 08 de diciembre, 2016. [Consulta: 02 de septiembre de 2021]. Disponible en: https://www.smartsheet.com/expert-guide-cost-benefit-analysis?fbclid=IwAR0sxxg-_DGBsXo8xhoK637ULYX-U8J3UeTw_u3bWYs4uQnIwd54UBMlb7P0

ZARATE PIRAY, Juan. *Proyecto de manejo de recursos naturales de Chimborazo: Evaluación Ambiental* [En Línea]. Riobamba-Ecuador: Public Disclosure Authorized, 2008. [Consulta: 12 de septiembre del 2021]. Disponible en: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/887701468026949916/pdf/E19380SPANISH0LA C1EA1P105550.pdf>

ZULETA AX, Eddy Josué. Informe Final de la Práctica Profesional supervisada, realizada en el Centro Universitario del Norte [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Norte. Cobán Alta Verapaz - Guatemala. 2019. pp. 95-97 [Consulta 23 de mayo del 2021]. Disponible en: <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/17/17_0646.pdf>

ZUÑIGA, Felipe; et al. "Propiedades morfológicas del suelo relacionadas con los ecosistemas de páramo en Nariño, Sur de Colombia". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2018, (Chile) 36. pp. 183-196. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v36n2/2395-8030-tl-36-02-183.pdf>

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CBS-01	0	1- 6

ANEXOS

ANEXO A: PROTOCOLO PARA EL MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY




GIDAC-CBS-01

ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE
BOUYOCOS-DAY

LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL
AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO

Edición 0

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		
	LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CBS-01	0	1- 6

1. OBJETIVO

Establecer el Método de Bouyocous - Day para análisis de distribución porcentual de partículas del suelo en el laboratorio.

2. ALCANCE

El presente procedimiento se aplica para la determinación de los porcentajes de fracciones granulométricas del suelo

3. RESPONSABILIDADES

Técnicos de laboratorio

4. REFERENCIAS


4.1. Documentos utilizados en la elaboración

- NORMA INEN ISO-IEC 17025:2018
- Manual de Prácticas de Laboratorio de Química General
- Manual de Procedimientos Analíticos
- Operaciones básicas de laboratorio

5. DEFINICIONES

Hidrómetro H151. Sirve para medir la densidad en un medio acuoso y se basa en la velocidad diferencial de sedimentación de partículas. Tiene una longitud de 28 centímetros y sus divisiones son de 0.001, por lo cual tiene una precisión de ± 0.001 . Tiene una estandarización de temperatura de 20°C.

Hexametáfosfato de sodio. Es un producto químico inorgánico de fórmula $(\text{NaPO}_3)_6$, es un polvo blanco e inodoro. Es ampliamente utilizado para el análisis de partículas de suelo como agente dispersante que permite la separación de partículas de limo y arcilla.

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CBS-01	0	1- 6

6. DESARROLLO

6.1. Consideraciones previas

- Refrigeración de las muestras hasta comenzar con el análisis
- Secado de las muestras al aire en superficies que no tengan contacto con la luz solar.
- Preparación y aseguramiento de la disponibilidad de equipos, instrumentos y materiales involucrados
- Organización y definición del periodo temporal del proceso

6.2. Equipos, instrumentos, materiales y reactivos

Equipos e instrumentos


- Balanza
- Batidora eléctrica de mano
- Hidrómetro H151

Materiales

- 2 Probetas de vidrio de 1000 ml
- Probeta de vidrio de 50 ml
- Vaso de precipitación de 800 ml
- Vaso de precipitación de 250 ml
- Balón de aforo de 1000 ml
- Varilla de agitación
- Varilla metálica de agitación

Reactivos

- Hexametáfosfato de sodio

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	
	LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO	
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY	
	Código	Edición
GIDAC-CBS-01	0	1- 6

6.3. Preparación

Requisitos de los equipos de medición

Hidrómetro H151. El hidrómetro debe estar calibrado mediante la utilización de diferentes líquidos de referencia de densidad a una temperatura determinada. Los líquidos de referencia de densidad que se pueden utilizar son: agua destilada, etanol, etc. El Hidrómetro H151 viene calibrado para leer una densidad de 1 g/cm^3 en agua destilada a una temperatura de 20°C . Es importante que el instrumento permanezca en un lugar seguro, ya que debido a su forma puede rodar y caer al piso.

Balanza Analítica. Es importante constatar que la balanza esta calibrada mediante la pesada de un peso patrón de una masa conocida, donde el valor debe corresponder con el valor patrón. Todo esto con la finalidad de tener una mayor precisión y exactitud en la medición.

Debe permanecer en un lugar adecuado para protegerla de los vapores y gases, el equipo no debe estar cerca de ventanas y expuesta a corrientes de aire.

Debe estar a nivel, caso contrario se ajusta mediante los tornillos de nivelación que posee en la parte inferior.

El punto de reposo inicial debe comprobarse con frecuencia para tener una medición exacta.

Requisitos de los equipos de dispersión


Batidora eléctrica de mano. En caso de que el análisis sea de más de dos muestras, es esencial evitar el uso continuo del equipo para evitar su sobrecalentamiento. El equipo requiere de un reposo de 5 minutos mínimo.

Luego de su utilización debe permanecer desconectado y en un lugar seguro.

Condiciones ambientales

El proceso debe realizarse en un área del laboratorio libre de rayos de sol para que la temperatura se mantenga lo más constante posible durante el proceso.

Ubicación de las probetas durante el proceso

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CBS-01	0	1- 6

La probeta debe ser colocada en un área amplia y lejos de posibilidades de caer. En caso de utilizar más de una, es importante que la separación entre sí, sea de aproximadamente 20 centímetros.

El investigador debe tener una distancia adecuada con las probetas para colocar el hidrómetro en las mismas y tomar correctamente las lecturas.

Todo esto evita que el investigador deba repetir el proceso por el movimiento de la probeta que puede alterar el proceso de sedimentación.

Criterios para utilización del hidrómetro H151 en la toma de lecturas

El Hidrómetro debe estar completamente limpio libre de polvo y grasa antes de sumergirlo en la probeta de tal manera que la masa del vástago no varíe, exista un desarrollo de un menisco uniforme y la toma de lectura de datos sea más precisa. Se puede limpiar el hidrómetro con papel periódico y etanol o acetona.


Se toma el hidrómetro por el extremo superior del vástago ubicándolo verticalmente al centro de la probeta a unos pocos milímetros de la superficie del líquido, se suelta y se deja oscilar hasta el reposo.

Se debe introducir el hidrómetro en la probeta por lo menos 15 segundos antes del tiempo establecido. Luego de la lectura extraer lentamente el hidrómetro para evitar la perturbación de la suspensión.

Criterios para la lectura de medidas por el investigador

La lectura de la medida se realiza cuando el hidrómetro se encuentre completamente estático en la probeta con la suspensión.

El investigador debe tomar la lectura que indica el tope del menisco que se forma alrededor del vástago debido a que la suspensión no es transparente. En otras palabras, el investigador debe fijarse sobre la superficie plana del líquido en el punto más alto.

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	
	LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO	
ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY		
Código	Edición	Página
GIDAC-CBS-01	0	1- 6

6.4. Realización

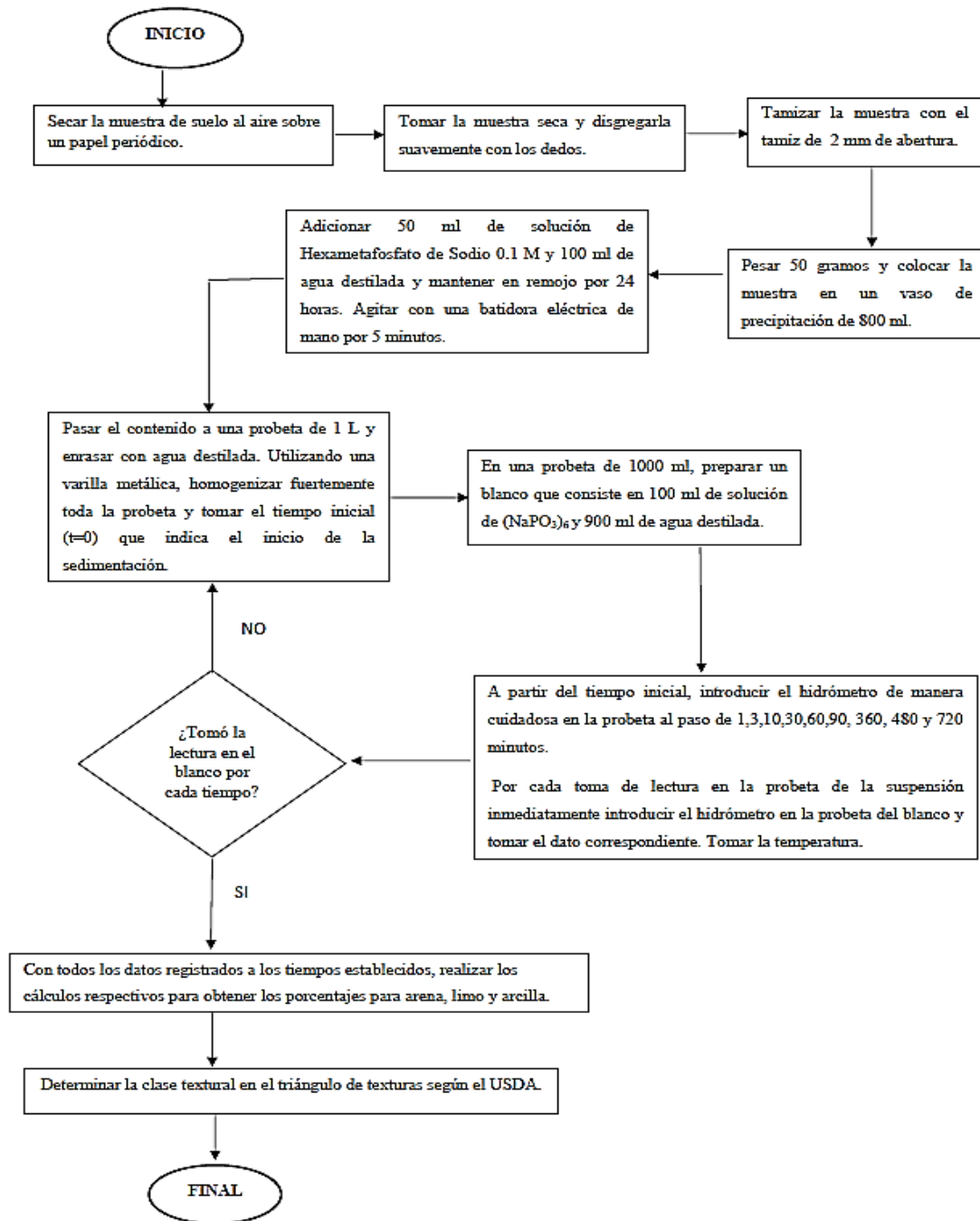



Figura 1: Diagrama de flujo del procedimiento para el método de Bouyoucos-Day

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	
	LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO	
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY	
	Código	Edición
GIDAC-CBS-01	0	1- 6


1. Secar la muestra de suelo al aire sobre un papel periódico.
2. Tomar la muestra seca y disgregarla suavemente con los dedos.
3. Tamizar la muestra con el tamiz de 2 mm de abertura.
4. Pesar 50 gramos y colocar la muestra en un vaso de precipitación de 800 ml.
5. En el vaso de precipitación, adicionar 50 ml de solución de Hexametáfosfato de Sodio 0.1 M y 100 ml de agua destilada y mantener en remojo por 24 horas. Luego, agitar con una batidora eléctrica de mano por 5 minutos.
6. En una probeta de 1000 ml, preparar un blanco que consiste en 100 ml de solución de $(\text{NaPO}_3)_6$ y 900 ml de agua destilada.
7. El contenido dispersado en el paso 3, pasar a una probeta de 1 L y enrasar con agua destilada. Utilizando una varilla metálica, homogenizar fuertemente toda la probeta y tomar el tiempo inicial ($t=0$) que indica el inicio de la sedimentación.
8. A partir del tiempo inicial, introducir el hidrómetro de manera cuidadosa en la probeta al paso de 1,3,10,30,60,90, 360, 480 y 720 minutos. Por cada toma de lectura en la probeta de la suspensión inmediatamente introducir el hidrómetro en la probeta del blanco y tomar el dato correspondiente. Además, tomar la temperatura que debe ser la misma que la probeta de la suspensión.
9. Con todos los datos registrados a los tiempos establecidos, realizar los cálculos respectivos para obtener los porcentajes para arena, limo y arcilla.
10. Determinar la clase textural en el triángulo de texturas según el USDA.

Tratamiento de resultados

Cálculos

Para el diámetro de partícula corregido y expresado en micrómetros (D), se toma en cuenta el parámetro de sedimentación (θ), expresado en función de la lectura del hidrómetro en la suspensión. Además, se utiliza un factor de corrección $\left(\sqrt{\frac{n_{x^\circ C}}{n_{30^\circ C}}}\right)$, el cual se encuentra en función de la temperatura de la suspensión que debe ser la misma que la del blanco.

$$D = \frac{\theta}{\sqrt{t}} \times \sqrt{\frac{n_{x^\circ C}}{n_{30^\circ C}}}$$

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY		
Código	Edición	Página	
GIDAC-CBS-01	0	1- 6	

Para el porcentaje en peso de partículas, se considera la lectura del hidrómetro en la suspensión (L_n) y la lectura del hidrómetro en el blanco (L_o), además del peso inicial de la muestra seca al aire (P).

$$\%P = \frac{(L_n - L_o)}{P} \times 100$$

Los datos de diámetro de partícula (D) y porcentaje en peso (%P) son graficados en un papel semilogarítmico de textura (Figura 1), los cuales son identificados en el eje de las abscisas y ordenadas, respectivamente. Es decir, la escala logarítmica en las abscisas presenta los tamaños de las partículas en micrómetros y el porcentaje en peso de cada fracción se obtiene al dibujar la curva, cuyos puntos establecidos en la misma son intersecados con el eje correspondiente.

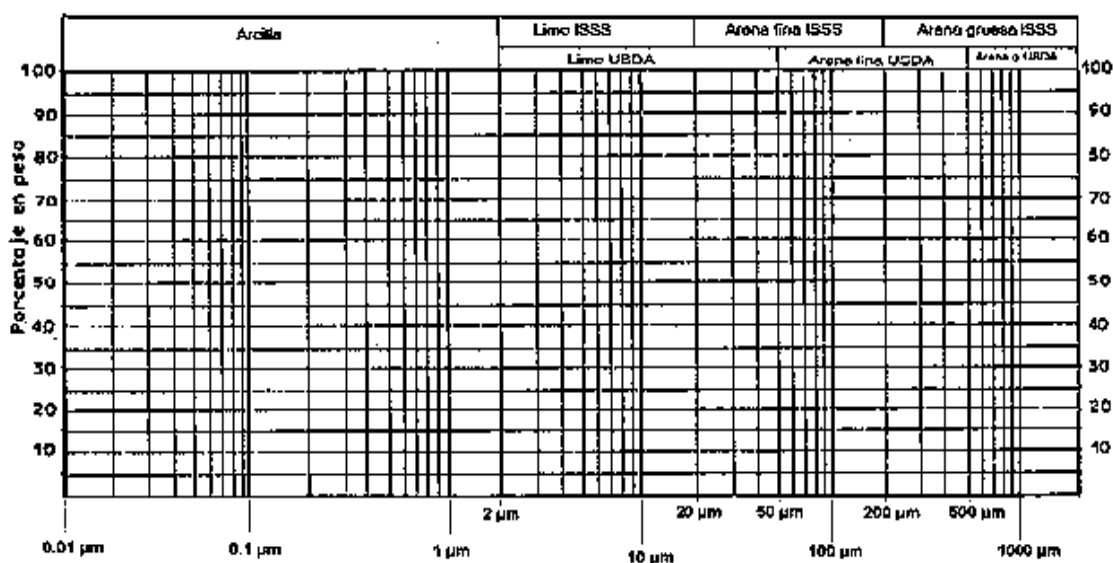


Figura 1. Diagrama semilogarítmico para determinación de porcentaje en peso.


Fuente: (Andrades, et al., 2015).

Al obtener los porcentajes de limo y arcilla en el diagrama, se procede a la aplicación de ecuaciones para calcular los porcentajes de arena, limo y arcilla definitivos.

$$\%Arcilla = \%Arcilla_{diag.}$$

$$\%Limo = \%Limo_{diag.} - \%Arcilla$$

$$\%Arena = 100 - \%Arcilla - \%Limo$$

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO	
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY	
Código	Edición	Página
GIDAC-CBS-01	0	1- 6

Determinación de la clase textural de la muestra

Al cabo de la obtención de los porcentajes correspondientes a cada fracción, se ubica los datos en el triángulo de la textura de suelo según la USDA (Figura 2). Se sitúa el valor del porcentaje de la fracción y se siguen las líneas paralelas a las otras dos fracciones. La intersección de las tres líneas conformadas recaerá sobre el área que indique la textura correspondiente.

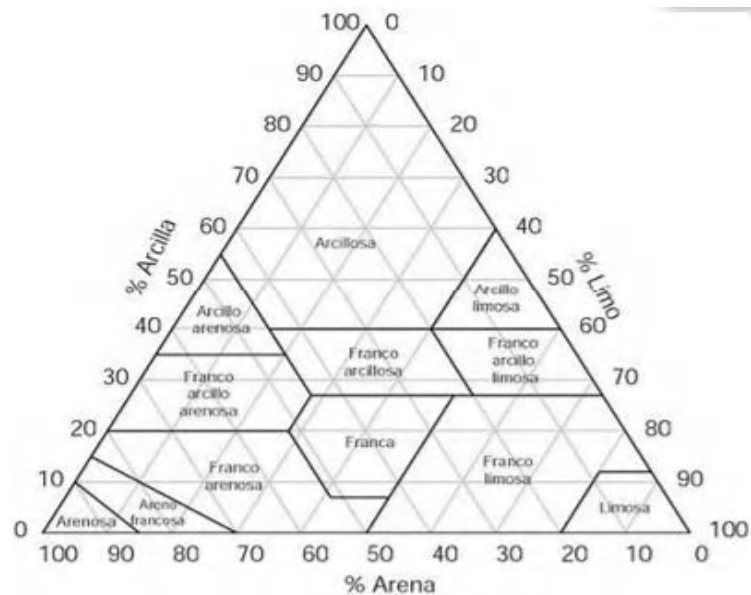


Figura 2. Diagrama triangular de la textura del suelo según el USDA.

Fuente: (Rucks, et al. 2004)

7. Referencias

Hoja de toma de datos experimentales para el método de Bouyoucos-Day.


	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		
	LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOUCOS-DAY		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CBS-01	0	1- 6

Tabla 1: Datos para el cálculo de las fracciones granulométricas

Código de la muestra	Peso de la muestra (P)	Tiempo (min)	Ln (lectura en la suspensión g/cm ³)	Lo(lectura en el blanco g/cm ³)	Ln(g/l)	Lo(g/l)	(Ln-Lo)	Temperatura (°C)	Factor de corrección $\sqrt{\frac{n_{x^{\circ}C}}{n_{30^{\circ}C}}}$	Parámetro de sedimentación (θ)	$\sqrt{t(min)}$
		1									
		3									
		10									
		30									
		60									
		90									
		360									
		480									
		720									

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.


	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CPS-02	0	24- 39

Tabla 2. Factor de correccion del diametro de las particulas para temperaturas diferentes a 30 °C

Temperatura (°C)	Factor de corrección del diámetro $\sqrt{\frac{n_{x^{\circ}C}}{n_{30^{\circ}C}}}$
16	1.18
17	1.16
18	1.14
19	1.13
20	1.12
21	1.10
22	1.09
23	1.08

Fuente: (Andrades, et al., 2015).

Tabla 3. Valores de θ en función de las lecturas observadas en el densímetro

Ln (lectura en la suspensión g/l)	Parámetro de sedimentación (θ)
5	47,9
6	47,7
7	47,4
8	47,2
9	47,0
10	46,7
11	46,4
12	46,2
13	45,9
14	45,6
15	45,3
16	45,0
17	44,8
18	44,5
19	44,2
20	43,9
21	43,7
22	43,4
23	43,1
24	42,8
25	42,5
26	42,2

Fuente: (Andrades, et al., 2015).



	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CPS-02	0	25- 39

Tabla 4: Cálculo final para las fracciones granulométricas.

% Diámetro corregido	% en peso de partículas en suspensión	% ARENA	% LIMO	%ARCILLA	Textura del suelo


Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
GIDAC-CPS-02	0	26- 39	

ANEXO B: PROTOCOLO DEL MÉTODO DE LA PIPETA



<p>GIDAC-CPS-02</p> <p>ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA</p> <p>PIPETA</p> <p>LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL</p> <p>AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO</p> <p>Edición 0</p>

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CPS-02	0	27- 39

1. OBJETIVO

Establecer el Método de la Pipeta para análisis de distribución porcentual de partículas del suelo en el laboratorio.

2. ALCANCE

El presente procedimiento se aplica para la determinación de los porcentajes de fracciones granulométricas del suelo

3. RESPONSABILIDADES

Técnicos de Laboratorio

4. REFERENCIAS

4.1. Documentos utilizados en la elaboración


- NORMA INEN ISO-IEC 17025:2018
- Manual de Prácticas de Laboratorio de Química General
- Manual de Procedimientos Analíticos
- Operaciones básicas de laboratorio

5. DEFINICIONES

Hexametáfosfato de sodio. - Es una sal generalmente usada en la industria de la limpieza y junto con una adecuada agitación su acción como dispersante es muy poderosa.

Acetato de sodio (NaOAc). – Es una sal generalmente utilizada en la industria textil, su función es eliminar los carbonatos y sales solubles del suelo mediante la acidificación de la muestra. Su uso se debe a que no destruye las partículas arcillosas.

Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂). – Es un líquido incoloro usado para eliminar la materia orgánica en los suelos. Es el oxidante estándar para este proceso por su nula agresividad sobre las fracciones de suelo.

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CPS-02	0	28- 39

6. DESARROLLO

6.1. Consideraciones previas

- Conservar las muestras refrigeradas hasta que se realice el análisis.
- Las muestras se deben secar al aire en superficies amplias y sin exposición a la luz solar.
- Los equipos, instrumentos y materiales necesarios deben estar calibrados y disponibles.
- Para cada proceso se debe establecer el lapso de tiempo adecuado.


6.2. Equipos, instrumentos, materiales y reactivos

Equipos e instrumentos

- Estufa
- Mufla
- Balanza analítica
- Batidora eléctrica de mano

Materiales

- Desecador
- 2 Probetas de vidrio de 1000 ml
- Probeta de vidrio de 50 ml
- Vaso de precipitación de 800 ml
- Vaso de precipitación de 250 ml
- 2 Balones de aforo de 1000 ml
- Pipeta graduada de 25 ml
- Pipeta graduada de 10 ml
- Pipeta graduada de 5 ml
- Espátula
- 3 bandejas de aluminio pequeñas
- Bandeja de aluminio grande
- 3 crisoles de porcelana

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CPS-02	0	29- 39

- Pinza para crisol
- Tamiz de 2000 um
- Tamiz de 53 um
- Reverbero
- Pera de succión

Reactivos

- Hexametáfosfato de Sodio
- Acetato de Sodio
- Peróxido de Hidrógeno

6.3. Preparación

Requisitos de los equipos de medición


Balanza Analítica. El equipo no debe estar cerca de ventanas ni expuesto a corrientes de aire, gases y vapores.

Debe encontrarse nivelado si no es así puede ajustarse mediante los tornillos de nivelación que posee en la parte inferior.

El equipo debe estar calibrado, esto se constata mediante la pesada de un peso patrón de una masa conocida, donde el valor debe corresponder con el valor patrón. Todo esto con la finalidad de tener una mayor precisión y exactitud en la medición.

Pipeta

La pipeta a emplear debe ser graduada, la cual se caracteriza por tener un anillo en la parte superior que permite tomar la cantidad exacta de volumen, de tal manera que el proceso no genere errores. Además, se recomienda su uso por su pico ancho que permite una descarga total de la alícuota y la no retención de restos de suspensión.

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CPS-02	0	30- 39

Requisitos de los equipos de dispersión

Batidora eléctrica de mano. Si el análisis granulométrico se realiza en más de dos muestras se tomará un intervalo de 5 minutos para volver a usar el equipo, esto evita su sobrecalentamiento. Al finalizar su uso el equipo debe permanecer desconectado.

Condiciones ambientales

El proceso debe realizarse en un área del laboratorio libre de rayos de sol para que la temperatura se mantenga lo más constante posible durante el proceso.

Ubicación de las probetas durante el proceso

La probeta debe ser colocada en el centro de los mesones para evitar caídas. De emplearse más de una probeta la separación entre sí, debe ser de 20 cm como mínimo.

La probeta debe estar situada sobre una superficie que permita tomar las alícuotas con mayor facilidad y comodidad.

Criterios para toma de alícuotas

Antes de introducir la pipeta se debe comprobar que se encuentre limpia.


Se debe introducir la pipeta en la probeta 15 segundos antes del tiempo establecido hasta la marca indicada, una vez tomada la alícuota se saca lo más lento posible para provocar el mínimo movimiento.

Al cargar la pipeta, su pico siempre debe estar completamente introducido bajo la superficie de la suspensión. De lo contrario se succionará aire afectando el volumen tomado.

Limpieza de la pipeta entre toma de alícuotas

La pipeta debe limpiarse con agua fría del grifo, agua destilada, alcohol o acetona, y el secado debe hacerse por aspiración o con papel periódico.

Para cada introducción en la suspensión la pipeta debe estar completamente limpia y seca.

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO	
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA	
Código	Edición	Página
GIDAC-CPS-02	0	31- 39

6.4. Realización

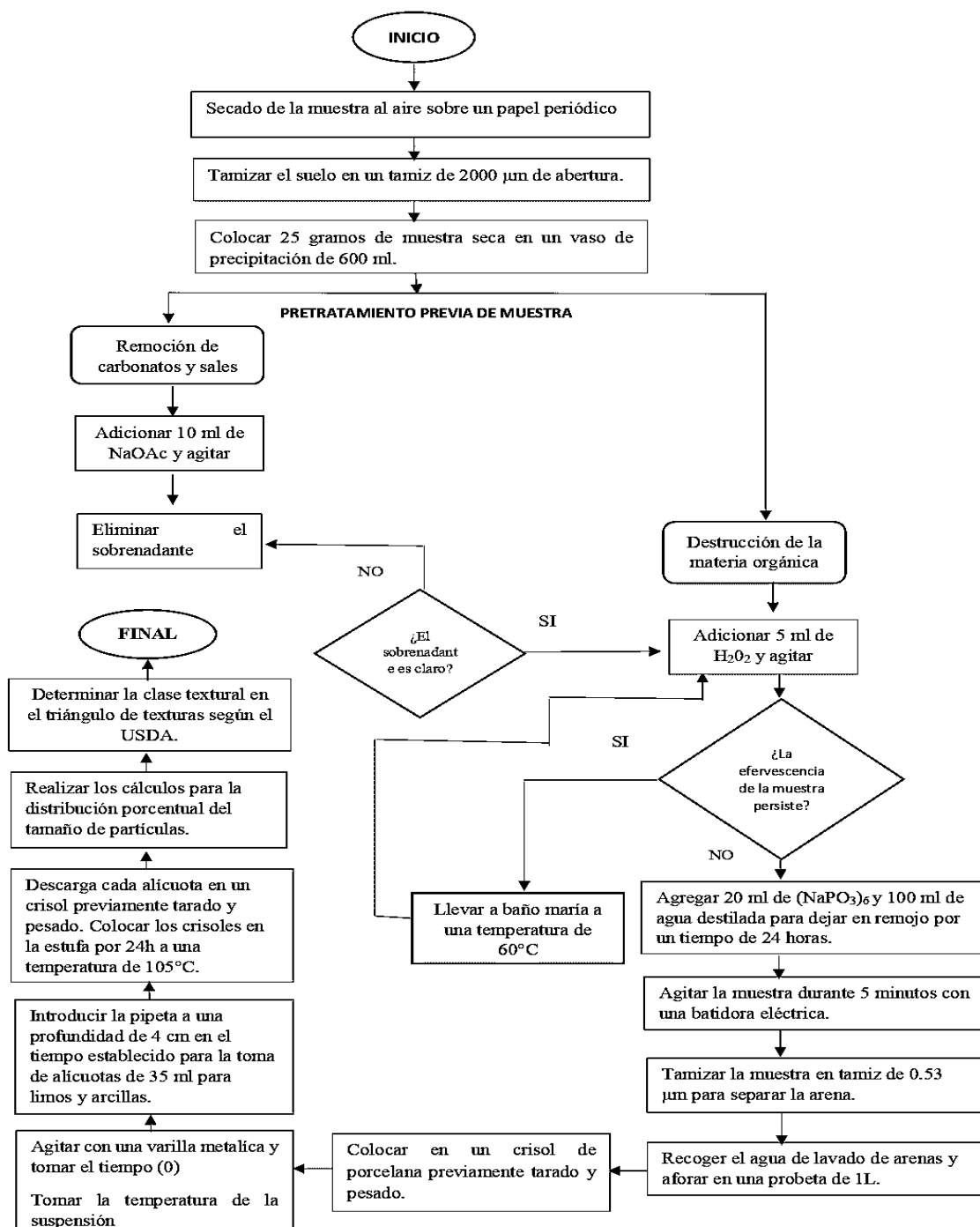



Figura 1: Diagrama de flujo del procedimiento para método de la Pipeta

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CPS-02	0	32- 39

1. Secar la muestra al aire sobre un papel periódico.
2. Tamizar 25 g de suelo en un tamiz de 2000 μm de abertura.
3. Pretratamientos de la muestra para eliminar agentes cementantes.

Remoción de carbonatos y sales solubles

- ✓ Colocar 25 gramos de muestra seca en un vaso de precipitación de 600 ml.
- ✓ Agregar 100 ml de agua destilada y 10 ml de NaOAc 1M pH 5 y agitar.
- ✓ Repetir el proceso tres veces y en cada uno eliminar el sobrenadante hasta que éste se torne claro.

Remoción de la materia orgánica

- ✓ Adicionar 5 ml de H_2O_2 y agitar por varios minutos. Si se observa efervescencia agregar agua fría.
- ✓ Llevar el contenido a baño maría a una temperatura de 60 °C. Hasta que la reacción de efervescencia desaparezca.
- ✓ Repetir los dos pasos anteriores si es necesario hasta que el suelo tenga un color más claro, lo que indicará que ya no hay presencia de materia orgánica.


4. Dispersar la muestra agregando 20 ml de $(\text{NaPO}_3)_6$ y 100 ml de agua destilada para dejar en remojo por un tiempo de 24 horas. Posteriormente, agitar la muestra durante 5 minutos con una batidora eléctrica
5. Separar las fracciones de arena, limo y arcilla.

Fracción de arenas

- ✓ Pasar la suspensión por un tamiz de 0.053 micrómetros de abertura este debe estar sobre un vaso de precipitación para recoger el agua destilada utilizada en el lavado de arenas.
- ✓ Colocar las arenas retenidas en el tamiz en un crisol de porcelana previamente tarado y pesado.

Fracción de limos

- ✓ Transferir a una probeta de 1000 ml el agua recogida en el vaso de precipitación, y enrasar con agua destilada
- ✓ Homogenizar con una varilla metálica todo el contenido de la probeta y tomar el tiempo inicial ($t=0$) que indica la iniciación de la sedimentación.

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CPS-02	0	33- 39

✓ Medir la temperatura de la suspensión e introducir la pipeta a una profundidad de 4 cm en el tiempo establecido (Ver tabla 1).

✓ Tomar la alícuota de 35 ml y descargarla en un crisol previamente tarado y pesado.

Fracción de arcilla

✓ Medir la temperatura de la suspensión e introducir la pipeta a una profundidad de 4 cm en el tiempo establecido (Ver tabla 1).

✓ Tomar la alícuota de 35 ml y descargarla en un crisol previamente tarado y pesado.

✓ Colocar todos los crisoles con las alícuotas en la estufa por 24h a una temperatura de 105°C.

6. Poner los crisoles en un desecador hasta que estos se enfríen para evitar la pérdida de muestra y pesarlos en una balanza analítica.

7. Realizar los cálculos para la distribución porcentual del tamaño de partículas.

8. Determinar la clase textural de la muestra mediante el triángulo de la USDA.


6.5. Tratamiento de resultados

Cálculo del tiempo para toma de alícuotas

Los tiempos de sedimentación para la toma de alícuotas de la mezcla (suelo pre tratado-agua) son definidos en función de la temperatura y la profundidad a la que se introduce la pipeta. Según la Tabla 1 adjunta.

Tabla 1: Tiempos de sedimentación para limo y arcilla, en función de la temperatura y la profundidad de extracción de la muestra. Valores calculados según la Ley de Stokes.

Profundidad	4 cm	
Temperatura (°C)	Limo 50 μ m -20 μ m (m:ss)	Arcilla menor a 2 μ m (h:mm:ss)
18	1:59	3:18:57
19	1:57	3:15:08
20	1:54	3:09:26
21	1:51	3:05:14

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CPS-02	0	34- 39

22	1:49	3:00:51
23	1:46	2:56:40
24	1:43	2:52:29
25	1:41	2:48:40
26	1:39	2:44:51
27	1:37	2:37:36

Fuente: LORENZ, 2005.

Cálculo del peso de la muestra seca

Para el peso de la muestra seca (C), se considera el peso de cada uno de los crisoles con la muestra seca (B) y el peso de los crisoles vacíos pesados previamente (A).

$$\text{Peso de la muestra seca (C)} = B - A$$

En cada caso, el peso de la muestra seca de arena, limo y arcilla conforman una totalidad (Pts). Dicho dato es esencial en la obtención de los porcentajes correspondientes.


Cálculo del porcentaje de las fracciones de arena, limo y arcilla

$$Pts = C_{arena} + C_{limo} + C_{arcilla}$$

$$\%Arena = \frac{C_{arena}}{Pts} \times 100$$

$$\%Limo = \frac{C_{limo}}{Pts} \times 100$$

$$\%Arcilla = \frac{C_{arcilla}}{Pts} \times 100$$

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE LA PIPETA		
Código	Edición	Página	
GIDAC-CPS-02	0	35- 39	

Determinación de la clase textural según la clasificación del USDA

Al cabo de la obtención de los porcentajes correspondientes a cada fracción, se ubica los datos en el triángulo. Se sitúa el valor del porcentaje de la fracción y se siguen las líneas paralelas a las otras dos fracciones. La intersección de las tres líneas conformadas recaerá sobre el área que indique la textura correspondiente.

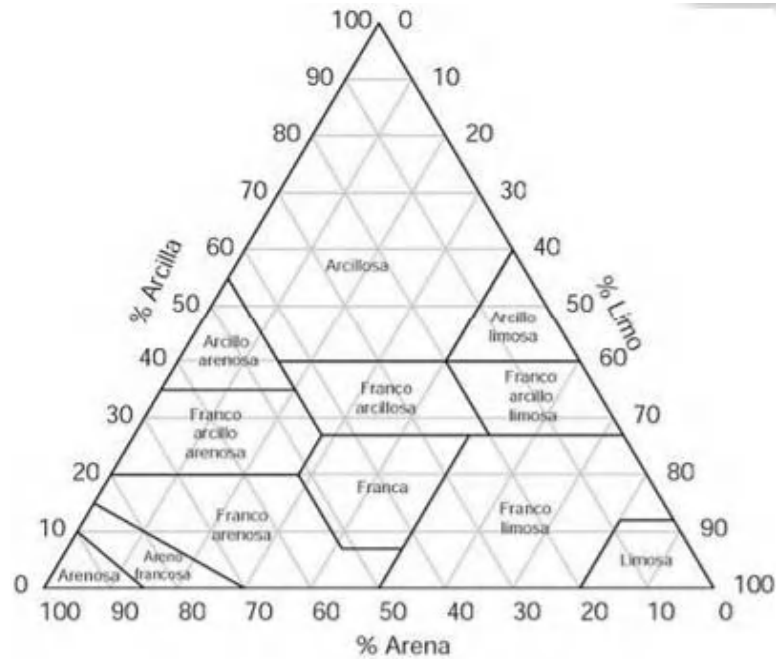


Figura 2: Diagrama triangular de la textura del suelo según el USDA

Fuente: (Rucks, et. al. 2004)

7. Referencias

Hoja de toma de datos experimentales para el método de la Pipeta


	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CBS-01	0	39- 39

Tabla 12. Datos de la fracción arena

Código	Numero de crisol	Peso del crisol vacío	Peso del crisol con muestra seca	Peso de la muestra seca	% Arena

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

Tabla 13. Datos de la fracción limo

Código	Temperatura	Tiempo para toma de alícuota (horas: minutos)	Número de crisol	Peso del crisol vacío	Peso del crisol con muestra seca	Peso de la muestra seca	% Limo

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

Tabla 14. Datos de la fracción arcilla

Código	Temperatura	Tiempo para toma de alícuota (horas: minutos)	Número de crisol	Peso del crisol vacío	Peso del crisol con muestra seca	Peso de la muestra seca	% Arcilla

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.


	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO LABORATORIO GRUPO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO PARA EL AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO		
	ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA MEDIANTE MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY		
	Código	Edición	Página
	GIDAC-CBS-01	0	39- 39

Tabla 15. Datos para definición de la clase textural

% Arena	%Limo	%Arcilla	CLASE TEXTURAL

Elaborado por: Castillo Liliana y Sucuy Camila, 2021.

ANEXO C: FASE DE CAMPO



A



B



C

<p>NOTAS:</p>	<p>TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</p>		
<p>A) Muestreo de suelos a profundidades de 30 y 60 cm B) Muestreo de perfil de suelo a profundidad (0-3.50/0.30-4.50) C) CEquipo de muestreo</p>	<p>“EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN”</p>	<p>LAM:</p>	<p>ESC:</p>	<p>FECHA:</p>
		<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>03/09/2021</p>

ANEXO D: FASE DE LABORATORIO



D



E



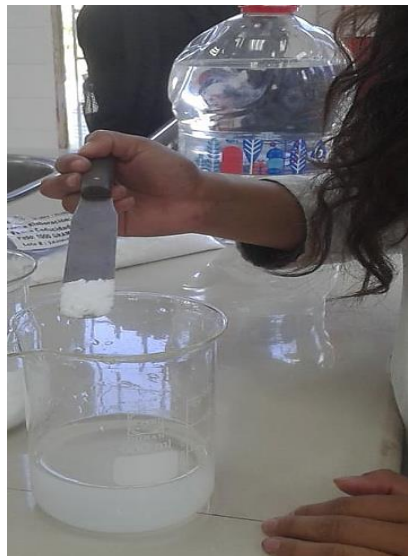
F

NOTAS:	TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS		
D) Secado de muestras al aire E) Disgregación de muestras F) Tamizado de muestras (Tamiz 2 mm)	“EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN”	LAM:	ESC:	FECHA:
		2	1:1	03/09/2021

ANEXO E: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY



G



H



I

<p>NOTAS:</p>	<p>TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</p>		
<p>G) Pesaje de 50g de muestra H) Preparación de $(\text{NaPO}_3)_6$ I) Remojo de muestras con solución de $(\text{NaPO}_3)_6$</p>	<p>“EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN”</p>	<p>LAM:</p>	<p>ESC:</p>	<p>FECHA:</p>
		<p>3</p>	<p>1:1</p>	<p>03/09/2021</p>

ANEXO F: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE BOUYOCOS-DAY



J



K



L

<p>NOTAS:</p>	<p>TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</p>		
<p>J) Dispersión de las muestras remojadas con la batidora eléctrica K) Preparación del cilindro de sedimentación. L) Toma de lecturas en la suspensión y en la solución blanco.</p>	<p>“EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN”</p>	<p>LAM:</p>	<p>ESC:</p>	<p>FECHA:</p>
		<p>4</p>	<p>1:1</p>	<p>03/09/2021</p>

ANEXO G: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE LA PIPETA



M



N



O

<p>NOTAS:</p>	<p>TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</p>		
<p>M) Pesaje de NaOAc N) Preparación de NaOAc a 1L. O) Adición de NaOAc en la muestra de suelo.</p>	<p>“EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN”</p>	<p>LAM:</p>	<p>ESC:</p>	<p>FECHA:</p>
		<p>5</p>	<p>1:1</p>	<p>06/09/2021</p>

ANEXO H: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE LA PIPETA



P



Q



R

<p>NOTAS:</p>	<p>TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</p>		
<p>P) Adición H₂O₂ en la muestra de suelo. Q) Eliminación de efervescencia en Baño María. R) Dispersión de la muestra con la batidora eléctrica.</p>	<p>“EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN”</p>	<p>LAM:</p>	<p>ESC:</p>	<p>FECHA:</p>
		<p>6</p>	<p>1:1</p>	<p>06/09/2021</p>

ANEXO I: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE LA PIPETA



S



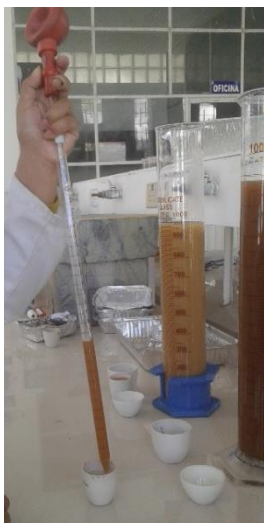
T



U

<p>NOTAS:</p>	<p>TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</p>		
<p>S) Tamizado de la muestra para separar arenas. T) Aforo del agua de lavado de arenas a 1 L. U) Toma de alícuota para limos.</p>	<p>“EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN”</p>	<p>LAM:</p>	<p>ESC:</p>	<p>FECHA:</p>
		<p>7</p>	<p>1:1</p>	<p>06/09/2021</p>

ANEXO J: FASE DE LABORATORIO-MÉTODO DE LA PIPETA



V



W



X

<p>NOTAS:</p>	<p>TRABAJO DE TITULACIÓN TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS</p>		
<p>V) Toma de alícuota para arcillas. W) Secado de alícuotas. X) Pesado de muestra seca.</p>	<p>“EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CEBADAS: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN”</p>	<p>LAM:</p>	<p>ESC:</p>	<p>FECHA:</p>
		<p>8</p>	<p>1:1</p>	<p>06/09/2021</p>



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

*DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Jessica Liliana Castillo Cabezas Camila Sthefanny Sucuy Bonilla</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>
Título a optar: <i>Ingeniera en Biotecnología Ambiental</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>



1918-DBRA-UTP-2021