



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible**

Trabajo de Graduación

Evaluación de la Conductividad Hidráulica del Suelo en un Sistema Agroforestal de café (Coffea arabica), en CENECOOP, Masaya, Nicaragua, 2014.

Autores:

Br. Leyla Nayiri Pérez Gómez

Br. Gabriel Alejandro García

Asesores:

MSc Gerardo Murillo Malespín

MSc. Leonardo García Centeno

Ing. Agric. David López Campos

**Managua, Nicaragua
2015**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA**

Trabajo de Graduación

*Evaluación de la conductividad hidráulica del
suelo en un sistema agroforestal café (Coffea
arábica, en CENECOOP, Masaya, Nicaragua,
2014.*

Autores:

Br. Leyla Nayiri Pérez Gómez

Br. Gabriel Alejandro García

Asesores:

MSc. Gerardo Murillo Malespín

MSc. Leonardo García Centeno

Ing. Agr. David López Campos

Managua, Nicaragua

2015

INDICE DE CONTENIDO

| Nº | SECCION | PAGINA |
|-------------|--|--------|
| | DEDICATORIA | i |
| | AGRADECIMIENTO | iii |
| | ÍNDICE DE CUADROS | v |
| | ÍNDICE DE FIGURAS | vi |
| | ÍNDICE DE GRAFICAS | vii |
| | INDICE DE ANEXOS | viii |
| | RESUMEN | ix |
| | ABSTRACT | x |
| I | INTRODUCCIÓN | 1 |
| II | OBJETIVOS | 3 |
| | 2.1. Objetivo General | 3 |
| | 2.2. Objetivos específicos | 3 |
| III | MATERIALES Y METODOS | 4 |
| | 3.1 Localización y descripción de sitio de estudio | 4 |
| | 3.2 Descripción del ensayo agroforestal con café bajo sombra, manejo y sus propiedades. | 4 |
| | 3.2.1 Propiedades físicas de cada uno de los tratamientos dentro del sistema agroforestal con café en CENACOOOP. | 6 |
| | 3.3. Condiciones climáticas locales del área de estudio. | 7 |
| | 3.4 variables relacionadas a la conductividad hidráulica | 9 |
| | 3.4.1 Contenido de humedad en el suelo. | 9 |
| | 3.4.2 Infiltración de agua en el suelo | 10 |
| | 3.4.3 Porosidad en el suelo | 11 |
| | 3.4.4 Presencia de raíces en el suelo | 12 |
| | 3.4.5 Conductividad Hidráulica | 13 |
| | 3.5 Análisis de Datos | 15 |
| | 3.5.1 Método propuesto por Zhang | 15 |
| | 3.5.2 Método propuesto por Ankeny | 16 |
| | 3.5.3 Análisis estadístico | 17 |
| IV | RESULTADOS Y DISCUSION | 18 |
| | 4.1 Contenido de poros y raíces a diferentes profundidades | 18 |
| | 4.2 Análisis comparativo de los métodos de cálculo desarrollados por Ankeny y Zhang | 22 |
| | 4.3 Análisis estadístico de los valores de K | 25 |
| V | CONCLUSIONES | 27 |
| VI | RECOMENDACIONES | 28 |
| VII | LITERATURA CITADA | 29 |
| VIII | ANEXOS | 31 |

DEDICATORIA

Este logro lo dedico a todas aquellas personas que se esforzaron junto a mí y forman parte de este gran resultado en mi vida

A mis padres Melvin Pérez Ramírez y Leyla Gómez Salgado que me brindaron su amor, confianza, amistad y apoyo para alcanza mis sueños y formación profesional.

A todos los profesionales que han conformado mi grupo de enseñanza desde mis primeras letras hasta el día de hoy.

Al personal del Departamento de Ingeniería Agrícola de esta prestigiosa alma mater la cual será de representación en mi labor profesional.

Y a todas las personas que de una u otra manera influyeron en mi aprendizaje.

Dr. Leyla Pérez Gómez

DEDICATORIA

Dedico este proceso de formación a Dios nuestro padre creador por el don de la vida, por la salud, por la sabiduría y madurez necesaria para la realización de nuestro trabajo de culminación de estudios.

A mi madre que día a día me ha brindado su apoyo y amor con el propósito de que sea una persona útil a la sociedad.

A mi familia por su apoyo a lo largo de este proceso de formación profesional.

Al personal docente de la Universidad Nacional Agraria (UNA) en especial al de Departamento de Ingeniería Agrícola (DIA) por compartir con nosotros sus conocimientos a lo largo de este proceso.

Dr. Gabriel García

AGRADECIMIENTO

Espero poder hacer referencia de manera muy especial a los principales coautores de mi experiencia universitaria

Primordialmente aceptando que la gracia de Dios no ha fallado en mi vida; reconociendo que existe un ser superior el cual me ha dado el don de la vida

Agradezco de manera muy especial a mis padres, familiares y amigos que me apoyaron en el trascurso de mi formación.

Dr. Leysa Pérez Gómez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios nuestro creador por el don de la vida, la sabiduría y la salud para realizar a cabalidad nuestro proceso de preparación profesional

De igual manera a mi madre que día a día me ayuda de una forma incondicional brindándome su apoyo tanto moral como económico para tener una mejor formación.

A mis profesores del departamento de Ingeniería Agrícola (DIA) por compartir con nosotros sus conocimientos a lo largo de todos estos años de preparación para este momento tan importante en nuestra vida.

Dr. Gabriel García

INDICE DE CUADROS

| CUADRO | | PAGINA |
|--------|---|--------|
| 1 | Combinación de especies forestales y descripción de los tratamientos en las parcelas principales y en las sub parcelas. | 5 |
| 2 | Descripción de las propiedades físicas del suelo | 7 |
| 3 | Descripción de las condiciones presentes en el área de estudio | 7 |
| 4 | Contenido de humedad en el suelo | 10 |
| 5 | Clasificación de diámetro de poros según FAO (2009) | 12 |
| 6 | Clasificación de abundancia de poros según FAO (2009) | 12 |
| 7 | Clasificación de diámetro de raíces según FAO (2009) | 12 |
| 8 | Clasificación de abundancia de raíces según FAO (2009) | 12 |
| 9 | Contenido de poros y raíces a diferentes profundidades en el suelo | 20 |
| 10 | Análisis comparativo de los métodos desarrollados por Ankeny (1991) y Zhang (1997) | 22 |
| 11 | Análisis estadístico de la conductividad hidráulica en los dos métodos. | 25 |

INDICE DE FIGURAS

| FIGURA | | PAGINA |
|--------|---|--------|
| 1 | Localización del municipio de Masatepe, Masaya en el sitio experimental CENECOOP (Velásquez y González, 2012) | 4 |
| 2 | Esquema del muestreo de campo | 5 |
| 3 | Infiltrómetro de mini disco | 13 |

INDICE DE GRAFICAS

| GRAFICA | | PAGINA |
|---------|---|--------|
| 1 | Datos de Precipitación Acumulada anual en Masatepe | 8 |
| 2 | Datos de precipitación y temperatura diaria en Masatepe | 8 |
| 3 | Contenido de humedad en el sistema agroforestal de café en Masatepe | 9 |
| 4 | Porcentaje de poros encontrados a diferentes profundidades en el suelo | 18 |
| 5 | Porcentaje de raíces encontradas a diferentes profundidades en el suelo | 19 |

INDICE DE ANEXOS

| ANEXO | | PAGINA |
|-------|---|--------|
| 1 | Punto 1 SGTR CI La parcela 12 en el segundo surco | 32 |
| 2 | Punto 2 SGTR CI La parcela 12 en el surco tres | 32 |
| 3 | Punto 3 SGTR OI La parcela 11 en el surco seis | 33 |
| 4 | Punto 4 SGTR OI La parcela 11 en la Surco 11 | 33 |
| 5 | Punto 5 SGTR CI La parcela 10 surco cuatro | 34 |
| 6 | Punto 6 SGTR CI La Parcela 10 Surco 2 | 34 |
| 7 | Punto 7 SGTR CI La parcela 10 Surco 3 | 35 |
| 8 | Punto 8 SGTR OI La parcela 9 Surco 2 | 35 |
| 9 | Punto 9 SGTR OI La parcela 9 surco 4 | 36 |

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar el movimiento del agua dentro del perfil de suelo mediante el uso del infiltrometro minidisk así como evaluar el comportamiento de la infiltración y la conductividad hidráulica en un sistema agroforestal de café bajo sombra el cual tiene un suelo de textura entre franco a franco limoso, también el efecto que tiene la porosidad y la presencia de raíces en las propiedades antes mencionadas.

El estudio se realizó en el municipio de Masatepe, departamento de Masaya en el Centro de Estudio del Cooperativismo (CENECOOP), el experimento original evalúa 14 tratamientos distribuidos en un diseño de parcelas divididas, debido a las características propias de las variables en estudio no se siguió dicho diseño.

Se encontró que la cantidad de poros a diferentes profundidades no muestran grandes diferencias respecto a la cantidad en cada uno de los espesores según el conteo realizado por dm^2 en los 9 perfiles bajo estudio los cuales se encontraban bajo combinaciones de árboles de sombra tales como Simarouba Glauca y Tabebuia Rosea (acetuno y roble) y manejo de insumos convencional intensivo (CI) y orgánico intensivo (OI).

Para conocer el comportamiento de la infiltración se realizaron 9 graficos donde se evidencio que los poros influyeron significativamente facilitando la fluidez del agua pero en los puntos donde los mejores resultados se obtuvieron en los perfiles 1, 2, 3, y 7. A continuación con los datos obtenidos en campo se calculó la conductividad hidráulica a través de los métodos en evaluación propuestos por Zhang (1997) y Ankeny (1991) obteniendo como resultado que el método de Zhang es el más apegado a la realidad del terreno por tomar en cuenta la sorptividad del suelo que es un parámetro de suelo que significa la entrada del agua en el suelo por efecto del potencial matrico del mismo sin que tenga efecto la gravedad.

Es notable una tendencia en relación a la K y la infiltración que a mayor tensión ejercida por el dispositivo antes mencionado mayores son los valores resultantes, dando como resultado un aumento en los valores de K en promedio de dos décimas en el método de Zhang respecto a Ankeny donde encontramos los valores más elevados fue en los perfiles 4, 5, 6 y 7. Estadísticamente se observó que la desviación estándar y el coeficiente de variación en los valores de Ankeny están en los rangos aceptables en comparación con los de Zhang ya que en esta metodología además de la sorptividad del suelo se toman también los factores texturales del suelo.

Palabras claves: conductividad hidráulica, infiltración, porosidad, sorptividad y raices.

ABSTRACT

This research was conducted to evaluate water movement within the soil profile using the minidisk Infiltrometer and evaluate the performance of infiltration and hydraulic conductivity in an agroforestry system under shade coffee which has, free on silty loam also the effect of the porosity and the presence of roots in the above properties.

The study was conducted in the municipality of Masatepe, Masaya at the Center for Study of Cooperatives (CENECOOP), the original experiment evaluates 14 treatments arranged in a split plot design, due to the characteristics of the study variables notHe kept the design.

It was found that the amount of pores at different depths show no major differences in the amount in each of the thicknesses according to the count by dm² in 9 under study profiles which were combinations of trees under plenty such as Simarouba glauca and Tabebuia Rosea (acetuno and oak) and intensive management of conventional inputs (CI) and intensive organic (OI).

To understand the behavior of infiltration 9 graphics where it showed that significantly influenced the pores facilitating the flow of water but at the points where the best results were obtained in profiles 1, 2, 3, and 7. Then were performed with data from field hydraulic conductivity was calculated by the evaluation methods proposed by Zhang (1997) and Ankeny (1991) resulting in Zhang's method is the more attached to reality on the ground by taking into account the sorptividad soil is a soil parameter input means soil water matric potential effect of the same with no effect gravity.

Is remarkable trend in relation to K and infiltration that greater tension exerted by the above device the greater the resulting values, resulting in increase in the values of K on average two tenths in the method concerning Zhang Ankeny where the highest values found was in the profiles 4, 5, 6 and 7. Statistically it was noted that the standard deviation and coefficient of variation values Ankeny acceptable ranges are compared as in Zhang this methodology besides sorptividad soil textural soil factors are also taken of the soil.

Keywords: hydraulic conductivity, infiltration, porosity, sorptividad and roots

I. INTRODUCCIÓN

El movimiento del agua al interior del suelo, es producto de la naturaleza de los poros y la condición antecedente del contenido de agua en el suelo estos son factores importantes que determinan la parte de la precipitación que penetra al terreno y la que se escurra sobre el mismo. Por lo tanto, las tasas elevadas de infiltración no solo aumentan la cantidad de agua que se almacena en el suelo para uso de las plantas y los cultivos sino también reducen los riesgos de inundación y de erosión que son consecuencia de los escurrimientos. La baja conductividad hidráulica puede también contribuir notablemente a elevar el grado de erosión al aumentar las aguas de escorrentía por una disminución de la permeabilidad de los suelos (Laurent, 1967).

Es la conductividad hidráulica (K) el parámetro hidro-físico más determinante a la hora de cuantificar los diferentes componentes del balance global de agua. La determinación de la conductividad hidráulica refleja mejor las condiciones de campo, y la medida de esta a distintas profundidades en un suelo permite poner de manifiesto diferencias en la capacidad de transmisión de agua por parte de los distintos horizontes debido a la heterogeneidad del suelo. En relación a la conductividad hidráulica (K) del suelo se ha señalado (Saunders et al, 1978) que este es un parámetro esencial en la determinación cuantitativa del movimiento del agua en el suelo y consecuentemente para solucionar problemas que envuelven irrigación, drenaje, recarga y conservación del suelo. La conductividad hidráulica es afectada por la textura y estructura del suelo, siendo mayor en suelos altamente porosos, fracturados o agregados y menor en suelos densos y compactados.

Es importante saber que a nivel mundial se han hecho estudios para calcular la K por diferentes métodos llegando a la conclusión de que el valor de K ha influido notablemente en la evaluación y conservación de suelos. Cualquier factor adverso que altere el crecimiento y actividad de las raíces, como las capas compactadas, inadecuada aireación, temperatura y estado hídrico del suelo, entre otros pueden afectar severamente la actividad radical y por lo tanto la capacidad de producción del cultivo, del mismo modo algunas propiedades del suelo tales como la porosidad son condicionantes para una baja conductividad hidráulica, que pueden limitar el libre suministro de agua hacia las raíces. Por lo tanto se desprende la importancia de contar con un ambiente edáfico cuyas características funcionales le permitan a la planta expresar su potencial de producción.

En suelos parcialmente saturados se observa que la cantidad de agua retenida en los poros es controlada por la presión del agua. Esto es consecuencia de la teoría capilar descrita por Darcy (1856) la cual dice que la succión del agua en un suelo es proporcional a la tensión superficial e inversamente proporcional al radio de los poros existentes en el suelo. Cuando el suelo está parcialmente saturado, la adherencia entre los suelos y el agua produce meniscos los cuales indican la presencia de absorción del agua en el suelo; es decir que los poros influyen significativamente ya que al momento que comienza el drenaje del suelo los primeros poros en drenar son los poros grandes. En este momento existe un punto en el cual el aire comienza a entrar dentro del agua retenida en los poros, este punto se denomina valor de entrada de aire, a este valor está asociado el valor de absorción.

Generalmente los bioporos de canales de lombrices, insectos de suelo en general y raíces son más continuos, menos tortuosos y más estables que los macro poros creados por la labranza, resultando más efectivos para el movimiento del agua y del aire y para el crecimiento de nuevas raíces.

La conductividad hidráulica es una propiedad muy importante de los medios porosos, que indica la movilidad del agua dentro del suelo y depende del grado de saturación y la naturaleza del mismo. Las utilidades del conocimiento del valor de la conductividad hidráulica, son innumerables, de ahí la importancia de su estimación. Dentro de estos beneficios se puede resaltar, que sirve como indicador de la hidrodinámica del agua subterránea, y este entendimiento es fundamental para analizar problemas hidrogeológicos en relación con las obras civiles, como en presas y embalses; problemas hidrogeológicos en estudios geotécnicos y de minería; y el diseño de drenajes.

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el movimiento del agua dentro del perfil de suelo mediante el uso del minidisco infiltrómetro en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica*) en condiciones de sombra en CENECOOP, Masaya, Nicaragua, 2014.

Objetivos Específicos

- Establecer las curvas de infiltración para cada horizonte diagnóstico en un sistema agroecológico con café bajo sombra utilizando el minidisco infiltrómetro.
- Analizar el comportamiento de la Conductividad Hidráulica con relación a la porosidad y el efecto del sistema radical en el sitio bajo estudio.
- Contrastar los métodos de cálculo de Conductividad Hidráulica propuestos por Zhang (1997) respecto al procedimiento establecido por Ankeny (1991).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización y descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el Centro Nacional de Estudios del Cooperativismo (CENECOOP), ubicado en el Municipio de Masatepe, Departamento de Masaya; se encuentra localizada en las coordenadas 11°54' Latitud Norte y 86°09' Longitud Oeste con una altitud de 455 msnm predominando un clima seco bien marcado de 5 a 6 meses con una humedad relativa entre el 70 y 80%; con un pH 5.7- 6.0 (medianamente ácido a neutro).

Basándonos en los datos históricos de los últimos dos años sobre las precipitaciones registradas en la finca perteneciente a CENECOOP las cuales oscilan entre los 800 a 1200 mm anuales y una temperatura de entre los 22 y 28 °C. (Ramos *et al.* 2014).

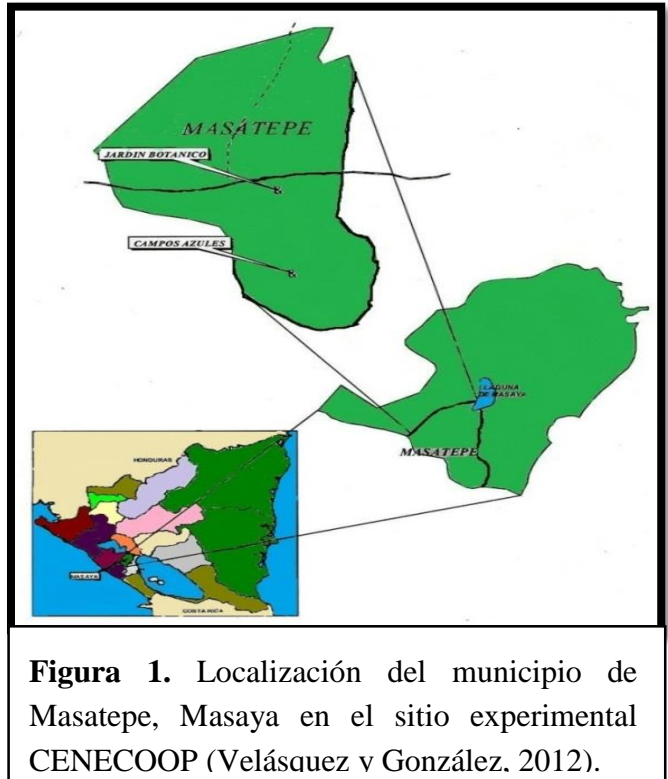


Figura 1. Localización del municipio de Masatepe, Masaya en el sitio experimental CENECOOP (Velásquez v González. 2012).

3.2. Descripción del ensayo agroforestal con café bajo sombra, manejo y propiedades del suelo.

El sistema agroforestal con café ubicado en el Centro Nacional de Estudios de Cooperativismo (CENECOOP) fue iniciado en el año 2000. Se establecieron 14 tratamientos distribuidos al azar en cada una de las repeticiones, en un Diseño en Parcelas Divididas. Los factores se describen a continuación:

- Tratamiento A: Combinaciones de árboles de sombra, establecidos en las parcelas grandes; siendo estas Inga laurina + Samanea saman; Inga laurina + Simarouba glauca; Tabebuia rosea + Samanea saman y Tabebuia rosea+ Simarouba glauca.
- Tratamiento B. niveles de insumo fueron distribuidos en las subparcelas.

Cuadro 1. Combinación de especies forestales y descripción de los tratamientos en las parcelas principales y en las sub parcelas.

| Parcela principal | | Sub parcelas | |
|-------------------------------|--|----------------------------|------------------------|
| Especies de sombra (Factor A) | Descripción | Nivel de insumo (Factor B) | Descripción del manejo |
| ILSG | Inga laurina y Simarouba glauca (Guabillo y Acetuno) | CM | Convencional Moderado |
| | | OI | Orgánico Intensivo |
| SS TR | Samanea saman y Tabebuia rosea (Genízaro y Roble) | CM | Convencional Moderado |
| | | OI | Orgánico Intensivo |
| SSIL | Samanea saman e Inga laurina (Genízaro y Guabillo) | CI | Convencional Intensivo |
| | | OI | Orgánico Intensivo |
| | | CM | Convencional Moderado |
| | | OM | Orgánico Moderado |
| SG TR* | Simarouba glauca y Tabebuia rosea (Acetuno y Roble) | CI* | Convencional Intensivo |
| | | OI* | Orgánico Intensivo |
| | | CM | Convencional Moderado |
| | | OM | Orgánico Moderado |
| Pleno sol | Pleno sol | CI | Convencional Intensivo |
| | | CM | Convencional Moderado |

*Bajo sombra (Acetuno y Roble) como el manejo agronómico del insumo fueron objeto principal del estudio de conductividad hidráulica

Las sub parcelas fueron establecidas con el objetivo de evaluar las interacciones entre diversas especies de sombra y diferentes niveles y tipos de insumos para el manejo de plagas y la nutrición en sistemas agroforestales con café. Las plantas de café de la variedad Paca, fueron establecidas a una distancia de 2 m, entre surco y 1.25 m, entre planta para una población inicial de 4000 plantas por hectáreas. En cambio el distanciamiento inicial para los árboles fue de 4 m, entre surco y 3.75 m, entre árboles para una población 666 plantas por hectáreas.

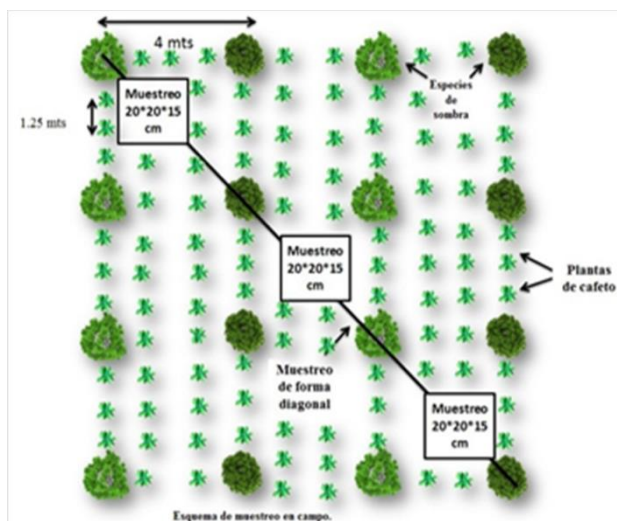


Figura 2. Esquema del muestreo en el campo Masatepe, 2013.

3.2.1. Propiedades físicas de los tratamientos dentro del sistema agroforestal con café en CENECOOP.

Durante el establecimiento del ensayo en el año 2000-2010 se realizaron diferentes muestreos de suelos para determinar características y propiedades del mismo, para comprender cualquier cambio físico-químico de los niveles de insumo o manejo al cual fueron sometidos. El estudio sobre el movimiento del agua en el suelo es importante para conocer algunas propiedades físicas como textura, estructura, porosidad, cohesión y materia orgánica que se relacionan con la conductividad hidráulica. De igual manera realizando una descripción del perfil de suelo. A continuación se presenta la información obtenida de los puntos en estudio

Descripción del perfil. Fuente (CENECOOP, 2013)

Horizonte A

Profundidades de 0-30 cm; Color pardo oscuro (7.5 YR, 4/4) Franco limosos con poca grava. Estructura granular y bloques sub angulares, finos, débiles, no adhesivos, no plásticos. Muchos poros medios y grandes.

Horizonte B

Profundidades de 15-30 cm hasta 35-60 cm (a veces ausente); color pardo oscuro (7.5 YR 5/6), Franco moderado y medio, bloques sub angulares, poco duro, friable, poco adhesivo, poco plástico, poros medianos.

Horizonte C

Profundidades de 15-60 cm hasta 30-100 cm. Color variable mayormente pardo amarillento (10 YR 5/6), pero desde pardo (7.5 YR 5/8), hasta rosado (7.5 YR 7/4). FRANCO a franco arenoso, bloques sub angulares fuertes y gruesos. Duro mayormente poco friable, poco adhesivo y no plástico, pocos poros.

De acuerdo con la información recabada en el perfil A que abarca nuestra investigación encontramos que es el horizonte que presenta las mejores condiciones para una buena conductividad hidráulica así como la infiltración.

Los datos Físicos del suelo se presentan en el Cuadro 2 como una representación típica del suelo donde se encuentra instalado el ensayo en general.

Cuadro 2. Descripción de las propiedades físicas del perfil de suelo.

| Distribución del tamaño de las fracciones del suelo | | | | | Propiedades físicas | |
|---|-----------|-----------|---------------|------------|-------------------------|----------------------|
| CI | Prof.(cm) | Arena % | Limo % | Arcilla % | Da g/cm ³ | Textura del suelo |
| | | 0.05-2 mm | 0.002-0.05 mm | < 0.002 mm | | |
| | 0-10 | 37 | 55 | 8 | 0.78 | franco limoso |
| | 10-20 | 42 | 49 | 9 | 0.73 | Franco |
| | 20-30 | 41 | 47 | 12 | 0.86 | |
| OI | 0-10 | 32 | 55 | 13 | 0.91 | Franco limoso |
| | 10-20 | 32 | 55 | 13 | 0.70 | |
| | 20-30 | 34 | 53 | 13 | 0.79 | |

CI: Convencional Intensivo; OI: Orgánico Intensivo; Da; Densidad aparente (g/cm³)

Cuadro 3. Descripción de las condiciones presentes en la zona de estudio

| Punto | T sombra | Insumo | Ubicación | | Prof. | COT | MO |
|-------|----------|--------|-----------|-------|-------|-----|------|
| | Trat A | Trat B | Parcela | Surco | cm | % | |
| 1 | SGTR | CI | 12 | 2 | 0-30 | 5,0 | 8,7 |
| 2 | SGTR | CI | 12 | 3 | 0-30 | 5,6 | 9,6 |
| 3 | SGTR | OI | 11 | 6 | 0-30 | 5,8 | 10,1 |
| 4 | SGTR | OI | 11 | 11 | 0-30 | 7,1 | 12,2 |
| 5 | SGTR | CI | 10 | 4 | 0-30 | 5,0 | 8,7 |
| 6 | SGTR | CI | 10 | 2 | 0-30 | 5,6 | 9,6 |
| 7 | SGTR | CI | 10 | 3 | 0-30 | 5,0 | 8,7 |
| 8 | SGTR | OI | 9 | 2 | 0-30 | 7,1 | 12,2 |
| 9 | SGTR | OI | 9 | 4 | 0-30 | 7,1 | 12,2 |

Fuente: CATIE, 2010. Tipo de sombra: SGTR Simarouba glauca y Tabebuia rosea (Acetuno y Roble); Manejo agronómico: Convencional intensivo (CI); Orgánico Intensivo (OI); COT (Carbono orgánico total); MO (Materia orgánica)

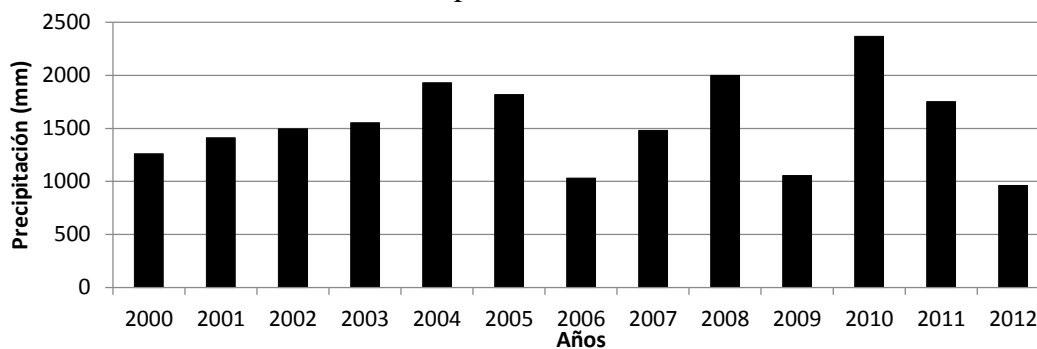
3.3. Condiciones climáticas locales del área en estudio

El CENECOOP cuenta con registro de precipitaciones, por tal razón es importante reconocer los patrones de lluvia en la zona. Estos datos son mostrados en la gráfica 1 en la cual se ilustran las precipitaciones anuales acumuladas desde el 2000 – 2012. En el 2013 las precipitaciones diarias acumuladas versus temperaturas fueron procesadas y presentadas en gráficas para reconocer la relación e influencia de ellas sobre el contenido de humedad tanto en el suelo como en el ambiente y de qué forma influyen sobre las valores de conductividad hidráulica.

Los registros meteorológicos de los últimos 12 años establecen que las precipitaciones tiene una considerable disminución cada tres años, estas alteraciones son debido al efecto del

cambio del uso de la tierra en la zona pasando de una zona de bosque a un uso de la tierra más semi rural con mayor densidad de población, implicando en un cambio climático ya marcado en la zona de Masatepe. En el Grafico 1 se muestra que las precipitaciones máximas oscilan entre los 1500 mm anuales acumuladas y las menores precipitaciones oscilan en los 950 mm anuales acumulados dentro del periodo 2000-2012.

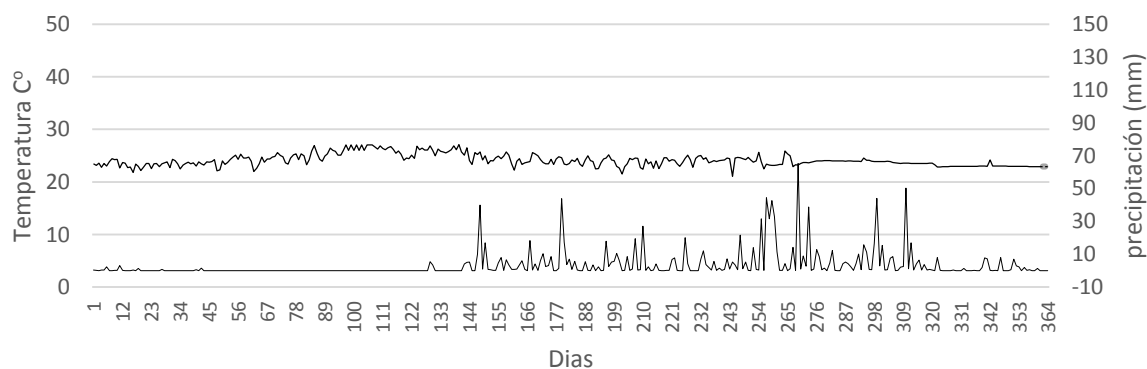
Precipitación acumulada anual en Masatepe



Grafica .1. Datos de precipitación acumulada anual, Masatepe: (Fuente: CENECOOP, 2012)

Es importante resaltar un comportamiento de disminución de la precipitación en cada tres años a partir del 2006,2009 y 2012 lo que refleja una baja en las precipitaciones debido a la deforestación en la zona ya marcada. En él años 2013 las precipitaciones en la zona de cobertura de la estación meteorológica muestran una distribución normal para las condiciones nacionales donde la estación seca que inicia en noviembre y finaliza en mayo con un total de 182 día secos y 183 día lluvioso con una temperatura oscila entre los 20 a 28 °C para la zona según datos obtenidos (CENECOOP, 2013).

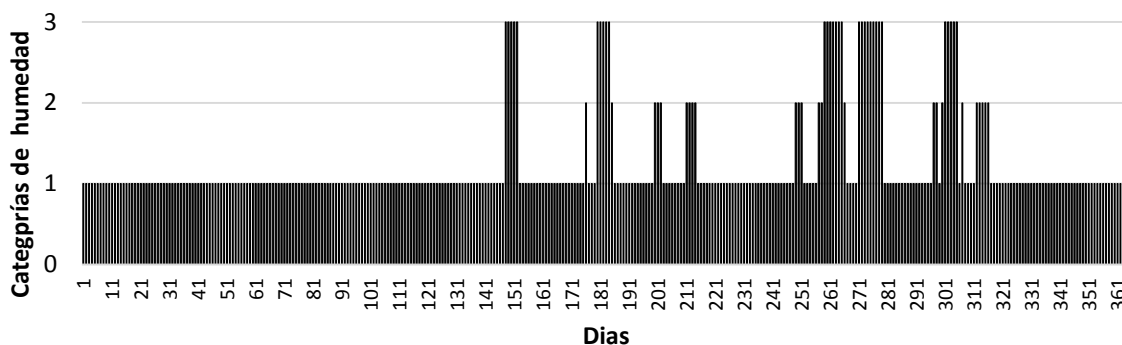
Precipitaciones y temperatura diaria en Masatepe



Gráfica.2: Datos de precipitación y temperatura diaria, Masatepe (Ramos et., 2013)

Los registros meteorológicos nos permitieron analizar el comportamiento de humedad en el sistema agroforestal y su relación planta- suelo –atmósfera, prevaleciendo un régimen o categoría de condición de humedad más seco (Categoría I),Húmedo (Categoría II) y mojado (Categoría III) según el contenido de humedad acumulado durante 5 días previo al día lluvioso; él estudio se implementó entre los días 60- 133 en condiciones seca, con el

propósito de evitar un efecto directo de la condición de humedad al realizar las pruebas de conductividad hidráulica en el sistema agroforestal de café en CENECOOP,2013.



Gráfica. 3 Contenido de humedad en el sistema agroforestal de café en Masatepe

3.4. Variables evaluadas con relación a la Conductividad Hidráulica (K)

3.4.1 Contenido de humedad en el suelo

Antecedente de humedad es un término utilizado en el campo de la hidrología que describe la relación seca o humedad de una cuenca o área agroecológica. La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil. Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. El efecto es evidente en la mayoría de sistemas hidrológicos incluyendo el escurrimiento de las aguas pluviales y alcantarillados sanitarios con la afluencia y la infiltración. Condiciones antecedentes de humedad altas se presentan cuando se ha producido una gran cantidad de lluvias reciente y el suelo es húmedo. Condiciones antecedentes de humedad bajas cuando ha habido poca lluvia y el suelo se encuentra relativamente seco.

Condiciones antecedente de humedad en el suelo son altamente afectados por anteriores niveles de lluvia. Sin embargo, anterior a las lluvias no es la única condición que afecta el antecedente de humedad en el suelo o en un agro ecosistema, y muchas otras variables en el proceso hidrológico puede tener un impacto significativo. Por ejemplo, la temperatura del aire, velocidad del viento, y los niveles de humedad afectan las tasas de evaporación, que pueden cambiar significativamente las condiciones antecedentes de humedad. Efectos adicionales pueden incluir la evapotranspiración, la presencia o ausencia de copas de los árboles o vegetación baja puede influir en antecedente de humedad en un agro ecosistema. Se determina la clase de humedad obtenida durante los eventos de lluvias previos a 5 días con períodos de vegetación y otros períodos sin vegetación propuesto Deutscher Verband fuer Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), en 1984 como elementos importante del modelo de lluvia-escurrimiento en pequeña cuenca donde establece clases de húmedas en el suelo dentro diferentes ecosistemas con vegetación y sin vegetación. Esto referido en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación del contenido de humedad del suelo.

| Clase de humedad en el suelo | Cantidad de lluvia previos a 5 días en mm | |
|------------------------------|---|------------------|
| | Período de vegetación | Período restante |
| I | >30 | >15 |
| II | 30-50 | 15-30 |
| III | <50 | <50 |

Fuente: DVWK, 1984. Clase I: Seco; Clase II: Húmedo; Clase III. Mojado

Proceso utilizado para la obtención de las condiciones antecedentes de humedad

La determinación de la condición antecedente de humedad en el agro ecosistema ubicado en Masatepe se utilizó como principio básico los registros de precipitación diaria del año 2013 de la estación de la cooperativa del CENECOOP. Se ordenó la información de la estación meteorológica que se encuentra en el sitio, se determinó la precipitación diaria acumulada tomando como referencia el día 1 de enero del 2013 procediendo a sumar los 5 días anteriores como son el 31, 30, 29, 28, 27 de diciembre del 2012 siendo su precipitación acumulada >30 mm por lo que se considera el día 1 de enero del 2013 con categoría I es decir en condiciones de humedad seca (I), para el día dos de enero se tomaron los días 1 de enero del 2013, 31,30,29,28 de diciembre del 2012 siendo la precipitación > 30 mm lo que determina que el 2 de enero del 2013 tiene una condición antecedente de humedad seca (I) de esta forma se calcularon para todos los días del año 2013, lo cual se muestra en los resultados de la Gráfica 3 donde se muestran los días con condición antecedente de humedad seco (I), húmedo (II) y mojado (III), lo cual influyen directamente sobre el movimiento del flujo de agua a través del suelo.

3.4.2. Infiltración de agua en el suelo

La infiltración del agua en el suelo posee un rol fundamental en los procesos de escorrentía como respuesta a una precipitación dada en una cuenca, dependiendo de su magnitud lluvias de iguales intensidades, pueden producir caudales diferentes en la recarga de acuíferos. La infiltración depende de muchos factores, por lo que su estimación confiable es bastante difícil y es imposible obtener una relación única entre todos los parámetros que la condicionan.

Por otra parte, la velocidad de infiltración condiciona la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica. En casi todos los métodos de riego la velocidad de entrada de agua al suelo determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar. Además, el proceso de infiltración es de gran importancia práctica dado que su velocidad determina generalmente la cantidad de agua de escurrimiento, detectando el peligro de erosión durante inundaciones, lluvias muy intensas. El presente estudio tiene como finalidad determinar la velocidad de infiltración del agua en suelo, en términos del diseño hidrológico de las obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos.

Descripciones del proceso de infiltración del agua en el suelo

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración. (Vélez et al, 2002) Si se aplica agua a determinada superficie de suelo, a una velocidad que se incrementa en forma uniforme, tarde o temprano se llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber agua y el exceso se acumula sobre la superficie, o escurre si las condiciones de pendiente lo permiten.

La capacidad de infiltración conocida también como “*infiltrabilidad del suelo*” es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica. Mientras la velocidad de aporte de agua a la superficie del suelo sea menor que la infiltrabilidad, el agua se infiltra tan rápidamente como es aportada y la velocidad de aporte determina la velocidad de infiltración (o sea, el proceso es controlado por el flujo). Sin embargo, una vez que la velocidad de aporte excede la infiltrabilidad del suelo es ésta última la que determina la velocidad real de infiltración; de ese modo el proceso es controlado por las características del perfil (Gurovich, 1985)

3.4.3. Porosidad del suelo

El crecimiento de las plantas, del que depende su producción económica, está determinado por factores atmosféricos, biológicos y edáficos. Estos últimos son físicos y químicos, siendo los primeros las propiedades del suelo que determinan el crecimiento radical y la dinámica del aire y del agua. Estas propiedades del suelo, están determinadas por las características cuantitativas y cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, denominado espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aeración del suelo, constituyendo además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macro poros y micro poros. Las características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo.

La porosidad total se determina directamente, en muestras de suelo perturbadas, es decir tal como están en el campo, sin ninguna deformación que altere la ubicación de las partículas sólidas, y por lo tanto los espacios que dejan entre ellas. El volumen del suelo está constituido en general por 50 % materiales sólidos (45% material mineral y 5 % materia orgánica) y 50 % de espacio poroso, el cual en condiciones de capacidad de campo se componen del 25 % agua y 25 % aire. El movimiento del flujo del agua a través de las cavidades o intersticios del suelo, su presencia, tamaño y distribución determinan, en gran medida la velocidad del flujo de agua, la saturación de los diferentes espacios por el agua debido a la presión que esta ejerce sobre los poros.

Según la FAO (2009); los poros se describen de acuerdo al tipo, tamaño y abundancia según se clasifican por su diámetro (Cuadro 5) y su abundancia (Cuadro 6). La porosidad es un indicador del volumen total de espacio poroso discernibles con una lupa de x10; se mide por área y se registra como porcentaje de superficie ocupada por los poros. Existe una gran variedad de forma y origen de los espacios porosos. El diámetro de los espacios poroso alargados o tubulares y la abundancia se realiza por unidad de área en un dm^2 de los poros alargados y muy finos en uno y los poros medianos a gruesos en otro.

Cuadro 5. Clasificación de diámetro de poros.

| Clasificación del diámetro de los poros | | |
|---|-------------|-------|
| | | mm |
| V | Muy finos | < 0,5 |
| F | Finos | 0,5-2 |
| M | Medio | 2-5 |
| C | Gruesos | 5-20 |
| VC | Muy gruesos | 20-50 |

Nota: códigos adicionales: FM, fino a medio; FF, fino a muy fino; y MC, medio a grueso

Cuadro 6. Clasificación de abundancia de poros

| Clasificación de la abundancia de poros | | | |
|---|-----------|-----------------|--------|
| | | < 2 mm (número) | > 2 mm |
| N | Ninguno | 0 | 0 |
| V | Muy pocos | 1-20 | 1-2 |
| F | Pocos | 20-50 | 2-5 |
| C | Comunes | 50-200 | 5-20 |
| M | Muchos | > 200 | > 20 |

Fuente: FAO (2009)

3.4.4 Presencia de raíces en el suelo

El manual de la FAO (2009), menciona que el registro del tamaño y abundancia de las raíces es suficiente para caracterizar el desarrollo de las mismas en el perfil de suelo. En casos muy particulares se pueden anotar información adicional como los cambios bruscos en la orientación de la raíz. La abundancia de las raíces solo puede ser comparada dentro de la misma clase de tamaños. La presencia de raíces finas y muy finas se pueden registrar similarmente a la descripción de los poros expresada en el número de raíces por dm^2 . Dicho parámetro es importante ya que por medio de estos se generan los llamados bioporos que son las aberturas que quedan luego de descomponerse las raíces muertas y que a través de ellas circula tanto el agua como el aire, además sirven para saber los antecedentes biológicos en el lugar de observación.

Parámetros de clasificación de desarrollo de raíces FAO (2009).

Cuadro 7: Clasificación del diámetro de raíces

| Clasificación del diámetro de las raíces | | | |
|--|-----------|--------|--------|
| | | < 2 mm | > 2 mm |
| N | Ninguna | 0 | 0 |
| V | Muy pocas | 1-20 | 1-2 |
| F | Pocas | 20-50 | 2-5 |
| C | Común | 50-200 | 5-20 |
| M | Muchas | > 200 | > 20 |

Fuente FAO (2009)

Cuadro 8: Clasificación de abundancia de raíces

| Clasificación del diámetro de las raíces | | |
|--|----------|-------|
| | | mm |
| VF | Muy fina | < 0,5 |
| F | Fina | 0,5-2 |
| M | Media | 2-5 |
| C | Gruesa | > 5 |

Nota: códigos adicionales: FF, muy fina a fina; FM fina a media; y MC media a gruesa

3.4.5 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica (K) se refiere a la velocidad con la que el agua pasa a través de la masa del suelo, por unidad de gradiente de carga hidráulica. Este parámetro depende del 25% de la porosidad del suelo, particularmente, de la proporción de poros con radio equivalente mayor a $15 \mu\text{m}$ que se mantienen abiertos en condiciones de saturación. Según Soil Survey manual (1993) una baja conductividad hidráulica se debe fundamentalmente a una baja porosidad, pocos poros grandes y una pobre interconectividad entre ellos, los valores altos se presentan en suelos de textura gruesa aunque tengan una baja porosidad. El comportamiento de la Conductividad Hidráulica depende de la tensión aplicada, por lo tanto la variable dependiente es la Conductividad Hidráulica y la independiente la tensión aplicada. La variabilidad de dichos parámetros disminuye al aumentar la tensión matricial por el hecho de que los macro poros se van haciendo menor proporcionalmente conforme se incrementa la succión. (Enríquez R, *et al* .2011).

De acuerdo a la conducta variable de los indicadores de conductividad hidráulica se consideró de manera local un periodo determinado teniendo en cuenta los factores que han influido y afectan el resultado de los valores, ya que no hay evidencia de un patrón de comportamiento uniforme en cada caso en el que infiera el valor de conductividad esta habrá de ser distinta a lo largo de la ladera o a medida de que se incrementa la profundidad en el perfil, el valor de K se verá afectado por las condiciones existentes en ese momento para determinado punto así como las características propias del suelo. (Enríquez R, *et al* .2011). Otros Factores que afectan la conductividad hidráulica:

- Tortuosidad (difusión en poros medianos).
- Densidad del flujo.
- Viscosidad del flujo.

Determinación de la Conductividad hidráulica mediante el uso del Minidisco infiltrómetro.

Especificaciones del Dispositivo

El infiltrómetro de mini disco consiste en un tubo de ensayo de 32.7 cm de longitud y 3.1 cm de diámetro. En la parte superior se encuentra un tapón de goma con un capilar graduado en centímetros para determinar la succión a utilizar. En su parte inferior posee un disco de acero inoxidable de 4.5 cm de diámetro y 3 mm de grosor. Separado en dos cámaras por una placa de goma, la cámara superior llamada cámara de burbujas controla la succión sobre la superficie de contacto entre el disco y el suelo, su función principal es crear una succión constante sobre la superficie de contacto entre el disco y el suelo. La cámara inferior esta graduada en centímetros y contiene el agua a aplicar en la prueba, posee un tubo mariotte que se comunica con la cámara superior.

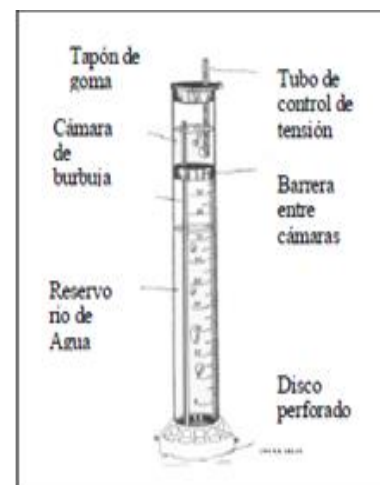


Figura 3. Mini disco infiltrómetro

Descripción del proceso de utilización

El minidisco se ubicó en cada horizonte, colocando un anillo de plástico de 2 mm de grosor con relleno de arena de 0.5 mm diámetro, a fin de lograr un buen contacto hidráulico entre el infiltrómetro y el suelo, se hicieron dos repeticiones cada una es medida en un tiempo de 30 min en las tensiones -6, -5 y -4 y en las tensiones -3 -2 en un tiempo de 20 min y en la tensión -1 y -0.5 de 15 min en una lectura cada 30 segundos. Haciendo un total de 2 horas y 45 min en cada repetición, las pruebas se establecieron en orden ascendente terminando siempre con el potencial de saturación con el fin de reducir los efectos de histéresis. Según (Cook y Broeren (1994) citado por Prieto *et al* 2006).

Para su utilización se llena de agua ambas cámaras tapándose herméticamente con el disco y el tapón de goma, se coloca verticalmente sobre la superficie del suelo. Previamente se coloca un anillo de plástico de 2 mm de grosor relleno de arena de 0.5 mm diámetro, a fin de lograr un buen contacto hidráulico entre el infiltrómetro y el suelo. Una vez hecho esto el agua dentro del tubo fluye y se infiltra dentro del suelo a una tensión igual a la que produce el capilar dentro de la cámara de burbujas de -0.5cm,-1.0cm hasta -6.0cm de columnas de agua. En el caso de la tensión -0.5 cm la succión es mayor, por tanto la fuerza vertical creada por la cohesión y la tensión superficial es mayor, al ir disminuyendo las tensiones hasta -6.0 cm. la fuerza vertical incrementa considerando al suelo como un conjunto interconectado de tubos capilares de diferente diámetro, cuando el agua del infiltrómetro empieza a circular sólo se llenaran los poros que provoquen una tensión superior a la succión creada por el infiltrómetro sobre la superficie de contacto. Debido a que el infiltrómetro posee una succión ajustable es posible controlar el paso del agua a los poros de diferentes diámetros existentes en el suelo.

3.5. Análisis de los datos

Los datos obtenidos en campo se calculó la conductividad hidráulica de no saturación utilizando las ecuaciones desarrolladas para cada método. Se determinó la conductividad hidráulica por dos métodos. Para efecto del método propuesto por Zhang, se utilizó el programa EXEL.

3.5.1 Método propuesto por Zhang (1997), ajustado a la siguiente función:

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (1)$$

Dónde:

I = Infiltración acumulada en mm h⁻¹

C₁ = coeficiente relacionado a la sortividad

t = Tiempo (minuto)

C₂ = Coeficiente relacionado con la conductividad hidráulica (K) se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

$$C_2 = \frac{2 - \beta}{3} K + \frac{\gamma S^2}{R(\theta_0 - \theta_n)} \quad (2)$$

Dónde:

β y γ = constantes iguales a 0.6 y 0.75 respectivamente.

R = Radio del disco.

θ_n = contenido volumétrico de agua en el suelo.

θ₀ = contenido volumétrico de agua final del suelo.

Conocido los valores de infiltración, la conductividad hidráulica no saturada se calcula a partir de:

$$K = C_1 / A \quad (3)$$

Dónde:

K = Conductividad hidráulica (mmh⁻¹)

C₁ = infiltración básica a partir de la sortividad (mm)

A = Área de la membrana del minidisco. El parámetro A se obtiene de:

$$A = \frac{11.65(n^{0.1} - 1) \exp[2.92(n - 1.9)ah_o]}{(\alpha r_o)^{0.91}} \quad n \geq 1.9 \quad (4)$$

$$A = \frac{11.65(n^{0.1} - 1) \exp[7.5(n - 1.9)ah_o]}{(\alpha r_o)^{0.91}} \quad n < 1.9$$

Dónde:

n y α: Parámetros de Van Genuchten para el suelo.

r_o: Radio del disco.

h_o: Succión en la superficie del disco.

3.5.2 Método propuesto por Ankeny (1991)

El segundo método es el propuesto por Ankeny *et al* (1991) estima la conductividad hidráulica en campo K , a diferentes potenciales de presión ψ está basado en la ecuación de Wooding para un flujo tridimensional que procede de una fuente circular a un potencial de presión constante en la superficie de infiltración (Wooding, 1968). Si asumimos que K es mucho mayor que la conductividad hidráulica en la presión inicial podemos escribir la ecuación de Wooding (1968) como:

$$Q = \frac{\pi r^2 K + 4rK}{\alpha} \quad (5)$$

Dónde:

Q: Flujo volumétrico en estado estacionario.

r: Radio de la fuente circular

α : Constante que relaciona, la infiltración obtenida y la diferencia de tensión aplicada.

La metodología presentada en este estudio es la utilizada por Messing y Joel (2000). Valores de conductividad hidráulica (K) ($L T^{-1}$) en función de potenciales de presión de agua en el suelo (ψ) (L) se obtuvieron a partir de las tasas de infiltración básica en diferentes potenciales aplicados, siguiendo la teoría descrita por (Ankeny *et al*; 1991) y Reynolds & Elrick (1991), el cual está basada en la ecuación (4), y la función de Gardner (1958):

$$K = K_s \exp(\psi\alpha) \quad (6)$$

Dónde:

K: Conductividad hidráulica en el potencial de presión suministrado (Ψ) (L)

K_s : Conductividad hidráulica saturada en el campo ($L T^{-1}$),

α : Constante que relaciona el radio del infiltrómetro, la infiltración obtenida y la diferencia de tensión aplicada.

ψ : Es la presión del agua en el suelo (Reynolds & Elrick, 1991). Siendo entonces:

$$q = \left(1 + \frac{4}{\pi r \alpha}\right) \quad (7)$$

Dónde:

q: Módulo de infiltración ($L T^{-1}$),).

r: Radio de la superficie de infiltración (L).

En la derivación de la ecuación (6) es implícito asumir que los valores de conductividad hidráulica subsiguientes en el frente de humedad serán menores que el obtenido con el potencial inicial. Si también se asume que las ecuaciones (4) y (5) pueden aplicarse en tramos tal que: α : es constante entre dos potenciales consecutivos Ψ_i y Ψ_{i+1} tendremos:

$$\alpha_{i+\frac{1}{2}} = \frac{\ln\left(\frac{q_i}{q_{i+1}}\right)}{\psi_i - \psi_{i+1}} \quad i=1,2, \dots, n-1 \quad (8)$$

Dónde:

q: Tasa de infiltración en estado estacionario ($I= Q/\pi r^2$).

n: Número de presiones aplicadas.

Debe de notarse que $\Psi_i > \Psi_{i+1}$ por tanto $q_i > q_{i+1}$, además las mediciones en campo debe hacerse en una secuencia ascendente. Despejando K en (5) se obtiene:

$$K = \frac{q_{i+1/2}}{\left[1 + \frac{4}{\pi r \alpha_{i+1/2}}\right]} \quad i=1,2,\dots,n-1 \quad (9)$$

Dónde:

$q_{i+1/2}$: es la tasa de infiltración en los puntos medios, obtenida por:

$$q_{i+1/2} = \exp\left[\frac{\ln q_i + \ln q_{i+1}}{2}\right] \quad i=1,2,\dots, n-1 \quad (10)$$

Dónde:

Los parámetros K y α se estimaron a través de una regresión lineal de los datos de la tasa de infiltración haciendo uso del programa Mathcad PLUS 5.0

3.5.3 Método estadístico

En relación al análisis estadístico de los datos no se hizo un ANDEVA ni separación de media sino que se agruparon los datos de K y se obtuvo la media, los valores máximos, mínimos, la desviación estándar y el coeficiente de variación con el objetivo de conocer la variabilidad de los datos de campo sometidos a los métodos de cálculo antes mencionados. Los resultados de estos procedimientos fueron agrupados en el Cuadro 11.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

El estudio se realizó en CENECOOP en el municipio de Masatepe en los meses de febrero a abril de 2013 en un sistema agroforestal de café bajo sombra. Dicho suelo pertenece a la serie Masatepe, orden de los inceptisoles derivados de cenizas volcánicas y al subgrupo Typic Durandepts, son suelos con un 50% de saturación de bases, con una densidad aparente menor de 0.85 g/cm^3 , presenta un estado de endurecimiento (de talpetate), de textura franco arcillosa. Se considera la zona como trópico húmedo de sabana. (Salinas J.et,al;2011).

La conductividad hidráulica es uno de los factores importante del suelo relacionado al movimiento del flujo del agua a través suelo, el cual se ve afectado por las condiciones de humedad en los ecosistemas y en especial el contenido de humedad en el suelo. El estudio se implementó en la estación de verano a fin de minimizar el efecto de la humedad sobre los valores de conductividad hidráulica. A continuación se muestran los resultados del conteo de poros y raíces en los gráficos 4 y 5.

4.1 Contenido de poros a diferentes profundidades

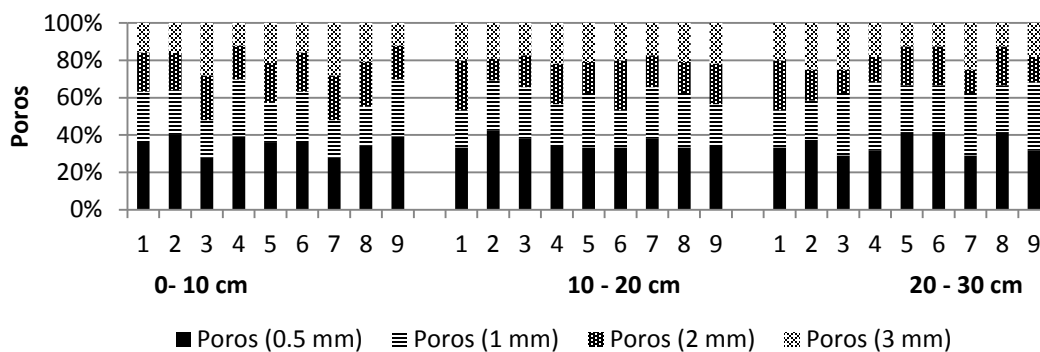


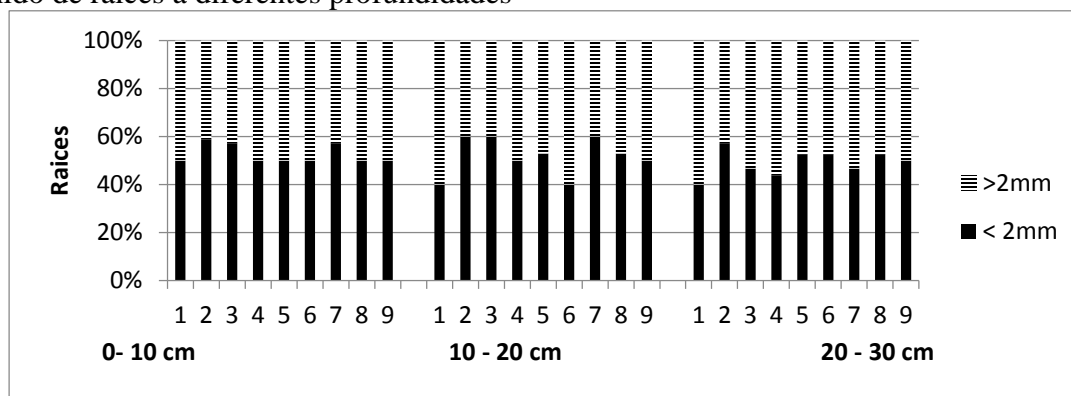
Gráfico 4. Porcentaje de poros/dm² encontrados a diferentes profundidades en el suelo, Masatepe 2013.

Los líquidos, gases y vapores están contenidos en los espacios existentes entre las partículas sólidas del suelo y puesto que son indispensables para la nutrición vegetal, los espacios que quedan entre las partículas (los espacios de poro) son tan importantes como el suelo mismo (Rodríguez, 1997). Según la Gráfica 4 de porosidad se observa por medio del conteo de poros por dm² a diferentes profundidades no muestra grandes diferencias en cada uno de los espesores de horizonte de suelo analizado pero si podemos notar que a medida que se profundiza en el perfil se nota una disminución en el conteo de los poros en cada uno de sus diámetro.

La porosidad de aireación se define como el volumen de poros ocupados por aire. La aireación del suelo está determinada por la geometría del espacio poroso y retención de humedad en el suelo. El régimen aéreo o espacio poroso del suelo es consecuencia de su estado estructural y relación agua aire. (Rodríguez, 1997).

La textura y el contenido de materia orgánica (MO) ejercen una influencia clara sobre la porosidad de aireación ya que contribuye a la formación de los agregados del suelo. En la gráfica antes mencionada se observa que existe una buena cantidad de poros en el espesor de suelo de 0-30 cm lo que permitirá un buen movimiento del agua en el suelo en dependencia del contenido de humedad. En el espesor de 20-30 cm se presenta una menor cantidad de poros de 0.5 mm y un aumento en los poros mayores de 2 mm, esto contribuye a un incremento de la conductividad esto es en dependencia de la tensión y la saturación de los intersticios del suelo. (Rodríguez, 1997).

Contenido de raíces a diferentes profundidades



Grafica 5. Porcentaje de conteo de raíces por dm^2 . De los suelos de Masatepe, 2013.

Los resultados sobre el conteo de raíces en el suelo muestran al igual que el conteo de poros muy poca diferencia, mostrando en general mayor presencia de raíces entre los 0-10 cm y 10-20 cm. A los 20-30 cm el conteo muestra una disminución de las raíces finas y medianas, pocas raíces gruesas a eso niveles de profundidad a pesar de encontrarse en un sistema agroforestal con el cultivo del café, es importante destacar que el muestreo se realizó entre los surcos de café lo cual puede tener influencia sobre la información recabada. Luego el suelo continúa el proceso hasta llegar al contenido residual de humedad dicho valor indica el tamaño de poros muy pequeños los cuales requieren un alto valor de succión para extraer su contenido de agua.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Grafica 5 se nos evidencia un aumento en el conteo de raíces en relación a los poros en los 9 puntos de estudio ordenados en las tres profundidades en estudio. En la profundidad de 0-10 cm se observa un menor desarrollo de las raíces con diámetro de 2 mm en los puntos 2 y 3 luego ocurre una reducción de un 42% aproximadamente en el punto 7 en relación a las raíces mayores de 2 mm se observa que incrementa en un 58 % en aproximadamente. En las profundidades de 10-20 cm se denota un incremento de un 50 % en la cantidad de raíces existentes en los puntos 2 y 3, en el punto 7 se aprecia un mayor incremento de hasta un 60 % en las de diámetro mayor de 2 mm. En la profundidad de 20-30 cm hay un incremento de raíces de menores de 2mm en el punto 1, en el punto 2 hay un incremento de hasta un 58 % aproximadamente luego decrece en los puntos subsiguientes de hasta un 52 % en las raíces mayores de 2 mm. Estos resultados no muestran influencia significativa en las propiedades hidro-físicas este estudio se realizó para conocer el desarrollo biológico en los puntos en estudio.

3.2 Cuadro 9. Contenido de poros y raíces a diferentes profundidades en el suelo Masatepe 2014.

| Punto | Prof. (cm) | Contenido de raíces (mm) | | | Conteo de poros | | | |
|-------|---------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | Pocas < 2mm | Comunes >2mm | Muchas < 2mm | Pocos 0.5 mm | Comunes 1mm | Muchos 2 mm | Muchos 3 mm |
| 1 | 0-10 | 9 | 9 | - | 7 | 5 | 4 | 3 |
| | 10-20 | 6 | 9 | - | 5 | 3 | 4 | 3 |
| | 20-30 | 6 | 9 | - | 5 | 3 | 4 | 3 |
| 2 | 0-10 | 10 | 7 | - | 10 | 6 | 5 | 4 |
| | 10-20 | 12 | 8 | - | 11 | 7 | 3 | 5 |
| | 20-30 | 8 | 6 | - | 9 | 5 | 4 | 6 |
| 3 | 0-10 | 12 | 9 | - | 7 | 5 | 6 | 7 |
| | 10-20 | 12 | 8 | - | 11 | 8 | 5 | 5 |
| | 20-30 | 7 | 8 | - | 7 | 8 | 3 | 6 |
| 4 | 0-10 | 9 | 9 | - | 13 | 10 | 6 | 4 |
| | 10-20 | 9 | 9 | - | 8 | 5 | 5 | 5 |
| | 20-30 | 7 | 9 | - | 7 | 8 | 3 | 4 |
| 5 | 0-10 | 10 | 10 | - | 10 | 6 | 6 | 6 |
| | 10-20 | 9 | 8 | - | 8 | 7 | 4 | 5 |
| | 20-30 | 11 | 10 | - | 10 | 6 | 5 | 3 |
| 6 | 0-10 | 9 | 9 | - | 7 | 5 | 4 | 3 |
| | 10-20 | 6 | 9 | - | 5 | 3 | 4 | 3 |
| | 20-30 | 11 | 10 | - | 10 | 6 | 5 | 3 |
| 7 | 0-10 | 12 | 9 | - | 7 | 5 | 6 | 7 |
| | 10-20 | 12 | 8 | - | 11 | 8 | 5 | 5 |
| | 20-30 | 7 | 8 | - | 7 | 8 | 3 | 6 |
| 8 | 0-10 | 10 | 10 | - | 10 | 6 | 7 | 6 |
| | 10-20 | 9 | 8 | - | 8 | 7 | 4 | 5 |
| | 20-30 | 11 | 10 | - | 10 | 6 | 5 | 3 |
| 9 | 0-10 | 9 | 9 | - | 13 | 10 | 6 | 4 |
| | 10-20 | 9 | 9 | - | 8 | 5 | 5 | 5 |
| | 20-30 | 8 | 8 | - | 7 | 8 | 3 | 4 |

Basándonos en el Cuadro 9 resultante del conteo y clasificación de los poros respecto a las raíces existentes en el suelo se nota un incremento significativo de las raíces de < 2 mm y > 2 mm los cuales se incrementa considerablemente su abundancia en comparación con la abundancia de poros con sus diferentes diámetros, este comportamiento se observa claramente en las primeras tres calicatas y sus primeras dos profundidades pero no así en la última profundidad del perfil donde se observa un considerable descenso en la cantidad de raíces; es decir que los poros influyen significativamente ya que al momento que comienza el drenaje del suelo los primeros poros en drenar son los poros grandes. En este momento existe un punto en el cual el aire comienza a entrar dentro del agua retenida en los poros, este punto se denomina valor de entrada de aire, a este valor está asociado el valor de absorción. En el caso del cuarto punto se denota que el descenso en la cantidad de raíces respecto a los poros es en la profundidad intermedia en estudio (10-20 cm), no así en los puntos restantes donde se observa un comportamiento en el que la porosidad y las raíces se comporten similares. En el noveno punto se destaca la disminución en la cantidad de raíces y un incremento considerable de los poros bajo tales condiciones se destaca un bajo valor de K de acuerdo a los parámetros de la FAO (2009), adjuntos en los párrafos siguientes ya que el agua encuentra una cierta dificultad para circular en las partes superficiales en relación a la tensión aplicada.

4.2 Análisis comparativos de los métodos utilizados en la determinación Conductividad hidráulica

Cuadro 10. Análisis comparativos de los métodos de cálculo de Conductividad hidráulica (mm/hr) desarrollados por Ankeny (1991) y Zhang (1997)

| Punto | Ankeny et al (1991) | | | | Zhang (1997) | | |
|-------|---------------------|------------------|---------|-------|------------------|---------|--------|
| | tensión (cm) | Profundidad (cm) | | | Profundidad (cm) | | |
| | | 0 -10 | 10 - 20 | 20-30 | 0-10 | 10 - 20 | 20-30 |
| 1 | -0.5 | 1.918 | 1.572 | 1.443 | 14.130 | 6.200 | 12.381 |
| | -1 | 0.614 | 1.29 | 0.951 | 4.657 | 8.177 | 4.745 |
| | -2 | 0.548 | 0.682 | 0.512 | 3.642 | 4.509 | 3.496 |
| | -3 | 0.318 | 0.501 | 0.6 | 2.195 | 2.036 | 3.249 |
| | -4 | 0.434 | 0.269 | 0.364 | 1.920 | 2.682 | 3.687 |
| | -5 | 0.304 | 0.442 | 0.309 | 1.631 | 18.435 | 2.487 |
| | -6 | 0.33 | 0.4 | 0.366 | 2.273 | 2.059 | 1.85 |
| 2 | -0.5 | 1.444 | 2.213 | 1.651 | 14.889 | 12.996 | 12.416 |
| | -1 | 0.598 | 0.826 | 1.476 | 5.209 | 7.193 | 6.184 |
| | -2 | 0.58 | 0.559 | 0.391 | 3.050 | 3.510 | 5.349 |
| | -3 | 0.468 | 0.229 | 0.308 | 2.168 | 3.070 | 2.642 |
| | -4 | 0.315 | 0.287 | 0.349 | 2.622 | 2.637 | 2.707 |
| | -5 | 0.403 | 0.522 | 0.359 | 1.841 | 2.567 | 2.227 |
| | -6 | 0.277 | 0.488 | 0.361 | 1.789 | 2.201 | 1.750 |
| 3 | -0.5 | 1.725 | 1.824 | 1.801 | 11.152 | 13.821 | 12.668 |
| | -1 | 0.874 | 0.638 | 1.572 | 6.412 | 4.269 | 11.592 |
| | -2 | 0.797 | 0.276 | 0.862 | 4.657 | 2.792 | 6.505 |
| | -3 | 0.675 | 0.417 | 0.446 | 3.742 | 3.247 | 3.217 |
| | -4 | 0.462 | 0.302 | 0.572 | 3.026 | 2.622 | 3.203 |
| | -5 | 0.552 | 0.426 | 0.56 | 3.292 | 1.751 | 2.900 |
| | -6 | 0.434 | 0.475 | 0.339 | 2.196 | 2.230 | 2.252 |
| 4 | -0.5 | 1.456 | 1.619 | 1.654 | 12.753 | 13.235 | 12.279 |
| | -1 | 0.977 | 1.477 | 0.815 | 4.378 | 11.459 | 5.946 |
| | -2 | 0.465 | 0.781 | 0.64 | 4.022 | 6.185 | 1.374 |
| | -3 | 0.68 | 0.443 | 0.295 | 3.924 | 2.864 | 3.492 |
| | -4 | 0.317 | 0.534 | 0.308 | 1.921 | 2.661 | 2.646 |
| | -5 | 0.299 | 0.403 | 0.326 | 2.911 | 2.302 | 1.809 |
| | -6 | 0.325 | 0.441 | 0.399 | 1.501 | 1.733 | 1.242 |
| 5 | -0.5 | 1.724 | 1.619 | 1.789 | 14.186 | 12.520 | 12.522 |
| | -1 | 0.663 | 1.466 | 0.622 | 3.310 | 4.371 | 5.347 |
| | -2 | 0.473 | 0.745 | 0.388 | 4.063 | 4.128 | 2.450 |
| | -3 | 0.623 | 0.516 | 0.324 | 2.965 | 3.835 | 2.571 |
| | -4 | 0.564 | 0.54 | 0.744 | 2.799 | 2.304 | 2.226 |
| | -5 | 0.697 | 0.565 | 0.688 | 1.989 | 3.161 | 2.188 |
| | -6 | 0.437 | 0.441 | 0.45 | 2.102 | 1.942 | 2.425 |
| 6 | -0.5 | 1.603 | 1.693 | 1.442 | 14.130 | 9.864 | 12.512 |
| | -1 | 0.599 | 0.868 | 0.912 | 4.658 | 7.440 | 6.382 |
| | -2 | 0.511 | 0.628 | 0.711 | 3.642 | 3.462 | 1.882 |
| | -3 | 0.324 | 0.385 | 0.333 | 2.195 | 2.325 | 4.246 |
| | -4 | 0.286 | 0.235 | 0.282 | 1.921 | 2.271 | 3.324 |
| | -5 | 0.303 | 0.344 | 0.257 | 1.632 | 2.135 | 2.388 |
| | -6 | 0.332 | 0.341 | 0.384 | 2.273 | 2.034 | 1.662 |

| | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 7 | -0.5 | 1.513 | 1.591 | 1.747 | 11.152 | 13.821 | 12.668 |
| | -1 | 0.864 | 0.625 | 1.634 | 6.412 | 4.269 | 11.592 |
| | -2 | 0.633 | 0.255 | 0.68 | 4.657 | 2.792 | 6.505 |
| | -3 | 0.281 | 0.722 | 0.465 | 3.742 | 3.247 | 3.217 |
| | -4 | 0.385 | 0.362 | 0.248 | 3.026 | 2.622 | 3.203 |
| | -5 | 0.394 | 0.415 | 0.468 | 3.292 | 1.751 | 2.900 |
| | -6 | 0.368 | 0.297 | 0.391 | 2.196 | 2.230 | 2.252 |
| 8 | -0.5 | 1.454 | 1.407 | 1.662 | 14.186 | 12.520 | 12.522 |
| | -1 | 0.445 | 0.935 | 0.935 | 3.310 | 4.371 | 5.347 |
| | -2 | 0.434 | 0.573 | 0.517 | 4.063 | 4.128 | 2.450 |
| | -3 | 0.351 | 0.54 | 0.324 | 2.965 | 3.835 | 2.571 |
| | -4 | 0.309 | 0.334 | 0.305 | 2.799 | 2.304 | 2.226 |
| | -5 | 0.255 | 0.301 | 0.283 | 1.989 | 3.161 | 2.188 |
| | -6 | 0.388 | 0.326 | 0.391 | 2.102 | 1.942 | 2.425 |
| 9 | -0.5 | 1.454 | 1.815 | 1.63 | 12.638 | 15.480 | 12.279 |
| | -1 | 0.977 | 1.563 | 0.90 | 8.183 | 9.815 | 5.946 |
| | -2 | 0.476 | 0.709 | 0.744 | 3.234 | 5.675 | 1.374 |
| | -3 | 0.59 | 0.45 | 0.303 | 4.389 | 2.367 | 3.492 |
| | -4 | 0.54 | 0.211 | 0.308 | 1.967 | 1.539 | 2.646 |
| | -5 | 0.281 | 0.377 | 0.299 | 3.131 | 2.053 | 1.809 |
| | -6 | 0.283 | 0.362 | 0.324 | 2.053 | 1.889 | 1.242 |

En los puntos 8 y 9 se observa que los valores de conductividad hidráulica además de influir en la distribución de las aguas en el perfil del suelo, contribuyen de igual manera a elevar el grado de erosión al aumentar las aguas de escorrentía por una disminución de la capacidad de infiltración. Basado en los resultados obtenidos en nuestro estudio se encuentra una variación significativa entre la metodología de Ankeny (1991), con relación a la de Zhang (1997), en las que se observa una reducción en los valores de K en la primera metodología evaluada ya que Zhang toma en cuenta la **sorptividad** del suelo que no es más que la medida de la habilidad del suelo de absorber agua durante el proceso de humedecimiento. En general cuando mayor sea el valor de K mayor será el volumen de agua que puede ser absorbida y de forma más rápidas. Se denotan que conforme se incrementa la tensión mayor son los valores de K en ambas metodologías. De acuerdo a los resultados se denota más variabilidad en los primeros puntos de observación donde se evidencia una reducción en dichos valores en las profundidades de 10-20 cm y de 20-30 cm se destaca que en promedio la metodología de Zhang aumenta en promedio dos décimas en relación a Ankeny.

En el punto 4 se observa un aumento en los valores de K en la profundidad de 10-20 cm pero conforme se profundiza en el perfil se reducen dichos valores regresando a los valores normales de tendencia que se destacan en los puntos antes mencionados. En el punto 5 se observa una reducción significativa de los valores de K en ambas metodologías se destaca que cuando se llega a la profundidad de 10-20 cm se observa un incremento significativo y se reduce nuevamente en la profundidad de 20-30 cm en la metodología de Ankeny respecto a la de Zhang. En el perfil número 6 se observa que los valores de K procesados por el método de Ankeny sufre un incremento considerable en la profundidad de 10-20 cm.

Sin embargo ocurre una reducción en la profundidad de 20-30 cm situándose así en un rango cercano a los valores encontrados en la profundidad de 0-10 cm, en relación en el valor de Zhang los valores más altos de conductividad hidráulica se ponen de manifiesto en la profundidad de 0-10 cm ya que en la profundidad de 10-20 cm ocurre un descenso considerable en el valor de K y en la profundidad de 20-30 cm se observa un nuevo aumento en la K no incrementa al punto de equipararse a los valores de la primera profundidad. En los perfiles 7,8 y 9 se observa que los valores de conductividad hidráulica mantienen la misma tendencia con relación a los otros puntos de observación mencionados anteriormente ya que los suelos en estos puntos se encuentran bajo las mismas condiciones edafo climáticas por tal razón no se observan cambios demasiado significativos en dichos valores. La representación gráfica de las curvas de infiltración Anexo 1.

4.3 Análisis estadístico

Cuadro 11. Análisis estadístico de los puntos de observación

| Punto | Ankeny et al (1991) | | | Zhang (1997) | | | |
|-------|---------------------|-------|---------|--------------|--------|---------|--------|
| | Prof.(cm) | 0 -10 | 10 a 20 | 20-30 | 0-10 | 10 a 20 | 20-30 |
| 1 | Media | 0.638 | 0.737 | 0.649 | 4.35 | 6.3 | 4.529 |
| | Máximo | 1.918 | 1.572 | 1.443 | 14.13 | 18.435 | 12.381 |
| | Mínimo | 0.304 | 0.269 | 0.309 | 1.631 | 2.036 | 1.658 |
| | Desv. est | 0.577 | 0.497 | 0.412 | 4.444 | 5.82 | 3.595 |
| | CV | 0.904 | 0.675 | 0.635 | 1.022 | 0.924 | 0.794 |
| 2 | Media | 0.584 | 0.732 | 0.699 | 4.510 | 4.882 | 4.754 |
| | Máximo | 1.444 | 2.213 | 1.651 | 14.889 | 12.996 | 12.416 |
| | Mínimo | 0.277 | 0.229 | 0.308 | 1.789 | 2.201 | 1.75 |
| | Desv. est | 0.398 | 0.682 | 0.593 | 4.724 | 3.957 | 3.768 |
| | CV | 0.683 | 0.931 | 0.848 | 1.048 | 0.81 | 0.793 |
| 3 | Media | 0.788 | 0.623 | 0.87 | 4.925 | 4.39 | 6.048 |
| | Máximo | 1.725 | 1.824 | 1.801 | 11.152 | 13.821 | 12.668 |
| | Mínimo | 0.434 | 0.276 | 0.339 | 2.196 | 1.751 | 2.252 |
| | Desv. est | 0.445 | 0.543 | 0.578 | 3.06 | 4.234 | 4.382 |
| | CV | 0.564 | 0.872 | 0.658 | 0.621 | 0.964 | 0.724 |
| 4 | Media | 0.646 | 0.814 | 0.634 | 4.487 | 5.777 | 4.113 |
| | Máximo | 1.456 | 1.619 | 1.654 | 12.753 | 13.235 | 12.279 |
| | Mínimo | 0.299 | 0.403 | 0.295 | 1.501 | 1.733 | 1.242 |
| | Desv. est | 0.434 | 0.518 | 0.491 | 3.805 | 4.738 | 3.95 |
| | CV | 0.673 | 0.637 | 0.774 | 0.848 | 0.82 | 0.961 |
| 5 | Media | 0.74 | 0.842 | 0.715 | 4.488 | 4.609 | 4.247 |
| | Máximo | 1.724 | 1.619 | 1.789 | 14.186 | 12.52 | 12.522 |
| | Mínimo | 0.437 | 0.441 | 0.324 | 1.989 | 1.942 | 2.188 |
| | Desv. est | 0.444 | 0.489 | 0.499 | 4.335 | 3.605 | 3.816 |
| | CV | 0.6 | 0.582 | 0.698 | 0.966 | 0.782 | 0.898 |
| 6 | Media | 0.565 | 0.642 | 0.617 | 4.35 | 4.219 | 4.628 |
| | Máximo | 1.603 | 1.693 | 1.442 | 14.13 | 9.864 | 12.512 |
| | Mínimo | 0.286 | 0.235 | 0.257 | 1.632 | 2.034 | 1.662 |
| | Desv. est | 0.473 | 0.511 | 0.438 | 4.444 | 3.144 | 3.839 |
| | CV | 0.836 | 0.796 | 0.71 | 1.022 | 0.745 | 0.83 |
| 7 | Media | 0.634 | 0.61 | 0.805 | 4.925 | 4.39 | 6.048 |
| | Máximo | 1.513 | 1.591 | 1.747 | 11.152 | 13.821 | 12.668 |
| | Mínimo | 0.281 | 0.255 | 0.248 | 2.196 | 1.751 | 2.252 |
| | Desv. est | 0.436 | 0.465 | 0.619 | 3.06 | 4.234 | 4.382 |
| | CV | 0.688 | 0.763 | 0.77 | 0.621 | 0.964 | 0.724 |
| 8 | Media | 0.519 | 0.631 | 0.631 | 4.488 | 4.609 | 4.247 |
| | Máximo | 1.454 | 1.407 | 1.662 | 14.186 | 12.52 | 12.522 |
| | Mínimo | 0.255 | 0.301 | 0.283 | 1.989 | 1.942 | 2.188 |
| | Desv. est | 0.418 | 0.408 | 0.508 | 4.335 | 3.605 | 3.816 |
| | CV | 0.804 | 0.646 | 0.805 | 0.966 | 0.782 | 0.898 |
| 9 | Media | 0.657 | 0.784 | 0.644 | 5.085 | 5.545 | 4.113 |
| | Máximo | 1.454 | 1.815 | 1.63 | 12.638 | 15.48 | 12.279 |
| | Mínimo | 0.281 | 0.211 | 0.299 | 1.967 | 1.539 | 1.242 |
| | Desv. est | 0.422 | 0.64 | 0.5 | 3.943 | 5.302 | 3.95 |
| | CV | 0.642 | 0.642 | 0.776 | 0.775 | 0.956 | 0.961 |

La desviación estándar en cada uno de los puntos muestreados presenta una alta variabilidad en relación al método de Zhang, esto posiblemente puede ser debido a que el método de Zhang hace uso del factor de suelo. Sin embargo, dentro de cada método la diferencia siempre son mínima esta se ven disminuida en la medida que los micros poros y meso poros son saturados, aunque el movimiento del agua en los macros se pueda aumentar, más sin embargo la presencia de esto en profundidad del perfil del suelo disminuye considerablemente.

La presencia de abundantes meso y macro poros en el suelo permite que el flujo del agua en este se mueva con más rapidez en varia dirección dentro del perfil del suelo, o bien sobre algunas cavidades que se puedan encontrar producto de raíces muertas o conductos realizado por insectos contribuyendo significativamente a esta variabilidad de los valores de K en los diferentes puntos con las diferentes tensiones. Se destaca que se habla de infiltración ya que aunque no son parámetros iguales por medio de estos datos se puede conocer los valores de K ya que esta estudia la capacidad de fluir en diferentes direcciones del suelo mientras que la infiltración solo estudia el flujo vertical. Cuando el suelo llega al punto de saturación cesa el flujo vertical y comienza el horizontal por ende a partir de ese momento se puede conocer la conductividad hidráulica por esta razón se abordan el comportamiento de las curvas de infiltración por tensión.

V. CONCLUSIÓN

En la evaluación del movimiento del agua dentro de los perfiles de suelo mediante la utilización del mini disco infiltrómetro en condiciones de sombra se llegó a la conclusión que la conductividad hidráulica es mejor con el tratamiento orgánico intensivo ya que los porcentajes de MO contribuyen a la formación de agregados y por ende existe un mejor flujo de agua en el perfil de suelo.

Teniendo como resultado las gráficas de infiltración encontrándose que los puntos de observación 1, 2, 3 y 7 en sus diferentes profundidades presentan mayor presencia de macros y mesos poros por ende hay mejor circulación de agua y mayor desarrollo de raíces por la razón que existe mayor disponibilidad de agua y aire en el suelo. El parámetro de conductividad hidráulica es un valor que manifiesta una variabilidad elevada correspondiente a las condiciones climáticas como edáficas del sitio.

El método de Zhang se ajusta a la realidad ya que incorpora la condición de sortividad del suelo por lo que establece un valor de conductividad hidráulica entre moderada a alta en las muestras.

El método empleado por Zhang arroja valores de K más elevados con relación a los datos por el método de Ankeny ya que Zhang toma en consideración los factores físicos del suelo siendo más notoria su diferencia a medida que se profundiza en el perfil del suelo.

Estos valores de conductividad hidráulica obtenidos por ambos métodos no permiten determinar un moderado flujo del movimiento del agua dentro del suelo lo que implica una reducción del efecto de erosión del suelo a causa del agente erosivo como es el agua.

VI. RECOMENDACIONES.

- Realizar pruebas de conductividad hidráulica en todos los tratamientos de sobre sombra y a pleno sol en el ensayo general del sistema agroforestal con café.
- Efectuar estudios edáficos del ensayo para actualizar la información del mismo.
- Establecer pruebas de conductividad hidráulica con otros métodos a fines que nos permitan a justarlo a las condiciones tropicales.
- Aplicar la metodología de la curva número ya que se introduce la clasificación hidrológica de los suelos.
- Realizar estudio sobre el sodio en el suelo a fin de conocer el SAR y PSI ya que este valor influye en los valores de K.
- Realizar graficas de K para conocer el comportamiento de esta de una forma más detallada.
- Se recomienda la realización de un ANDEVA a los datos de K obtenidos por ambos métodos ya descritos.

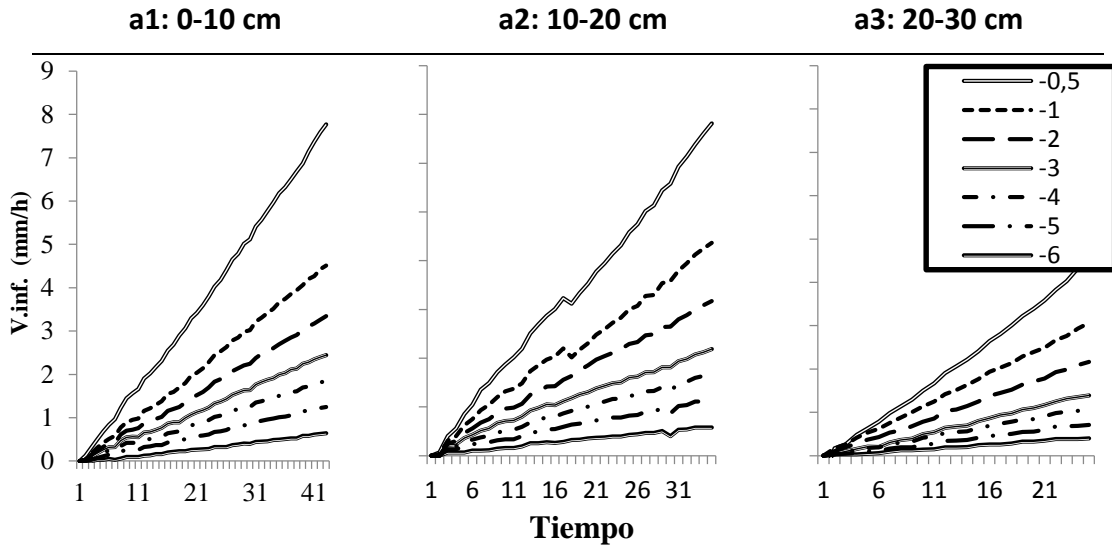
VII. LITERATURA CITADA

- Aoki A, 2005 Comparación de Metodologías de Cálculo de Propiedades Hidráulicas de un Suelo a Partir de Datos Medidos con Infiltrómetro de Disco
- Anon., 1980. A closed-form Equation for predicting the hydraulic Conductivity of unsaturated soils. *SoilScienceSociety of América*, 44(5), p. 8.
- Álvarez Benedi J Variabilidad espacial de la Conductividad Hidráulica saturada en suelos de Oliva y su influencia en Balance Hidrológico Global. *Estudios de la zona no saturada del suelo*, Volumen VI, p. 6
- C. Coello¹, B. De Bièvre¹, E. Pacheco¹, P. Cisneros¹, s.f. Análisis de métodos de estimación de la conductividad hidráulica en suelos degradados. p. 19.
- Celio, Chagas, Raúl A. Díaz, Luis A. Leima, Oscar, Santanotoglia, 1988. Determinación de la conductividad hidráulica de un suelo utilizando el método de flujo de aire caliente. 6(2), p. 7.
- Casanova, M., Messing, I. and Joel, A. 2000. Influence of aspect and slope gradient on hydraulic conductivity measured by tension infiltrometer *Revista Hydrological Processes* 14 (1): 155-164 Año: 2000
- Cook FJ, Broeren A (1994). Six methods for determining sorptivity and hydraulic conductivity with disc permeameters. *Soil Sci.*, 157: 2-11. Erick DE, Robin MJ (1981). Estimating the sorptivity of soils. *Soil Sci.*, 132:127-132.
- DVWK, 1984. Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlags- Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Regel 113.
- Donado Garzon L et, al. 2004 Colombia Universidad Nacional de Bogota Modelo de conductividad hidraulica en diferentes suelos.
- Enríquez R, Orozco O, 2011. Conductividad hidráulica en diferentes suelos de San José de los remates Boaco. Tesis para optar al grado de ingeniero agrónomo Managua septiembre 2011.
- FAO., 2009 Guia para descripcion de suelos
- Guharay, f.; Monterrey, j.; Monterroso, d. & Staver, ch. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo de café. 1era Edición. Ediciones CATIE. Managua. 272 p
- González A. *et al* 2007 Evaluación de la incidencia natural de *Beauveria bassiana* (Bals)Vuill, sobre *Hypothenemus hampei* (Ferrari) y *Leucoptera coffeella* (Guérin-Ménéville) en el cultivo de café en dos zonas cafetaleras de Nicaragua.

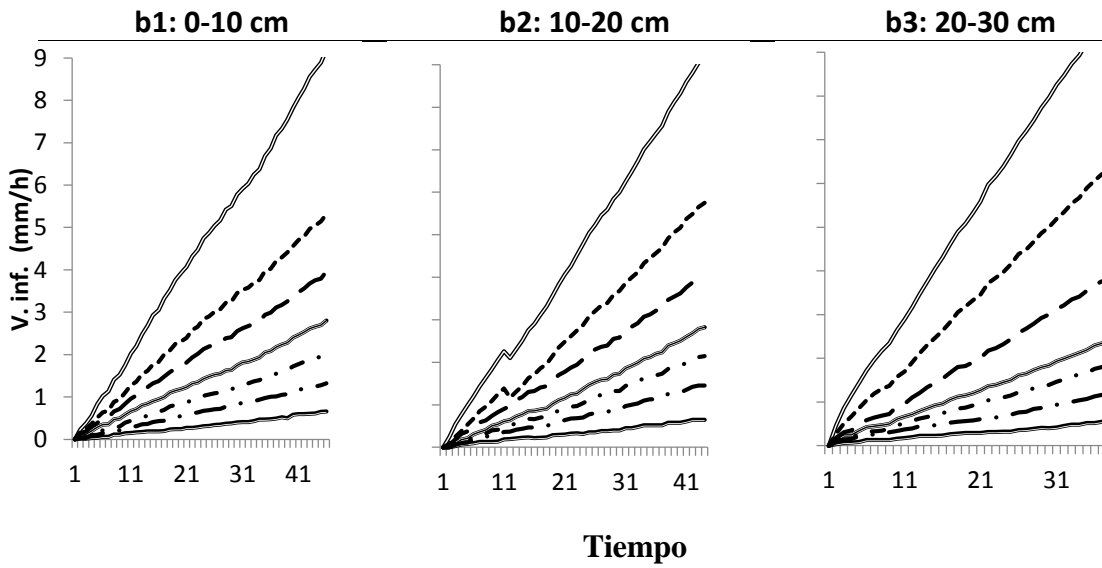
- Joel, A.; Messing, I. 2000. Application of two methods to determine hydraulic conductivity with disc permeameters on sloping land. *European Journal of Soil Science*, Volumen 51, Number 1, March 2000, pp. 93-98(6)
- Madriz Salinas J et al. 2001. estudio de la fenología del café (*Coffea Arabica L.*) para el buen manejo de la finca .- Managua : Universidad Nacional Agraria ,
- Prieto, B. Tamara, R. 2006. Comparación de dos métodos de campo. *Revista Temas Agrarios* Volumen 11 N°2- Julio/Diciembre de 2006. Facultad de Ciencias Agrícola Universidad de Córdoba Colombia. ISSN: 0122-7610. Pp36-44
- Pizarro r t. módulo 3 curvas de infiltración int 2005. Sociedad estándares de ingeniería para aguas y suelo
- Reichardt, 1985. El consumo de agua estimado en cultivo de café para la región de Piracicaba a través del método de balance de agua
- Reichardt, k. 1985. Procesos de transferencia no sistema solo-planta-atmosfera. 4ed. piracicaba. fundação cargill. 445p.
- Ruiz Sinoga J.D et.al 2003, Determinacion de la conductividad hidráulica en laderas mediante el uso de infiltrometro minidisco. - Malaga : Universidad De Malaga.
- Sanchez A. Marzo 2009. Conductividad Hidraulica en diferentes departamentos de Boaco. - Managua: tesis para optar a titulo de ing agronomo Universidad Nacional Agraria.
- Saunders, I; libardi, p & reichardt, k. 1978. Conductividad hidráulica of terra roxa estructurada em condições de campo. *r. bras. ci. solo, campinas*, 2: 164-7.
- Santiago M. Reyna Ph.D. - 2006 Interaccion de los procesos de escorrentia e infiltración.
- USDA 1993, Soil Survey Manual Agricultural Handbook No.18
- Wooding, R.A. 1968. Steady infiltration from a shallow circular pond. *Water Resour. Res.* 4:1259-1273.
- W. D. Reynolds and D. E. Elrick Determination of Hydraulic Conductivity Using a Tension Infiltrometer
- Weinzettel P.A. 2001. determminacion del flujo de macroporos en suelos argiudoles en la cuenca del arrolloazul Argentina . arrolloazul.

Anexos

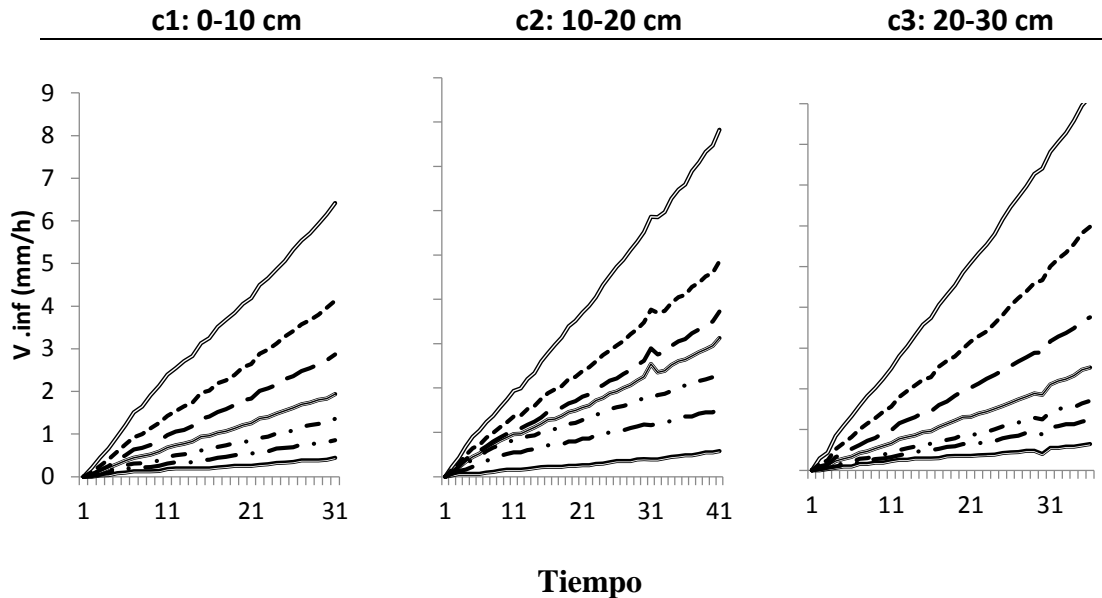
Anexo 1. Punto 1 SGTR CI La parcela 12 en el segundo surco



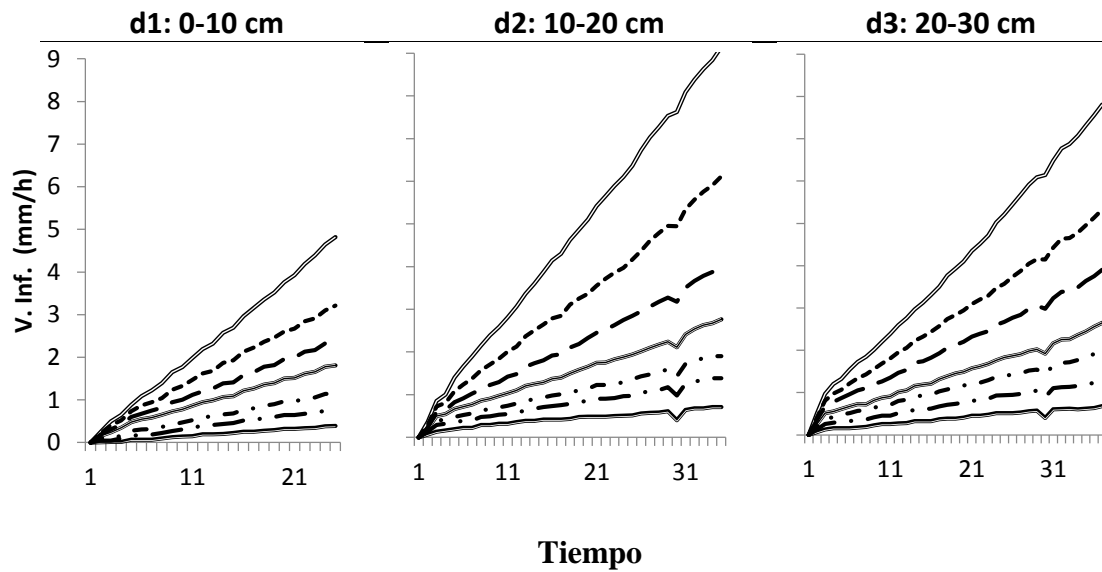
Anexo2. Punto 2 SGTR CI La parcela 12 en el surco tres



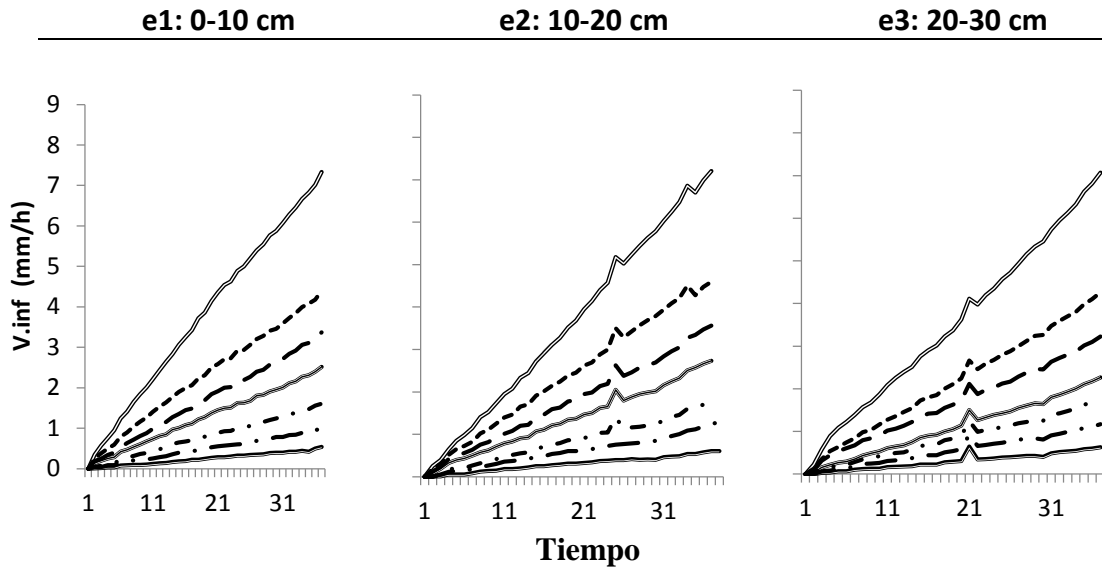
Anexo 3. Punto 3 SGTR OI La parcela 11 en el surco seis



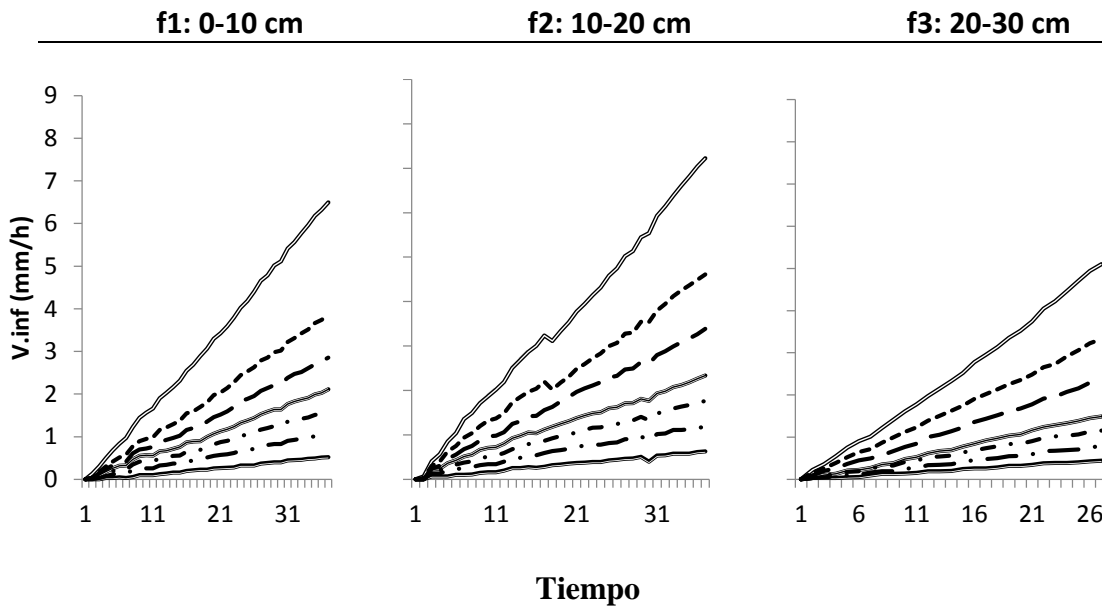
Anexo 4. Punto 4 SGTR OI La parcela 11 en la Surco 11



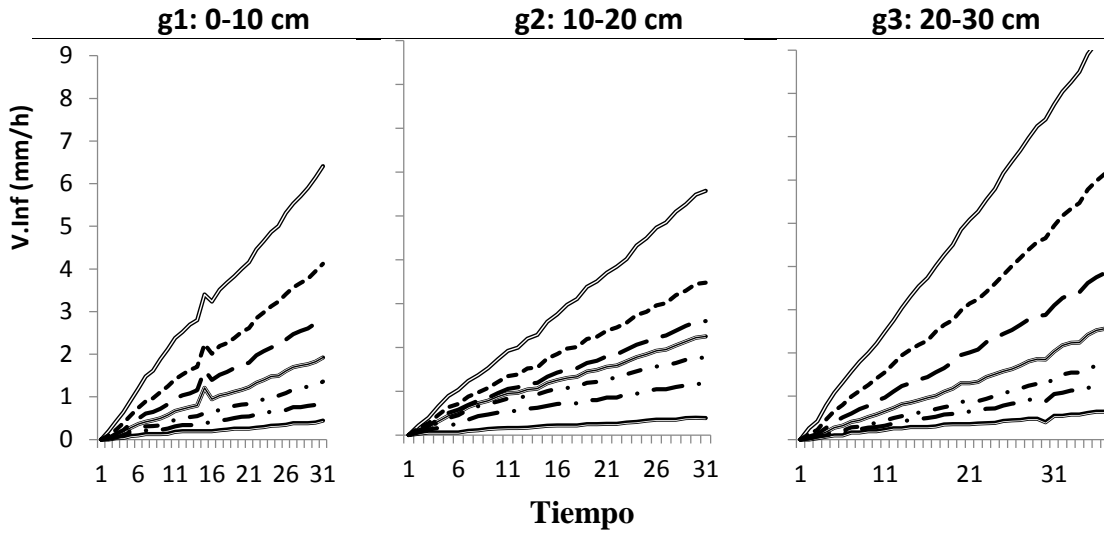
Anexo 5. Punto 5 SGTR CI La parcela 10 surco cuatro



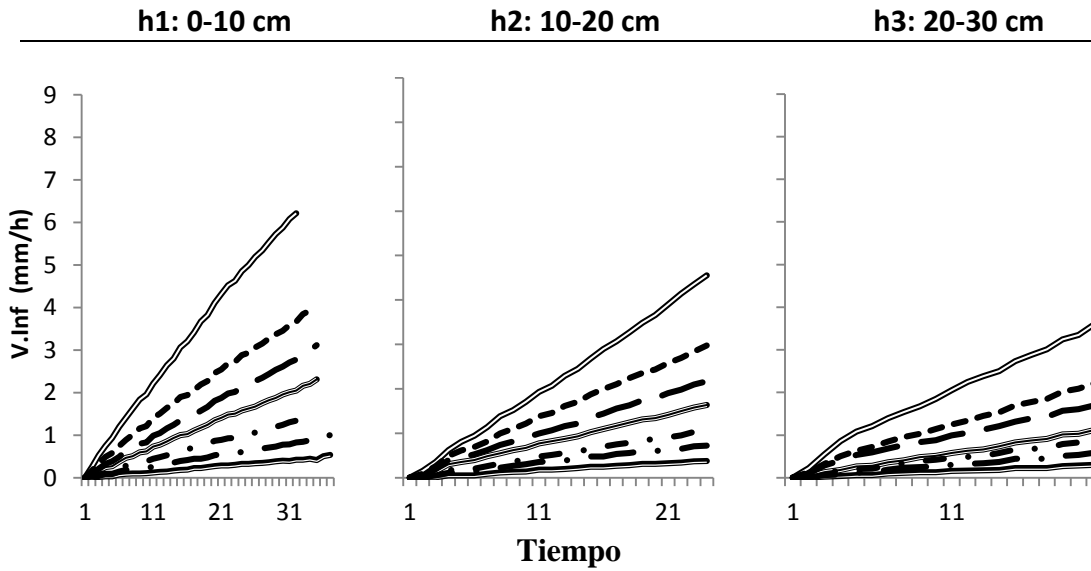
Anexo 6. Punto 6 SGTR CI La Parcela 10 Surco 2



Anexo 7. Punto 7 SGTR CI La parcela 10 Surco 3



Anexo 8. Punto 8 SGTR OI La parcela 9 Surco 2



Anexo 9. Punto 9 SGTR OI La parcela 9 surco 4

