UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

"INFLUENCIA DE LA TEXTURA EN LA PERMEABILIDAD DEL SUELO EN LA SUBCUENCA ZAMORA HUAYCO- CANTON LOJA"

Tesis previa a la obtención del Título
de Ingeniera en Gestión Ambiental

AUTOR:

Fabiola Martínez Gonzaga

DIRECTOR:

Ing. Pablo Ochoa Cueva

LOJA – ECUADOR

2009

CERTIFICACIÓN

Ing. Pablo Alejandro Ochoa Cueva
Docente de la Universidad Técnica Particular de Loja

CERTIFICO:

Haber dirigido la investigación y elaboración de la tesis denominada **"Influencia de la textura en la permeabilidad del suelo en la subcuenca Zamora Huayco- Cantón Loja";** la misma que reúne los requisitos que exige los reglamentos de la Escuela de Ciencias Ambientales por lo que autorizo su presentación.

Ing. Pablo Alejandro Ochoa Cueva
DIRECTOR DE TESIS

Loja, Febrero 2009

CESION DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO

Yo, Zoila Fabiola Martínez Gonzaga declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textual dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f.) _____

Fabiola Martínez Gonzaga

TESISTA

AUTORIA

La presentación, procedimientos y conceptos vertidos en el presente trabajo de tesis son de responsabilidad absoluta del autor.

f.) _____

Fabiola Martínez Gonzaga

TESISTA

DEDICATORIA

"Dedico esta investigación a mis Padres especialmente a mi madre quien me apoyo económica y moralmente, ellos quienes estuvieron siempre a mi lado dándome ánimo y consejos para salir adelante; a mis hermanos Carlos, Andrea y Junior quienes con su alegría supieron inspirar en mi el espíritu de superación."

Fabiola Martínez Gonzaga

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios, por brindarme sabiduría y salud para poder alcanzar mí meta académica.

A la Universidad Técnica Particular de Loja por permitirnos realizar nuestros estudios profesionales; como a todo el Personal Docente de la Escuela de Gestión Ambiental quienes supieron compartir sus conocimientos.

Al personal que trabaja en el Laboratorio CETTIA especialmente al Ingeniero Geovanny Figueroa, al Laboratorio de Suelos del Cittes Servicios Agropecuarios, especialmente al Ingeniero Juan Ignacio Burneo, a la UCG (Unidad Civil Geominera) principalmente al Ingeniero Ángel Tapia por su apoyo en proporcionarnos todos los medios necesarios para la ejecución de la presente investigación.

Un agradecimiento muy especial a mis compañeros Fabián Cuenca, Ronald Freire con sus conocimientos en validación de métodos analíticos y de laboratorio, Cristian Prieto con sus conocimientos de SIG, Christian Maza con sus conocimientos de trabajo de campo, a mis amigas Ximena y Johana quienes me apoyaron moralmente.

Finalmente de manera muy especial al Ingeniero Pablo Ochoa quien me guio y oriento para la elaboración y culminación de esta investigación, en general a todo el personal del Subcittes IMSS (Instituto de Manejo Sustentable del Suelo).

El Autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN II

CESION DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO III

AUTORIA IV

DEDICATORIA V

AGRADECIMIENTO VI

ÍNDICE VII

GLOSARIO DE TÉRMINOS XIII

ABREVIATURAS XV

NOMECLATURA DE FÓRMULAS UTILIZADAS XV

RESUMEN XVI

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Antecedentes 2

1.2 Objetivos 2

2. REVISIÓN DE LITERATURA 3

2.1 Cuencas Hidrográficas 4

2.2 Clasificación de las Cuencas Hidrográficas 5

2.2.1 Cuenca Fluvial 5

2.2.2 Cuenca lacustre o de evaporación 5

2.2.3 Cuenca tributaria o Subcuenca 5

2.2.4 Microcuenca 5

2.3 Sistemas hidrográficos 5

2.3.1 Partes Constitutivas de una Cuenca 6

2.4 El Suelo 7

2.4.1 Propiedades físicas del Suelo 7
2.4.1.1 Textura del suelo 7-11
2.4.1.2 Permeabilidad 11
2.4.1.3 Infiltración 11
2.4.1.4 Factores que Intervienen en la Capacidad de Infiltración 12
2.4.1.5 Estructura del suelo 13
2.4.1.6 Material Parental o Roca Madre 13-14
2.5 Validación de Métodos de Laboratorio 15
2.5.1 Validación 15
2.5.2 Parámetros de desempeño del método 15-16
2.6 Validación de Métodos Cualitativos 17
2.6.1 Parámetros de Calidad 17
3 ÁREA DE ESTUDIO 18
3.1 Ubicación del Ensayo 18-19
3.2 Clima y Ecología 19-21
3.3 Geología 21-22
3.4 Geomorfología 23
3.5 Relieve 23
3.5.1 Litología 23
3.5.2 Suelos 23-25
4. MATERIALES Y MÉTODOS 26
4.1 Materiales y equipos de campo básicos para el muestreo de suelo 26
4.1.1 Tipo de Muestreo 26
4.1.2 Toma de muestras 27-28
4.2 Metodología para el primer Objetivo 28-29
4.2.1 Preparación de las muestras de suelo 29
4.2.1.1 Método: Suelo seco al aire y tamizado 29

4.2.1.2 Determinación de la textura 31
4.2.1.3 Método del hidrómetro 31
4.2.2 Validación del Método del hidrómetro 36
4.2.2.1 Parámetros de desempeño 36
4.2.1.2 Precisión 36
4.2.1.2.1 Repetibilidad 36
4.2.1.2.2 Reproducibilidad 37
4.2.1.2.3 Incertidumbre 37
4.3 Metodología para el segundo Objetivo 38
4.3.1 Materiales 38
4.3.2 Ensayos de Infiltración según la norma ASTM D 3385-03 39-40
4.3.3 Análisis y presentación de Datos 42
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 44
6 CONCLUSIONES 56-57
7 RECOMENDACIONES 58-59
8 BIBLIOGRAFÍA 60-64
9 ANEXOS 65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes de una Cuenca Hidrográfica 6

Figura 2 Triángulo de las doce clases texturales 9

Figura 3 Origen del Material Parental..... 14

Figura 4 Muestreo Sistemático o de Rejilla 27

Figura 5 Clases textural de acuerdo a los porcentajes de Ao, Ac y Lo 34

Figura 6 Procedimiento fotográfico del análisis de textura 35

Figura 7 Parcela en pastizal sitio San Simón (Subcuenca Zamora Huayco) ... 38

Figura 8 Parcela en sucesión sitio San Simón (Subcuenca Zamora Huayco) . 39

Figura 9 Procedimiento fotográfico del ensayo de Infiltración 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tamaño de las partículas .....….8

Tabla 2 Velocidades y clase de Infiltración ....……..43

Tabla 3 Porcentajes de las clases texturales obtenidas por el método del Hidrómetro o Bouyoucus…….44

Tabla 4 Clases texturales de cada quebrada que componen la subcuenca….46

Tabla 5 Coeficiente de variación de la primera y segunda lectura .....….47

Tabla 6 Desglose de la fómula de hidroxido de sodio .....….51

Tabla 7 Incertidumbre estandar de cada elemento del hidroxido de sodio …..51

Tabla 8 Desglose de la fórmula del oxalato de sodio ..... .51

Tabla 9 Incertidumbre estandar de cada elemento del oxalato de sodio ....….52

Tabla 10 Velocidad de infiltración en cm/h .....….54

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1 Ubicación de la Subcuenca Zamora Huayco..... 18

Mapa 2 Formaciones Geológicas de la Subcuenca Zamora Huayco..... 22

Mapa 3 Suelos de la Subcuenca Zamora Huayco 24

Mapa 4 Subcuenca Zamora Huayco, representación de cuadrículas. Puntos de extracción en cada cuadrícula (extracción en diagonal)..... 28

Mapa 5 Mapa de textura del suelo 45

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Atmósfera: Es la capa de gas que puede rodear un cuerpo celeste con la suficiente masa como para atraerlos si además la temperatura atmosférica es baja.

Biosfera: Es el ecosistema compuesto por todos los seres vivos del planeta Tierra; Conjunto de los medios que se encuentran en la corteza terrestre como son: el agua, la tierra, el aire, y que dan sustento a la vida.

Cono de deyección: También llamado *cono* o abanico aluvial, es una forma de modelado fluvial que en planta se caracterizan por tener una silueta cónica o en abanico y una suave pendiente (entre 1 y 10 grados, dependiendo de la pendiente por la que se desliza).

Desagüe: Sistemas diseñados para drenar el agua. Los desagües de lluvia, conducen el agua hacia la red de alcantarillado para retirar el líquido y prevenir una inundación. Otro tipo de desagües, dirigen el agua a una red separada de *aguas negras* o a una presa o lago artificial.

Diagénesis o Litificación: Cuando los sedimentos son sepultados tiene lugar todo tipo de procesos químicos y físicos que pueden conducir a modificaciones bastante radicales del material original. Con el término diagénesis se cubren todas esas transformaciones ocurridas a temperaturas y presiones relativamente bajas, en zonas no muy profundas por debajo de la superficie de la Tierra.

Diagrama de causa y efecto: También llamado “Diagrama de Ishikawa” o “Diagrama de Espina de Pescado”. El Diagrama Causa-Efecto es una representación gráfica que muestra la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado.

Erosión o Metamorfismo: Es el cambio de una clase coherente de roca en otra, gracias a un proceso que se da por debajo de la zona de sedimentación e intemperismo pero sobre la zona de fusión o producción de magma.

Estaciones pluviométricas: Lugar destinado a la obtención de datos de precipitación.

Hidrósfera: Capa de agua de la Tierra, distribuida entre varios compartimentos líquidos y uno sólido, que son aguas marinas de mares y océanos.

Interfaz: En geología, una interfaz es una capa superficial o anómala que marca el punto de transición entre dos épocas o tipos geológicos.

Litósfera: Capa más superficial de la Tierra sólida, caracterizada por su rigidez. Está formada por la corteza terrestre y por la zona contigua, la más externa, del manto terrestre.

Magma: El magma es una mezcla de minerales fundidos que puede contener algunos elementos sólidos y cierta cantidad de gases disueltos (hasta un 10%). La solidificación de esta mezcla al enfriarse da lugar a las rocas magmáticas.

Paralaje: desplazamiento o movimiento de un objeto.

Rocas Ígneas: Rocas formadas por la materia fundida, o magma, que asciende por hendiduras o grietas desde el interior de la Tierra.

Tara: Peso sin calibrar que se coloca en un platillo de la balanza para calibrarla, o para realizar determinadas pesadas.

ABREVIATURAS

Ao= Arena

Ac= Arcilla

Lo= Limo

CAR: Abreviatura que designa al código de muestras de el sitio El Carmen.

DAP: Distancia a la altura del pecho.

IMSS: Instituto de Manejo Sustentable del suelo

MEN: Mendieta

MIN: Minas

P.N.P: Parque Nacional Podocarpus

SIM: San Simón

ZH: Zamora Huayco

NOMENCLATURA DE FÓRMULAS UTILIZADAS

Cálculos de Repetibilidad y Reproducibilidad

$\overline{X}$ = Media
s = Desviación estándar
n = Número de repeticiones
$\mathbf{F_{critico}}$ = Estadístico F para determinar la diferencia significativa
$\mathbf{t_{critico}}$ = Estadístico t para determinar la diferencia significativa
%CV = Coeficiente de variación
P1 = Señal 1
P2 = Señal 2
v = Varianza

Incertidumbre

U = Incertidumbre
N = Números de datos
$\mathbf{U_{exp}}$ = Incertidumbre expandida
$\mathbf{U_{final}}$ = Incertidumbre final
UP = Incertidumbre debido al peso
$\boldsymbol{Up^2}$ = Peso de la muestra

RESUMEN

El estudio fue en la subcuenca Zamora Huayco, ubicada al Sur de la República del Ecuador en la provincia de Loja al Sur-Oriente de la ciudad de Loja, dentro de la Parroquia San Sebastián en el barrio Zamora Huayco Alto, situada entre las coordenadas 03º59´24.1" – 04º03´48.1"S; 79º11´01.0" – 79º09´03.8"O. Tiene un área de 3.728 ha (37,3 Km^2), longitud de 8 Km aproximadamente y una altitud que estriba entre: 2120 a 3420 m s.n.m. está conformada por cuatro quebradas: Minas, Mendieta, El Carmen y San Simón. El recurso suelo de la subcuenca Zamora Huayco es utilizado para diferentes fines: agricultura, ganadería, extracción de minerales y materiales para la construcción, actividades de recreación etc. Factores como el clima, uso de la tierra y del suelo pueden definir degradación, escorrentía superficial y erosión de este recurso, por ello la importancia del estudio de las propiedades físicas del suelo cuya información servirá de aporte para estudios futuros en especial en cuencas de importancia hídrica. El objetivo del presente trabajo fue determinar la influencia de la textura en la permeabilidad de los suelos en la subcuenca Zamora Huayco. Para la ubicación del área de estudio se utilizo una carta topográfica a escala 1:20.000, mediante un diseño sistemático se ubico 38 puntos para la extracción de muestras a las cuales se les realizará el análisis de textura; se delimito dos parcelas con diferente uso de suelo para determinar la permeabilidad de estos y comparar con los resultados texturales obtenidos en el análisis de laboratorio empleando el método del Hidrómetro o de Bouyoucus. En la investigación realizada se indica que los criterios de aceptación utilizados en la validación del método del hidrómetro se han cumplido, concluyendo que el método se encuentra validado, este método nos permitió realizar el análisis de textura obteniendo cinco clases texturales: Franco, Franco arcilloso, Franco arenoso, Franco arcillo-arenoso, arcillo limoso en toda la subcuenca. En las parcelas delimitadas se obtuvo en la primera parcela (pastizal) una infiltración de 0,26 cm/h; en la segunda parcela (sucesión) fue de 1,97cm/h, perteneciendo estos resultados a suelos de permeabilidad lenta.

Palabras Claves: Cuenca hidrográfica, textura del suelo, método del hidrómetro, Validación de Métodos, Infiltración, Permeabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas del Ecuador y de Latinoamérica se encuentran en un estado de degradación muy avanzada, debida a la acción antrópica particularmente sobre el suelo y la cobertura vegetal (Muñoz, 2007).

El suelo es un recurso no renovable consistente en un sistema muy dinámico que ejerce muchas funciones y presta servicios vitales para las actividades humanas y la supervivencia de los ecosistemas (Comisión de las comunidades Europeas, 2006). La importancia del suelo radica en ser un elemento natural dinámico y vivo que constituye la interfaz entre la atmósfera, la litósfera, la biósfera y la hidrósfera, sistemas con los que mantiene un continuo intercambio de materia y energía. Esto lo convierte en una pieza clave del desarrollo de los ciclos biogeoquímicos superficiales y le confiere la capacidad para desarrollar una serie de funciones esenciales en la naturaleza de carácter medioambiental, ecológico, económico, social y cultural (Ortiz *et al.* 2007).

El suelo como manto de transmisión de agua se considera un componente esencial del ciclo hidrológico, interviniendo como medio de almacén y transporte para el agua y los solutos. El estudio y conocimiento de la conductividad hidráulica, capacidad de retención de agua, escorrentía y drenaje, son los principales aspectos en este modelo, el cual tiene importantes aplicaciones en el campo de la planificación agrícola, de la gestión y conservación de suelos y aguas. Además indica que la textura, matriz o esqueleto de un suelo, es una de las propiedades más importantes de su perfil. Los suelos con grandes áreas superficiales internas (abundancia de fracciones finas) son más activos químicamente, tienen más capacidad amortiguadora y capacidad de retención de agua. La textura influye en el movimiento de flujos de calor, agua y aire que acontecen tanto en el interior como en el exterior del perfil. En relación con la erosión hídrica, los suelos con alta proporción de limo tienden a ser muy erosionables (Rubio y Recatalá, 1998).

Oñate y Valdivieso, 2006 mencionan que el cambio de uso de suelo en una cuenca hidrográfica repercute notablemente en la respuesta que ella presenta

ante un evento extremo de precipitación. El continuo crecimiento de los centros urbanos produce un constante cambio del uso de suelo en las cuencas hidrográficas de las que forman parte, provocando el aumento de áreas impermeables en las que la retención superficial del agua proveniente de la precipitación es casi nula.

1.1 Antecedentes

El área boscosa que posee la subcuenca Zamora Huayco representa un factor que contribuye a la conservación de la biodiversidad sin embargo la zona tiene gran intervención humana como es la extracción de material pétreo, deforestación, incendios, introducción de especies exóticas como: *Pinus patula*, *Pinus radiata* y *Eucaliptus globulus*. Las prácticas silvícolas inadecuadas, sobre todo en la parte superior de la cuenca, pueden provocar un aumento de la erosión del suelo y reducir la capacidad de retención de agua. Las actividades agrícolas pueden producir grandes cantidades de agentes contaminantes procedentes de productos agroquímicos y de desechos agrícolas. La explotación agrícola de tierras altas, precedida de la tala de los bosques, o incendios puede tener un impacto negativo muy importante en la calidad del agua y provocar cambios en los caudales de crecida y de estiaje.

Los suelos de la subcuenca son un componente esencial del medio ambiente, este componente es frágil, de difícil y larga recuperación por lo que se considera como recurso no renovable. En la subcuenca Zamora Huayco el recurso suelo es utilizado para diversos fines: agricultura, ganadería, pastos y montes, extracción de minerales y de materiales para la construcción, soporte para las construcciones, para actividades de recreación y por ello la importancia de estudio. La textura del suelo es una propiedad física importante ya que indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene relación con la facilidad en que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. Para la determinación de la textura existen algunos métodos que se aplica en el

laboratorio entre ellos el más conocido y que se lo puso en práctica en el desarrollo de la presente investigación es el Método del Hidrómetro.

1.2 Objetivos

General:

- Determinar la influencia de la textura en la permeabilidad del suelo en la subcuenca Zamora Huayco- Cantón Loja.

Específicos:

- Implementar y validar el método del hidrómetro para la determinación de textura en suelos.

- Realizar ensayos de permeabilidad en dos usos de suelos dentro del área de estudio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cuencas Hidrográficas

Una cuenca hidrográfica es una unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como una unidad físico-biológica y también, en muchas ocasiones, como una unidad socio-política-económica para la planificación y ordenación de los recursos naturales (FAO, 1999).
Jiménez, 2005 señala que las cuencas hidrográficas cumplen muchas funciones, entres las principales se destacan:

- **La función hidrológica**

Cuando captan el agua de las lluvias almacena y la distribuyen a través de los manantiales y los ríos durante distintos momentos a lo largo del tiempo.

- **La función ecológica**

Provee diversidad de espacios para completar las fases del ciclo hidrológico, además es un lugar para la flora y fauna que conviven con el agua.

- **La función ambiental**

Ayuda en la captura de dióxido de carbono (CO_2), regula la distribución del agua de lluvia durante el invierno, evitando con ello las inundaciones en la parte baja de la cuenca y contribuye a conservar la biodiversidad, la cuenca es un espacio ideal para la implementación de la gestión ambiental.

- **La función socioeconómica**

Cuando suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas de las poblaciones que habitan la cuenca.

2.2 Clasificación de las Cuencas Hidrográficas

Muños, 2007 designa la siguiente clasificación para Cuencas Hidrográficas.

2.2.1 Cuenca Fluvial

Es la Cuenca cuyo dren principal desagua directamente en el mar, pueden contener en su interior varios centenares de cuencas hidrográficas. Por ejemplo la cuenca del río Amazonas.

2.2.2 Cuenca lacustre o de evaporación

Es la cuenca que no tiene un desagüe visible, las aguas drenan a un lago, desde el cual se evaporan.

2.2.3 Cuenca tributaria o Subcuenca

Frecuentemente es necesario dividir a las cuencas de grandes superficies en subcuencas o unidades de tamaño práctico para realizar trabajos específicos, estas sub-áreas son definidas por divisiones interiores en la cuenca de la cual son integrantes, son de gran valor para localización de estaciones pluviométricas.

2.2.4 Microcuenca

Estas son subdivisiones de las subcuencas de pocas hectáreas, usadas generalmente para investigaciones

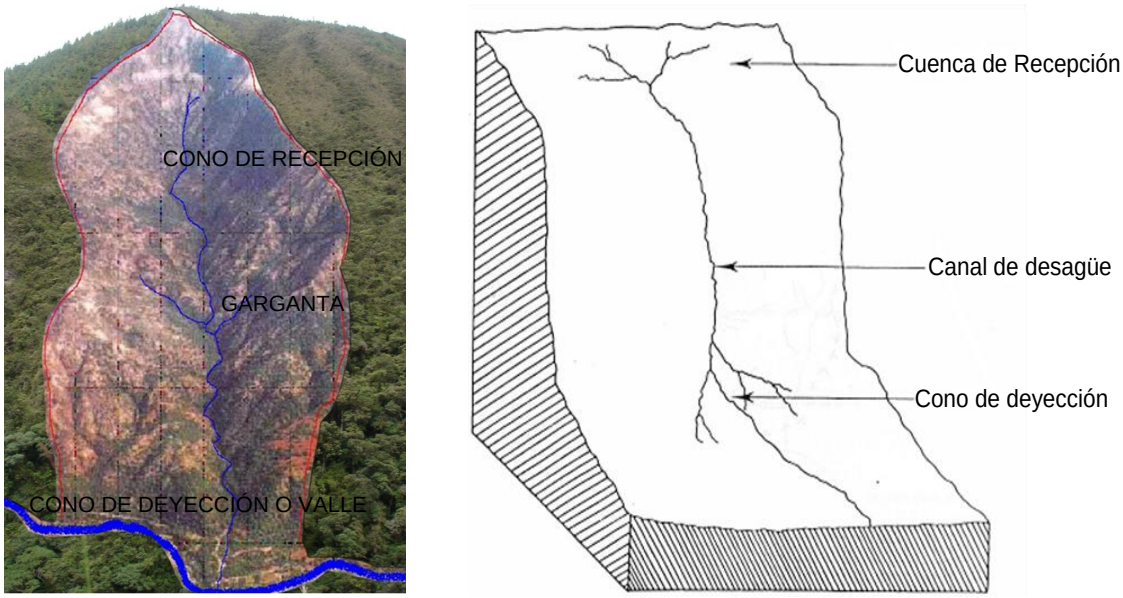
2.3 Sistemas hidrográficos

Con fines de nomenclatura, para facilitar la denominación jerárquica de cuencas, subcuencas microcuencas, se ha optado por denominar a las cuencas fluviales como sistemas hidrográficos. En Ecuador y otros países se ha adoptado esta tipología, por lo que, en lugar de llamar cuencas hidrográficas

del río Catamayo, del Guayas, de la Plata, del Amazonas, del Magdalena se denominan sistemas hidrográficos

2.3.1 Partes Constitutivas de una Cuenca

Figura 1: Partes de una Cuenca Hidrográfica



Fuente: El Autor

- **Cuenca de recepción**

Es la zona conocida comúnmente como cuenca, es la parte ubicada hacia arriba de la garganta, formada de las vertientes, en las cuales se precipita y almacena el agua lluvia.

- **Garganta o Canal de desagüe**

Es la zona donde se encuentran dos o más vertientes y se abren para dar paso al drenaje formado en la zona de recepción, los procesos de erosión y acumulación se equilibran en este sector, que es de diferente longitud, desde muy pequeño hasta de muchos kilómetros.

- **Cono de deyección o valle**

Es el valle o llanura. Aquí el río encuentra recién su perfil de equilibrio y se estabiliza su nivel de base, que coincide con el de la cuenca (Muñoz, 2007).

2.4 El Suelo

Plaster, 2000 define al suelo como un conjunto de cuerpos naturales de la superficie terrestre que contienen materia viva, capaz de soportar el crecimiento de las plantas. Sullivan, 2007 menciona que los suelos están formados por cuatro componentes básicos: minerales, aire, agua y materia orgánica. En la mayoría de suelos, los minerales representan alrededor de 45% del volumen total, agua y aire cerca de 25 % cada uno, y materia orgánica entre 2 % y 5 %.

2.4.1 Propiedades Físicas del Suelo

2.4.1.1 Textura del suelo

La propiedad de la tierra más fundamental, la que más influencia tiene sobre otros rasgos del suelo, es la textura. La textura del suelo determina la proporción de tres tamaños de partículas de suelo: arena (grande), limo (medio) y arcilla (pequeño). El tamaño de las partículas del suelo, a su vez, afecta tanto a los rasgos del suelo como a la capacidad de retención de agua y a la aireación (Plaster, 2000).

- **Efecto del tamaño de la partícula:** El tamaño de la partícula afecta a dos importantes características del suelo: a la superficie interna y al número y tamaño de los espacios de poros. La superficie interna de un suelo es el total de la superficie de todas las partículas en el suelo (Plaster, 2000).

Tabla 1: Tamaño de las partículas

CLASIFICACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS	
Diámetro (mm)	**Nombres Convencionales**
2-1	Arena muy gruesa
1-0,5	Arena gruesa
0,5-0,25	Arena mediana
0,25-0,1	Arena fina
0,1-0,05	Arena muy fina
0,05-0,002	Limo
Menos de 0,002	Arcilla

Fuente: USDA - Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos, 1999.

- **Superficie interna:** La superficie interna es importante porque las reacciones ocurren en la superficie de las partículas del suelo. Debido a que los suelos con partículas más pequeñas (como limo y arcilla) tienen la superficie interna más grande, retienen mayor proporción de humedad. Por lo tanto, podemos establecer la regla de que a partículas más pequeñas en el suelo, más agua y nutrientes puede retener el mismo (Plaster, 2000).

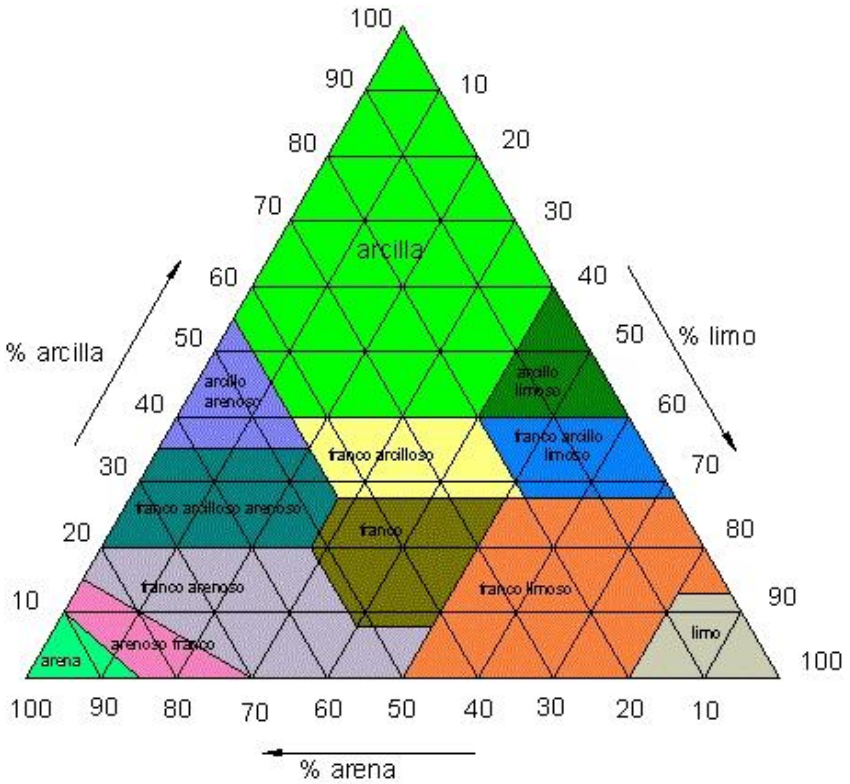
- **Poros del suelo:** El tamaño y el número de los poros dependen del tamaño de la partícula. El agua se escurre rápidamente a través de poros grandes llamados macroporos o poros de aireación. Los poros pequeños o microporos, tienden a retener agua. Ambos tamaños de poros son importantes dado que el suelo necesita microporos para retener agua y macroporos para el aire (Plaster, 2000).

- **Fracciones del suelo:** Las partículas minerales se dividen en grupos de tamaño llamados fracciones del suelo y define tres grandes clases: arena, limo y arcilla. ***La arena***, la fracción de suelo más grande, está compuesta

principalmente de granos de cuarzo meteorizados. Los granos individuales de arena, excepto los más finos son visibles a simple vista. ***El limo***, es la fracción de suelo de tamaño medio. Las partículas de limo son suaves o como el polvo al tacto (como el talco). De todas las fracciones del suelo, el limo tiene la mejor capacidad para retener grandes cantidades de agua en una forma que pueda ser usada por las plantas. ***La arcilla*** es la fracción de suelo más pequeña, más diminuta, como una lámina de cristal, la arcilla es el resultado de reacciones químicas entre minerales meteorizados para formar partículas diminutas de nuevos minerales (Plaster, 2000).

- **Clasificación por textura:** Los suelos normalmente están formados por más de una fracción de suelo; las tres fracciones se encuentran todas en la mayoría de los suelos, La proporción exacta o el porcentaje de las tres fracciones se llama textura del suelo. Las doce clases de textura se muestran en el triangulo de suelo (Plaster, 2000).

Figura 2: Triangulo de las doce clases texturales



Fuente: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1999.

Grupo arenoso

Áspero al tacto, no forma cinta, forma terrones cuando seco, que se desmenuzan fácilmente con la más ligera presión; arenoso, areno franco y franco arenoso.

Arenoso: El que tiene de 85 a 100 % de arena, 0 a 15 % de limo y a 0 a 10 % de arcilla.

Arenoso franco: El que tiene de 70 a 85 % de arena, 0 a 30 % de limo y 0 a 15 % de arcilla.

Franco arenoso: El que tiene 44 a 85 % de arena, 0 a 50 % de limo y a 20 % de arcilla (Iñiguez, 1999).

Grupo mediano

Con el suelo húmedo se siente éste ligeramente suave, se forma cintas cortas cuando se presiona entre el índice y el pulgar, dando una superficie rizada. Generalmente la cinta que se forma tiene una longitud no mayor de medio cm. Los suelos secos se desmenuzan con mucho trabajo: limosos, franco limosos, franco y franco arcillosos arenoso.

Limoso: El que tiene de 0 a 20 % de arena, 80 a 100 % de limo y 0 a 12 % de arcilla.

Franco limoso: El que tiene de 0 a 52 % de arena, 50 a 88 % de limo y 0 a 27 % de arcilla.

Franco: El que tiene de 23 a 52 % de arena, 28 a 50 % de limo y 7 a 28 % de arcilla.

Franco arcillo arenoso: El que tiene 45 a100 % de arena, 0 a 28 % de limo y 20 a 35 % de arcilla (Iñiguez, 1999).

Grupo arcilloso

Suelos arcillosos, los cuales son plásticos y pegajosos cuando húmedos. Si se presionan entre el índice y pulgar estando húmedos, forman una cinta delgada de más de 2 cm. Cuando secos, forman terrones que difícilmente se rompen: arcilloso, arcillo limoso, franco arcillosos, franco arcillo limosos y arcillo arenoso.

Arcilloso: El que tiene de 0 a 45 % de arena, 0 a 40 % de limo y 40 a 100 %.

Arcillo limoso: El que tiene de 0 a 20 % de arena, 40 a 60 % de limo y 40 a 60 % de arcilla.

Franco arcilloso: El que tiene de 10 a 45% de arena, 15 a 52 % de limo y 27 a 40 % de arcilla.

Franco arcillo limoso: El que tiene de 0 a 20% de arena, 40 a 73% de limo y 27 a 40% de arcilla.

Arcillo arenoso: El que tiene de 45 a 65% de arena, 0 a 20% de limo y 35 a 55% de arcilla (Iñiguez, 1999).

2.4.1.2 Permeabilidad

La permeabilidad es la facilidad con que el aire, el agua y las raíces se mueven a través del suelo. En un suelo muy permeable el agua se infiltra por el suelo rápidamente y la aireación mantiene un buen suministro de oxigeno. Las raíces crecen a través del suelo permeable con facilidad.

La permeabilidad depende, en parte, del número de poros del suelo, pero depende más del tamaño y continuidad de los poros. La permeabilidad no es una propiedad del suelo que pueda ser medida directamente. Sin embargo, el movimiento del agua (que refleja permeabilidad puede medirse. La conductividad hidráulica es una medida de proporción de movimiento de agua a través de un suelo (Plaster, 2000).

2.4.1.3 Infiltración

La infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo. La infiltración es un proceso de gran importancia económica, es vista por el ingeniero como un proceso de pérdida y por el agricultor como una ganancia. Del agua infiltrada se proveen casi todas las plantas terrestres y muchos animales; alimenta al agua subterránea y a la vez a la mayoría de las corrientes en el período de estiaje; reduce las inundaciones y la erosión del suelo

2.4.1.4 Factores que Intervienen en la Capacidad de Infiltración

Tipo de suelo. Entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración.

Grado de humedad del suelo. La infiltración varía en proporción inversa a la humedad del suelo, es decir, un suelo húmedo presenta menor capacidad de infiltración que un suelo seco.

Presencia de substancias coloidales. Casi todos los suelos contienen coloides. La hidratación de los coloides aumenta su tamaño y reduce el espacio para la infiltración del agua.

Acción de la precipitación sobre el suelo. El agua de lluvia al chocar con el suelo facilita la compactación de su superficie disminuyendo la capacidad de infiltración; por otra parte, el agua transporta materiales finos que tienden a disminuir la porosidad de la superficie del suelo, humedece la superficie, saturando los horizontes más próximos a la misma, lo que aumenta la resistencia a la penetración del agua y actúa sobre las partículas de substancias coloidales que, como se dijo, reducen la dimensión de los espacios intergranulares. La intensidad de esta acción varía con la granulometría de los suelos, y la presencia de vegetación la atenúa o elimina.

Cubierta vegetal. Con una cubierta vegetal natural aumenta la capacidad de infiltración y en caso de terreno cultivado, depende del tratamiento que se le dé al suelo.
La cubierta vegetal densa favorece la infiltración y dificulta el escurrimiento superficial del agua. Una vez que la lluvia cesa, la humedad del suelo es retirada a través de las raíces, aumentando la capacidad de infiltración para próximas precipitaciones.

Acción del hombre y de los animales. El suelo virgen tiene una estructura favorable para la infiltración, alto contenido de materia orgánica y mayor tamaño de los poros. Si el uso de la tierra tiene buen manejo y se aproxima a

las condiciones citadas, se favorecerá el proceso de la infiltración, en caso contrario, cuando la tierra está sometida a un uso intensivo por animales o sujeto al paso constante de vehículos, la superficie se compacta y se vuelve impermeable (USDA, 1999).

2.4.1.5 Estructura del suelo

Es distinta a su textura. Estructura se refiere a como se aglomeran o a la "reunión" de arena, limo y arcilla en terrones secundarios mayores. Si se toma un puñado de tierra, es aparente la buena estructura cuando se deshace fácilmente en la mano. Esta es una indicación de que las partículas de arena, limo y arcilla están reunidas en gránulos o migajas grandes. Tanto la textura como la estructura determinan el espacio de poros para la circulación de aire y agua, resistencia a la erosión, soltura, facilidad para ararse y penetración de las raíces. Aunque la estructura está relacionada a los minerales en el suelo y no cambia con las actividades agrícolas, la estructura se puede mejorar o destruir fácilmente con la selección y duración de prácticas agrícolas (Sullivan, 2007).

2.4.1.6 Material Parental o Roca Madre

El material parental, o regolita, en ciencia del suelo, significa el material geológico inalterado (generalmente roca madre o de un depósito superficial o arrastrado) en donde se irán formando los horizontes del suelo. Los suelos típicamente tienen un gran compromiso estructural y de minerales desde su material parental. El material parental hecho de minerales consolidados o inconsolidados que son sometidos a algún grado de meteorización física o química o biológica.

El material parental del suelo está compuesto por aquellos materiales que le dan origen, ya sean saprolitos (algunos de los productos de la alteración de las rocas) o sedimentos no consolidados, de cualquier procedencia y composición.
Los materiales parentales del suelo pueden provenir de las rocas de la corteza terrestre; estas rocas se originan mediante los procesos globales en donde inicialmente se tiene un magma, es decir, un material fundido en el cual están

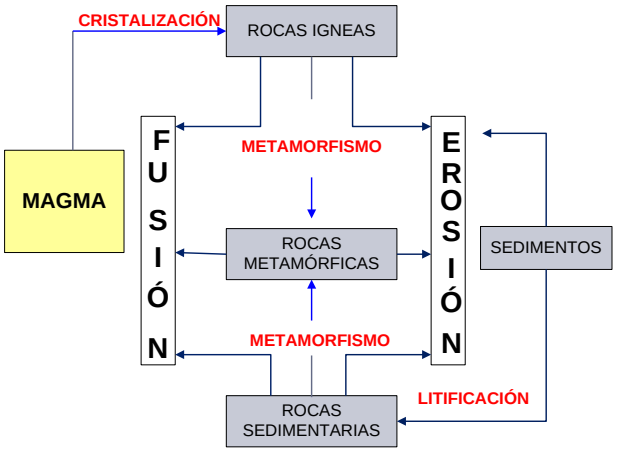
presentes los elementos que luego van a formar los diferentes minerales que harán parte fundamental de las rocas Ígneas.

Una vez formadas las rocas ígneas, ellas pueden ser sometidas a dos procesos fundamentales: Erosión o Metamorfismo (altas presiones y/o temperaturas). Con el primero se llegan a producir depósitos de sedimentos y con el segundo se forman, en consecuencia, las rocas Metamórficas; éstas también pueden sufrir procesos de erosión, con la consiguiente formación de sedimentos; todos los sedimentos pueden ser sometidos a Diagénesis o Litificación (compactación, cementación, etc.) y dar origen a las rocas Sedimentarias, que también estarán sujetas a procesos de metamorfismo o de erosión, produciéndose los resultados ya descritos.

Los sedimentos también pueden sufrir procesos de erosión; se reciclan en nuevos depósitos hasta llegar a tener una situación estable que les permite formar las rocas sedimentarias correspondientes. Finalmente, todas las rocas pueden ser sometidas a procesos que las llevan nuevamente a fundirse a grandes profundidades y a retornar al estado de magma.

Los materiales parentales del suelo pueden provenir de materiales que originalmente estaban consolidados, es decir, de rocas; éstas, desde el punto de vista de su origen se clasifican en tres grandes grupos generales: rocas Ígneas, rocas Sedimentarias y rocas Metamórficas. Además, pueden provenir de materiales no consolidados, es decir, de los Sedimentos (Jaramillo, 2001).

Figura 3: Origen del Material Parental



Fuente: Jaramillo, 2001

2.5 Validación de Métodos de Laboratorio

2.5.1 Validación

La validación de un método de ensayo es el proceso que permite demostrar que los resultados producidos por el mismo son fiables y reproducibles, y que el método es adecuado para la aplicación sobre la que se emplea.

La valides de un método específico debe demostrarse con experimentos de laboratorio utilizando muestras o patrones que sean similares a las muestras desconocidas (L&C Consultores, 2003).

2.5.2 Parámetros de desempeño del método

Para demostrar que un método es adecuado para la aplicación que se pretende es preciso determinar mediante estudios de laboratorio sus parámetros de desempeño que puede incluir:

- **Linealidad**

Es la parte de la función de calibración en la que la señal obtenida para el analito responde "linealmente" a la concentración (OAA, 2003).

- **Límite de detección**

Cantidad más pequeña de analito en una muestra que puede ser detectada por una única medición, con un nivel de confianza[1] determinado, pero no necesariamente cuantificada con un valor exacto. Es comúnmente expresado como concentración del analito (OAA ,2003).

- **Exactitud**

Para la evaluación de este parámetro se realiza el análisis de un material de referencia certificado, preferentemente con una matriz semejante a la de la muestra. Sólo en el caso de no existir un material adecuado se puede realizar un ensayo de recuperación. Cuando sea posible, se realizan un mínimo de 10 repeticiones del ensayo tres días consecutivos (OAA, 2003).

[1] **Nivel de Confianza:** Es la probabilidad de que el intervalo de confianza a calcular contenga el valor del parámetro.

- **Precisión**

Expresa la cercanía de coincidencia (grado de dispersión) entre una serie de mediciones obtenidas de múltiples muestreos de una misma muestra homogénea bajo condiciones establecidas. Las dos medidas más comunes de la precisión, que generalmente se define en términos de la desviación estándar o el coeficiente de variación (desviación estándar relativa) son la repetibilidad y la reproducibilidad (OAA, 2003).

- **Repetibilidad**

Precisión obtenida bajo las mismas condiciones de operación en un intervalo corto de tiempo, por un mismo analista, en la misma muestra homogénea y en el mismo equipo (Fundación para el fomento de la innovación industrial, 2004).

- **Reproducibilidad**

Es la precisión bajo las condiciones de reproducibilidad, es decir, los resultados de análisis independientes se obtienen con el mismo método en muestras idénticas en distintos laboratorios con diferentes operadores, usando los mismos equipos (Fundación para el fomento de la innovación industrial, 2004).

- **Incertidumbre**

La incertidumbre es un intervalo capaz de estimar el margen de variabilidad que tienen las mediciones realizadas en un experimento y por tanto significa un mayor conocimiento sobre aquello que medimos y sobre las herramientas de medida que se ha utilizado (Fundación para el fomento de la innovación industrial, 2004).

2.6 Validación de Métodos Cualitativos

Al igual que los métodos de medida cuantitativos, los métodos cualitativos también deben validarse. La validación de un método no depende de que éste sea cuantitativo o cualitativo, ya que validar consiste en verificar y documentar su validez, su adecuación a unos requisitos previamente establecidos (Ruisánches *et al*. 2003).

2.6.1 Parámetros de Calidad

En la validación de métodos analíticos cualitativos se debe establecer cuidadosa adaptación de los parámetros de calidad o desempeño que están bien definidos y estudiados en los procesos de medida con finalidad cuantitativa, bien sean de tipo físico como químico. En análisis cuantitativos se puede aplicar los parámetros de desempeño según sea el caso. (Ruisánches *et al.* 2003).

3. ÁREA DE ESTUDIO

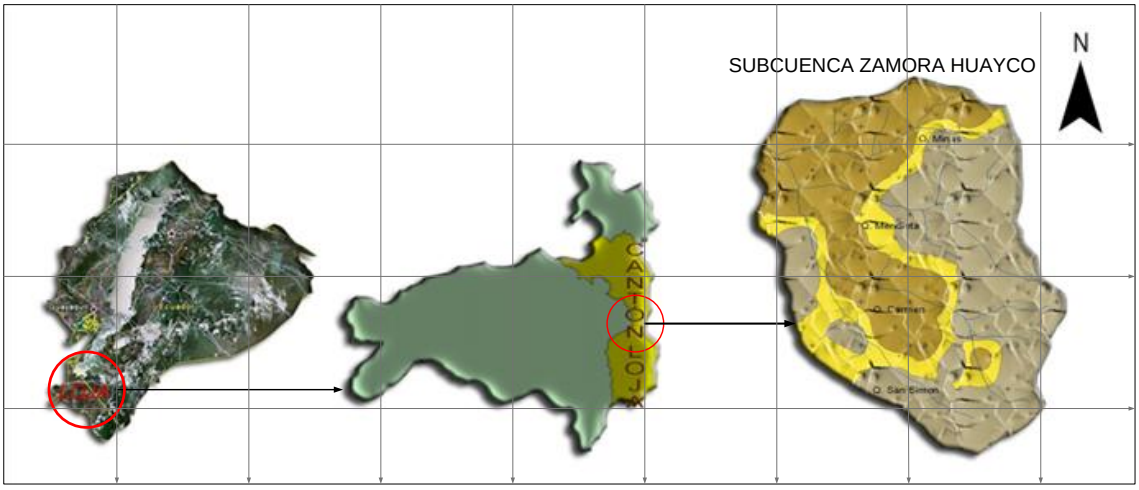
3.1 Ubicación del Ensayo

El lugar del estudio se realizo en la Subcuenca Zamora Huayco, ubicada al Sur de la República del Ecuador en la provincia de Loja al Sur-Oriente de la ciudad de Loja, dentro de la Parroquia San Sebastián en el barrio Zamora Huayco Alto. La Subcuenca nace en las estribaciones occidentales de la cordillera Real de Los Andes, forma parte del sistema fluvial del río Zamora. Está delimitada al Norte por la Microcuenca San Cayetano, al sur por la Microcuenca La Manda al este por la cordillera de los Andes y al oeste por el río Malacatos en la Hoya de Loja.

La Subcuenca se encuentra entre las siguientes coordenadas:

03º59`24.1” – 04º03`48.1”S
79º11`01.8” – 79º09`03.8”O

Mapa 1: Ubicación de la Subcuenca Zamora Huayco



Fuente: El Autor

La Subcuenca por estar en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus, guarda en si una importante biodiversidad, tanto de especies vegetales como animales, a más de su belleza escénica y de un sin número de

bienes y servicios ambientales para la población asentada en la parte baja. Tiene un área de 3728 ha (37,3 Km^2), longitud de 8 Km aproximadamente y una altitud que estriba entre: 2120 a 3420 m s.n.m está conformada por cuatro quebradas: Minas, Mendieta, El Carmen y San Simón que nacen desde el Parque Nacional Podocarpus (PNP); tres de los cuales aportan con más del 55 % del caudal de agua cruda para la ciudad de Loja (UMAPAL 2006, en Ochoa, 2008).

3.2 Clima y Ecología

Los registros de datos para la temperatura y precipitación se tomaron de la estación meteorológica La Argelia. La temperatura media anual es de 15.3 ºC; la oscilación térmica es de 1.1 ºC entre el mes más caluroso (noviembre 15.6ºC) y el mes menos Caluroso (julio 14.5 ºC). En general, las temperatura mínimas son entre los meses de junio, julio y agosto (Arcoíris 2002 en Benavides y Solano, 2005).

La precipitación de la subcuenca varía entre los 873 mm y 1.180 mm, con un promedio anual de 1.020,1 mm (Arcoíris 2002 en Benavides y Solano, 2005).
Cabe destacar que en estos estudios se concluye que los niveles de precipitación con el paso del tiempo han disminuido en la subcuenca, siendo urgente tomar medidas tendientes a la protección del área para evitar la reducción del caudal del agua existente.
Basándose en las zonas de vida según Baquero *et al*. 2004, el sector del estudio comprende cuatro zonas de vida: Bosque Siempreverde Montano bajo (Bsvmb); Bosque de neblina Montano (Bnm); Bosque Siempreverde Montano Alto (Bsvma); Paramo Herbáceo (Ph).

Bosque Siempreverde Montano Bajo (Bsvmb)

Este tipo de bosque se caracteriza por la alta presencia de árboles del género Podocarpus que alcanzan los 30 m de altura y 1 m de DAP, característica que permite diferenciar este tipo de la contraparte del norte. Además, en esta franja el sotobosque está dominado por varias especies del género *Chusquea*. Las

características biofísicas de esta formación vegetal son: Déficit hídrico de 5 a 25 mm, Altura Media 1.309 m, Pendiente de 9°, Temperatura mínima anual 15 °C, Temperatura máxima anual 26 °C, Precipitación anual 1.774 mm, Potencial de Evapotranspiración 207 mm.

Bosque de neblina Montano (Bnm)

Este tipo de bosque se caracteriza por la alta presencia de musgo, orquídeas, helechos y bromelias, siendo el lugar donde probablemente mayor abundancia y diversidad existen.

Los rangos biofísicos donde típicamente se encuentra este tipo de vegetación son: Déficit hídrico de 25 a 50 mm, Altura Media 2.428 m, Pendiente de 15°, Meses secos 2, Temperatura mínima anual 10 °C, Temperatura máxima anual 21 °C, Precipitación anual 1.077 mm, Potencial de Evapotranspiración 217 mm.

Bosque Siempreverde Montano Alto (Bsvma)

Este bosque es similar al bosque de neblina en cuanto a la presencia de musgos y epífitas; se diferencia por la cantidad de musgo presente en el suelo y por la forma de crecimiento de los árboles, los que se ramifican desde la base y tienden a crecer en forma inclinada influenciados por las características físicas y ambientales de esta zona. Este tipo de bosque incluye el bosque de ceja de montaña o bosque de transición entre el bosque montano alto y el páramo. Este tipo de formación vegetal es muy difícil de identificar pues ocupan espacios muy cortos en la transición al páramo, pero es diferente en su composición florística, en el recorrido de campo.

Las variables biofísicas que caracterizan este tipo de vegetación son las siguientes: Déficit hídrico de 5 a 25 mm, Altura Media 1.056 m, Pendiente de 8°, Meses secos 1, Temperatura mínima anual 17°C, Temperatura máxima anual 27 °C, Precipitación anual 2.138 mm, Potencial de Evapotranspiración 56 mm.

Páramo Herbáceo (Ph)

Este tipo de vegetación generalmente se encuentra en las partes muy altas, el límite inferior de estos páramos es el páramo arbustivo o la ceja de montaña, aunque también es muy frecuente encontrarlo en mosaico con el páramo arbustivo. Además desde esta altura en adelante existe la presencia de neblina la misma que es constante durante todo el año, la vegetación que se puede encontrar en este tipo de zona es el bosque chaparral natural, pajonal y además algo característico que se encuentra son las bromelias, orquídeas, musgos y líquenes. Mientras que en la cresta se presentan fuertes corrientes de viento y además es importante esta zona para la producción de agua.

Las variables biofísicas que determinan este tipo de formación son: Déficit hídrico de 25 a 50 mm, Altura Medía 3.356 m, Pendiente de 11°, Meses secos 3, Temperatura mínima anual 7 °C, Temperatura máxima anual 17 °C, Precipitación anual 908 mm, Potencial de Evapotranspiración 127 mm.

3.3 Geología

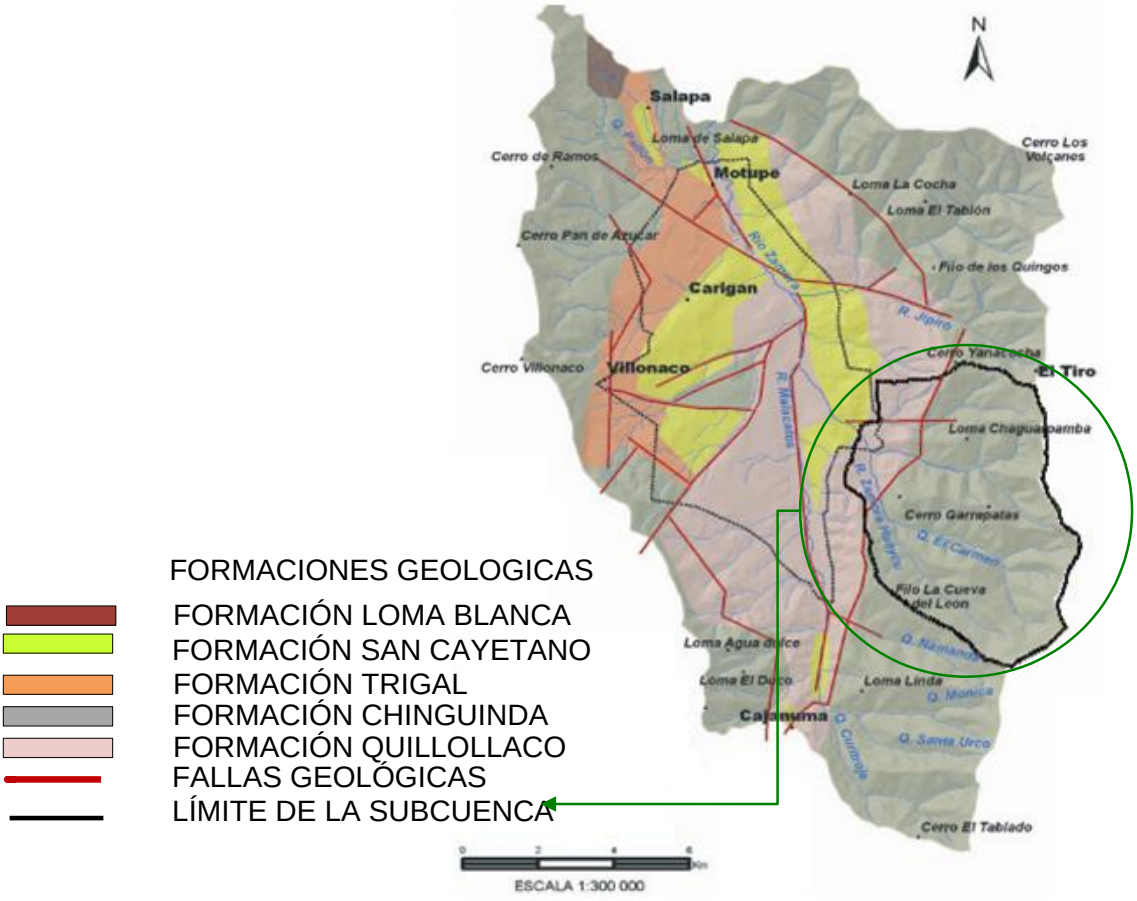
Esta zona está afectada por una tectónica llamada “fallamiento de bloques”, al observar el plegamiento de estas formaciones estratificadas se observa una serie metamórfica bastante plegada, como consecuencia del ciclo orogénico (Paleozoico). Está constituido por rocas metamórficas producto de formaciones sedimentarias antiguas que fueron sometidas a un metamorfismo regional que las transformó en pizarras, esquistos, cuarcitas, mío-esquistos y gneis.
UMAPAL, 1998 menciona que en la Subcuenca Zamora Huayco se observan tres formaciones Geológicas:

Formación Zamora (Paleozoico): Posee rocas metamórficas antiguas que cubren el 80% de la zona, se produce un proceso metamórfico, encontrándose filitas, esquistos, sericiticas, cuarcíferos, y cuarcitas incluidas las rocas metamórficas de grano grueso.

Formación Quillollaco (Terciario): Ocupa la parte noroeste de la Microcuenca, está formada por conglomerados amarillentos, café de filitas, cuarcitas y esquistos serociticos.

Depósitos superficiales: El Cerro de la laguna ubicado a 2500 m.s.n.m. y el Cocha Carunga existen depósitos superficiales de morrenas y filitas de la época cuaternaria.Los suelos son minerales con gran cantidad de piedras y rocas en proceso de descomposición. No hay estructura del suelo lo que lo convierte en frágil y erosionable.

Mapa 2: Formaciones Geológicas de la Subcuenca Zamora Huayco



Fuente: Dirección General de Geología y Minas, 1985 en Ochoa, 2008.

3.4 Geomorfología

Entre los procesos geomorficos erosivos más importantes que afectan a la Microcuenca el relieve, el clima, tipo de suelo, la cobertura vegetal y acción del hombre (Arcoíris, 1999).

3.5 Relieve

Las vertientes de las tres quebradas agua arriba de las tomas de agua son abruptas y de fuertes pendientes con más de 50 % de inclinación. El 50 % del área corresponde a suelos escarpados con 1430 ha. El 17 % con 490 ha son de relieve pronunciado y solo 367 ha van de relieve suave a moderado (Arcoíris, 1999).

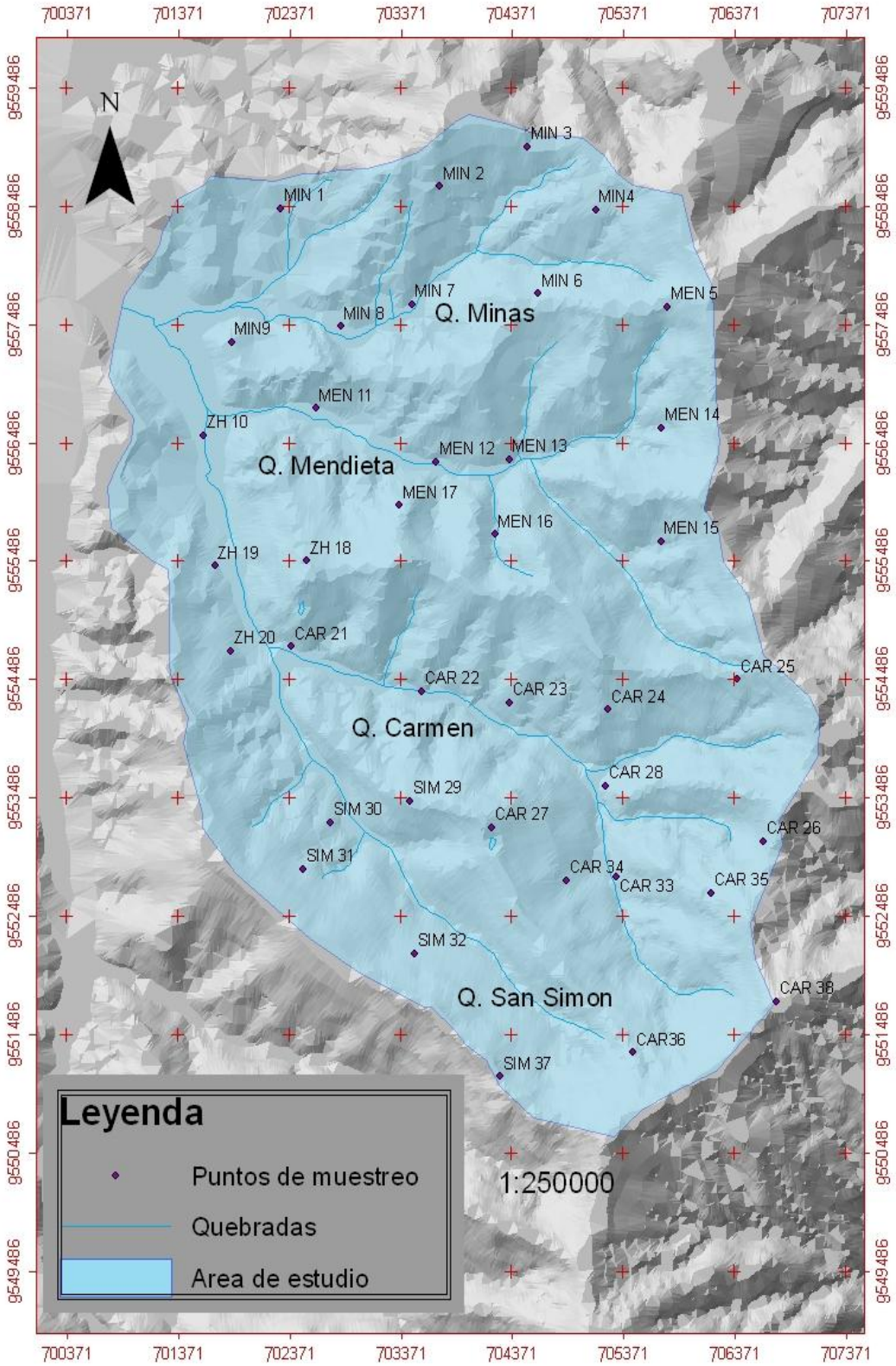
3.5.1 Litología

La mayor parte del área está compuesta por guijarros de fragmento de roca, de conglomerados sueltos, prácticamente sin estructura que facilitan la erosión de los suelos. Por ello es recomendable tener una cubierta vegetal de tipo arbóreo porque fija mejor el suelo que una cobertura de pastizales que tiene raíces superficiales (Arcoíris, 1999).

3.5.2 Suelos

Benavides y Solano, 2005 nos dice que en la subcuenca Zamora Huayco, se pueden establecer cuatro tipos de suelo, determinados según el nombre de la quebrada a la que rodean. Por lo tanto tenemos Suelo Minas, Suelo Mendieta, Suelo el Carmen y Suelo San Simón **(Ver mapa 3).**

Mapa 3. Suelos de la Subcuenca Zamora Huayco



Fuente: El Autor

Suelo Minas

Pertenece a la serie Zamora (rocas metamórficas del Paleozoico). Tiene una profundidad efectiva de 80 cm. Posee cuatro perfiles bien definidos en los que se encuentran cuarzo, esquistos arcillosos y gravilla cuarcítica. Presentan colores oscuros en el horizonte superficial lo que está relacionado con la mayor presencia de M.O.S que existe en este horizonte y colores claros en los más profundos. Su estructura es de forma cúbica, bloque subangular.

Suelo Mendieta

Presentan tres horizontes difusos, existe la presencia de gravilla cuarcítica y moteaduras rojo, amarillo y pardo en abundante cantidad. Predomina la estructura migajosa en los horizontes inferiores, por lo que son bastante permeables y tienen buena aireación.

Suelo El Carmen

Pertenece a la serie Zamora (rocas metamórficas del Paleozoico). Presenta tres horizontes bien definidos. Con presencia de cuarzo de más o menos 3 cm de diámetro en el horizonte más profundo. Son suelos que van del pardo amarillento al pardo oliva, la estructura bloque-subangular y en el tercer horizonte la estructura granular

Suelo San Simón

Pertenece a la serie Zamora (rocas metamórficas del Paleozoico). Presenta tres horizontes bien definidos, predominando en el horizonte superficial la estructura de bloque subangular y, dos horizontes inferiores de estructura subangular y angular respectivamente. La mayor porosidad se encuentra en el horizonte superficial (Benavides y Solano, 2005).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 Materiales y equipos de campo básicos para el muestreo de suelo

Material y Equipo para la Colecta: Barreno de 5 cm de diámetro; combo; GPS; Mapa de la zona de muestreo; fundas plásticas etiquetadas, plástico de 1 m^2.

Material para registrar datos: Libreta de campo; hojas de registro; cámara fotográfica.

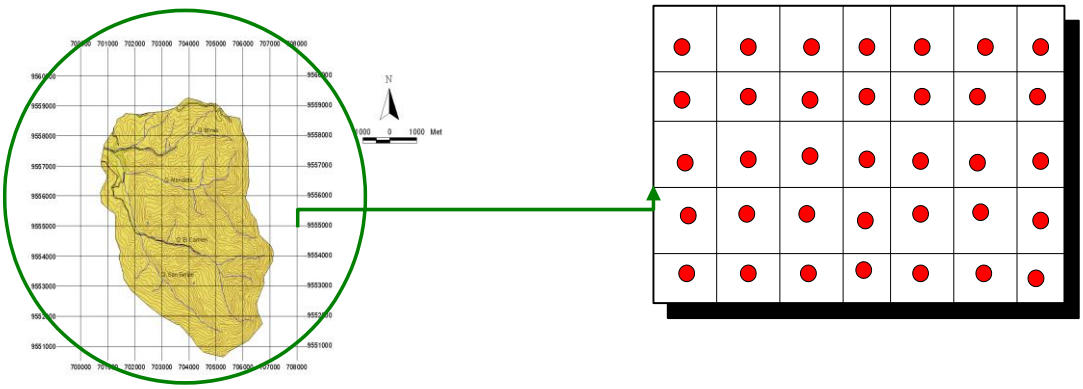
Programas Informáticos: Para la elaboración de mapas se utilizo ArcView GIS 3.2 y para análisis estadísticos Microsoft Exel.

4.1.1 Tipo de Muestreo

Se realizo un muestreo sistemático o de rejilla (Carter, 1993). Consiste en un método mediante el cual los puntos de muestreo seleccionados se ubican a distancias uniformes entre sí, a fin de brindar total cobertura a una población específica de suelo. Se la considera una técnica clásica de estimación de superficies, por ser un procedimiento de selección de la muestra especialmente fácil de aplicar sobre un mapa o fotografía aérea.

Se obtuvo la carta topográfica de la Subcuenca Zamora Huayco elaborada por el IGM (Instituto Geográfico Militar) a una escala de 1:50.000. La cual se la redujo con la finalidad de cubrir toda el área a escala 1: 20.000.En base a las curvas de nivel se delimitó la Subcuenca. Aprovechamos la cuadrícula de esta carta para desarrollar nuestro análisis por cada una de ellas; teniendo un total de 38 cuadrículas (**ver mapa 4).** Cada cuadrícula tiene 1 Km^2 de superficie. En total 38 cuadriculas, y para ubicarse en cada una se georeferenció el punto con un GPS.

Figura 4: Muestreo Sistemático o de Rejilla



Fuente: El Autor

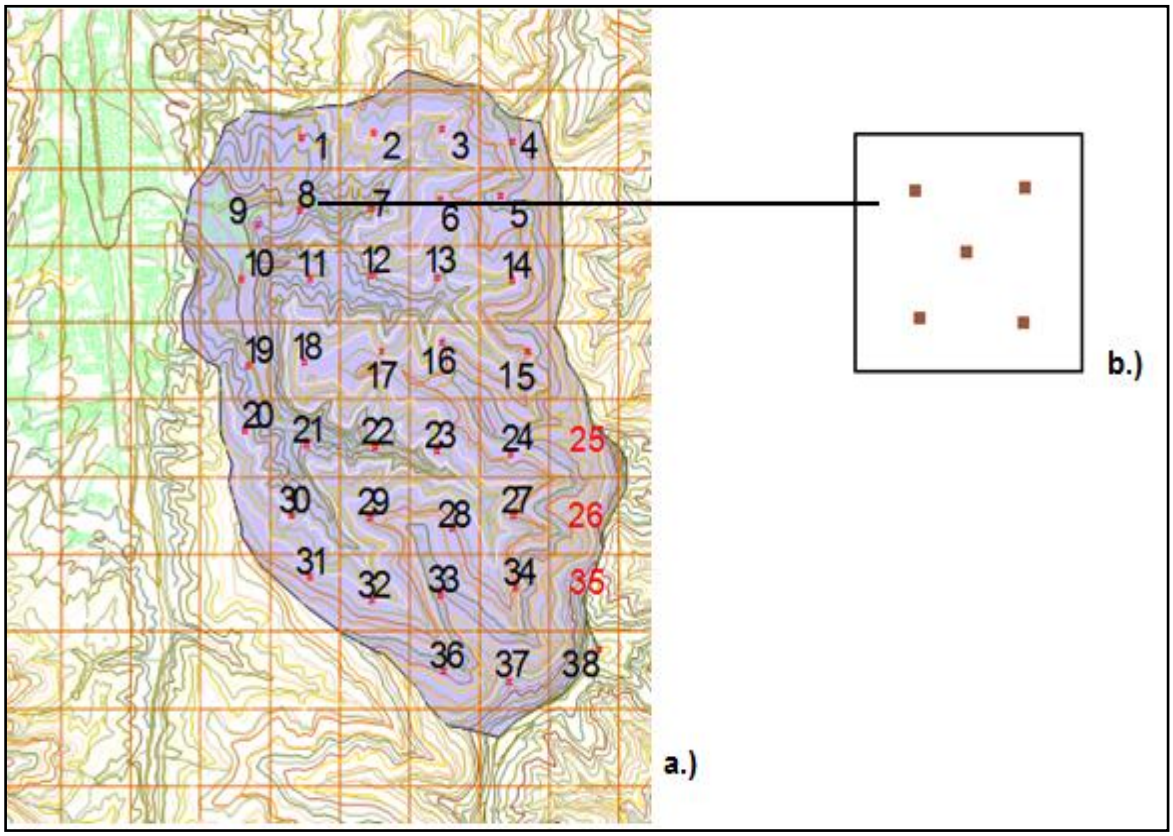
4.1.2 Toma de muestras

Dentro del área de interés es muy importante identificar los sectores que a simple vista presentan condiciones de paisaje (pendiente, exposición, drenaje, cambios de vegetación, etc.) o antecedentes de usos diferentes que puedan definir áreas con características distintas a sus aledañas. Las áreas deben ser muestreadas en forma independiente evitando siempre los lugares, con posibles influencias de caminos, deyecciones, deslizamientos, sendas, vertientes de agua, etc. Es conveniente tomar siempre las muestras en la misma época del año para poder realizar comparaciones en el tiempo, se debe dejar pasar por lo menos 48 horas después de lluvias (Buduba, 2004).

En el área de estudio cada muestra estuvo constituida por 5 submuestras. Cada submuestra se la extrajo con el barreno a una profundidad de 20 cm, eliminándose la capa orgánica u hojarasca. Se coloco las muestras en un plástico limpio para evitar que se contamine, se homogenizo y se disgrego los terrones, para mediante cuarteo obtener la muestra final aproximadamente un

kilo, no se debe mezclar muestras tomadas de profundidades diferentes, la muestra compuesta se colocó en bolsas plásticas limpias y resistentes, fueron etiquetadas con códigos de acuerdo el área de muestreo (MIN, SIM, CAR, MEN, ZH), también se anotó fecha, profundidad a la que se extrajo la muestra con el barreno y posibles observaciones **(ver Anexo 1).**

Mapa 4. a.)Subcuenca Zamora Huayco, representación de cuadriculas. b.) puntos de extracción en cada cuadricula (extracción en diagonal).



Fuente: El Autor

4.2 Metodología para el primer objetivo

- **Implementar y validar el método del hidrómetro para la determinación de textura en suelos**

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos del subcittes IMSS donde se siguió el tratamiento para preparación de las muestras su procedimiento se indica a continuación.

4.2.1 Preparación de las muestras de suelo

4.2.1.1 Método: Suelo seco al aire y tamizado

Principio y Alcance

El objetivo de la preparación es homogeneizar la muestra de suelo para ser usada en los análisis químicos y físicos. Estos análisis generalmente se determinan en la fracción fina (<2 mm) del suelo, que se ha secado a una temperatura no superior a 40 °C, hasta masa constante, constituyendo lo que se denomina “suelo seco al aire”. Las ventajas de usar el suelo seco al aire consisten en que generalmente este posee un contenido de humedad óptimo para manipularlo y procesarlo, la masa de suelo seco al aire permanece relativamente constante y la actividad biológica es baja durante el almacenaje.

Nota 1. El secado de la muestra en una estufa a 40 °C es preferible al secado a temperatura ambiente por que el aumento en la velocidad de secado limita los cambios debidos a la actividad microbiológica.

Este procedimiento es aplicable a todos los tipos de suelos, excepto si un método analítico en particular establece que debe adoptarse otro procedimiento de preparación de la muestra.

Nota 2. En el caso en que se requiera realizar el análisis de contenido de humedad de las muestras, se debe aplicar el método correspondiente, sin realizar este procedimiento de preparación de muestras.

Equipos y materiales especiales

- Martillo de madera o de otra superficie suave.
- Bandejas plásticas.
- Estufa con circulación de aire capaz de mantener una temperatura de 40 °C ± 2 °C
- Tamiz de acero inoxidable o de otro material inerte, de orificios de 2 mm.
- Mortero y pistilo de porcelana.
- Bolsas o frascos de plástico con tapa para almacenar las muestras.
- Mortero y pistilo de ágata.
- Tamiz de acero inoxidable o de otro material inerte, de orificios de 0,5 mm o de otro tamaño especificado en el método de análisis.

Procedimiento

Para homogenizar la muestra de suelo, disgregar los terrones manualmente o mediante presión con un martillo de madera, eliminando los residuos vegetales de mayor tamaño, tales como raíces gruesas y mezclar bien.

Separar una fracción de al menos 500 g de la muestra de suelo, esparcirla sobre una bandeja plástica. El espesor de la capa de muestra no debe ser superior a 15 mm.

Secar la muestra en estufa a una temperatura no superior a 40 °C, hasta que la pérdida de masa no sea mayor de 5 % en 24 horas.
Una vez seca, tamizar la muestra a través del tamiz de 2 mm. Los terrones que no pasan por el tamiz se desintegran (no se muelen) en el mortero y se tamiza nuevamente. Los fragmentos o piedras que permanecen en el tamiz se eliminan, a menos que se requiera conocer el porcentaje de grava.

La muestra de fracción <2 mm se homogeniza nuevamente y se almacena en una bolsa o frasco plástico y esta constituye la muestra de suelo seco al aire que se somete a los procedimientos analíticos usuales y que permanece como contra muestra **(ver Anexo 2)**

Nota 3. Si la cantidad de muestra es excesiva para almacenarla, se debe obtener una submuestra mediante el sistema de cuarteo. Esto es, esparcir la muestra formando una capa delgada, dividirla en cuatro porciones iguales, combinar dos de las cuatro porciones diagonales, descartando las otras dos. Repetir este procedimiento hasta obtener la cantidad deseada de muestra de suelo.

En algunos análisis se recomienda el uso de material <0,5 mm. Para este propósito, moler en un mortero de ágata alrededor de 5 a 10 g de muestra <2 mm y pasarla totalmente a través de un tamiz de 0,5 mm o de otro tamaño especificado en el método de análisis (Sadzawka, 1990).

Una vez preparadas las muestras se las pueden emplear para cualquier análisis ya sea físico o químico, en esta investigación como se menciona en el segundo objetivo se implementara y validara el método del hidrómetro que nos servirá para analizar la textura del suelo. La implementación del método consistió en el análisis previo de las muestras de suelo.

A continuación se explica el proceso de implementación del método del hidrómetro.

4.2.1.2 Determinación de la textura

4.2.1.3 Método del hidrómetro

Principio y Alcance.

El objetivo de este método es determinar la cantidad de arcilla, limo y arena presente en una muestra de suelo y así mismo su clasificación textural. La muestra seleccionada debe ser representativa de toda la masa de suelo a estudiar. El conocimiento de la textura es importante, puesto que influye en la infiltración y retención del agua por el suelo, aireación, capacidad de retención de nutrimentos, erosión, resistencia al laboreo y manejo del suelo. El hidrómetro que se utilice debe estar calibrado para determinar la densidad de la suspensión (g/L), la cual es función de la cantidad de partículas que todavía no

se han sedimentado. Los resultados de un análisis de laboratorio son más representativos si se expresan en relación al peso del suelo que se ha secado en la estufa, puesto que el peso del suelo húmedo o secado al aire es variable, según el contenido de humedad del mismo y del ambiente. En otras palabras, el peso del suelo en base seca es el mejor estándar para basar los cálculos de los diferentes análisis de suelos.

Nota 1: La muestra de suelo para análisis de textura debe ser pasada por un tamiz de 2 mm.

Materiales:

- Hidrómetro Bouyoucus calibrado de 0-60 g/L
- Probeta graduada de 1000 ml
- Agitador mecánico
- Termómetro electrónico
- Balanza analítica
- Vasos de precipitación de 250 ml
- Pipetas de 5 ml
- Piseta
- Pera
- Varilla de Vidrio
- Cronometro

Reactivos

- Agentes dispersantes Hidróxido de sodio 1 N y Oxalato de Sodio sobresaturado; Su función es de separar las partículas de limo y arcilla.
- Alcohol amílico, para quitar la espuma que pueda impedir la lectura del hidrómetro.

Procedimiento

Se tamizo la muestra de suelo a ensayar con el tamiz Nº 40 (2 mm) y de la fracción que pasó dicho tamiz se tomaron 50 g, se colocaron en el vaso de

precipitación de 250 ml se agrego 100 ml de agua destilada y soluciones dispersantes 5ml de Hidróxido de Sodio (NaOH) 1 N y 5 ml de Oxalato de sodio $(COONa)_2$ sobresaturado. Se agito la mezcla con una varilla para homogenizar la muestra, se trasvaso cuidadosamente la muestra del vaso de precipitación al vaso de dispersión del agitador mecánico, utilizando una piseta con agua destilada para arrastrar todo el residuo hacia el vaso de dispersión. Luego se agitó mecánicamente durante 5 minutos. Después de dispersar la muestra mecánicamente se la transfirió a la probeta completando con agua destilada hasta un volumen de 1000 ml. Se tapo el extremo abierto de la probeta con un plástico y con la palma de la mano y con la otra mano se la tomó de la base, y se procedió a mover la probeta invirtiendo su posición y volviéndola a su posición original alternadamente 10 veces, se la colocó en un sitio firme se cronometraron 40 segundos y se realizó la primera lectura con el hidrómetro y así mismo la temperatura, se dejó las muestras en reposo por dos horas para repetir la lectura **(Ver figura 6).**

Nota 3: En el proceso de realización del ensayo no se debe desperdiciar muestra ya que se alteran los resultados.

Cálculos

a.) Corregir las lecturas del hidrómetro, tomando en cuenta la media aritmética de las 2 lecturas de la temperatura, por cada grado centígrado mayor o menor a 20 ºC se suma o se resta 0,36 a la primera y segunda lectura del hidrómetro.

b.) Determinar el material en suspensión con la siguiente expresión

$$\% \, MS = \frac{\text{Primera lectura corregida}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

c.) Para determinar el porcentaje de arena (% Ao)

$$\% \, Ao = 100 - MS$$

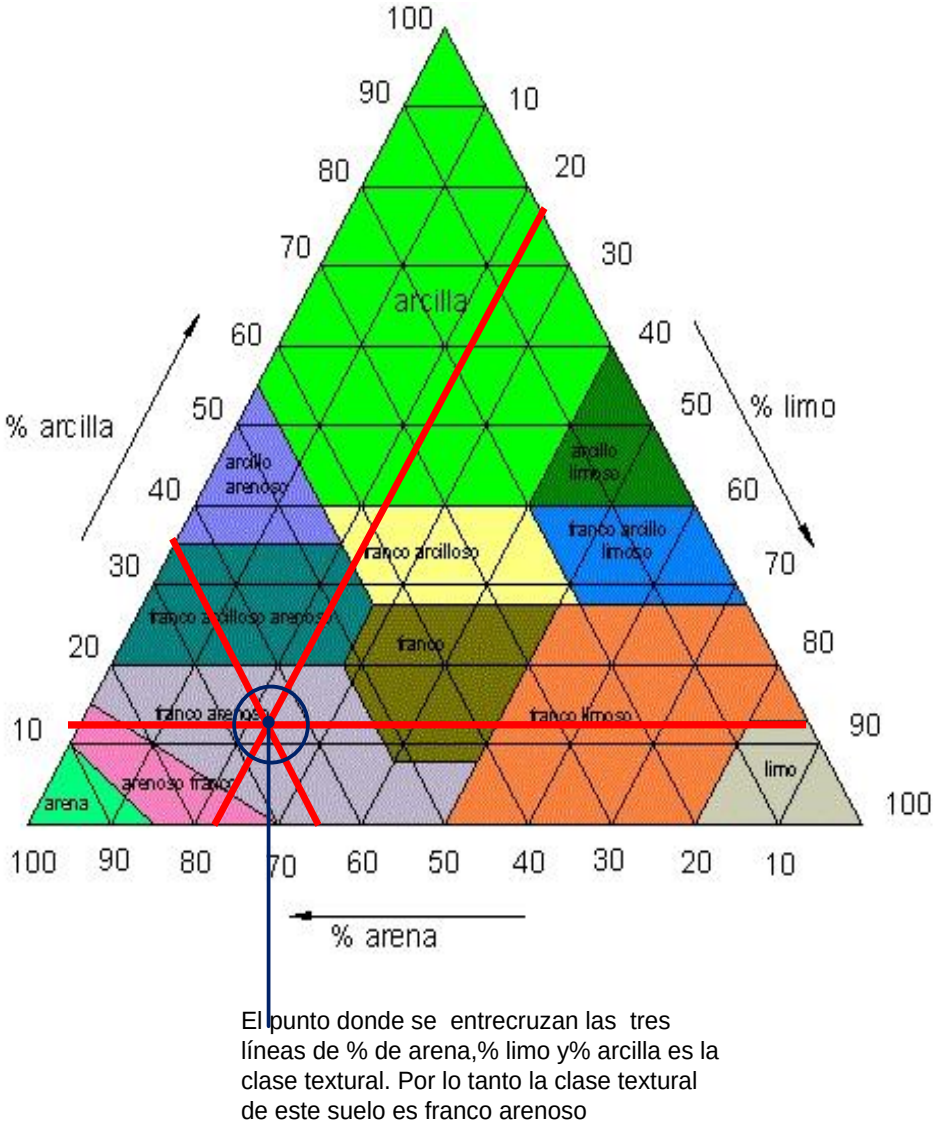
d.) Porcentaje de Arcilla (% Ac)

$$\% \, Ac = \frac{\text{Segunda lectura corregida}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

e.) Porcentaje de Limo (% Lo)

$$\% \, Lo = 100 - (\%Ac + Ao) \;\rightarrow Lo = \%MS - Ac$$

Figura 5: Clase textural de acuerdo a los porcentajes de Arena (Ao), Arcilla (Ac) y Limo (Lo).



Fuente: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1999.

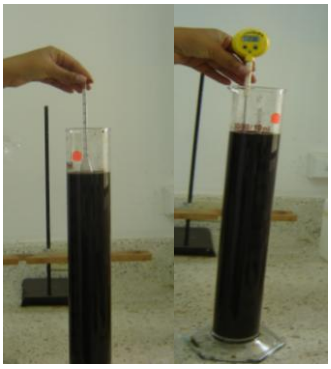
Figura 6: Procedimiento fotográfico del análisis de textura del suelo

1. Se pesa 50 g. de Suelo en un vaso de precipitación.

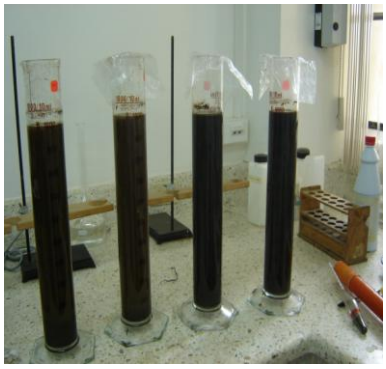
2. Con 100 ml de agua destilada se homogeniza colocándose el hidróxido de sodio y oxalato de sodio.

3. Se coloca la muestra homogenizada en el recipiente del dispersor de suelo.

4. Se agita la muestra en el dispersor durante 5 minutos



5. Se afora en 1000 ml en las probetas y se realiza la primera lectura con el hidrómetro y el termómetro



6. Se deja reposar durante 2 horas y se vuelve a repetir las lecturas

Fuente: El Autor

4.2.2 Validación del Método del Hidrómetro

Para desarrollar el procedimiento de validación del Método del Hidrómetro se definió su aplicación, propósito y alcance del método así mismo como los parámetros de desempeño y criterios de aceptación. Para poder obtener los parámetros de desempeño se realizo 10 repeticiones de 10 muestras representativas del área de estudio (Subcuenca Zamora Huayco) 5 de estas muestras pertenecientes a bosque y 5 a pastizales.

4.2.2.1 Parámetros de Desempeño

4.2.2.2 Precisión

4.2.2.2.1 Repetibilidad

Para la repetibilidad, se tomaron en cuenta las lecturas corregidas de la densidad obtenidas con el hidrómetro, en cada repetición hay dos lecturas. Se analizó el coeficiente de variación de las dos lecturas en cada una de las muestras.

Para los análisis de repetibilidad se utilizo el coeficiente de variación que permite comparar la dispersión de los resultados, obtenidos en la primera y segunda lectura. **Ver Anexo 4 (Tabla 1 -10).**

La fórmula para encontrar el coeficiente de variación se la escribe a continuación.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n - 1}} \qquad \%CV = \frac{s}{\bar{y}} * 100$$

- En la repetibilidad se necesito saber si existe diferencia significativa; para ello se utilizo el análisis de varianza ANOVA en donde la variable analizada (densidad de las partículas) se la hará depender de un solo factor

de tal manera que las causas de su variabilidad son englobadas en una componente aleatoria que se denomina error experimental o diferencia significativa (Sadzawka 1995 en Cuenca y Freire, 2008).

4.2.2.2.2 Reproducilbilidad

- Para análisis de la reproducibilidad se compararon dos conjuntos de cinco datos y se estableció si existían diferencia estadística a través de la prueba de t-student.
- Se realiza la diferencia entre los dos conjuntos de datos y se obtiene la media aritmética y desviación estándar de estas diferencias las cuales serán utilizadas en la fórmula de t experimental y este resultado se lo comparó con el valor de t visto en tablas **Anexo 4 (Tabla 11-30).**

- Fórmula de t experimental.

T exp = l*Medi*al / (desviación estándar/n^1/2)

4.2.2.2.3 Incertidumbre

- La incertidumbre son todos los factores que podrían afectar la variabilidad del resultado final de un análisis determinado. Para su cálculo se toman en cuenta todas las posibles fuentes de variación del método estudiado enunciando los más relevantes en un diagrama de causa – efecto para luego ser interpretados estadísticamente.

4.3 Metodología para el segundo Objetivo

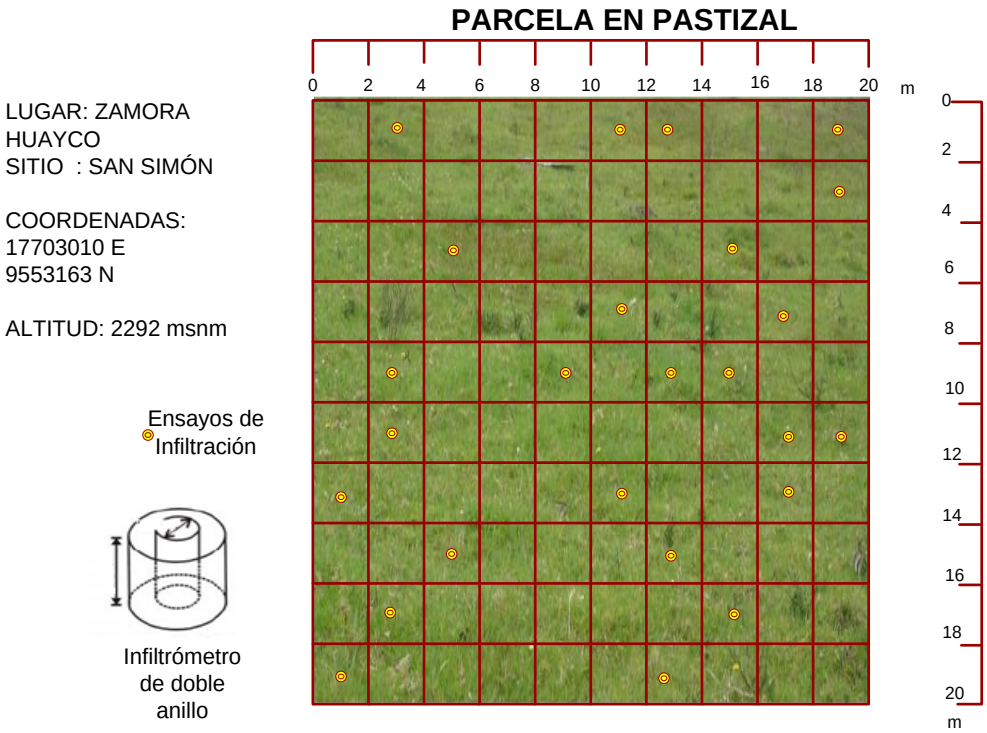
- **Realizar ensayos de permeabilidad en dos usos de suelos dentro del área de estudio**.

4.3.1 Materiales

Materiales para delimitación de parcelas: Piola, tubos plásticos de 6 m de largo, barreno, combo, cámara fotográfica, GPS, cuaderno de campo, flexómetro.

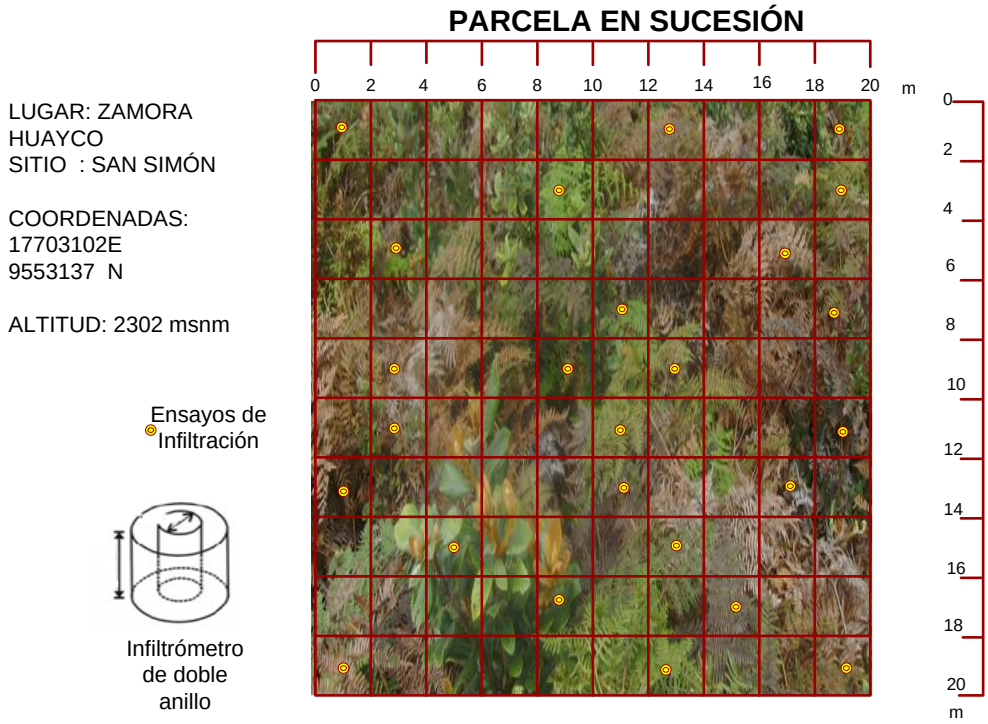
Materiales para ensayos de Infiltración: Infiltrómetro de doble anillo; el mismo que está formado por dos anillos concéntricos de metal, de 15 y 30 cm, de diámetro y ambos con una altura de 45 cm, recipientes para transportar agua hacia el sitio de ensayo (baldes), marcador a prueba de agua, cronómetro, taco de madera, combo, regla, papel y lápiz para apuntes.

Figura 7: Parcela en pastizal sitio San Simón (Subcuenca Zamora Huayco)



Fuente: El Autor

Figura 8: Parcela en sucesión sitio San Simón (Subcuenca Zamora Huayco)



Fuente: El Autor

4.3.2 Ensayos de Infiltración según la norma ASTM D 3385-03

Para determinar la permeabilidad de los suelos se realizaron ensayos de infiltración para esto se tomó en cuenta dos tipos de uso de suelo, pasto y sucesión en las cuales se ubicaron parcelas de 20 x 20m respectivamente, cada parcela dividida en cuadriculas de 2 m como se indica en la **figura 8** dando un total de 100 cuadriculas, en donde se realizaron 25 repeticiones de infiltración en puntos al azar. Además se tomo 2 muestras de suelo dentro de la parcela, una para análisis de textura y humedad y otra muestra para densidad. El método que se utilizó fue el del infiltrómetro de doble anillo, este permitió el procesamiento de datos, para obtener la permeabilidad del suelo.

Se creó una superficie horizontal respecto al relieve del terreno, se colocó el equipo (infiltrómetro) sobre la superficie horizontal, introduciéndolo 5 cm aproximadamente dentro del terreno ; para lograrlo hay que introducirlo colocando el taco de madera sobre el equipo y golpear el taco hasta llegar a la

profundidad adecuada. Se colocó una señal de 30 cm desde el nivel del suelo en los dos anillos, finalmente se puso el agua hasta el nivel señalado y tomo el tiempo en que el agua se infiltró, esta lectura corresponde a la del anillo inferior ya que el anillo exterior sirve como sello hidráulico. Se lee el registro de agua infiltrada en intervalos de 5 minutos hasta completar 1 hora y luego de 15 hasta completar la segunda hora leyéndose la altura que alcanza el agua dentro del cilindro (León & Oñate, 2002).

Nota: El agua que posee el anillo exterior debe estar al mismo nivel del anillo interior.

Figura 9: Procedimiento fotográfico de Infiltración, usado tanto en pastizal como en sucesión.

1. Delimitación de la parcela.

2. Ubicación de los puntos de Infiltración.

3. Introducción del Infiltrómetro 5 cm.

4. Vertido de agua en el anillo exterior e interior hasta la medida de referencia.

5. Cronometrar el tiempo para medir la cantidad de agua infiltrada.

6. Se registra el agua infiltrada durante dos horas.

Fuente: El Autor

4.3.3 Análisis y presentación de Datos

Se determina el volumen de líquido infiltrado:

$$Vol = A*Y$$

Donde:

Vol.: Volumen (cm^3)

Y: Distancia perpendicular a la superficie de ensayo medida desde la señal impuesta en el anillo hasta la superficie del agua luego de transcurrido el intervalo de tiempo. (cm)

A: Área interna del anillo interior (cm^2).

Y= 30 cm

A= 176,715 cm^2 **Vol.=** 5301,45 cm^3

Se determina la velocidad de infiltración incrementada

$$V = \frac{Vol}{(A*T)}$$

Donde:

V: Velocidad de infiltración incrementada.
A: Área interna del anillo interior (cm).
T: Intervalo de tiempo en (horas).

Al inicio de la prueba los valores de la velocidad de infiltración son mayores, y progresivamente se estabilizan en los valores finales que son los que interesan para caracterizar un suelo desde este punto de vista, la velocidad final de infiltración se denomina V_f y se mide en (cm /h)

Con el resultado de Infiltración, se ingreso en la tabla 2 de permeabilidad y se obtuvo el valor p. (permeabilidad)

Tabla 2: Velocidades y Tipo de permeabilidad

VELOCIDADES Y TIPO DE PERMEABILIDAD	
Velocidad de Infiltración (cm/h)	**Permeabilidad (P)**
>50,80	Muy alta
15,24-50,80	Alta
50,80-15,24	Moderadamente alta
15,24-5,08	Moderada
5,08-1,52	Moderadamente lenta
1,52-0,51	Lenta
0,51-0,00038	Muy Lenta
< 0,0038	Impermeable

Fuente: USDA- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, 1999.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis de Textura

En los análisis físicos del suelo se obtuvieron cinco clases texturales:

Arcillo limoso; Franco arcilloso; Franco; Franco arenoso; Franco arcillo arenoso.

En los resultados que textura de suelo que se obtuvo (**Anexo 3)**. Los siguientes porcentajes.

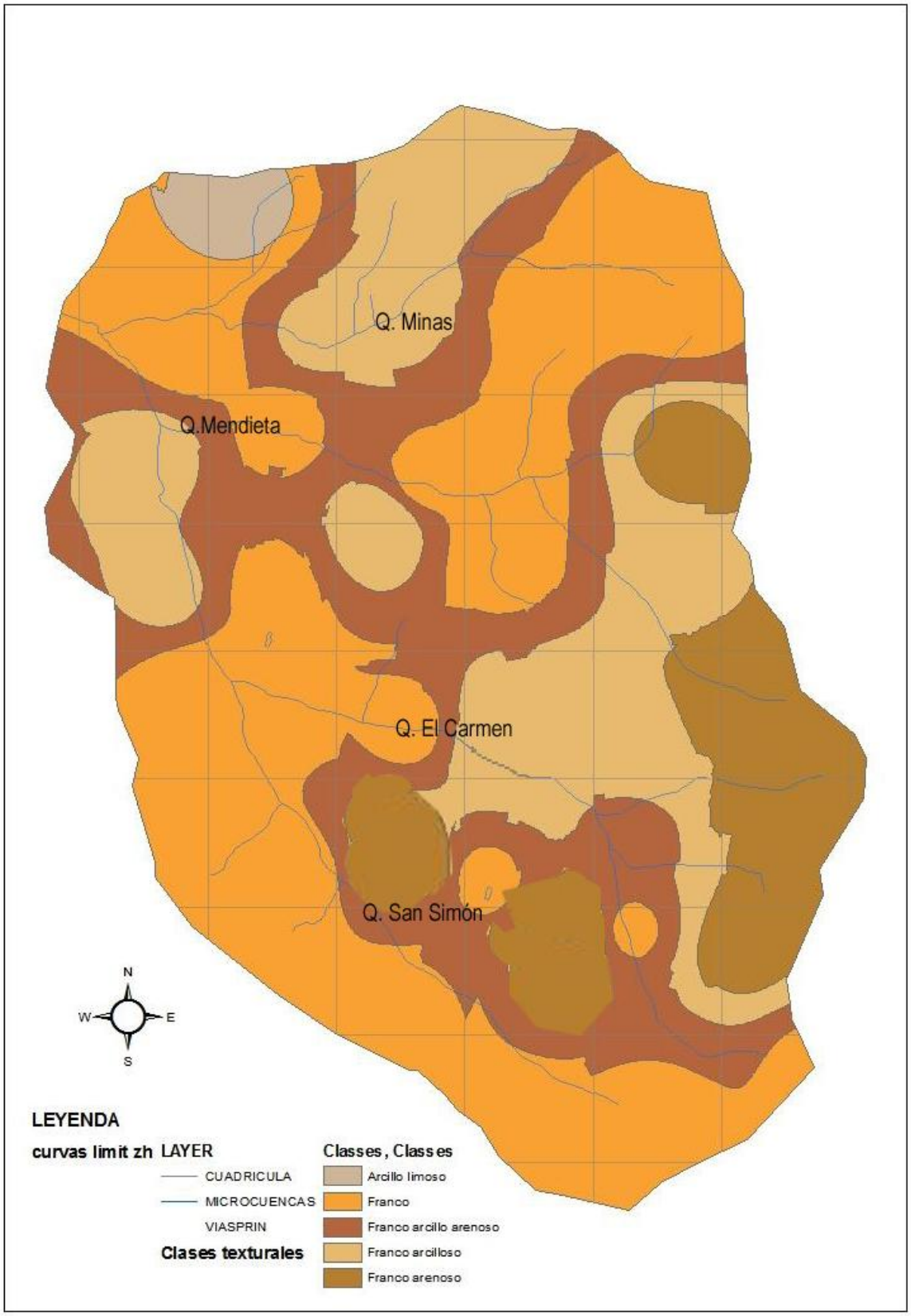
Tabla 3: Porcentajes de las clases texturales obtenidas por el método del Hidrómetro o Bouyoucus.

Clase textural	% Ao	% Ac	%Lo
Arcillo Limoso	16,38	41,62	42
Franco Arcilloso	55-73	27-29	28-46
Franco	30- 46	11-26	32-46
Franco Arenoso	70-76	9-13	12-28
Franco Arcillo Arenoso	74,63	21,37	4,00

Fuente: El Autor

USDA 1999, menciona que los porcentajes para un suelo arcillo limoso fluctúan de 25 a 45 % y hasta el 55 % de arena; para un suelo franco arcilloso de 20 a 45 % de arena de 27- 40 % de arcilla y 15-52 % de limo, los suelos francos de 23-52 % de arena, de 7-27 % y de 28 a 50 % de limo; los suelos Franco arenoso de 70-86 % de arena de 0 a 15 % de arcilla y de 0- 30 % de limo; Franco arcillo arenoso de 15 % a 25 % de arcilla, más del 55 % de arena, y hasta aproximadamente 25 % de limo, porcentajes que concuerdan con los resultados de textura obtenidos en la subcuenca Zamora Huayco.

Mapa 5: Mapa de textura del suelo de la subcuenca Zamora Huayco



Fuente: El Autor

Terrazas, 2006 menciona que la determinación de la textura del suelo es importante porque todas las propiedades funcionales de los suelos, por ejemplo: aireación, régimen de humedad del suelo, permeabilidad, complejo de intercambio y otras están relacionadas con esta. Se considera que la clase textural más balanceada corresponde a los suelos francos (arcilla 10-25 %, limo entre 28-50 % y arena 50-65 %). La subcuenca Zamora Huayco está compuesta por suelos francos, franco arcilloso, francos arenosos, limosos (Benavides y Solano, 2005). En el **mapa 5** se observan cinco clases texturales las cuales se describen a continuación:

Tabla 4: Clases texturales de cada quebrada que componen la subcuenca

Quebrada	Clases Texturales
Minas	Franco arcilloso Franco arcillo arenoso Arcillo limoso Franco
Mendieta	Franco arenoso Franco arcillo arenoso Franco arcilloso Franco
El Carmen	Franco arcilloso Franco arcillo arenoso Franco
San Simón	Franco arcillo arenoso Franco arenoso Franco

Fuente: El Autor

5.2 Validación del Método del Hidrómetro

5.2.1 Repetibilidad

Tabla 5: Coeficiente de variación de la primera y segunda lectura

Coeficiente de variación de la primera lectura del hidrómetro	
MUESTRA	**% CV**
MIN01	2,27360641
MIN08	5,58941507
ZH 20	7,35452136
SIM30	6,65584176
CAR23	7,82720879
SIM29	5,78040676
CAR28	8,48936785
CAR24	8,64051628
MIN03	0,38248017
MIN 09	6,00997832

Coeficiente de variación de la segunda lectura del hidrómetro	
MUESTRA	**% CV**
MIN01	3,16354196
MIN08	4,42583137
ZH 20	8,34252164
SIM30	8,65435627
CAR23	7,05989518
SIM29	8,34509316
CAR28	8,48936785
CAR24	8,64051628
MIN03	6,70977151
MIN 09	6,00997832

Fuente: El Autor

- El coeficiente de variación el mismo que está definido por la desviación porcentual de la muestra donde el criterio de aceptación estuvo entre 0 y 8 en las dos lecturas, el coeficiente de variación debe llegar hasta el 13 % Indica que si existen valores en el coeficiente de variación mayores al 13% el método no es repetible (Arteta, 2001).

- El análisis de varianza ANOVA a un nivel de confianza del 95%, permite evaluar la variabilidad de dos series de resultados, donde el criterio de aceptación es Fexperimental < Fcrítico, demostrando que no existió diferencia significativa (Weimer, 1993 en Cuenca y Freire 2008). **Ver Anexo 3,** tablas 1-10.

5.2.2 Reproducibilidad

- La reproducibilidad del método se la estableció analizando la misma muestra, pero con diferentes tiempos 10 muestras; 5 muestras en la mañana y 5 muestras en la tarde pero se tomo en cuenta la primera y segunda lectura obtenidas del hidrómetro.

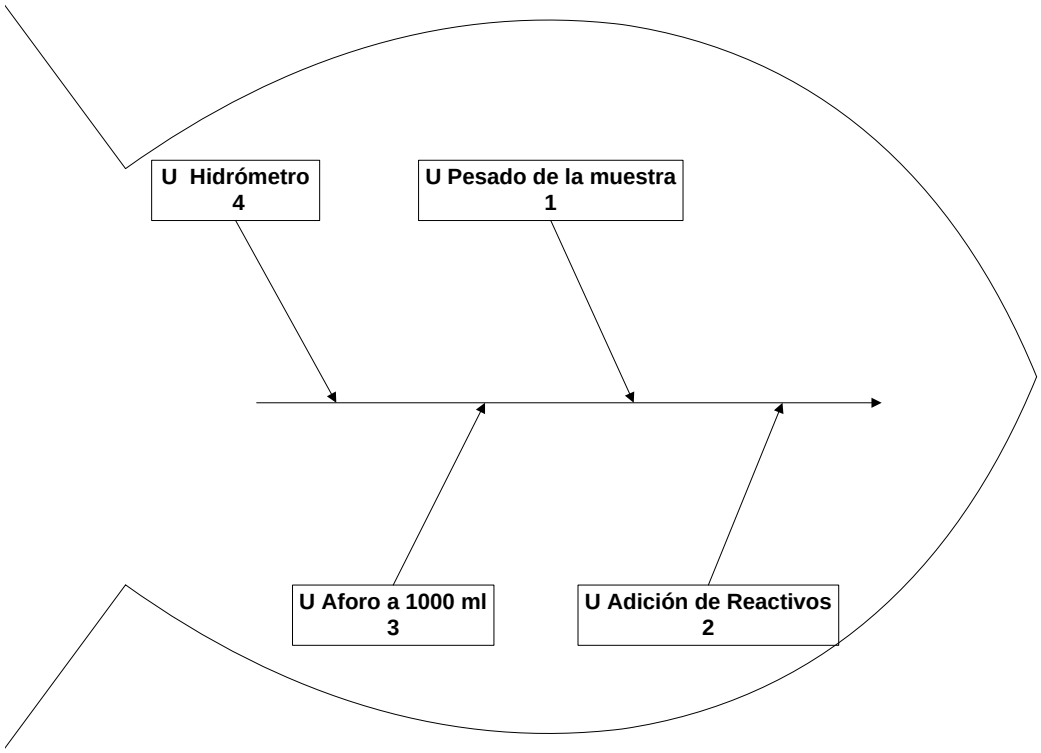
- Se compararon los resultados mediante la prueba estadística t entre grupos a un nivel de confianza del 95 %, donde el criterio de aceptación es T experimental < T crítico demostrando que no existió diferencia significativa (Maroto *et al*, 2000 en Cuenca y Freire 2008). **Ver Anexo 4,** tablas 11-30.

5.2.3 Incertidumbre

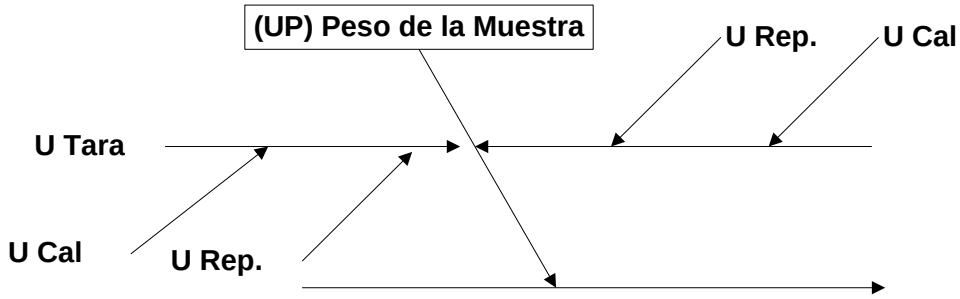
- Para determinar la incertidumbre del método se utilizó la fórmula general de cada uno de ellos, a partir de la cual se determino las principales fuentes de incertidumbre.

- La incertidumbre toma en cuenta todos los efectos reconocidos que afecten al resultado, su cálculo se basó en identificar, cuantificar y combinar todas las fuentes de error del procedimiento analítico (Maroto *et al*, 2000 en Cuenca y Freire 2008).

Diagrama de Causa – Efecto



a. Incertidumbre debido al pesado de la muestra



$$UP = \sqrt{Utara^2 + Up^2}$$

- **Incertidumbre debido a la tara**

$$Utara = \sqrt{(\frac{Des.Estd}{\sqrt{N}})^2 + (\frac{U}{2})^2}$$

	100,45
	100,45
	100,45
	100,46
	100,44
	100,45
	100,45
	100,44
	100,43
	100,45
Desviación estándar =	**0,008232726**
N =	**10**

U Tara= 0,026034358

- **Incertidumbre debido al peso**

Peso del vaso (A)	**Peso de la muestra (B)**	**A+B**
100,45	50,01	150,46
100,45	50,01	150,46
100,45	50,01	150,46
100,46	49,99	150,45
100,44	50,01	150,45
100,45	50,01	150,46
100,45	50,01	150,46
100,44	49,99	150,43
100,43	50,01	150,44
100,45	50,01	150,46
	Desviación Estándar	0,0105935
	N	10
	U del vaso	0,0002

$$Up = \sqrt{(\frac{Des.Estd}{\sqrt{N}})^2 + (\frac{U}{2})^2}$$

Up= 0,033499735

- **Entonces incertidumbre debido al peso es:**

$$UP = \sqrt{Utara^2 + Up^2}$$

UP= 0,042426643

b. Incertidumbre por la adición de reactivos

- **Incertidumbre por la adición de Hidróxido de sodio (NaOH)**

Tabla 6: Desglose de la fórmula de Hidróxido de Sodio para obtención de la incertidumbre

Elemento	Peso Atómico	Incertidumbre de elemento	Calculo de la Incertidumbre
Na	22,9898	0,0001	0,0000577350
O	15,9994	0,0003	0,0001732051
H	1,0079	0,00007	0,000040415

Tabla 7. Incertidumbre estándar de cada elemento del Hidróxido de Sodio

Elemento	Cálculo	Resultado	Incertidumbre estándar
Na	22,9898	23	0,001327906
O	15,9994	1	0,000173205
H	1,0079	15	0,000606218

Fuente: Maroto, 2000.

$$U(NaOH) = \sqrt{0{,}0013279^2 + 0{,}000040414^2 + 0{,}00277128^2} =$$

U NaOH= 0,00146998

- **Incertidumbre por la adición de Oxalato de sodio $(COONa)_2$**

Tabla 8: Desglose de la fórmula del Oxalato de Sodio para obtención de la incertidumbre.

Elemento	Peso Atómico	Incertidumbre de elemento	Calculo de la Incertidumbre
Na	22,9898	0,0001	0,00005774
O	15,9994	0,0003	0,000173205
C	12,0011	0,0046	0,002655811

Tabla 9: Incertidumbre estándar de cada elemento del Oxalato de Sodio.

Elemento	Cálculo	Resultado	Incertidumbre estándar
Na*2	22,9898	45,9796	0,002654633
O*4	15,9994	63,9976	0,011084709
C*2	12,0011	24,0022	0,063745313

Fuente: Maroto, 2000.

$$U(COONa)_2) = \sqrt{0{,}002654633^2 + 0{,}011084709^2 + 0{,}063745313^2} =$$

***U (COONa)$_2$*=** 0,06475633

c. Incertidumbre debido al volumen de aforo de 1000 ml

- **Incertidumbre de la probeta de aforo de 1000 ml (U_v)**

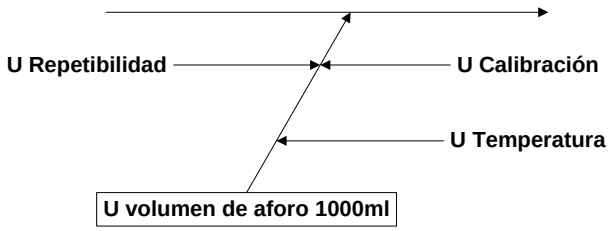
Las probetas que se usaron durante el proceso presentan las siguientes características:

Descripción: Probetas forma alta, con pico y pie hexagonal

Volumen : 1000 ml

Material : Vidrio, Tipo B

Tolerancia: ±10 ml



$\sqrt{3}\rightarrow$ Distribución rectangular en la que todos los resultados son igualmente probables.

$$U(v) = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5{,}773502692\,ml$$

- **Incertidumbre por efecto paralaje** (U_{par})

Masa de la probeta(m)	ºT ambiente(ºC)	densidad del agua (δ)	V=m/δ
2584,07	20	0,998201	2588,72712
2584,08			2588,737138
2584,07			2588,72712
2584,07			2588,72712
2584,07			2588,72712
2584,07			2588,72712
2584,07			2588,72712
2584,08			2588,737138
2584,07			2588,72712
2584,07			2588,72712
		Desviación Estándar	0,004223969
		N	10

$$U(par) = \frac{Des.Estd}{\sqrt{N}} = \frac{0{,}004223969}{\sqrt{10}} = 0{,}001335736\,ml$$

d. Incentidumbre del Hidrómetro

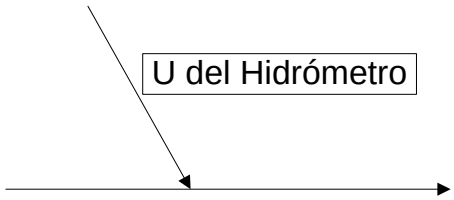
Características: Hidrómetro ASTM 152H

Construcción: Moldeado, sin costuras

Escala : Con boya; doble escala

Calibración : 68 ºF

Tolerancia : ± 0,001



A veces, o bien si no se dispone de toda la información necesaria, se puede realizar una estimación aproximada (menos rigurosa), utilizando el valor de la tolerancia, calculando:

$$U_{equipo} = U_{tol,} \quad donde \quad U_{tol} = \frac{TOL}{\sqrt{3}}$$

$$U_{tol} = \frac{0{,}001}{\sqrt{3}} = 0{,}0057735$$

Incertidumbre Final

$$Ufinal = \sqrt{(UP)^2 + (UNaOH)^2 + (U(COONa)_2)^2 + (Upar)^2 + (Uhidrometro)^2}$$

$$Ufinal = \sqrt{(0{,}042426643)^2 + (0{,}06622631)^2 + (0{,}06475633)^2 + (0{,}001335736)^2 + (0{,}0057735)^2}$$

$$Ufinal = 0{,}010414443 \cong 0{,}01\%$$

5.3 Permeabilidad del Suelo

- USDA, 1999. La permeabilidad se mide en función de la velocidad del flujo de agua a través del suelo durante un período determinado. Generalmente se expresa como una tasa de permeabilidad en centímetros por hora (cm/h).

Tabla 10: Velocidad de infiltración en cm/h

Parcela	Infiltración Vf cm/h	Tipo de vegetación	Textura	Permeabilidad
1	**0,26**	Pastizal (Parcela 1)	Franco Arcilloso	Permeabilidad muy lenta
2	**1,97**	Sucesión (Parcela 2)	Franco Arcilloso	Permeabilidad lenta

El Autor.

- En las parcelas de pastizal y Sucesión se obtuvo 0,26 y 1,97 cm/h de velocidad de infiltración respectivamente. USDA, 1999 designa los porcentaje de 0,26 y 1,97 cm/h a una permeabilidad muy lenta para el primero y permeabilidad lenta para el segundo. **Ver tabla 2.**

- Mosalve, 1999 define a un suelo con permeabilidad muy lenta como ocurrió en la parcela 1 como un suelo con alto potencial de escorrentía, los cuales son suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos arcillosos; suelos con nivel freático alto permanente; con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a la sales o álcali y suelos poco profundos sobre materiales casi impermeable. Estos suelos tienen tasas de transmisión muy lenta.

- Mosalve, 1999. En el caso de la parcela 2 se la ha definido como un suelo moderadamente con alto potencial de escorrentía en donde los Suelos tiene infiltración lenta y están muy húmedos. Consiste en suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas franco arcillosos a arcillo limoso; suelos con infiltración lenta debido a las sales o álcali, o con niveles freáticos moderados. Estos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).

- Estudios realizados por Cerana *et al,* 2003 demuestra que es importante la disminución de los valores de infiltración, debido al aumento de arcilla, los ensayos realizados determinaron que en suelos con textura franco arcillosos los valores de infiltración fueron de 0,25 a 2,00 cm/h determinándose suelos de permeabilidad muy lenta a lenta. En la presente investigación los valores de infiltración coiciden con estos resultados ya que van de 0,26-1,97 cm/h. **Ver tabla 2.**

6 CONCLUSIONES

- Las técnicas utilizadas en el método del hidrómetro cumplieron con los requisitos de validación, que son: repetibilidad, reproducibilidad e incertidumbre.

- Para el cálculo de repetibilidad se efectuó un análisis estadístico ANOVA con un nivel de confianza del 95 %, en el mismo no se encontró diferencia significativa siendo viable la validación del método.

- En repetibilidad se cumplió con los criterios de aceptación, es decir el coeficiente de variación fue menor al 13 %, de esta manera se puede decir que los métodos son repetibles.

- Para la reproducibilidad se trabajó con la misma muestra, mismos reactivos y los mismos materiales, pero se realizaron los análisis de textura en dos tiempos: en la mañana y en la tarde, se utilizo la prueba t, para análisis de los resultados, no encontrándose diferencia significativa entre los dos tiempos ni en las dos lecturas realizadas con el hidrómetro.

- El diagrama causa y efecto permite analizar todos los factores que pueden afectar al resultado del análisis de textura.

- El método del hidrómetro o de Bouyoucus sirve para realizar análisis de distribución de partículas así como la determinación de sus porcentajes relativos.

- El conocimiento de la textura es importante, puesto que influye en la infiltración y retención del agua por el suelo, aireación, capacidad de retención de nutrientes, erosión, resistencia al laboreo y manejo del suelo.

- El método del hidrómetro es un análisis físico- mecánico, sencillo al momento de realizar los ensayos a demás no necesita pre - tratamiento de las muestras de suelo.

- El uso de defloculantes en el análisis de textura es utilizado debido a que las partículas pequeñas de suelo generalmente están cargadas de electricidad estática, por lo que se atraen o repelen entre sí, provocando resultados erróneos en la medición. Algunos materiales formarán grumos en forma floculada, aparentando ser partículas de mucho mayor tamaño que el real. Por esta razón, se utilizan dichos defloculantes.

- Para los análisis de textura se utilizaron cinco muestras de pastizales y cinco de bosques por ser el tipo de cobertura vegetal más predominante de la subcuenca. Para los ensayos de infiltración se delimitaron parcelas en pastizal y sucesión, no se realizó en bosque ya que resulto inaccesible y las pendientes fuertes imposibilitaban la firmeza del infiltrómetro al introducirlo en el suelo.

- El uso que se le da al suelo influye de manera significativa en la infiltración del agua, tal es el caso de zonas de pastoreo que por la compactación del terreno, estos se convierten en poco permeables.

- La tasa de infiltración fue de 0,26 cm/h, en pastizal por tanto la permeabilidad es muy lenta atribuyéndose al tipo de textura franco arcilloso y a alto potencial de humedad 42,72 %.

7 RECOMENDACIONES

- Las muestras de suelo recolectadas en el campo deben estar compuestas de varias submuestras para tener mayor representatividad del punto de muestreo.

- Las muestras de suelos no deben ser tomadas en lugares donde se hayan presentado deslizamientos, ya que afectan con los resultados de análisis físico-químico.

- Los cambios bruscos de Tº ambiental pueden influir en los resultados de análisis de textura, por lo que se recomienda realizar los ensayos en temperaturas ambientales casi constantes.

- En el procedimiento establecido de análisis de textura las muestras deben tener una agitación adecuada de tal manera que una muestra homogénea manifieste los resultados correctos.

- Al transferir la muestra de un recipiente a otro se debe tener cuidado para no perder suelo ya que esto influye en los resultados finales.

- Se debe utilizar los materiales de una forma adecuada es decir cuando se usa el hidrómetro este debe ser limpiado al colocarlo de una muestra a otra.

- En los ensayos de textura se debe manipular el hidrómetro con el debido cuidado ya que es un instrumento de vidrio es sensible a cualquier contacto fuerte.

- Validado el método del Hidrómetro el laboratorio tendrá que verificar periódicamente que se cumplan los parámetros de desempeño documentados.

- Es recomendable realizar publicaciones de validaciones de métodos en el laboratorio, ya que la información es mínima.

- Si se desea realizar análisis de correlaciones se debe contar con un grupo amplio de datos.

- Se recomienda que se continúe con los ensayos de infiltración en la Subcuenca Zamora Huayco con la finalidad de obtener la realidad de toda el área.

- Los ensayos de infiltración se deben realizar en temporadas de ausencia de lluvias ya que este factor influye en los ensayos ya que provoca saturación de suelos, afectando los resultados.

8. BIBLIOGRAFIA

- Aoki, A; M; Sereno, R. 2006.Evaluación de la infiltración como indicador de calidad de suelo mediante un microsimulador de lluvias. Agriscientia.23 no.1: 23-31

- Arteta, R. 2001. Comparación de Métodos de Análisis mecánico de suelos. Terra. vol. 19. Nº3.

- Baquero, F; Sierra, R; Ordoñez, L; Tipan, L; Espinosa, M; Rivera, M y Soria P.2004. La vegetación de los Andes del Ecuador: Memoria explicativa de los mapas de vegetación a escala 1:250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras. EcoCiencia/CESLA/Corporación EcoPar/MAG SIGAGRO/CDC. Jatun Sacha/ División Geográfica- IGM. Quito.

- Benavides, J y Solano, C. 2005. Evaluación del Impacto Ambiental de los planes de forestacion y reforestación ejecutados en la Cuenca Zamora Huayco del Cantón Loja Tesis Ingeniería en Gestión Ambiental

- Borrero, M. 1999. Suelos. Colombia. Ed. USTA. 315p.

- Bouyoucus, G.1962. Hydrometer method Improved for making particle size analysis of soils. Agron,J. vol 54. P.464-465.

- Buduba, C.2004.Muestreo de Suelos: Criterios Básicos. Patagonia Forestal. Año X. Nº1.12p.

- Carter, M 1993. Muestreo del Suelo y métodos de análisis. Editorial Lewis. Boca Raton, Florida.

- Cerana, J; Fontanini, P; Duarte,O; Rivarola, S; Díaz, E; Benavidez, R. 2003. Evaluación de parámetros y procesos hidrológicos en el suelo.VII escuela latinoamericana de física de suelos. La Serena. Chile.6p.

- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1996. Actualización y Homogeneización de los Estudios de Suelos de la VI Región. P 469-479

- Cuenca, F; Freire, R.2008. Implementación y Validación de diferentes métodos de análisis para la determinación de Nitrógeno total y fósforo disponible en suelos agrícolas. Tesis en Ingeniería en Industrias Agropecuaria. Universidad Técnica Particular de Loja.154p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1999. Water. Background Paper 6 of the Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land. Maastricht.

- Fundación Ecológica Arco Iris. 1999. Plan de Conservación de la Microcuenca Zamora Huayco. Loja. Ecuador.

- Fundación para el fomento de la Innovación Industrial.2004. Determinación de Incertidumbres en análisis físicos.314p

- Iñiguez, M.1999. Manejo y conservación de suelos y aguas. Grafica Cosmos. Loja EC. 351 p.

- Jaramillo, D. 2001.Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín Colombia. 582p.

- Jiménez, F. 2005. Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales. CATIE Recursos, Ciencia y decisión. No.2.

- Kim H, Tam. 1996.1ed. Soil Sampling, preparation and analysis. United States. Marcel Dekker, Inc. 408 p.

- León, P; Oñate, F.s.f. Hidrología: Manual de Laboratorio. Universidad Técnica Particular de Loja.34p.

- Macas y Cuenca 1985. Plan de Manejo de la Microcuenca Zamora Huayco. Tesis. Ingeniería Forestal Universidad Nacional de Loja. Ecuador.

- Maroto, A. 2000. Incertidumbre y Precisión. Departamento de Química Analítica y Química orgánica. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España. p. 1-2.

- Monsalve, G. 1999. Hidrología en la Ingeniería: Tipos de Suelos Hidrológicos. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente de Morelos. p. 31

- Muñoz, F. 2007. Manejo de Cuencas Hidrográficas. Casa de la Cultura Ecuatoriana “Benjamín Carrión”, Núcleo de Loja. 206 p.

- OAA (Organismo Argentino de Acreditación). 2003. Guía de Validación para métodos de ensayo. Versión 1. 16p.

- Ochoa, P.2008. Disponibilidad de agua y riesgo de degradación de suelo con diferente uso en una cuenca de montaña al sur del Ecuador. Manejo y Conservación de Suelo y Agua, Servicios Agropecuarios, Universidad Técnica Particular de Loja - Ecuador

- Plaster, E. 2000. La Ciencia del Suelo y su manejo. Paraninfo. Madrid ES.419p. Traducido por Patricia Scott, Titulo original: Soil Science & Management.

- Porta, J; López, M; Roquero, C.1999.Edafologia para la Agricultura y el medio Ambiente.2ed. Madrid ES, Mundiprensa. 849p.

- Ramirez,Y. 2006. Monitoreo de erosion Hídrica y Validación de la ecuación universal de pérdida de suelo en la Estación Agroecológica de la U.T.P.L Tesis en Ingeniería Civil.

- Reyna, S; Inga, M. 2001. Interacción de los procesos de Escorrentia e Infiltración. Argentina.

- Ruisánchez,I; Trullols E; Rius, X. 2003. Validación de Métodos Analíticos Cualitativos. Universidad Rovira i Virgili. Terragona.

- Sabelli,A; Rodríguez, E; Pérez, C;Rago W; Aiello, E.2002.Las Arcillas Activas en Argentina: Diagnóstico y Remediación. Universidad Tecnológica Nacional. Departamento de Ingeniería Civil.21p.

- Sadzawka R., A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Serie La Platina N°16, Instituto.

- Segerer, C; Espinosa, R. 2006. Hidrologia: Infiltración. Universidad Nacional de Cuyo Facultad de Ingeniería Cátedra.

- Terrazas, J. 2006. Manual de difusión técnica de Soja. FUNDACRUZ, Bolivia.

- UMAPAL (Unidad de Manejo de Agua Potable y Alcantarilladlo para Loja). 1998. Proyecto de manejo, Conservación y Protección de la Micro cuenca Zamora Huayco. Ilustre Municipio de Loja.

- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica).1999.Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo.82p

Bibliografía de Internet

- Comisión de la Unión europea. 2002. Hacia una estrategia temática para la protección del suelo (en línea). Consultado 10 set. 2007. Disponible en http://www.eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2002:0179.pdf

- L&C Consultores C.A. 2003. Validación de métodos de ensayo. Nota Técnica 004. Maracay Estado Aragua. 7 p. Disponible en: www.lysconsultores.com

- León, P.; Oñate F. 2002. Hidrología: Manual de Laboratorio. Universidad Técnica Particular de Loja. 35 p. Disponible en: http://www.fronate.pro.ec/fronate/wp-content/media/manual-de-laboratorio-de-hidrologia.pdf

- Ortiz, I; Sanz, J; Dorado, M; Villar, S. 2007. Técnica de recuperación de suelos contaminados no.6 (en línea). Consultado 10 set. 2007. Disponible en http://www.madrid.org

- Rubio, J; Recatalá L. 1998. El Suelo: Un recurso natural amenazado no.23 (en línea). Consultado 10 set. 2007. Disponible en http://www.pre.gva.es/argos/fileadmin/argos/datos/RVEA/libro_23/329-23.pdf

- Sullivan, P.2007. El Manejo Sostenible de Suelos. ATTRA. 40 p disponible en: www.attra.ncat.org/espanol/pdf/suelos.pdf

9. ANEXOS

Anexo1: Proceso de Extracción de las Muestras dentro de la Subcuenca Zamora Huayco.

1.Ubicación del punto de muestreo con GPS

2.Extracción de la muestra

3.Muestreo de submuestras profundidad 20 cm

4.Se coloca las submuestras en un plástico limpio

5.Mezcla do y homogenización de las submuestras

6.Mediante cuarteo obtención de la muestra final

Anexo 2: Proceso de preparación de la muestra

1.Esparcimiento de la muestra con una capa inferior a 15 mm

2.Secado de la muestra a 40° en una estufa

3.Triturado de la muestra con el mortero

4.El resultado de la trituración se lo pasa por el tamiz

5.Se pasa la muestra en un tamiz de 2 mm

6.Almacenaje de las muestras en bolsas plásticas con su respectivo código

Anexo 3: Resultado del análisis de textura por el método del Hidrómetro

No.	Código MUESTRA	PESO DE LA MUESTRA (gr)	LECTURA PRIMERA	LECTURA SEGUNDA	TEMPERATURA	LECTURA PRIMERA	LECTURA SEGUNDA	% MS	% Ao	% Ac	% Lo	CLASE TEXTURAL
1	MIN 01	50	41	20	22,25	41,81	20,81	83,62	16,38	41,62	42,00	Arcillo limoso
2	MIN 02	50	32	13	22,1	32,76	13,76	65,51	34,49	27,51	38,00	Franco arcilloso
3	MIN 03	50	34	14	20,75	34,27	14,27	68,54	31,46	28,54	40,00	Franco arcilloso
4	MIN 04	50	24	8	21,95	24,70	8,70	49,40	50,60	17,40	32,00	Franco
5	MEN 05	50	31	10	21,7	31,61	10,61	63,22	36,78	21,22	42,00	Franco
6	MIN 06	50	28	10	21,95	28,70	10,70	57,40	42,60	21,40	36,00	Franco
7	MIN 07	50	36	13	21,7	36,61	13,61	73,22	26,78	27,22	46,00	Franco arcilloso
8	MIN 08	50	30	12	20,55	30,20	12,20	60,40	39,60	24,40	36,00	Franco
9	MIN 09	50	17	4	21,8	17,65	4,65	35,30	64,70	9,30	26,00	Franco arenoso
10	ZH 10	50	34	15	20,85	34,31	15,31	68,61	31,39	30,61	38,00	Franco arcillosa
11	MEN 11	50	30	13	20,55	30,20	13,20	60,40	39,60	26,40	34,00	Franco
12	MEN 12	50	31	11	20,9	31,32	11,32	62,65	37,35	22,65	40,00	Franco
13	MEN 13	50	24	8	22	24,72	8,72	49,44	50,56	17,44	32,00	Franco
14	MEN 14	50	11	5	22	11,72	5,72	23,44	76,56	11,44	12,00	Franco arenoso
15	MEN 15	50	27	13	21,5	27,54	13,54	55,08	44,92	27,08	28,00	Franco arcillosa
16	MEN 16	50	30	9	20,75	30,27	9,27	60,54	39,46	18,54	42,00	Franco
17	MEN 17	50	17	4	21,8	17,65	4,65	35,30	64,70	9,30	26,00	Franco arenoso
18	ZH 18	50	27	6	22,3	27,83	6,83	55,66	44,34	13,66	42,00	Franco
19	ZH 19	50	32	18	20,9	32,32	18,32	64,65	35,35	36,65	28,00	Franco arcillosa
20	ZH 20	50	28	11	21,9	28,68	11,68	57,37	42,63	23,37	34,00	Franco
21	CAR 21	50	34	12	21,7	34,61	12,61	69,22	30,78	25,22	44,00	Franco
22	CAR 22	50	32	9	21,6	32,58	9,58	65,15	34,85	19,15	46,00	Franco
23	CAR 23	50	17	7	21,6	17,58	7,58	35,15	64,85	15,15	20,00	Franco arenoso
24	CAR 24	50	31	14	20,7	31,25	14,25	62,50	37,50	28,50	34,00	Franco arcillosa

25	CAR 25	50	27	13	24,5	28,62	14,62	57,24	42,76	29,24	28,00	Franco arcillosos
26	CAR 26	50	36	13	21,7	36,61	13,61	73,22	26,78	27,22	46,00	Franco arcilloso
27	CAR 27	50	29	9	21,65	29,59	9,59	59,19	40,81	19,19	40,00	Franco
28	CAR 28	50	12	10	21,9	12,68	10,68	25,37	74,63	21,37	4,00	Franco arcillo arenoso
29	SIM 29	50	19	5	22,1	19,76	5,76	39,51	60,49	11,51	28,00	Franco arenoso
30	SIM 30	50	27	9	21,8	27,65	9,65	55,30	44,70	19,30	36,00	Franco
31	SIM 31	50	31	10	20,6	31,22	10,22	62,43	37,57	20,43	42,00	Franco
32	SIM 32	50	29	12	22,05	29,74	12,74	59,48	40,52	25,48	34,00	Franco
33	CAR 33	50	31	12	21,6	31,58	12,58	63,15	36,85	25,15	38,00	Franco
34	CAR 34	50	20	6	21,6	20,58	6,58	41,15	58,85	13,15	28,00	Franco arenoso
35	CAR 35	50	31	14	20,7	31,25	14,25	62,50	37,50	28,50	34,00	Franco arcillosa
36	CAR 36	50	32	10	22,3	32,83	10,83	65,66	34,34	21,66	44,00	Franco
37	CAR 37	50	28	12	22,1	28,76	12,76	57,51	42,49	25,51	32,00	Franco
38	CAR 38	50	26	5	22,2	26,79	5,79	53,58	46,42	11,58	42,00	Franco

Anexo 4: Análisis estadísticos utilizados en la validación del método del Hidrómetro o Bouyoucus.

REPETIBILIDAD

Coeficiente de Variación

MUESTRA 1

$$s = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n-1}} \quad \rightarrow \quad \%CV = \frac{s}{\bar{y}} * 100$$

Tabla 1: Coeficiente de variación de la primera lectura corregida

		Y	Ŷ	Ŷ – Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
MIN01	1	43,25	43,758	-0,508	0,258064	0,994884695	2,27360641	NO
	2	43,23		-0,528	0,278784			
	3	43,25		-0,508	0,258064			
	4	45,27		1,512	2,286144			
	5	44,25		0,492	0,242064			
	6	45,31		1,552	2,408704			
	7	44,31		0,552	0,304704			
	8	43,23		-0,528	0,278784			
	9	42,23		-1,528	2,334784			
	10	43,25		-0,508	0,258064			
	Σ=	437,58		**Σ=**	8,90816			

Tabla 2: Coeficiente de variación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ – Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
MIN01	1	20,6	20,595	0,005	0,166464	0,068516016	0,33268277	NO
	2	20,6		0,005	0,327184			
	3	20,65		0,055	0,003025			
	4	20,7		0,105	0,011025			
	5	20,7		0,105	0,011025			
	6	20,5		-0,095	0,009025			
	7	20,55		-0,045	0,002025			
	8	20,55		-0,045	0,002025			
	9	20,55		-0,045	0,002025			
	10	20,55		-0,045	0,002025			
	Σ=	205,95		**Σ=**	0,04225			

MUESTRA 2

Tabla 3: Coeficiente de variación de la primera lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
MIN08	1	30,2	27,407	2,793	7,800849	1,531890988	5,58941507	NO
	2	25,25		-2,157	4,652649			
	3	25,25		-2,157	4,652649			
	4	27,16		-0,247	0,061009			
	5	27,2		-0,207	0,042849			
	6	28,18		0,773	0,597529			
	7	26,22		-1,187	1,408969			
	8	28,23		0,823	0,677329			
	9	28,2		0,793	0,628849			
	10	28,18		0,773	0,597529			
	Σ=	274,07		**Σ=**	21,12021			

Tabla 4: Coeficiente de variación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
MIN08	1	11,2	10,507	0,693	0,480249	0,4650221	4,42583137	NO
	2	10,25		-0,257	0,066049			
	3	10,25		-0,257	0,066049			
	4	11,16		0,653	0,426409			
	5	10,2		-0,307	0,094249			
	6	10,18		-0,327	0,106929			
	7	10,22		-0,287	0,082369			
	8	10,23		-0,277	0,076729			
	9	10,2		-0,307	0,094249			
	10	11,18		0,673	0,452929			
	Σ=	105,07		**Σ=**	1,94621			

MUESTRA 3

Tabla 5: Coeficiente de variación de la primera lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
ZH20	1	22,2	25,437	-3,237	10,478169	1,870769598	7,35452136	NO
	2	24,27		-1,167	1,361889			
	3	26,22		0,783	0,613089			
	4	26,27		0,833	0,693889			
	5	27,25		1,813	3,286969			
	6	22,27		-3,167	10,029889			
	7	26,22		0,783	0,613089			
	8	26,23		0,793	0,628849			
	9	27,22		1,783	3,179089			
	10	26,22		0,783	0,613089			
	Σ=	254,37		**Σ=**	31,49801			

Tabla 6: Coeficiente de variación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ – Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
ZH20	1	12,2	12,837	-0,637	0,405769	1,0709295	8,34252164	NO
	2	11,27		-1,567	2,455489			
	3	12,22		-0,617	0,380689			
	4	13,27		0,433	0,187489			
	5	14,25		1,413	1,996569			
	6	12,27		-0,567	0,321489			
	7	12,22		-0,617	0,380689			
	8	12,23		-0,607	0,368449			
	9	14,22		1,383	1,912689			
	10	14,22		1,383	1,912689			
	Σ=	128,37		**Σ=**	10,32201			

MUESTRA 4

Tabla 7: Coeficiente de variación de la primera lectura

		Y	Ŷ	Ŷ – Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig Estad.
SIM30	1	28,23	29,228	-0,998	0,996004	1,945369431	6,65584176	NO
	2	30,23		1,002	1,004004			
	3	30,23		1,002	1,004004			
	4	29,23		0,002	0,000004			
	5	31,23		2,002	4,008004			
	6	29,22		-0,008	0,000064			
	7	32,23		3,002	9,012004			
	8	26,22		-3,008	9,048064			
	9	29,23		0,002	0,000004			
	10	26,23		-2,998	8,988004			
	Σ=	292,28		**Σ=**	34,06016			

Tabla 8: Coeficiente de variación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ – Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
SIM30	1	9,23	9,527	-0,297	0,088209	0,82450052	8,65435627	NO
	2	8,23		-1,297	1,682209			
	3	10,23		0,703	0,494209			
	4	9,23		-0,297	0,088209			
	5	10,23		0,703	0,494209			
	6	9,22		-0,307	0,094249			
	7	11,23		1,703	2,900209			
	8	9,22		-0,307	0,094249			
	9	9,22		-0,307	0,094249			
	10	9,23		-0,297	0,088209			
	Σ=	95,27		**Σ=**	6,11821			

MUESTRA 5

Tabla 9: Coeficiente de correlación de la primera lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
CAR23	1	24,2	21,381	2,819	7,946761	1,673535512	7,82720879	NO
	2	21,23		-0,151	0,022801			
	3	21,14		-0,241	0,058081			
	4	23,16		1,779	3,164841			
	5	22,14		0,759	0,576081			
	6	22,16		0,779	0,606841			
	7	21,16		-0,221	0,048841			
	8	20,22		-1,161	1,347921			
	9	18,22		-3,161	9,991921			
	10	20,18		-1,201	1,442401			
	Σ=	213,81		**Σ=**	25,20649			

Tabla 10: Coeficiente de correlación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
CAR23	1	6,2	5,959	0,241	0,058081	0,42069915	7,05989518	NO
	2	6,23		0,271	0,073441			
	3	6,14		0,181	0,032761			
	4	6,16		0,201	0,040401			
	5	6,14		0,181	0,032761			
	6	5,16		-0,799	0,638401			
	7	6,16		0,201	0,040401			
	8	6		0,041	0,001681			
	9	6,22		0,261	0,068121			
	10	5,18		-0,779	0,606841			
	Σ=	59,59		**Σ=**	1,59289			

MUESTRA 6

Tabla 11: Coeficiente de correlación de la primera lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
SIM29	1	19,16	21,042	-1,882	3,541924	1,216313191	5,78040676	NO
	2	22,18		1,138	1,295044			
	3	19,18		-1,862	3,467044			
	4	22,18		1,138	1,295044			
	5	21,18		0,138	0,019044			
	6	22,18		1,138	1,295044			
	7	20		-1,042	1,085764			
	8	21		-0,042	0,001764			
	9	21,18		0,138	0,019044			
	10	22,18		1,138	1,295044			
	Σ=	210,42		**Σ=**	13,31476			

Tabla 12: Coeficiente de correlación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
SIM29	1	5,16	5,16	0	0	0,43060681	8,34509316	NO
	2	5,18		0,02	0,0004			
	3	4,18		-0,98	0,9604			
	4	5,18		0,02	0,0004			
	5	5,18		0,02	0,0004			
	6	5,18		0,02	0,0004			
	7	6		0,84	0,7056			
	8	5,18		0,02	0,0004			
	9	5,18		0,02	0,0004			
	10	5,18		0,02	0,0004			
	Σ=	51,6		**Σ=**	1,6688			

MUESTRA 7

Tabla 13: Coeficiente de variación de la primera lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
CAR28	1	20,98	24,477	-3,497	12,229009	1,575253419	6,43564742	NO
	2	24,96		0,483	0,233289			
	3	25,96		1,483	2,199289			
	4	23,98		-0,497	0,247009			
	5	25,00		0,523	0,273529			
	6	24,96		0,483	0,233289			
	7	25,96		1,483	2,199289			
	8	25,98		1,503	2,259009			
	9	22,98		-1,497	2,241009			
	10	24,01		-0,467	0,218089			
	Σ=	244,77		**Σ=**	22,33281			

Tabla 14: Coeficiente de variación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
CAR28	1	11,98	11,56	0,42	0,1764	0,98137092	8,48936785	NO
	2	11,96		0,4	0,16			
	3	11,96		0,4	0,16			
	4	12,98		1,42	2,0164			
	5	12		0,44	0,1936			
	6	11,96		0,4	0,16			
	7	11,96		0,4	0,16			
	8	9,98		-1,58	2,4964			
	9	9,91		-1,65	2,7225			
	10	10,91		-0,65	0,4225			
	Σ=	115,6		**Σ=**	8,6678			

MUESTRA 8

Tabla 15: Coeficiente de variación de la primera lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
CAR 24	1	16,89	17,324	-0,434	0,188356	1,267440115	7,31609394	NO
	2	18,91		1,586	2,515396			
	3	16,89		-0,434	0,188356			
	4	17,1		-0,224	0,050176			
	5	16,86		-0,464	0,215296			
	6	18,89		1,566	2,452356			
	7	16,89		-0,434	0,188356			
	8	18,83		1,506	2,268036			
	9	14,8		-2,524	6,370576			
	10	17,18		-0,144	0,020736			
	Σ=	173,24		**Σ=**	14,45764			

Tabla 16: Coeficiente de variación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
CAR 24	1	7,89	8,372	-0,482	0,232324	0,72338402	8,64051628	NO
	2	8,91		0,538	0,289444			
	3	8,89		0,518	0,268324			
	4	8,89		0,518	0,268324			
	5	8,86		0,488	0,238144			
	6	7,89		-0,482	0,232324			
	7	8,89		0,518	0,268324			
	8	6,84		-1,532	2,347024			
	9	7,8		-0,572	0,327184			
	10	8,86		0,488	0,238144			
	Σ=	83,72		**Σ=**	4,70956			

MUESTRA 9

Tabla 17: Coeficiente de correlación de la primera lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
MIN03	1	20,5	20,485	0,015	0,000225	0,078351062	0,38248017	NO
	2	20,4		-0,085	0,007225			
	3	20,4		-0,085	0,007225			
	4	20,4		-0,085	0,007225			
	5	20,45		-0,035	0,001225			
	6	20,45		-0,035	0,001225			
	7	20,6		0,115	0,013225			
	8	20,5		0,015	0,000225			
	9	20,55		0,065	0,004225			
	10	20,6		0,115	0,013225			
	Σ=	204,85		**Σ=**	0,05525			

Tabla 18: Coeficiente de correlación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
MIN03	1	11,18	11,874	-0,694	0,481636	0,79671827	6,70977151	NO
	2	13,14		1,266	1,602756			
	3	13,14		1,266	1,602756			
	4	12,14		0,266	0,070756			
	5	12,16		0,286	0,081796			
	6	12,16		0,286	0,081796			
	7	11,22		-0,654	0,427716			
	8	11,18		-0,694	0,481636			
	9	11,2		-0,674	0,454276			
	10	11,22		-0,654	0,427716			
	Σ=	118,74		**Σ=**	5,71284			

MUESTRA 10

Tabla 9: Coeficiente de variación de la primera lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Esta.
MIN09	1	20,6	20,595	0,005	2,5E-05	0,068516016	0,33268277	NO
	2	20,6		0,005	2,5E-05			
	3	20,65		0,055	0,003025			
	4	20,7		0,105	0,011025			
	5	20,7		0,105	0,011025			
	6	20,5		-0,095	0,009025			
	7	20,55		-0,045	0,002025			
	8	20,55		-0,045	0,002025			
	9	20,55		-0,045	0,002025			
	10	20,55		-0,045	0,002025			
	Σ=	205,95		**Σ=**	0,04225			

Tabla 10: Coeficiente de variación de la segunda lectura

		Y	Ŷ	Ŷ - Y	(Ŷ - Y)2	DESVIACIÓN	%CV	Sig. Estad.
MIN09	1	10,22	9,328	0,892	0,795664	0,56061078	6,00997832	NO
	2	9,22		-0,108	0,011664			
	3	9,22		-0,108	0,011664			
	4	8,25		-1,078	1,162084			
	5	9,25		-0,078	0,006084			
	6	9,18		-0,148	0,021904			
	7	10,22		0,892	0,795664			
	8	9,25		-0,078	0,006084			
	9	9,22		-0,108	0,011664			
	10	9,25		-0,078	0,006084			
	Σ=	93,28		**Σ=**	2,82856			

REPRODUCIBILIDAD

- Diferencia estadística a través de la prueba de t-student.

MUESTRA 1

Tabla 11. M1 (primera lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	43,25	45,31	-2,06
2	43,23	44,31	-1,08
3	43,25	43,23	0,02
4	45,27	42,23	3,04
5	44,25	43,25	1
		Media=	0,184
		Desv. Estand=	1,967404381
		n=	5

Texp = l*Media*l/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= 0,2094943
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,2094943**< 1,833**

Tabla 12. M2 (segunda lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	22,25	23,31	-1,06
2	23,23	23,31	-0,08
3	22,25	21,23	1,02
4	23,27	22,23	1,04
5	23,25	22,25	1
		Media=	0,384
		Desv. Estand=	0,93737933
		n=	5

T exp= 0,91762212
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,91762212**< 1,833**

MUESTRA 2

Tabla 13. M2 (primera lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	30,2	25,25	4,95
2	25,25	27,16	-1,91
3	27,2	28,18	-0,98
4	26,22	28,23	-2,01
5	28,2	28,18	0,02
		Media=	0,014
		Desv. Estand=	2,878824413
		n=	5

Texp = l*Media*l/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= 0,01089334
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,01089334 **< 1,833**

Tabla 14. M2 (segunda lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	11,2	10,18	1,02
2	10,25	10,22	0,03
3	10,25	10,23	0,02
4	11,16	10,2	0,96
5	10,2	11,18	-0,98
		Media=	0,21
		Desv. Estand=	0,82207056
		n=	5

T exp= 0,57221366
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,57221366 **< 1,833**

MUESTRA 3

Tabla 15. M3 (Primera lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	22,2	24,27	-2,07
2	26,22	26,27	-0,05
3	27,25	22,27	4,98
4	26,22	26,23	-0,01
5	27,22	26,22	1
		Media=	0,77
		Desv. Estand=	2,604006528
		n=	5

Texp = l*Media*l/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= 0,66236393
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,66236393 **< 1,833**

Tabla 16. M3 (Segunda lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	12,2	12,27	-0,07
2	11,27	12,22	-0,95
3	12,22	12,23	-0,01
4	13,27	14,22	-0,95
5	14,25	14,22	0,03
		Media=	-0,39
		Desv. Estand=	0,51244512
		n=	5

T exp= -1,70476792
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; -1,70476792 **< 1,833**

MUESTRA 4

Tabla 17. M4 (primera lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	28,23	29,22	-0,99
2	30,23	32,23	-2
3	30,23	26,22	4,01
4	29,23	29,23	0
5	31,23	26,23	5
		Media=	1,204
		Desv. Estand=	3,1149687
		n=	5

Texp = l*Media*l/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= 0,86580645
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,86580645 **< 1,833**

Tabla 18. M4 (segunda lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	9,23	9,22	0,01
2	8,23	11,23	-3
3	10,23	9,22	1,01
4	9,23	9,22	0,01
5	10,23	9,23	1
		Media=	-0,194
		Desv. Estand=	1,64560931
		n=	5

T exp= -0,2640724
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; -0,2640724 **< 1,833**

MUESTRA 5

Tabla 19. M5 (primera lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	24,2	21,23	2,97
2	21,14	23,16	-2,02
3	22,14	22,16	-0,02
4	21,16	20,22	0,94
5	18,22	20,18	-1,96
		Media=	-0,018
		Desv. Estand=	2,099123627
		n=	5

Texp = l*Media*l/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= -0,01920802
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; -0,01920802 **< 1,833**

Tabla 20. M5 (segunda lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	6,2	6,23	-0,03
2	6,14	6,16	-0,02
3	6,14	5,16	0,98
4	6,16	6	0,16
5	6,22	5,18	1,04
		Media=	0,426
		Desv. Estand=	0,53886919
		n=	5

T exp= 1,77081938
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 1,77081938 **< 1,833**

MUESTRA 6

Tabla 21. M6 (primera lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	19,16	22,18	-3,02
2	22,18	20	2,18
3	19,18	21	-1,82
4	22,18	21,18	1
5	21,18	22,18	-1
		Media=	-0,532
		Desv. Estand=	2,107728635
		n=	5

Texp = l*Media*l/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= -0,56538588
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; -0,56538588 **< 1,833**

Tabla 22. M6 (segunda lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	5,16	5,18	-0,02
2	4,18	5,18	-1
3	5,18	5,18	0
4	6	5,18	0,82
5	5,18	5,18	0
		Media=	-0,04
		Desv. Estand=	0,64513564
		n=	5

T exp= -0,13888552
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; -0,13888552 **< 1,833**

MUESTRA 7

Tabla 23. M8 (Primera lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	16,89	18,89	-2
2	18,91	16,89	2,02
3	16,89	18,83	-1,94
4	17,1	14,8	2,3
5	16,86	17,18	-0,32
		Media=	0,012
		Desv. Estand=	2,075793824
		n=	5

Texp = l*Medial*/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= -0,65393811
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; -0,65393811 **< 1,833**

Tabla 24. M7 (Segunda Lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	11,98	11,96	0,02
2	11,96	12,98	-1,02
3	12	11,96	0,04
4	11,96	9,98	1,98
5	9,91	10,91	-1
		Media=	0,004
		Desv. Estand=	1,22093407
		n=	5

T exp= 0,00733864
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,00733864 **< 1,833**

MUESTRA 8

Tabla 25. M7 (Primera Lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	20,98	24,96	-3,98
2	24,96	25,96	-1
3	25,96	25,98	-0,02
4	23,98	22,98	1
5	25	24,01	0,99
		Media=	-0,602
		Desv. Estand=	2,062091172
		n=	5

Texp = l*Medial*/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= 0,01294926
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,01294926**< 1,833**

Tabla 26. M8 (Segunda Lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	7,89	8,91	-1,02
2	8,89	8,89	0
3	8,86	7,89	0,97
4	8,89	6,84	2,05
5	7,8	8,86	-1,06
		Media=	0,188
		Desv. Estand=	1,33516666
		n=	5

T exp= 0,31540632
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,31540632 **< 1,833**

MUESTRA 9

Tabla 27. M9 (Primera lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	20,5	20,4	0,1
2	20,4	20,4	0
3	20,45	20,45	0
4	20,6	20,5	0,1
5	20,55	20,6	-0,05
		Media=	0,03
		Desv. Estand=	0,067082039
		n=	5

Texp = l*Medial*/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= 1,00175845
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 1,00175845 **< 1,833**

Tabla 28. M 9 (Segunda lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	11,18	13,14	-1,96
2	13,14	12,14	1
3	12,16	12,16	0
4	11,22	11,18	0,04
5	11,2	11,22	-0,02
		Media=	-0,188
		Desv. Estand=	1,08014814
		n=	5

T exp= -0,38987245
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; -0,38987245**< 1,833**

MUESTRA 10

Tabla 29. M10 (Primera lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	20,6	20,6	0
2	20,65	20,7	-0,05
3	20,7	20,5	0,2
4	20,55	20,55	0
5	20,55	20,55	0
		Media=	0,03
		Desv. Estand=	0,097467943
		n=	5

Texp = l*Medial*/ (desviación estándar/n^1/2)
T exp= 0,68945745
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; 0,68945745**< 1,833**

Tabla 30. M10 (Segunda lectura)			
No.	**A**	**B**	**A-B**
1	10,22	9,18	1,04
2	9,22	10,22	-1
3	9,22	9,25	-0,03
4	8,25	9,22	-0,97
10			0
		Media=	-0,24
		Desv. Estand=	0,96488341
		n=	5

T exp= -0,55716576
T visto en tabla= 1,833
Texp < T tabla; -0,55716576**< 1,833**

Anexo 5. Descripción del tipo de suelos hidrológicos (Monsalve, 1999).

DESCRIPCIÓN	GRUPO DE SUELO HIDROLÓGICO
BAJO POTENCIAL DE ESCORRENTIA. Suelos que tienen alta tasa de infiltración aún cuando estén muy húmedos. Consiste de arenas o gravas profundas bien excesivamente drenados. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.	A
MODERADAMENTE BAJO POTENCIAL DE ESCORRENTIA. Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a drenados, textura moderadamente finos a moderadamente gruesos y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderada.	B
MODERADAMENTE ALTO POTENCIAL DE ESCORRENTINA: Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consiste de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a las sales o álcali, o suelos con niveles freáticos moderados. Estos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm**)**	C
ALTO POTENCIAL DE ESCORRENTIA: Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a la sales o álcali y suelos poco profundos sobre materiales casi impermeable. Estos suelos tienen tasas de transmisión muy lenta.	D