



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**Facultad de Agronomía**  
**Departamento de Ingeniería Agrícola**

**Trabajo de Graduación**

**CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN DIFERENTES  
SUELOS EN EL DEPARTAMENTO DE BOACO**

**Autor: Br. Adriana María Sánchez**

**Asesor: Ing. Msc. Gerardo Murillo**

**Managua, Nicaragua**  
**Marzo 2009**

## **DEDICATORIA**

Ni siquiera yo puede sentir el grado de satisfacción que este producto genera en la vida de mi madre. Muchos años y muchos acontecimientos han sucedido hasta este momento.

Pueda ser un tanto egoísta de mi parte no incluir a nadie más. Pero todo lo que he sido, lo que soy y seré se lo debo al ser extraordinario que Dios encomendó la tarea de ser mi madre.

Esta es tu labor mamá.

## AGRADECIMIENTOS

Son muchos los nombres que deberían estar presentes en esta página.

Gracias:

A cada persona que ha formado parte de mi vida.

A aquellos que creyeron en mí y con una palmada en el hombro me animaron a seguir adelante. De igual forma a los que pensaron que fallaría, gracias por incitarme a mantener fiel mis propósitos y poner a prueba la fe en mi misma.

A mis maestros, cada uno de ellos. Desde mis primeras letras hasta el día de hoy. Siempre han sido un modelo a seguir. Al Ing. Gerardo Murillo por apoyarme durante la realización de este trabajo y darme la oportunidad de crecer como profesional. A todas mis amigas de Dirección de Docencia en la UNA gracias a cada una por su contribución en mi formación integral.

A amigos, son la familia que Dios nos permite escoger.

Gracias Dios y a la Madre Tierra por darme tanto y pedir tan poco a cambio.

Lo mismo digo a ti Mamá y a ti Santos, gracias por amarme tanto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
INDICE DE CONTENIDO.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRAC.....	ix
<b>I INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
	3
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 Localización y descripción del sitio.....	3
2.2 Descripción de perfil y clasificación de suelos.....	4
2.3 Equipos.....	4
2.3.1 Infiltrómetro de mini disco.....	4
2.3.2 Infiltrómetro de doble cilindro.....	5
2.4 Pruebas de infiltración de campo.....	5
2.5 Análisis de datos.....	6
2.5.1 Infiltrómetro de mini disco.....	6
2.5.2 Infiltrómetro de doble cilindro.....	8
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>9</b>
3.1 Clasificación de suelos.....	9
3.1.1 Municipio de Boaco.....	9
3.1.1.1 Toposecuencia 1.....	9
3.1.1.2 Toposecuencia 2.....	17
3.1.2 Municipio de Santa Lucía.....	22
3.1.2.1 Toposecuencia 5.....	23
3.1.2.2 Toposecuencia 6.....	29
3.2 Conductividad Hidráulica.....	32

**V CONCLUSIONES..... 41**

**VI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS ..... 43**

**VII ANEXOS..... 45**

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del perfil 1. Vertic Argiustolls .....	11
Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del perfil 2. Vertic Haplustolls .....	14
Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas del perfil 3. Vertic Haplustolls .....	16
Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas del perfil 4. Typic Haplustolls.....	18
Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del perfil 5. Typic Haplustolls.....	20
Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas del perfil 6. Vertic Haplusterts .....	22
Cuadro 7. Propiedades físicas y químicas del perfil 13. Typic Haplusterts.....	24
Cuadro 8. Propiedades físicas y químicas del perfil 14. Typic Haplusterts.....	26
Cuadro 9. Propiedades físicas y químicas del perfil 15. Typic Haplusterts.....	28
Cuadro 10. Propiedades físicas y químicas del perfil 16. Typic Haplusterts.....	30
Cuadro 11. Valores de infiltración básica y conductividad hidráulica no saturada para la toposecuencia 1.....	33
Cuadro 12 Valores de infiltración básica y conductividad hidráulica no saturada para la toposecuencia 2.....	34
Cuadro 13 Valores de infiltración básica y conductividad hidráulica no saturada para la toposecuencia 5.....	35
Cuadro 14 Valores de infiltración básica y conductividad hidráulica no saturada para la toposecuencia 6.....	37
Cuadro 15 Valores de infiltración básica y conductividad hidráulica saturada obtenida con el doble cilindro .....	33

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Infiltrómetro de minidiscos.....	4
Figura 1. Perfil 1, Toposecuencia 1 Boaco .....	10
Figura 2. Perfil 2, Toposecuencia 1 Boaco .....	13
Figura 3. Perfil 3, Toposecuencia 1 Boaco .....	16
Figura 4. Perfil 4, Toposecuencia 2 Boaco .....	18
Figura 5. Perfil 5, Toposecuencia 2 Boaco .....	20
Figura 6. Perfil 6, Toposecuencia 2 Boaco .....	22
Figura 7. Perfil 13, Toposecuencia 5 Santa Lucía .....	24
Figura 8. Perfil 14, Toposecuencia 5 Santa Lucía .....	26
Figura 9. Perfil 15, Toposecuencia 5 Santa Lucía .....	28
Figura 10. Perfil 16, Toposecuencia 5 Santa Lucía .....	30

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Valores de infiltración básica (Inf. Básica mm/h) y conductividad hidráulica no saturada ( $K_{nosat}$ mm/ h) por potenciales de presión (-cm) por perfiles.....	45
Anexo 2.	Infiltración básica (Inf. Básica mm/h) y conductividad hidráulica ( $K_{sat}$ mm/h) saturada por perfiles obtenida con doble cilindro.....	51
Anexo 3.	Clases de conductividad saturada. Soil Survey Manual (1993).....	52
Anexo 4.	Formato de campo para descripción de perfiles.....	53
Anexo 5.	Parámetros texturales de van Genuchten para 12 clases de suelos...	55
Anexo 6.	Ejemplo de cálculo de conductividad hidráulica no saturada.....	56
Anexo 7.	Ejemplo de cálculo de conductividad hidráulica saturada.....	57

## RESUMEN

La erosión del suelo y los factores que en ella influyen han sido estudiados a nivel mundial, en Nicaragua la necesidad de reconocer la influencia e impacto de los factores que interviene en el proceso de erosión es de gran necesidad, tanto para la generación de tecnología propia para condiciones tropicales que permita la reducción del proceso de erosión y el aprovechamiento del agua. Así como, el análisis de las inadecuadas medidas y manejo de protección de los recursos suelo y agua que se implementan en la actualidad. La conductividad hidráulica es un factor importante que determina el movimiento del agua en el suelo, estrechando una íntima relación con el escurrimiento superficial. Este estudio tiene como objetivo evaluar el desempeño de la metodología del infiltrómetro de tensión de minidiscos, comparado con el infiltrómetro de doble cilindro para determinar la conductividad hidráulica (K) en condiciones de laderas en los municipios de Boaco y Santa Lucia. La obtención de conductividad hidráulica no saturada se realizó por medio de dos metodologías Ankeny *et al*; (1991) y Zhang (1997). La conductividad hidráulica a saturación se obtuvo mediante el infiltrómetro de doble cilindro utilizando la ecuación de Reynolds (2002). Los diversos valores obtenidos, remarcan el carácter variable de este parámetro. El doble cilindro presentó valores bajos si se comparan con los datos de la tensión más cercana a saturación. Los datos de conductividad generados por las ecuaciones de Ankeny y Zhang presentaron diferencias ya que los primeros fueron en promedio dos veces mayor. El método infiltrómetro de tensión de mini disco resulta ser más práctico en términos de su facilidad, tiempo, número de operarios, número de repeticiones, consumo de agua especialmente en zonas de difícil acceso y sobre todo que las pruebas son realizadas en condiciones naturales del suelo lo cual permite mayor confiabilidad del método.

**Palabras claves:** Conductividad hidráulica (K), Infiltrómetro de tensión de disco, Infiltrómetro de anillo, escurrimiento superficial, infiltración

## ABSTRACT

Soil erosion and factors that affect it has been widely studied. However, in Nicaragua is necessary to recognize the influence of these factors to generate appropriate technologies for tropical conditions that allows the reduction of erosion process and a better water management. Hydraulic conductivity is an important factor in the water movement into the soil, linked to the surface runoff that has a close relationship to the erosion process. . The purpose of this study was evaluate the mini disc infiltrometer performance against the double ring to determinate the hydraulic conductivity on sloping lands of Boaco and Santa Lucia municipalities, soil profile description and infiltration measurement were made in high, medium and low parts of the slope. To estimate unsaturated hydraulic conductivity was used two methods Ankeny *et al* (1991) and Zhang (1997), saturated hydraulic conductivity was calculated by Reynolds's solution (2002). The coefficients of variation were 3.9%-119.6%, 4.9%-143.1% and 58%-160.8% for Ankeny *et al*, Zhang and double ring. Double ring values were lower than mini disc values. Ankeny et al values were twice larger than Zhang. The mini disc infiltrometer method was practical, easy to use and carry, gives more chances to replicate the measurement with small water spend, and keep the natural condition of soil better than double ring.

## I. INTRODUCCIÓN

La conductividad hidráulica del suelo es una propiedad que se relaciona con el movimiento del agua hacia las raíces de las plantas, la entrada del agua en el suelo y el flujo de agua de drenaje, entre otras situaciones Dirksen (1999). Las características del suelo que afectan a la conductividad hidráulica son la porosidad total, la distribución de poros, su tamaño y geometría. También afecta las propiedades del fluido como la viscosidad y densidad, además del gradiente hidráulico (Baver y Garner 1973 citado por Nissen *et al* 2006). Es una propiedad que caracteriza a los suelos aunque no siempre su valor se mantenga constante, ya que es dependiente de propiedades tales como la agregación y estructura del suelo siendo un parámetro espacial y temporalmente variable en el suelo.

La determinación de la conductividad hidráulica *in situ* 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.

La zona de estudio es un importante afluente al embalse de las Canoas que en los últimos años ha presentado una reducción de su área considerablemente, ocasionado por un mal manejo de la cuenca. Además de poseer una topografía escarpada que la hace más susceptible al fenómeno de erosión hídrica y por consiguiente a la degradación del suelo es un objetivo de dicha investigación conocer la capacidad de los suelos bajo estudios de infiltrar el agua aportada por las frecuentes precipitaciones y el efecto de la escorrentía superficial en los problemas antes mencionados.

Diversos valores de conductividad saturada y no saturada fueron obtenidos en las zonas de prueba, por lo cual estos deberán ser considerados de manera local en condiciones similares.

## II. OBJETIVOS

### Objetivo General

Determinar el valor de conductividad hidráulica en los transectos ubicados en el municipio de Boaco y Santa Lucia, por el método del Infiltrómetro de mini discos y doble cilindro en condiciones de suelos no saturados.

### Objetivos específicos

- Comparar los valores de conductividad hidráulica obtenidos por las ecuaciones de Ankeny *et al* (1968) y Zhang (1997).
- Observar la variación espacial de la conductividad hidráulica a través de las variaciones del gradiente topográfico y dentro del perfil de suelo descrito.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 Localización y descripción del sitio de los experimentos**

Las pruebas se realizaron en el Departamento de Boaco en laderas bajo estudios de pérdida de suelo, realizándose las descripciones de perfil y pruebas de infiltración en toposecuencia; parte alta, media y baja de ladera. En el periodo comprendido entre Enero y Octubre 2007.

En el Municipio de Boaco se localizan las toposecuencia 1 y 2 entre las coordenadas 12°28'09" latitud norte y 85°44'05" longitud oeste en el Barrio La Bombilla, se caracteriza por tener un clima semi-húmedo de sabana tropical con temperatura entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varía entre los 1000 y 1200 mm.

Las toposecuencias 5 y 6 se localizan en el Municipio de Santa Lucía, en las comunidades de El Llanito y El Riego, entre las coordenadas 12°32'98.30 de latitud norte, 85°43'913.10 longitud oeste y 12°30'948.80 latitud norte, 85°43'922.20 longitud oeste respectivamente con clima semi húmedo, la temperatura anual promedio oscila entre los 25° y 26°C, la precipitación pluvial anual es de 1000 a 1600 mm.

#### **2.2 Descripción de perfil y clasificación de suelos**

La descripción de perfiles fue realizada en toposecuencia, en la zona alta, media y baja de las laderas a fin de observar las variaciones de suelo debido a la diferencia de gradiente topográfico. La descripción en campo fue realizada siguiendo los parámetros establecidos por la Guía para descripción de perfiles FAO 2006 y la clasificación taxonómica a nivel de sub orden fue elaborada acorde a la Clave para la taxonomía de suelos USDA 2006. Dicha descripción es una herramienta útil que permite reconocer a este nivel los procesos de formación de suelos, sus características y dinámica del comportamiento biológico que se pueden presentar en el perfil del suelo ante el paso del agua a través de él.

## 2.3 Equipos

### 2.3.1 Infiltrómetro de mini disco

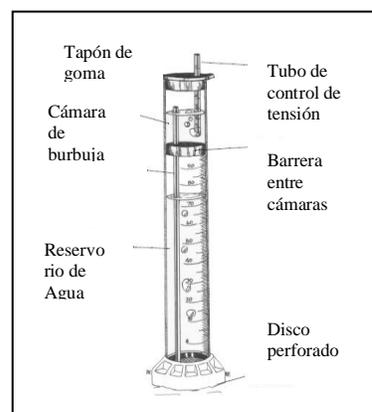
El infiltrómetro de mini disco consiste en un tubo de ensayo de 32.7 cm. de longitud y 3.1 cm. de diámetro. En la parte superior se encuentra un tapón de goma con un capilar graduado en centímetros para determinar la succión a utilizar. En su parte inferior posee un disco de acero inoxidable de 4.5 de diámetro y 3mm 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.

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 anillos de plástico de 2mm 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 menor, por tanto la fuerza vertical creada entre por la cohesión y la tensión superficial es menor, al ir disminuyendo las tensiones hasta -6.0 cm. la fuerza vertical incrementa.



**Figura 1. Diagrama de Infiltrómetro**

Considerando al suelo como un conjunto interconectado de tubos capilares de diferente diámetro, cuando el agua del infiltrómetro empieza a circular sólo se llenarán 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

### **2.3.2 Infiltrómetro de doble cilindro**

Los anillos infiltrómetros consisten de un juego de dos anillos de 25 cm de alto. El exterior de 55 cm. de diámetro y el interior de 35 cm. de diámetro; una boya con una escala graduada en cm. y mm para realizar las mediciones. La profundidad a la que penetraron los anillos fue de 15 cm.

### **2.4 Pruebas de infiltración en campo**

En cada locación, se realizaron pruebas en la zona alta, media y baja de las laderas. En el caso del infiltrómetro de mini disco se realizaron tres repeticiones en cada punto de muestreo por horizonte a diferentes potenciales de succión: -0.5 cm., -1.0 cm., -2.0 cm., -3.0 cm., -4.0 cm., -5.0 cm. y -6.0 cm. de columna de agua. Iniciando en el potencial de -6.0 cm. El tiempo requerido para la prueba es de 2 horas y 40 minutos distribuido en 30 minutos para potenciales de -6.0 cm., -5.0 cm. y -4.0 cm. cada uno; 20 minutos para potencial de -3.0 cm. y -2.0 cm. cada potencial y 15 minutos en el caso de los potenciales -1.0 cm. y -0.5 cm. Cook y Broeren (1994) citado por Prieto *et al* (2006) sugieren que los potenciales se establezcan en orden ascendente terminando siempre con el potencial de saturación al objeto de reducir los efectos de histéresis.

Las pruebas con los infiltrómetros de doble cilindro contemplaron tres repeticiones por punto de muestreo además de las realizadas en cada parcela de erosión, estos se insertaron en el suelo a una profundidad de 15 cm., se llenó con agua tanto el anillo interior como el exterior para proceder a medir las tasas de infiltración. Los primeros 60 minutos las lecturas se realizaron a cada minuto, para luego realizarlas cada 5 minutos por 30 minutos más y luego cada 10 minutos hasta completar las 2 horas o hasta alcanzar un flujo casi estacionario.

## 2.5 Análisis de datos

Con los datos obtenidos en campo se calculó la conductividad hidráulica a saturación utilizando las ecuaciones desarrolladas para cada método.

### 2.5.1 Infiltrómetro de mini discos

Se determinó la conductividad hidráulica por dos métodos, el primero propuesto por Zhang (1997), ajustado a la siguiente función:

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t}$$

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

$$K = \frac{C_1}{A}$$

En la cual  $C_1$  es la infiltración básica y el parámetro A se obtiene de:

$$A = \frac{11.65 \alpha^{0.1} - 1 \exp \left[ 1.92 \alpha - 1.9 \alpha h_o \right]}{r_o^{0.91}} \quad n \geq 1.9$$

$$A = \frac{11.65 \alpha^{0.1} - 1 \exp \left[ 1.5 \alpha - 1.9 \alpha h_o \right]}{r_o^{0.91}} \quad n < 1.9 \quad (3)$$

Donde  $n$  y  $\alpha$  son los parámetros de Van Genuchten para el suelo,  $r_o$  es el radio del disco, y  $h_o$  es la succión en la superficie del disco.

El segundo método es el propuesto por Ankeny *et al* (1991) estima la conductividad hidráulica en campo  $K$ , a diferentes potenciales de presión  $\chi$  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:

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

Donde Q es el flujo volumétrico en estado estacionario, r es el radio de la fuente circular y  $\alpha$  es una 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 ( $\chi$ ) (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):

$$K = K_s \exp\left(-\frac{\chi}{\alpha}\right) \quad (5)$$

Donde  $K_s$  es la conductividad hidráulica saturada en el campo ( $L T^{-1}$ ),  $\alpha$  es una constante que relaciona el radio del infiltrómetro, la infiltración obtenida y la diferencia de tensión aplicada, y  $\chi$  es la presión del agua en el suelo (Reynolds & Elrick, 1991). Siendo entonces:

$$q = \left(1 + \frac{4}{\pi r \alpha}\right) \quad (6)$$

Donde q es el módulo de infiltración ( $L T^{-1}$ ), K es la conductividad hidráulica en el potencial de presión suministrado ( $\chi$ ) (L) y r es el radio de la superficie de infiltración (L). En la derivación de (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  $\alpha$  es constante entre dos potenciales consecutivos  $\chi_i$  y  $\chi_{i+1}$  tendremos:

$$\alpha_{i+\frac{1}{2}} = \frac{\ln\left(\frac{q_i}{q_{i+1}}\right)}{\psi_i - \psi_{i+1}} \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (7)$$

Siendo q la tasa de infiltración en estado estacionario ( $= Q/\pi r^2$ ), y n el numero de presiones aplicadas. Debe de notarse que  $\chi_i > \chi_{i+1}$  por tanto  $q_i > q_{i+1}$ , además las mediciones en campo debe hacerse en una secuencia ascendente. Despejando K en (5) se obtiene:

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

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

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

Los parámetros  $K$  y  $\alpha$  se estimaron a través de una regresión lineal de los datos de la tasa de infiltración haciendo uso de Mathcad PLUS 5.0.

### 2.5.2 Infiltrómetro de doble cilindro

El modelo utilizado fue el de Kostiakov (1932), que consiste en describir la infiltración del agua en el suelo con un modelo potencial ( $I_a = at^b$ ), para obtener de esta manera los modelos de infiltración acumulada, velocidad de infiltración e infiltración básica. La infiltración básica así obtenida equivale a la  $K_s$  según lo establecido por Green y Ampt (1911) y analizado por Fuentes (1997) citados por Prieto et al (2006). Para un mayor ajuste de estos datos la estimación final de la conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) se determinó por el procedimiento descrito por Reynolds *et al.* (2002). En el cual  $K_{sat}$  es:

$$K_s = \frac{q_s}{\left[\frac{H}{C_1 d + C_2 a_r}\right] + \left\{\frac{1}{\alpha C_1 d + C_2 a_r}\right\} + 1} \quad (10)$$

Donde  $q_s$  ( $L T^{-1}$ ) es la tasa de infiltración cuasi estacionario que es relativamente constante cuando las diferencias de las tasas de infiltración entre dos mediciones continuas es inferior al 10% ,  $H$  (L) es la altura del agua dentro del cilindro interior,  $C_1 = 0.316\pi$  y  $C_2 = 0.184\pi$  son constantes cuasi empiricas adimensionales,  $d$  (L) es la profundidad de inserción de los anillos,  $a_r$  (L) es el radio del anillo interior, y  $\alpha$  ( $L^{-1}$ ) es el parámetro inverso de la longitud capilar microscópica del suelo (Gardner 1958).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Clasificación de suelos

#### 3.1.1 Municipio de Boaco

Los suelos analizados se encuentran divididos en dos toposecuencias ambas ubicadas en el barrio La Bombilla., se caracteriza por tener un clima semi-húmedo de sabana tropical posee una temperatura entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varía entre los 1000 y 1200 mm. Con un topografía muy accidentada en todo el departamento.

##### 3.1.1.1 Toposecuencia 1

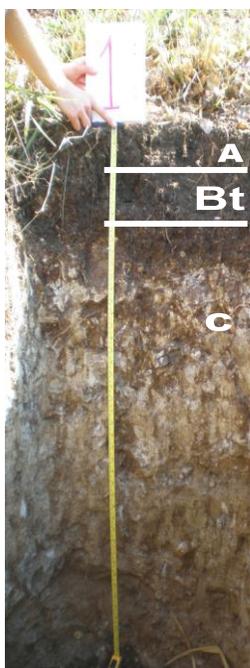
Suelos bajo cultivo de pastos, bien drenados, en un relieve de laderas con una pendiente promedio de 34% presenta erosión laminar moderada, poca pedregosidad en su superficie, grietas superficiales y dentro del perfil en la estación seca.

#### I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 1
- **Clasificación taxonómica:** Vertic Argiustolls (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 18 Febrero 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez
- **Ubicación:** Barrio La Bombilla, Boaco. (N12°28900.30 W85°39943.50)
- **Altitud:** 363 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte alta de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Escarpado (35%)
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Escarpado (34%)
- **Uso de la tierra:** Pastos (*panicum maximum*)
- **Clima:** Clima semi-húmedo de sabana tropical posee una temperatura entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varía entre los 1000 y 1200 mm.

## II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Bien drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido
- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**A (0 – 22/25 cm.):** Gris muy oscuro (7.5YR3/1) en húmedo, franco arcilloso en bloques medios, finos y muy finos, duro en seco, plástico y adherente en húmedo, el límite es ondulado con abundantes poros finos y muy finos, además moderadas raíces finas.

**B<sub>t</sub> (22/25 – 28/27 cm.):** Café (7.5YR4/4) en húmedo, arcilloso, bloque sub angulares medios, consistencia en seco es duro, en húmedo es firme y en mojado plástico y adherentes, el límite es claro, presentando poros de gruesos a medios y pocas raíces finas y muy finas. Se presenta bastante roca intemperizada de color café (7.5.YR 4/4) que al texturarlo se destruye. Existen abundantes poros finos y muy finos pocos gruesos frecuentes medios. Presencia de cutanes.

**Figura 2. Perfil 1.**  
**Toposecuencia 1**  
**Boaco**

**C:** Toba producida de ceniza volcánica oligoceno - mioceno (25x10<sup>6</sup> años)

**Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del perfil 1. Vertic Argiustolls.**

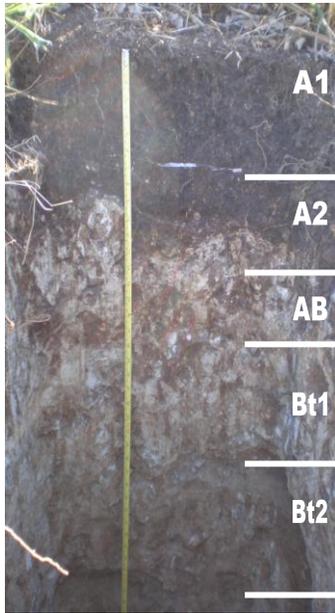
<b>Horizonte</b>	<b>Espesor cm</b>	<b>%Arena Total</b>	<b>%Limo</b>	<b>%Arcilla</b>	<b>Textura</b>	<b>%M.O</b>	<b>%S.B</b>	<b>pH</b>	<b>CIC</b>	<b>P(ppm)</b>
A	0-22	28.8	33.4	38.2	Franco Arcilloso	3.6	85.4	7.5	46.3	3.2
B	22-28	16.2	36	47.8	Arcilloso	0.3	71	7.3	59.5	ND

## I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 2
- **Clasificación taxonómica:** Vertic Haplustolls (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 18 Febrero 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez
- **Ubicación:** Barrio La Bombilla, Boaco. (N12°28900.20 W85°39944.10)
- **Altitud:** 359 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte media de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Escarpado (35%)
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Escarpado (34%)
- **Uso de la tierra:** Pastos (*panicum maximum*)
- **Clima:** Clima semi-húmedo de sabana tropical posee una temperatura entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varía entre los 1000 y 1200 mm.

## II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Bien drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido
- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**Figura 3. Perfil 2.  
Toposecuencia 1 Boaco**

**A<sub>1</sub> (0-22 cm):** Café rojizo oscuro (5YR 3/ 2) en seco, gris muy oscuro (5YR 3/1) en húmedo, arcilloso, en bloques sub angulares gruesos, medios y finos, duro a muy duro, firme, plástico y adherente. Presenta abundantes poros finos y pocos medios, abundantes raíces finas. Limite claro.

**A<sub>2</sub> (22-39 cm):** Café rojizo oscuro (5YR 2.5/2) seco, café rojizo oscuro (5YR 3/2) húmedo, arcilloso, en bloques sub angulares gruesos fuertes, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, pocos poros medios, abundantes raíces finas.

**AB (39-54cm):** Café rojizo oscuro (5YR 2.3/3) húmedo, arcilloso, bloques sub angulares medios y finos fuertes, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos.

**Bt<sub>1</sub> (54-76cm):** Café (7.5YR4/3) en húmedo, arcilloso, prismas medios y gruesos, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos. Presencia de cutanes

**Bt<sub>2</sub> (76-102cm):** Café amarillento (10YR5/4) en húmedo, arcilloso, prismas medios y gruesos, muy duro en seco, muy firme en húmedo, muy plástico y muy adherente en mojado, abundantes poros finos, pocos medios. Presencia de cutanes

**Bt<sub>3</sub> (102cm-a más):** Café amarillento claro (10YR6/4) en húmedo, franco, prismas gruesos, muy duro en seco, muy firme en húmedo, muy plástico y muy adherente en mojado, abundantes poros finos, pocos medios. Presencia de cutanes.

**Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del perfil 2. Vertic Haplustolls**

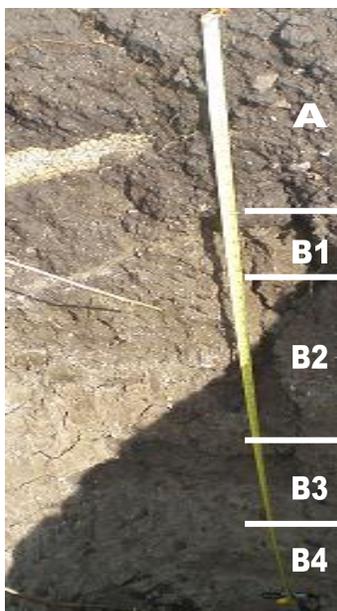
Horizonte	Esesor	%Arena			Textura	%M.O	%S.B	pH	CIC	P(ppm)
	cm	Total	%Limo	%Arcilla						
A <sub>1</sub>	0-22	14.9	32	52.9	Arcilloso	1.9	71.9	6.3	76.2	0.4
A <sub>2</sub>	22-39	20.5	33	46.4	Arcilloso	0.8	66.5	6.2	86.8	1.4
B <sub>1</sub>	39-54	16.4	37	46.3	Arcilloso	0.4	70.2	6.5	82.4	ND
B <sub>2</sub>	54-76	15.4	31.8	52.6	Arcilloso	0.3	67.1	6.6	84.2	ND
B <sub>3</sub>	76-102	19.4	35.6	44.8	Arcilloso	0.05	68.9	6.8	79	ND
B <sub>4</sub> /C	102-+	34.8	38.7	26.3	Franco		66.7	7.1	76.7	ND

## I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 3
- **Clasificación taxonómica:** Vertic Haplustolls (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 18 Febrero 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez
- **Ubicación:** Barrio La Bombilla, Boaco. (N12°28900.30 W85°39944.60)
- **Altitud:** 351 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte baja de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Escarpado (35%)
  3. **Microtopografía:**
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Escarpado (34%)
- **Uso de la tierra:** Pastos (*panicum maximum*)
- **Clima:** Clima semi-húmedo de sabana tropical posee una temperatura entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varía entre los 1000 y 1200 mm.

## II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Bien drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido
- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**Figura 4. Perfil 3.  
Toposecuencia 1  
Boaco**

**A (0 – 42/45 cm.):** Café muy oscuro (10YR2/2) húmedo, arcilloso, bloques sub angulares gruesos, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, frecuentes poros medios, limite abrupto y ondulado.

**B<sub>1</sub> (42/45–59cm.):** Café grisáceo muy oscuro (10YR3/2) húmedo, arcilloso, prismas gruesos, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos y medios, pocos poros gruesos, pocas raíces finas límite abrupto y ligeramente ondulado.

**B<sub>2</sub> (59-84cm.):** Café (7.5YR 4/3) en húmedo, arcillosa, bloques sub angulares gruesos y medios, muy duro en seco, muy firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos y medios, pocos poros gruesos, pocas raíces finas, límite difuso y uniforme.

**B<sub>3</sub> (84-101cm.):** Café (7.5YR5/4) en húmedo, arcilloso, bloques sub angulares gruesos y medios, muy duro en seco, muy firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, pocos poros finos, pocas raíces finas, límite abrupto y uniforme.

**B<sub>4</sub> (101-110cm.):** Café (10YR5/3) en húmedo, arcilloso, bloques sub angulares gruesos, muy duro en seco, muy firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos y medios, pocos poros gruesos.

**Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas del perfil 3. Vertic Haplustolls**

Horizonte	Espesor cm	%Arena			Textura	%M.O	%S.B	pH	CIC	P(ppm)
		Total	%Limo	%Arcilla						
A	0-42/45	14.2	31	54.6	Arcilloso	2.8	70.8	6.5	60.3	1
B1	42/45-59	10.5	31.8	57.5	Arcilloso	0.8	71.9	6.6	65.2	ND
B2	59-84	8.8	37.3	53.7	Arcilloso	0.2	79.7	6.9	70.5	ND
B3	84-101	10.5	38.5	50.9	Arcilloso	0.1	75.5	7	79.3	1.3
B4	101-110	14	38.8	47.1	Arcilloso	0.3	72.2	7.1	76.4	0.2

### 3.1.1.2 Toposecuencia 2

Suelos bajo cultivo de pastos, bien drenados, en un relieve de laderas con una pendiente promedio de 34% presenta erosión laminar moderada y poca pedregosidad en su superficie, grietas superficiales y dentro del perfil en la estación seca.

#### I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 4
- **Clasificación taxonómica:** Typic Haplustolls (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 29 Enero 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez
- **Ubicación:** Barrio La Bombilla, Boaco. (N12°27'59.80 W85°39'45.80)
- **Altitud:** 351 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte alta de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Moderadamente escarpado (20%)
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Moderadamente escarpado (20%)
- **Uso de la tierra:** Pastos (*panicum maximum*)
- **Clima:** Clima semi-húmedo de sabana tropical posee una temperatura entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varía entre los 1000 y 1200 mm.

#### II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Bien drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido

- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**A (0– 33 cm.)** Gris muy oscuro (10YR 3/1) húmedo, arcilloso, bloques sub angulares finos y medios, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, pocas raíces finas y muy finas, límite abrupto y uniforme.

**B (33 – 53 cm.):** Café grisáceo oscuro (10YR4/2) en húmedo, arcilloso, bloques medios, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros muy finos, finos medios, pocas raíces finas, límite abrupto y uniforme.

**C<sub>1</sub> (53 -80 cm.):** Café grisáceo (10YR5/2) en húmedo, franco arcillo arenoso, masivos, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, pocas raíces finas, límite es claro y uniforme.

**Figura 5. Perfil 4.**  
**Toposecuencia 2 Boaco**

**C<sub>2</sub> (80 – 106 cm.):** Café (10 YR 4/3) en húmedo, franco arcilloso arenoso, masivo, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, pocos poros muy finos y finos, límite claro y uniforme.

**Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas del perfil 4. Typic Haplustolls**

Horizonte	Espesor cm	%Arena			Textura	%M.O	%S.B	pH	CIC	P(ppm)
		Total	%Limo	%Arcilla						
A <sub>1</sub>	0-33	13.8	29.1	57.1	Arcilloso	4.3	70.9	6.5	68.9	11.5
A <sub>2</sub>	33-53	27.1	30.9	41.9	Arcilloso	0.2	71.5	6.7	75.4	ND

## I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 5
- **Clasificación taxonómica:** Typic Haplustolls (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 29 Enero 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez
- **Ubicación:** Barrio La Bombilla, Boaco. (N12°28900.40 W85°39945.60)
- **Altitud:** 350 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte media de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Moderadamente escarpado (20%)
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Moderadamente escarpado (20%)
- **Uso de la tierra:** Pastos (*panicum maximum*)
- **Clima:** Clima semi-húmedo de sabana tropical posee una temperatura entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varía entre los 1000 y 1200 mm.

## II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Bien drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido
- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**A<sub>1</sub> (0-25 cm.):** Gris muy oscuro (10YR 3/1) en seco, negro (10YR 2/1) en húmedo, arcilloso, bloques sub angulares finos y medios, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, pocas raíces finas y muy finas, límite abrupto y uniforme.

**B<sub>t1</sub> (25-40 cm.):** Café amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco, Café amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo, arcilloso, bloques sub angulares finos y medios, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, pocas raíces finas y muy finas, límite abrupto y uniforme.

**Figura 6. Perfil 5**  
**Toposecuencia 2, Boaco**

**B<sub>t2</sub> (40-55 cm.):** Café amarillento (10YR 5/4) en seco, café amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo, franco arcilloso, bloques sub angulares finos y medios, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, muy pocas raíces finas y muy finas, límite abrupto y uniforme.

**B<sub>t3</sub> (55-77 cm.):** Café amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco, Café amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo, bloques sub angulares finos y medios, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, muy pocas raíces finas y muy finas, límite abrupto y uniforme

**Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del perfil 5. Typic Haplustolls**

Horizonte	Espesor cm	%Arena			Textura	%M.O	%S.B	pH	CIC	P(ppm)
		Total	%Limo	%Arcilla						
A <sub>1</sub>	0-22	21.3	36.2	42.4	Arcilloso	3.6	73.8	6.8	50.2	ND
B <sub>t1</sub>	22-40	17.7	28.9	53.2	Arcilloso	1.6	73	6.9	50.2	0.4
B <sub>t2</sub>	40-55	28.5	34.5	36.8	Franco Arcilloso	0.5	74.9	7.5	63.9	0.8
B <sub>t3</sub>	55-77	32.7	34	34	Franco Arcilloso	0.1	74.6	7.2	59.5	1

## I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 6
- **Clasificación taxonómica:** Typic Haplusterts (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 29 Enero 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez
- **Ubicación:** Barrio La Bombilla, Boaco. (N12°28901.00 W85°39945.60)
- **Altitud:** 345 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte baja de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Moderadamente escarpado (20%)
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Moderadamente escarpado (20%)
- **Uso de la tierra:** Pastos (*panicum maximum*)
- **Clima:** Clima semi-húmedo de sabana tropical posee una temperatura entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varía entre los 1000 y 1200 mm.

## II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Bien drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido
- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**A<sub>1</sub> (0- 50 cm.):** Café muy oscuro (10YR 2/2) seco, negro (10YR 2/1) húmedo, bloques sub angulares finos y medios, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, muy pocas raíces finas y muy finas, límite abrupto y uniforme.

**A<sub>2</sub> (50-93 cm.):** Gris muy oscuro (10YR 3/1) seco gris muy oscuro (10YR 3/1) húmedo, bloques sub angulares finos y medios, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos, muy pocas raíces finas y muy finas, límite abrupto y uniforme.

**C<sub>1</sub> (93-126 cm.):** Grisáceo oscuro (10YR 5/2) en seco, café (10YR 5/3) en húmedo, bloques sub angulares finos y medios, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, límite abrupto y uniforme.

**Figura 7. Perfil 6  
Toposecuencia 2, Boaco**

**Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas del perfil 6. Typic Haplusterts**

Horizonte	Espesor cm	%Arena			Textura	%M.O	%S.B	pH	CIC	P(ppm)
		Total	%Limo	%Arcilla						
A <sub>1</sub>	0-50	14	28.7	57.1	Arcilloso	2.3	71	6.7	54.3	0.4
A <sub>2</sub>	50-93	11.4	15.7	72.8	Arcilloso	0.1	66.8	6.5	69.7	ND
C <sub>1</sub>	93-126	13.6	17.7	68.5	Arcilloso	0.05	73	7	68.3	ND
C <sub>2</sub>	126-+	15.1	17.3	67.4	Arcilloso	ND	71.7	7.1	69.9	ND

### 3.1.2 Municipio de Santa Lucía

Los suelos estudiados se encuentran divididos en dos toposecuencias ubicadas en las comarcas El Llanito y El Riego, en un clima semi húmedo, la temperatura anual promedio oscila entre los 25° y 26°C, la precipitación pluvial anual es de 1000 a 1600 mm.

### 3.1.2.1 Toposecuencia 5

Se encuentra la comarca El Llanito en la Finca El Roble son suelos bajo cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris L*), en un relieve de laderas con una pendiente promedio de 35% presenta erosión laminar moderada y mucha pedregosidad en su superficie.

#### I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 13
- **Clasificación taxonómica:** Typic Haplusterts (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 08 Febrero 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez

**Ubicación:** Comarca El Llanito, Santa Lucía. (N12°32920.80 W85°43915.90)

- **Altitud:** 745 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte alta de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Escarpado (35%)
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Escarpado (35%)
- **Uso de la tierra:** Frijol (*Phaseolus vulgaris L*)
- **Clima:** Clima semi húmedo, la temperatura anual promedio oscila entre los 25° y 26°C, la precipitación pluvial anual es de 1000 a 1600 mm.
- **Información general acerca del suelo**
- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** moderadamente drenados
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido
- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica

- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**A<sub>1</sub> (0- 21 cm.):** Café muy oscuro (7.5YR2.5/2) seco, negro (7.5YR2.5/1) húmedo, arcilloso, 25% de cascajos, bloques sub angulares medios y gruesos, duro en seco, muy firme en húmedo, muy plástico y muy adherente en mojado, abundantes poros finos y muy finos, pocos poros medios, abundantes raíces finas y muy finas, limite claro y ondulado.

**A<sub>2</sub> (21-98 cm.):** Café muy oscuro (10YR2/1) seco, negro (10YR2/1) húmedo, arcilloso, prismas medios y gruesos, 30-40% cascajos, toba parecida a arenisca gris con brillo vítreo, duro en seco, firme en húmedo y plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos y muy finos, pocas raíces finas y muy finas, límite abrupto y uniforme.

**Figura 8. Perfil 13 Toposecuencia 5 El Llanito, Santa Lucía**

**Cuadro 7. Propiedades físicas y químicas del perfil 13. Typic Haplusterts**

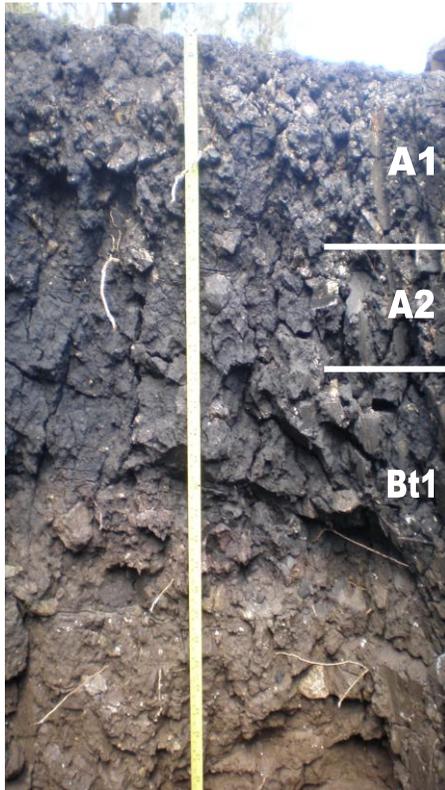
Horizonte	Espesor cm	%Arena			Textura	%M.O	%S.B	pH	CIC	P(ppm)
		Total	%Limo	%Arcilla						
A <sub>1</sub>	0-22	12	26.5	61.3	Arcilloso	1.1	65.8	6.4	66.4	0.2
A <sub>2</sub>	22-98	12.5	31.1	55.8	Arcilloso	0	61.6	6.4	70.8	0

## I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 14
- **Clasificación taxonómica:** Typic Haplusterts (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 08 Febrero 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez
- **Ubicación:** Comarca El Llanito, Santa Lucía (N12°32'918.50 W85°43'913.80)
- **Altitud:** 731 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte media de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Escarpado (35%)
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Escarpado (35%)
- **Uso de la tierra:** Frijol (*Phaseolus vulgaris* L)
- **Clima:** Clima semi húmedo, la temperatura anual promedio oscila entre los 25° y 26°C, la precipitación pluvial anual es de 1000 a 1600 mm.

## II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Moderadamente drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido
- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**Figura 9. Perfil 14 Toposecuencia 5 El Llanito, Santa Lucía**

**A<sub>1</sub> (0-22 cm.):** Negro (10YR2/1) seco, negro (10 YR 2/1) húmedo, arcilloso, bloques sub angulares gruesos, medios, finos y muy finos, duro en seco, muy firme en húmedo, muy plástico y adherente en mojado, moderados poros finos, abundantes raíces finas y muy finas, moderadas raíces medias, límite abrupto y ondulado.

**A<sub>2</sub> (22-43 cm.):** Negro (10YR2/1) seco, negro (10 YR 2/1) húmedo, arcilloso, prismas gruesos, extremadamente duro en seco, muy firme en húmedo, muy plástico y adherente en mojado, moderados poros finos, pocas raíces finas y medias, límite abrupto y uniforme.

**B<sub>t1</sub> (43-58 cm.):** Café amarillento oscuro (10YR4/4) seco, café amarillento oscuro (10YR4/6) húmedo, arcilloso, prismas gruesos, extremadamente duro en seco, muy firme en húmedo muy plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos y muy finos, pocas raíces finas y medias, existen superficies de deslizamiento, límite abrupto y ondulado.

**B<sub>t2</sub> (58-79 cm.):** Café amarillento oscuro (10YR4/4) seco, café amarillento oscuro (10YR4/6) húmedo, arcilloso, prismas gruesos, extremadamente duro en seco, muy firme en húmedo muy plástico y adherente en mojado, moderados poros finos y muy finos, pocas raíces finas y medias, existen superficies de deslizamiento, límite abrupto y ondulado.

**Cuadro 8. Propiedades físicas y químicas del perfil 14. Typic Haplusterts**

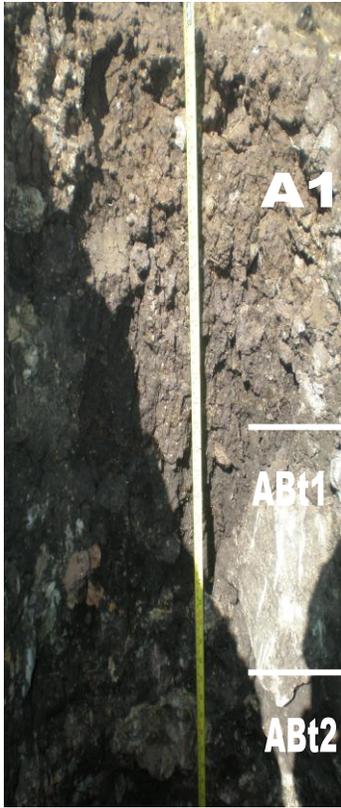
Horizonte	Espesor	%Arena			Textura	%M.O	%S.B	pH	CIC	P(ppm)
	cm	Total	%Limo	%Arcilla						
A1	0-22	15.6	32.6	51.4	Arcilloso	3.2	68.6	6.7	73.8	32.2
A2	22-43	8.4	26.1	65.4	Arcilloso	1.6	66.8	7.1	81	0
Bt1	43-58	9.5	18.2	72.2	Arcilloso	0.3	66.8	7.4	71.4	0
Bt2	58-79	7.5	17.7	74.9	Arcilloso	0.3	69.9	7.9	73.2	0
Bt3	79-112	7.1	17.4	75.5	Arcilloso	0	61.6	6.5	73.61	0

## I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 15
- **Clasificación taxonómica:** Typic Haplusterts (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 08 Febrero 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez
- **Ubicación:** Comarca El Llanito, Santa Lucía (N12°32917.20 W85°43913.00)
- **Altitud:** 717 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte baja de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Escarpado (35%)
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Escarpado (35%)
- **Uso de la tierra:** Frijol (*Phaseolus vulgaris* L)
- **Clima:** Clima semi húmedo, la temperatura anual promedio oscila entre los 25° y 26°C, la precipitación pluvial anual es de 1000 a 1600 mm.

## II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Moderadamente drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido
- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**Figura 10. Perfil 15**  
**Toposecuencia 5**  
**El Llanito, Santa Lucía**

**A1 (0-50 cm.):** Negro (10 YR 2/1) seco, negro (10YR 2/1) húmedo, arcilloso, bloques sub angulares medios y finos, muy duro en seco, firme en húmedo, muy plástico y muy adherente en mojado, abundantes poros finos y muy finos, abundantes raíces finas, moderadas raíces medias y gruesas, abundantes poros finos y muy finos, limite claro.

**ABt1 (50-87 cm.):** Café muy oscuro (10 YR 2/2) seco, negro (10 YR 2/1) húmedo, arcilloso, prismas medios, muy duro en seco, firme en húmedo, muy plástico y muy adherente en mojado, abundantes raíces finas, moderadas raíces medias y gruesas, limite claro.

**ABt2 (87-107 cm.)** Negro (10 YR 2/1) seco, negro (10YR 2/1) húmedo, arcilloso, prismas medios fuertes, duro en seco, firme en húmedo, muy plástico y muy adherente en mojado, moderados poros finos, no hay raíces, limite abrupto y uniforme. Roca temporizada de color naranja (7.5 YR 5/8).

**C (107 a más):** Café amarillento (10YR 5/4) seco, café (5YR4/3) húmedo, arcilloso con gravas, masivo, duro en seco, firme en húmedo, ligeramente plástico y ligeramente adherente en mojado, moderados poros medios, no hay raíces, limite abrupto y uniforme.

**Cuadro 9. Propiedades físicas y químicas del perfil 15. Typic Haplusterts (USDA, 2006)**

Horizonte	Espesor	%Arena			Textura	%M.O	%S.B	pH	CIC	P(ppm)
	cm	Total	%Limo	%Arcilla						
A1	0-50	17.5	40.7	41.7	Arcilloso limoso	0.4	65.3	6.4	71.5	17.2
ABt1	50-87	14.7	22.1	63	Arcilloso	0.8	62.2	6.7	70.8	0
ABt2	87-107	18.5	23.8	57.6	Arcilloso	0.7	64.7	6.9	74.7	0

### 3.1.2.2 Toposecuencia 6

Se encuentra la comarca El Riego son suelos bajo cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris L*), en un relieve de laderas con una pendiente promedio de 35% presenta erosión laminar moderada y mucha pedregosidad en su superficie. Los perfiles 17 y 18 ubicados en la parte media y baja respectivamente presentaron propiedades similares.

#### I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 16
- **Clasificación taxonómica:** Typic Haplusterts (USDA 2006)
- **Fecha de observación:** 13 Abril 2007
- **Autores:** Ing. Ignacio Rodríguez, Ing. MSc. Gerardo Murillo, Br. Adriana Sánchez

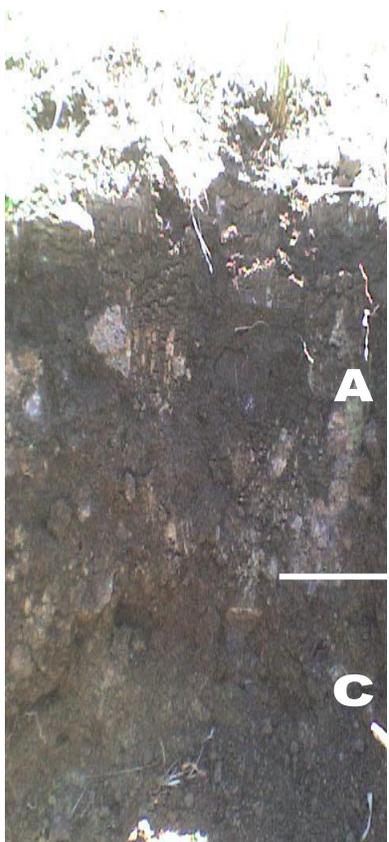
**Ubicación:** Comarca El Riego, Santa Lucía. (N12°30948.80 W85°43922.20)

- **Altitud:** 460 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
  1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte alta de la ladera
  2. **Forma del terreno circundante:** Escarpado (35%)
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Escarpado (35%)
- **Uso de la tierra:** Frijol (*Phaseolus vulgaris L*)
- **Clima:** Clima semi húmedo, la temperatura anual promedio oscila entre los 25° y 26°C, la precipitación pluvial anual es de 1000 a 1600 mm.

#### II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Bien drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido

- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



**A (0-24cm.):** Café (10YR 4/3) seco, gris muy oscuro (5YR3/1) húmedo, franco arcillo arenoso, bloques sub angulares finos, medios y gruesos, duro en seco, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, abundantes poros finos y muy finos, pocos poros medios, abundantes raíces finas y medias, limite abrupto y ligeramente ondulado.

**C (24-79cm.):** Café amarillento oscuro (10YR 4/4) seco, café oscuro (10YR3/3) húmedo, franco arenoso, bloques sub angulares medios y gruesos, firme en húmedo, plástico y adherente en mojado, moderados poros medios, muy pocas raíces finas, limite abrupto y ondulado.

**Figura 11. Perfil 16  
Toposecuencia 6 El  
Riego, Santa Lucía**

**Cuadro 10. Propiedades físicas y químicas del perfil 16. Typic Haplusterts (USDA, 2006)**

Horizonte	%Arena		%Limo	%Arcilla	Textura	%M.O	%S.B	pH	CIC	P(ppm)
	Esesor cm	Total								
A	0-22	51.3	25.4	23.2	Franco Arcillo arenoso	0.8	90.6	7	69.6	28.9
C	22-102	62.6	18.2	19.1	Franco arenoso	0.8	80.3	6.9	66.9	8.6

Los factores formadores del suelo y su interacción determinaran las características propias de los suelos para una zona dada.

Esta formación está constituida por andesita, basalto y aglomerados estas rocas básicas e intermedias de dureza media influyen en el continuo proceso de formación del suelo.

El clima semi húmedo con temperaturas entre 25 y 27 °C y precipitaciones anuales de 1000 a 1600 mm que se distribuyen en un periodo de 8- 9 meses (Mayo-Diciembre). Condiciones de abundante precipitación, variaciones de temperatura, sumado a la acción de organismos dentro y sobre el suelo han degradado con el pasar del tiempo el material rocoso, dando paso a la acumulación de material suelto, mineral y orgánico.

La posición del terreno ejerce una remarcada influencia en la formación, evolución y características de los suelos. Esta se hará notar en el espesor del horizonte A, contenido de materia orgánica, pH y la distribución de las arcillas en el perfil.

El volumen y tiempo de permanencia de organismos (vegetal y animal) influirá en el grado de evolución hasta ahora presente.

### 3.2 Conductividad Hidráulica

Se encontraron suelos con estructura moderada, laboreo no intensivo y con un alto contenido de arcilla en pendientes que promedian entre 20 a un 38%, algunos de ellos como es en el caso particular de la toposecuencia 2 en Boaco, presenta agrietamientos severos tanto en la época seca como lluviosa lo que favorece el paso del agua a horizontes profundos.

Los análisis de los perfiles seleccionados ponen en evidencia el alto contenido de arcillas en la mayoría de estos, esta característica ha de imprimir una marcada influencia en los resultados variables de conductividad; la variabilidad de la conductividad hidráulica es inherente a las características del suelo, los valores de  $K$  han de variar con el lugar y el tiempo, esto se debe a múltiples razones: interacción entre el medio poroso y el líquido, cierre de los poros por aire encapsulado, heterogeneidad del medio poroso, anisotropía y el efecto antrópico (Díaz, E. 2003). La capacidad de expandirse y contraerse de las arcillas, según sea su contenido hídrico, produce grandes variaciones estacionales en los valores de  $K$ .

El rango de coeficiente de variación de los valores obtenidos, 3.9%-119.6%, 4.9%-143.1% y 58% -160.8% para Ankeny *et al.* (1991), Zhang (1997) y el doble cilindro respectivamente; como puede observarse en los cuadros siguientes, sin embargo los dos primeros se encuentran en correspondencia a diferentes trabajos científicos desarrollados en este tema y que forma parte de la bibliografía citada en este artículo por el contrario Prieto (2006) obtuvo coeficientes de variación hasta un 52% haciendo uso del doble cilindro en zonas planas para suelos arcillosos.

**Cuadro 11. Valores de infiltración básica y conductividad hidráulica no saturada para la toposecuencia 1**

Tensión cm	Ankeny et al (1991)					Zhang (1997)				
	I. Bás.	Desv.	K <sub>no sat</sub>	Desv.	CV%	I. Bás.	Desv.	K <sub>no sat</sub>	Desv.	CV%
	mm/h	Estándar	mm/h	Estándar		Media mm/h	Estándar	mm/h	Estándar	
<b>Perfil 1</b>										
<b>0-22 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	368.88	143.93	61.48	23.99	39.02
-1	360.2	114.79	211.80	67.50	31.87	88.56	226.39	35.25	5.50	15.61
-2	119.64	34.32	77.52	22.24	28.69	68.28	18.88	10.04	2.78	27.65
-3	48.58	22.39	26.76	12.33	46.09	20.88	2.49	2.82	0.34	11.95
-4	19.1	10.59	9.60	5.32	55.45	7.68	1.45	0.96	0.18	18.94
-5	13.94	1.77	4.11	0.52	12.66	6.84	1.30	0.79	0.15	18.98
-6	9.96	5.54	3.54	1.97	55.61	1.80	1.08	0.19	0.11	60.00
<b>22-45 cm</b>										
-0.5	344.61	204.41	153.60	91.11	59.32	240.24	186.96	58.60	45.60	77.82
-1	349.92	91.05	77.52	20.17	26.02	300.72	43.81	71.60	10.43	14.57
-2	197.6	31.16	84.06	13.26	15.77	243.36	75.19	55.31	17.09	30.90
-3	148.98	22.24	51.36	7.67	14.93	147.96	98.20	32.17	3.65	11.35
-4	100.36	37.18	36.42	13.49	37.05	126.96	75.50	26.45	15.73	59.47
-5	80.35	74.57	21.54	19.99	92.80	51.60	11.44	10.12	2.24	22.18
-6	60.34	51.29	15.30	13.01	85.01	52.32	3.25	9.87	0.61	6.21
<b>Perfil 2</b>										
<b>0-22 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	474.36	51.45	115.70	12.55	10.85
-1	416.912	120.37	180.00	51.97	28.87	311.64	115.61	74.20	27.53	37.10
-2	221.82	47.10	97.26	20.65	21.23	142.56	43.07	32.40	9.79	30.21
-3	117.46	28.56	51.84	12.61	24.32	57.36	8.98	12.47	1.95	15.66
-4	50.18	22.12	27.30	12.03	44.07	20.76	14.13	4.33	2.94	68.06
-5	18.14	9.19	10.10	5.12	50.67	17.40	8.48	3.41	1.66	48.71
-6	7.59	4.52	4.29	2.56	59.57	-	-	-	-	-
<b>Perfil 3</b>										
<b>0-45 cm</b>										
-0.5	251.88	251.88	158.80	166.66	104.95	236.28	96.83	57.63	23.62	40.98
-1	167.29	167.29	106.90	87.67	82.01	234.60	123.57	55.86	29.42	52.67
-2	26.17	26.17	31.25	9.76	31.23	60.96	28.46	13.85	6.47	46.68
-3	12.20	12.20	22.61	4.18	18.49	26.76	18.70	5.82	4.06	69.87
-4	4.23	4.23	12.71	2.61	20.57	20.40	29.18	4.25	6.08	143.03
-5	8.73	8.73	6.44	5.05	78.44	3.42	2.19	0.67	0.55	81.88
-6	4.81	4.81	1.87	1.53	81.84	-	-	-	-	-
<b>45-59 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	491.04	364.73	119.77	88.96	74.28
-1	407.66	334.62	213.80	175.50	82.08	205.20	56.25	48.86	13.39	27.41
-2	175.12	43.56	97.26	24.19	24.87	120.48	23.00	27.38	5.23	19.09
-3	101.46	36.59	40.41	14.57	36.06	67.92	37.89	14.77	8.24	55.79
-4	29.68	15.19	19.38	9.92	51.18	29.64	14.22	6.18	2.96	47.98
-5	8.91	2.91	6.33	2.07	32.67	10.44	6.25	2.05	1.22	59.83
-6	4.44	3.88	1.60	1.40	87.33	-	-	-	-	-
<b>59-84 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	217.32	142.05	53.00	34.65	65.37
-1	407.7	67.06	176.80	29.08	16.45	212.64	19.89	50.63	4.74	9.35
-2	175.26	67.10	77.22	29.56	38.28	11.59	11.62	2.63	2.64	100.28
-3	101.46	59.52	31.29	18.35	58.66	46.44	39.30	10.10	8.54	84.62
-4	29.68	21.57	11.62	8.45	72.69	6.36	4.34	1.33	0.90	68.24
-5	8.91	7.08	3.04	2.42	79.50	-	-	-	-	-
-6	4.44	0.99	1.44	0.59	22.20	-	-	-	-	-
<b>84-101 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	126.96	38.99	30.97	9.51	30.71
-1	134.41	71.50	130.10	69.20	53.19	37.08	18.08	8.83	4.31	48.77
-2	45.174	32.87	50.82	36.98	72.77	11.16	8.83	2.54	1.50	59.31
-3	21.524	19.36	19.62	17.65	89.96	10.44	11.02	2.27	2.40	105.57
-4	11.72	13.35	12.96	14.76	113.90	5.40	4.97	1.13	1.03	91.97
-5	2.624	2.25	2.94	2.52	85.63	0.36	3.10	0.07	0.61	862.17
-6	0.36	0.37	0.78	0.80	102.44	-	-	-	-	-

**Cuadro 12. Valores de infiltración básica y conductividad hidráulica no saturada para la toposecuencia 2**

Tensión cm	Ankeny et al (1991)					Zhang (1997)				
	I. Bás.	Desv.	K <sub>no sat</sub>	Desv.	CV%	I. Bás.	Desv.	K <sub>no sat</sub>	Desv.	CV%
	mm/h	Estándar	mm/h	Estándar		Media mm/h	Estándar	mm/h	Estándar	
<b>Perfil 4</b>										
<b>0-33 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	187.92	34.66	45.83	8.45	18.44
-1	227.6	85.90	111.74	42.17	37.74	63.24	45.89	15.06	10.93	72.57
-2	85.778	5.29	57.78	3.56	6.17	58.56	8.09	13.31	1.84	13.82
-3	33.546	5.27	21.33	3.35	15.71	10.92	0.75	2.37	0.16	6.86
-4	36.856	1.46	8.06	0.32	3.95	1.62	5.99	0.34	1.25	369.85
-5	5.064	1.16	3.51	0.81	22.97	0.00	1.38	0.41	2.22	520.13
-6	-	-	-	-	-	2.52	16.89	0.48	3.19	670.41
<b>33-53 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	261.96	51.20	63.89	12.49	19.54
-1	304.102	87.44	136.54	39.26	28.75	207.84	39.44	49.49	9.39	18.98
-2	175.02	44.92	57.36	14.72	25.67	78.84	18.37	17.92	4.18	23.30
-3	69.144	52.08	36.33	27.37	75.32	38.76	8.32	8.43	1.81	21.47
-4	51.98	44.62	21.18	18.18	85.83	24.12	10.62	5.03	2.21	44.05
-5	26.08	15.12	9.66	5.60	57.97	9.48	2.20	1.86	0.43	23.20
-6	-	-	-	-	-	6.84	2.49	1.29	0.47	36.46
<b>53-80 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	264.72	52.88	80.22	16.02	19.98
-1	292.9	167.16	111.80	63.81	57.07	246.48	54.02	68.47	15.01	21.92
-2	172.8	15.31	69.90	6.19	8.86	137.28	29.39	31.93	6.83	21.41
-3	51.576	18.35	38.64	13.75	35.57	51.24	18.36	9.85	3.53	35.84
-4	46.1	21.49	21.62	10.08	46.62	41.64	17.15	6.61	2.72	41.19
-5	13.68	9.34	6.15	4.20	68.30	3.48	2.91	0.46	0.38	83.62
-6	5.13	7.25	2.61	3.69	141.42	13.32	10.03	1.46	0.00	0.00
<b>80-106 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	145.92	74.88	44.22	22.69	51.32
-1	214.88	127.53	101.74	60.38	59.35	136.32	26.41	37.87	7.34	19.37
-2	69.542	32.89	56.61	26.77	47.29	87.48	4.36	20.34	1.02	4.99
-3	33.456	0.05	26.55	0.04	0.16	39.72	18.50	7.64	3.56	46.58
-4	31.852	19.86	12.45	7.76	62.36	29.76	5.50	4.72	0.87	18.48
-5	9.954	4.03	7.23	2.93	40.49	13.20	11.02	1.74	1.45	83.45
-6	18.3	25.88	3.00	4.24	141.42	12.36	3.33	1.36	0.37	26.91
<b>Perfil 5</b>										
<b>0-22 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	302.04	116.28	73.67	28.36	38.50
-1	335.98	147.17	130.18	57.02	43.80	147.72	83.99	35.17	20.00	56.86
-2	180.58	24.78	37.41	5.13	13.72	27.72	22.17	6.30	5.04	79.97
-3	40.65	12.36	7.61	2.31	30.40	3.24	3.76	0.70	0.82	116.00
-4	11.22	7.93	2.40	1.70	70.71	-	-	-	-	-
-5	2.22	3.14	0.72	1.02	141.42	-	-	-	-	-
-6	2.19	3.10	0.30	0.42	141.42	-	-	-	-	-
<b>Perfil 6</b>										
<b>0-50 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	424.08	338.68	103.43	82.60	79.86
-1	351.22	50.18	174.00	24.86	14.29	277.56	116.14	66.09	27.65	41.84
-2	153	28.79	74.39	14.00	18.82	132.24	102.13	30.05	23.21	77.23
-3	16.8	6.81	20.33	8.24	40.53	35.97	32.26	16.04	12.64	89.69
-4	7.504	5.32	5.72	4.06	70.91	9.74	9.95	2.03	2.07	102.14
-5	4.264	3.54	1.58	1.31	82.91	0.71	1.65	0.14	0.32	231.05
-6	1.6464	0.67	0.84	0.34	40.48	0.74	2.08	0.14	0.39	280.12

**Cuadro 13. Valores de infiltración básica y conductividad hidráulica no saturada para la toposecuencia 5**

Tensión cm	Ankeny et al (1991)					Zhang (1997)				
	I. Bás.	Desv.	$K_{no\ sat}$	Desv.	CV%	I. Bás.	Desv.	$K_{no\ sat}$	Desv.	CV%
	mm/h	Estándar	mm/h	Estándar		Media mm/h	Estándar	mm/h	Estándar	
<b>Perfil 13</b>										
<b>0-22 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	229.92	137.20	56.08	33.46	59.67
-1	143.44	71.89	66.60	33.38	50.12	192.84	156.66	45.91	37.30	81.24
-2	74.9	36.65	37.20	18.20	48.93	88.20	64.48	20.05	14.66	73.11
-3	49.92	27.52	19.20	10.58	55.12	43.80	31.89	9.52	6.93	72.82
-4	21.12	8.75	10.80	4.48	41.44	26.88	22.32	5.60	4.65	83.04
-5	9.52	3.52	5.40	2.00	37.03	20.76	17.70	4.07	3.47	85.26
-6	3.24	1.58	1.80	0.88	48.85	15.96	16.98	3.01	3.20	106.38
<b>22-98 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	128.52	101.32	31.35	24.71	78.83
-1	118.92	90.76	49.98	38.14	76.32	94.44	81.26	22.49	19.35	86.04
-2	60	47.76	28.20	22.45	79.59	79.08	63.46	17.97	14.42	80.25
-3	54.9	42.26	20.40	15.70	76.97	61.92	63.77	13.46	13.86	102.99
-4	20.7	15.68	12.00	9.09	75.76	40.56	58.07	8.45	12.10	143.16
-5	34.92	31.20	10.20	9.11	89.36	30.00	33.09	5.88	6.49	110.28
-6	-	-	-	-	-	45.36	24.74	8.56	4.67	54.54
<b>Perfil 14</b>										
<b>0-22 cm</b>										
-0.5	319.15	138.53	102.00	44.27	43.41	258.12	56.28	62.96	13.73	21.80
-1	365.4	196.63	111.60	60.05	53.81	246.60	35.27	58.71	8.40	14.30
-2	130.17	39.11	60.00	18.03	30.04	122.64	13.42	27.87	3.05	10.95
-3	117.6	24.55	23.40	4.89	20.88	100.32	8.49	21.81	1.85	8.46
-4	97.8	15.91	19.20	3.12	16.27	67.20	8.45	14.00	1.76	12.57
-5	75.54	9.55	16.80	2.12	12.64	51.12	15.69	10.02	3.08	30.69
-6	39	3.80	11.40	1.11	9.73	19.68	8.79	3.71	1.66	44.67
<b>22-43 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	81.54	51.30	19.96	12.51	62.92
-1	87.26	40.74	49.20	22.97	46.69	48.60	9.36	11.57	2.23	19.26
-2	30.56	18.56	18.60	11.30	60.74	15.60	8.80	3.55	2.00	56.40
-3	15.14	11.48	6.60	5.01	75.85	7.32	3.50	1.59	0.76	47.77
-4	6.34	5.78	3.00	2.73	91.15	2.40	0.91	0.50	0.19	37.75
-5	3.93	3.29	1.20	1.01	83.79	3.12	0.21	0.61	0.04	6.66
-6	3.84	1.94	0.60	0.30	50.51	3.42	3.47	0.65	0.66	101.51
<b>43-58 cm</b>										
-0.5	57.09	44.77	30.60	23.99	78.41	50.40	26.82	12.29	6.54	53.22
-1	26.73	17.71	21.60	14.31	66.25	17.76	6.00	4.23	1.43	33.76
-2	16.92	11.94	5.40	3.81	70.59	18.60	6.69	4.23	1.52	35.97
-3	13.08	8.08	3.00	1.85	61.74	15.36	2.45	3.34	0.53	15.95
-4	10.68	5.19	1.80	0.87	48.59	11.28	1.62	2.35	0.34	14.39
-5	11.22	5.63	1.20	0.60	50.17	8.88	2.91	1.74	0.57	32.77
-6	9.06	6.90	0.78	0.59	76.15	9.96	3.62	1.88	0.68	36.38
<b>58-79 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	63.48	28.63	15.48	6.98	45.11
-1	69.34	44.76	38.40	24.79	64.55	26.76	14.76	6.37	3.51	55.16
-2	29.46	15.38	19.20	10.03	52.22	8.52	8.23	1.94	1.87	96.57
-3	16.2	7.86	7.80	3.78	48.52	5.76	2.36	1.25	0.51	40.98
-4	5.74	3.70	4.80	3.09	64.47	4.32	3.30	0.90	0.69	76.38
-5	8.7	13.00	1.80	2.69	149.47	6.48	3.98	1.27	0.60	47.47
-6	4.84	5.91	0.60	0.73	122.14	5.16	3.08	0.97	0.75	77.17
<b>79-112 cm</b>										
-0.5	66.54	52.07	30.00	23.48	78.25	79.44	31.51	19.38	7.69	39.67
-1	65.4	38.18	24.60	14.36	58.38	51.72	13.75	12.31	3.27	26.58
-2	25.08	10.85	13.80	5.97	43.27	24.12	11.60	5.48	2.64	48.11
-3	14.43	8.15	8.40	4.74	56.45	10.80	5.45	2.35	1.18	50.44
-4	6.75	5.23	4.20	3.26	77.53	5.76	2.81	1.20	0.59	48.81
-5	7.2	5.53	1.20	0.92	76.86	6.48	3.81	1.27	0.75	58.79
-6	5.25	2.62	0.34	0.17	49.91	4.20	0.75	0.79	0.14	17.84

Cuadro 13. Continuación...

Tensión cm	Ankeny et al (1991)					Zhang (1997)				
	I. Bás.	Desv.	K <sub>no sat</sub>	Desv.	CV%	I. Bás.	Desv.	K <sub>no sat</sub>	Desv.	CV%
	mm/h	Estándar	mm/h	Estándar		Media mm/h	Estándar	mm/h	Estándar	
<b>Perfil 15</b>										
<b>0-50 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	27.72	5.08	4.47	0.82	18.32
-1	196.47	81.22	63.60	55.18	86.76	20.16	7.56	3.20	1.20	37.50
-2	77.89	62.23	36.00	28.54	79.28	9.48	5.85	1.46	0.90	61.74
-3	65.10	47.31	9.00	9.04	100.42	10.80	4.68	1.61	0.70	43.33
-4	62.76	28.25	10.20	6.42	62.91	4.32	2.00	0.63	0.29	46.40
-5	50.13	16.33	5.40	3.62	66.95	3.60	2.16	0.51	0.30	60.00
-6	36.16	7.01	3.60	3.37	93.59	5.40	0.62	0.74	0.09	11.55
<b>50-87 cm</b>										
-0.5	180.02	67.68	106.38	59.23	55.68	172.20	62.57	42.00	15.26	36.34
-1	61.72	12.90	104.40	53.50	51.24	73.92	30.88	17.60	7.35	41.78
-2	33.85	23.29	30.60	16.95	55.40	31.08	21.05	7.06	4.79	67.74
-3	23.63	11.70	12.00	3.10	25.81	27.48	12.93	5.97	2.81	47.06
-4	14.88	5.85	6.60	2.48	37.57	16.32	7.94	3.40	1.65	48.65
-5	13.35	12.50	5.40	3.41	63.13	15.12	8.84	2.96	1.73	58.47
-6	10.32	11.49	3.60	1.55	43.09	13.44	9.00	2.54	1.70	66.98
<b>87-107 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	131.58	36.06	30.41	8.79	27.40
-1	85.86	26.55	54.60	25.38	46.49	92.28	25.11	21.97	5.98	27.21
-2	39.73	24.19	25.80	3.13	12.12	41.28	17.98	9.38	4.09	43.56
-3	33.15	17.75	10.20	4.68	45.87	27.12	15.04	5.90	3.27	55.47
-4	29.20	6.01	6.60	4.04	61.22	24.84	9.52	5.18	1.98	38.34
-5	17.62	9.15	5.40	2.19	40.54	17.88	7.40	3.51	1.45	41.38
-6	-	-	-	-	-	10.44	10.15	1.97	1.91	97.21
<b>107-121 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	119.64	22.35	29.18	5.45	18.68
-1	80.50	64.83	75.00	11.66	15.54	78.12	65.88	18.60	15.69	84.33
-2	28.60	17.91	24.60	10.76	43.76	28.32	16.64	6.44	3.78	58.77
-3	15.32	8.45	7.20	3.90	54.14	12.60	5.76	2.74	1.25	45.71
-4	12.06	4.20	4.80	2.15	44.85	8.04	2.17	1.68	0.45	26.99
-5	7.50	10.21	1.80	0.62	34.43	3.60	2.36	0.71	0.46	65.57
-6	2.10	2.10	0.60	0.21	34.43	2.76	2.29	0.52	0.43	82.84

**Cuadro 14. Valores de infiltración básica y conductividad hidráulica no saturada para la toposecuencia 6**

Tensión cm	Ankeny et al (1991)					Zhang (1997)				
	I. Bás.	Desv.	K <sub>no sat</sub>	Desv.	CV%	I. Bás.	Desv.	K <sub>no sat</sub>	Desv.	CV%
	mm/h	Estándar	mm/h	Estándar		mm/h	Estándar	mm/h	Estándar	
<b>Perfil 16</b>										
<b>0-22 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	247.92	161.34	75.13	48.89	65.08
-1	-	-	-	-	-	233.28	167.25	64.80	46.46	71.70
-2	103.94	47.13	66.60	63.65	45.34	103.44	34.57	24.06	8.04	33.42
-3	58.65	15.97	26.40	18.21	27.22	74.88	26.35	14.40	5.07	35.18
-4	40.89	11.43	16.20	7.38	27.96	49.20	21.20	7.81	3.36	43.08
-5	19.28	2.46	9.00	2.06	12.77	28.80	23.71	3.79	3.12	82.34
-6	-	-	-	-	-	10.56	10.45	1.16	1.15	98.94
<b>22-102 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	267.12	146.23	66.78	36.56	54.74
-1	304.8	199.65	145.20	95.06	65.50	215.28	148.10	53.82	37.02	68.79
-2	125.06	73.23	78.60	45.88	58.56	116.52	59.03	29.13	14.76	50.66
-3	96.535	43.02	34.20	15.34	44.56	85.32	43.24	21.33	10.81	50.68
-4	68.01	43.09	22.80	14.40	63.35	52.08	35.89	13.02	8.97	68.90
-5	44.865	39.62	12.60	11.33	88.31	27.60	9.21	6.73	2.25	33.37
-6	21.72	6.43	5.40	1.66	29.58	16.32	11.12	3.98	2.71	68.14
<b>Perfil 17</b>										
<b>0-22 cm</b>										
-0.5	136	7.93	80.90	4.72	5.83	135.84	7.15	41.16	2.17	5.26
-1	72.72	5.13	59.97	4.23	7.05	63.72	12.47	17.70	3.46	19.57
-2	29.82	8.29	15.93	4.43	27.82	27.84	6.20	6.47	1.44	22.26
-3	15.94	3.62	6.90	1.57	22.74	14.64	2.80	2.82	0.54	19.10
-4	10.14	1.97	3.18	0.62	19.43	10.32	2.17	1.64	0.34	21.03
-5	8.57	0.32	1.14	0.04	3.72	6.00	1.62	0.79	0.21	27.06
-6	-	-	-	-	-	3.72	2.40	0.41	0.26	64.44
<b>22-102 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	251.28	57.01	62.82	14.25	22.69
-1	279.54	111.60	137.40	54.87	39.92	205.56	54.48	51.39	13.62	26.50
-2	157.56	40.54	79.80	20.57	25.73	150.72	11.12	37.68	2.78	7.38
-3	64.38	7.37	39.00	4.47	11.44	103.44	44.44	25.86	11.11	42.96
-4	62.54	23.44	24.60	9.11	37.47	77.88	33.16	19.47	8.29	42.58
-5	28.38	12.59	14.40	6.25	44.35	52.80	34.29	12.88	8.36	64.94
-6	44.73	2.99	13.20	0.89	6.67	36.60	22.09	8.93	5.39	60.36
<b>Perfil 18</b>										
<b>0-22 cm</b>										
-0.5	-	-	-	-	-	145.56	16.55	44.11	5.02	11.37
-1	127.9	39.89	67.20	21.00	31.19	81.84	59.88	22.73	16.63	73.17
-2	74.46	19.01	33.60	8.65	25.52	52.20	54.11	12.14	12.58	103.65
-3	24.27	14.26	16.80	9.84	58.75	42.48	45.47	8.17	8.74	107.03
-4	37.98	35.75	10.80	10.44	94.12	34.08	33.99	5.41	5.39	99.72
-5	12.33	13.49	8.40	8.92	109.42	26.64	24.87	3.51	3.27	93.34
-6	29.46	35.06	7.80	9.46	119.01	26.04	25.72	2.86	2.83	98.75
<b>22-102 cm</b>										
-0.5	331.98	239.40	104.40	75.31	72.11	377.28	189.49	94.32	47.37	50.23
-1	348.1	170.27	99.00	48.46	48.91	347.04	164.93	86.76	41.23	47.53
-2	270.56	124.47	63.00	28.91	46.01	256.08	155.36	64.02	38.84	60.67
-3	212.36	86.58	60.00	18.50	40.77	182.40	118.97	45.60	29.74	65.22
-4	173.82	64.19	33.00	12.26	36.93	155.88	114.33	38.97	28.58	73.34
-5	142.18	71.38	27.00	13.65	50.21	123.60	111.19	30.15	27.12	89.96
-6	56.73	52.31	18.60	17.01	92.21	83.64	62.10	20.40	15.15	74.25

La variabilidad estadística de este parámetro disminuye al aumentar la succión matricial, por el hecho de que la influencia de los macroporos sobre la conductividad se va haciendo menor proporcionalmente se incrementa la succión (Paz González, A. et al. 2001).

Ante este comportamiento variable los valores de conductividad se han de considerar de forma local para un periodo determinado teniendo en cuenta; que factores han influido y puedan afectar el resultado de dicho valor, ya que no hay evidencia de un patrón de comportamiento uniforme en cada caso para inferir si la conductividad 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 dependerá o se verá afectado por las condiciones existentes en ese momento para determinado punto así como las características propias del suelo.

Con el infiltrómetro de mini discos haciendo uso ya sea de la ecuación propuesta por Ankeny *et al* (1991) o Zhang (1997) a medida que se incrementa la succión el valor de K decrece esto se debe a la diferencia del rango de tamaños de los poros que actúan en el proceso de infiltración. Aumento en las tensiones implica menores cantidades de agua infiltrada al excluirse los poros más grandes en el transporte de agua (Potter *et al*; 1995 citado por Aoki, 2005).

Existió una diferencia notable entre la Knosat obtenida por el método de Ankeny *et al* (1991) y la obtenida por el método de Zhang (1997), ya que los primeros fueron en promedio dos veces mayores. Habrá que señalar la forma de obtención de Knosat para cada método, en ambos la Knosat se obtiene a partir de los datos de infiltración básica pero Ankeny *et al* (1991) considera los valores finales de la curva de infiltración, las tensiones aplicadas y el radio disco utilizado contrario a Zhang (1997) que considera todos los valores de la curva de infiltración, el radio de disco y tensión utilizada además de utilizar los parámetros de Van Genuchten establecidos para cada clase textural, otorgándole a la textura un protagonismo alto, pasando por alto otros factores que de igual forma pueden intervenir en la Knosat como serán la porosidad, estabilidad estructural, contenido inicial de humedad.

En Ankeny *et al* (1991) el contenido inicial de humedad no influye en el valor de conductividad pero con Zhang (1997) no hemos podido verificar si este factor ejerce influencia en los datos obtenidos.

Las mayores diferencias entre los valores se observa en las tensiones menores es decir la mas cercanas a saturación en la cual el flujo de agua se mueve a todos los orificios dentro del suelo, en la ecuación de Zhang el parámetro **A** depende de la textura del suelo y la tensión aplicada, aunque los perfiles en su mayoría posean un alto contenido de arcilla y se considere que suelos arcillosos presentarán un flujo lento no habrá que pasar por alto el agrietamiento característico de estos suelos, por tanto es probable que un flujo rápido dentro de estos suelos no sea solamente proporcionado por los poros sino por los volúmenes de agua que se filtran a través de las grietas existentes. Este valor será por tanto estacionario hasta que la humectación del suelo provoque el hinchamiento de las partículas de arcilla y selle las grietas.

El doble cilindro presento valores bajos si se comparan con los datos de la tensión a -0.5cm que es la más cercana a saturación (cuadro 15). La susceptibilidad de alterar el valor de conductividad hidráulica debido a influencias externas; que modifican la condición natural del suelo considero será mayor usando el doble cilindro por el efecto de insertar los cilindros a una determinada profundidad y la fuerza que esta acción ejerce sobre los agregados estructurales que puede provocar el colapso de poros grandes, además el doble cilindro obtiene valores de flujo unidimensional en comparación al infiltrómetro de mini discos que obtiene valores de flujo tridimensional.

**Cuadro 15. Valores medios de conductividad hidráulica saturada obtenida con el doble cilindro**

<b>Perfil</b>	<b>Inf. Básica mm/h</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Ksat Reynolds mm/h</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>C.V %</b>
Perfil 1	116.51	108.56	86.84	108.56	93.18
Perfil 2	48.92	49.41	36.46	49.41	101.00
Perfil 3	25.35	20.70	18.89	20.70	81.66
Perfil 4	8.12	4.71	6.05	4.71	58.03
Perfil 5	9.86	6.86	7.35	6.85	69.54
Perfil 6	17.60	15.75	13.12	15.75	89.49
Perfil 13	86.96	107.18	64.81	107.17	123.25
Perfil 14	63.32	87.46	47.19	87.46	138.13
Perfil 15	73.69	118.52	54.93	118.53	160.84
Perfil 16	158.71	209.24	118.29	209.24	131.84
Perfil 17	4.76	6.47	3.42	6.48	135.92
Perfil 18	127.84	187.66	95.28	187.65	146.79

Además las pruebas con doble cilindro se realizaron en un periodo posterior a las realizadas con infiltrómetro de mini discos. Con excepción de las pruebas en la toposecuencia 6 los contenidos de humedad en los perfiles era mayor que en comparación con la humedad existente cuando se realizó la prueba con el infiltrómetro de mini discos. Por tanto el cierre de poros por efecto de hinchamiento mas la perturbación provocada por la inserción de los anillos, debió disminuir la facilidad del paso del flujo a través del suelo.

La conductividad hidráulica saturada que se obtuvo con el doble cilindro puede clasificarse como moderada mente alta a alta para los perfiles ubicados en la toposecuencia 1, moderadamente alta en la toposecuencia 2, de moderadamente alta hasta alta en la toposecuencia 5 y en la toposecuencia 6 varia de moderadamente baja a alta; según Soil Survey Manual (USDA 1991).

## V. CONCLUSIONES

Los órdenes de suelos encontrados se clasificaron como Vertisoles y Molisoles.

El uso del infiltrómetro de mini discos genera datos de conductividad satisfactorios y ajustados a otros métodos de una forma sencilla; especialmente en zonas de difícil acceso. La rapidez con que se realiza la prueba y, su fácil manejo permite realizar varias repeticiones y pruebas *in situ*. Además mostró menor incidencia sobre la superficie del suelos que pueda alterar de forma considerable las condiciones naturales del suelo en el área de prueba, comparado con el doble cilindro.

Existió una diferencia notable entre la Knosat obtenida por el método de Ankeny *et al* (1991) y la obtenida por el método de Zhang (1997), ya que los resultados obtenidos aplicando el procedimiento de Ankeny supera en promedio dos veces a los valores obtenidos por Zhang.

El parámetro de conductividad hidráulica es un factor con una variabilidad espacial elevada, que responde a las condiciones climáticas y edáficas al momento de realizar las pruebas por lo que los valores obtenidos deberán ser considerados de manera local en condiciones similares.

En base a la experiencia durante la realización de las pruebas se puede concluir que la utilización del doble cilindro en una ladera es menos ventajosa, al requerir mayor cantidad de operarios que trasladen considerables cantidades de agua, instale el equipo y realice las pruebas; si se compara con el poco consumo de agua, facilidad de transportación y manejo para la realizar las pruebas con el infiltrómetro ya que un solo operario puede conducir dos pruebas al mismo tiempo.

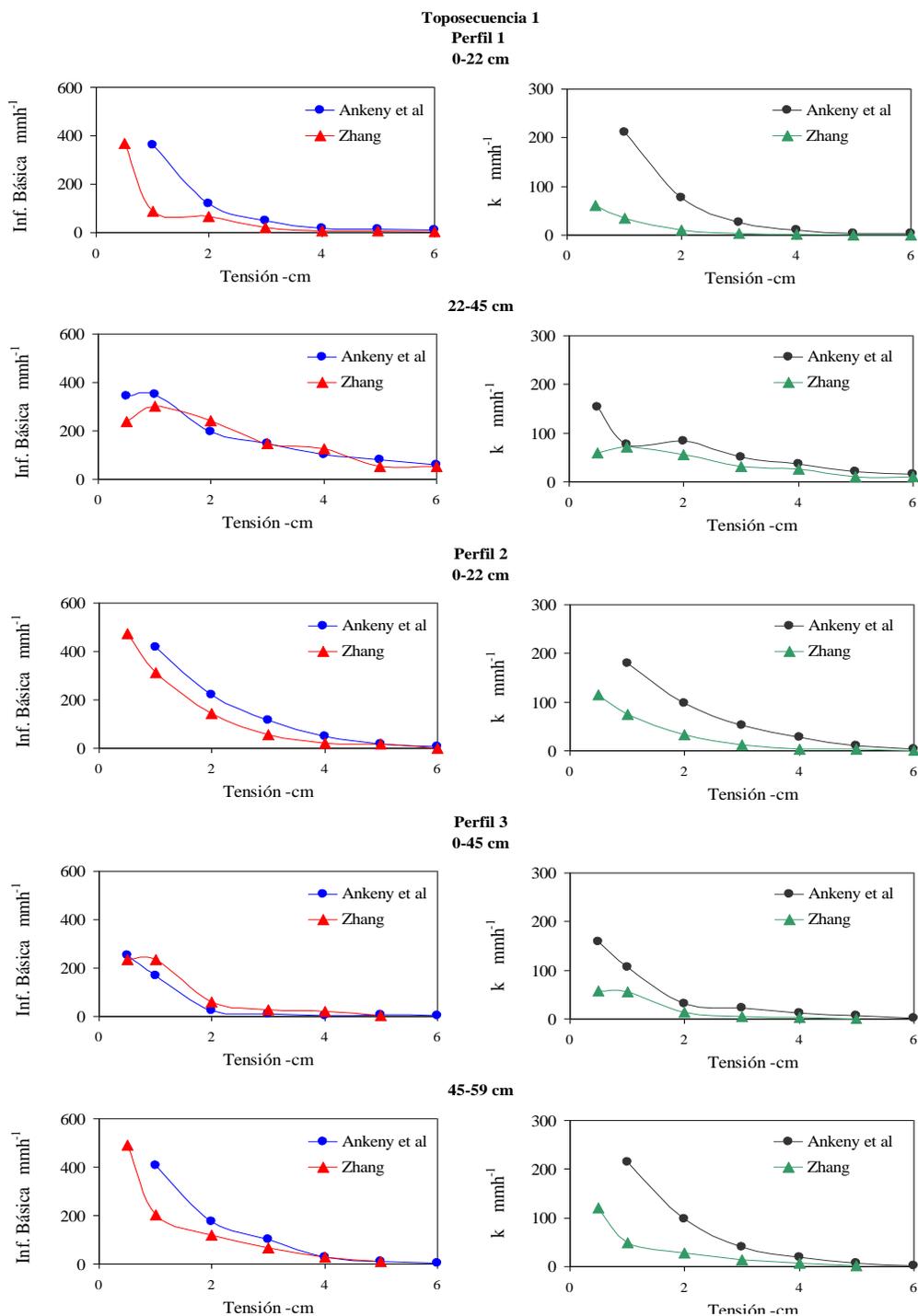
## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aoki, A. y Sereno, R. 2005 Modificaciones de la Conductividad Hidráulica y Porosidad del Suelo Estimadas Mediante Infiltrómetro de Disco a Tensión. *Agricultura Técnica* (en línea). Septiembre 2005, Vol. 65, n° 3. (Consultado 07 de Agosto 2007), p.295-305. Disponible en Internet: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072005000300007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072005000300007&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0365-2807.
- Aoki, A. y Sereno, R. 2005. Comparación de Metodologías de Cálculo de Propiedades Hidráulicas de un Suelo a Partir de Datos Medidos con Infiltrómetro de Disco. *Agric. Téc.* (En línea) jun. 2005, vol.65, no.2 (citado 07 Agosto 2008), p.204-209. Disponible en Internet: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072005000200010&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072005000200010&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0365-2807.
- 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
- Díaz, E; Duarte, O; Cerana, J; Fontanini, P. 2003. Methodological adjustment to measure the saturated hydraulic conductivity "in situ" on Vertisols and Entisols soils from Argentina by the Guelph permeameter. . *Estudios de la Zona no Saturada del Suelo*. Álvarez-Benedí, J.Marinero, P. ((eds.))- Valladolid (España): ITA, 2003. 6. Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada del Suelo. Actas 6. Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada del Suelo, Valladolid (España) ,5-7 Nov. 2003.- ISBN 84-688-3698-2. 416 p
- Dirksen, CH. 1999. *Soil physics measurements*. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany. 154 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2006. *Guidelines for soil description*. 97p.
- García-Sinovas, D *et al.*2003. Comparación de los permeámetros de Guelph y Philip-Dunne para la estimación de la conductividad hidráulica saturada del suelo. *Estudios de la Zona no Saturada del Suelo*. Actas de las VI Jornadas sobre Investigación de la Zona no Saturada del Suelo, Valladolid (España) ,5-7 Nov. 2003.- ISBN 84-688-3698-2. 416 p.
- Janssen, I; Kruemmelbein, J; Horn, R; *et al.* 2004 Propiedades físicas e hidráulicas de suelos ñadis en el sur de Chile. Comparación entre suelos no labrados y bajo labranza. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* (En línea) jun. 2004, Vol. 4, No. 1 (citado 07 Agosto 2008), pp. 14-28. Disponible en Internet: <[http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071827912004000100004&lng=es&nrm=iso](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071827912004000100004&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0718-2791.

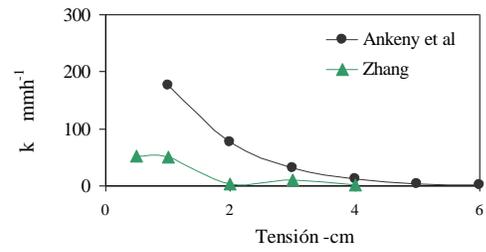
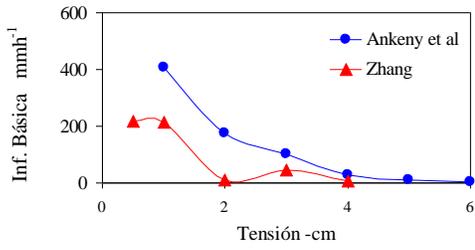
- Joel, A.; Messing, I. 2000. Application of two methods to determine hydraulic conductivity with disc permeameters on sloping land. *European Journal of Soil Science*, Volume 51, Number 1, March 2000, pp. 93-98(6)
- Polo, M.J. 2003. Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada en suelos de olivar y su influencia en el balance hidrológico global. *Estudios de la Zona no Saturada del Suelo. Actas de las VI Jornadas sobre Investigación de la Zona no Saturada del Suelo, Valladolid (España) ,5-7 Nov. 2003.- ISBN 84-688-3698-2. 416 p.*
- Nissen M, Juan, Quiroz S, Cristian, Seguel S, Oscar *et al.* 2006. Flujo Hídrico no Saturado en Andisoles. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* (En línea) Br. 2006, Vol. 6, No. 1 (citado 15 Marzo 2007), pp. 9-19. Disponible en Internet:<[http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912006000100003&lng=es&nrm=iso](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912006000100003&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0718-2791.
- Paz González, A.; Taboada Castro, M.M.; Vidal Vázquez, E. 2001. Spatial variability of water infiltration in a fixed hillslope with Guelph permeameter and tension infiltrometer. López Rodríguez, J.J.Quemada Sáenz-Badillos, M. ((eds.))- Pamplona (España): UPN, ETSIA, 2001. 5. Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada del Suelo, 5. Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada del Suelo, Pamplona (España) ,7-9 Nov. 2001.- ISBN 84-95075-65-2. 174 p.
- 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*
- Reynolds, W. D. 1991. Determination of Hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal* 55:633-639
- USDA (Department of Agriculture, US). 2006. *Keys to Soil Taxonomy.*333p.

## VII. ANEXO

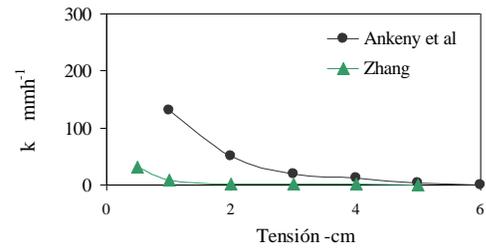
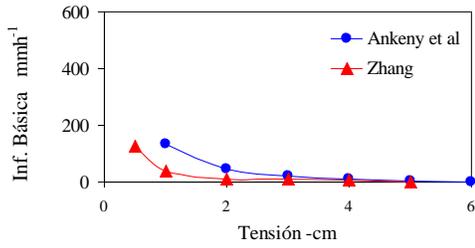
### Anexo 1. Valores de infiltración básica (Inf. Básica mm/h) y conductividad hidráulica no saturada ( $K_{nosat}$ mm/h) a potenciales de presión (-cm)



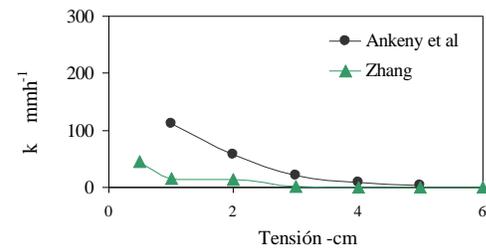
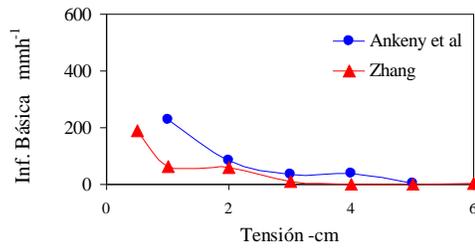
**Toposecuencia 1**  
**Perfil 3**  
**59-84 cm**



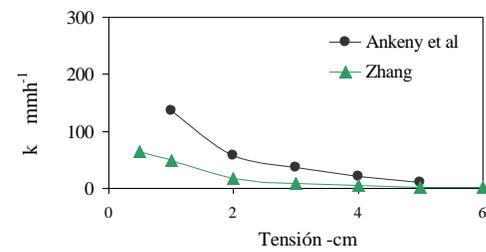
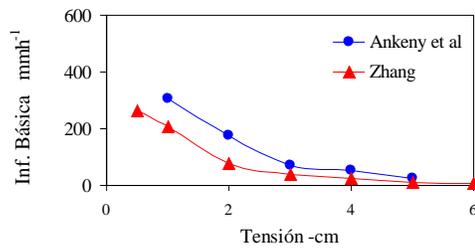
**84-101 cm**



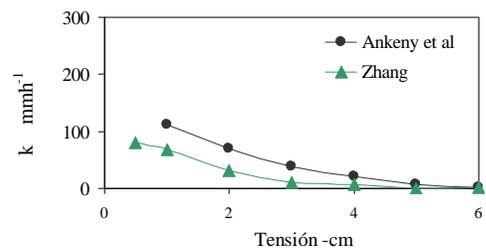
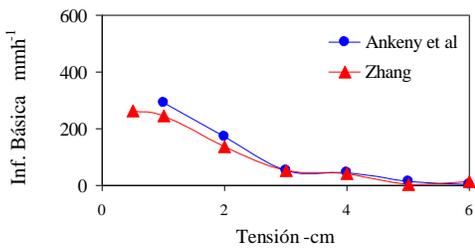
**Toposecuencia 2**  
**Perfil 4**  
**0-33 cm**



**33-53 cm**

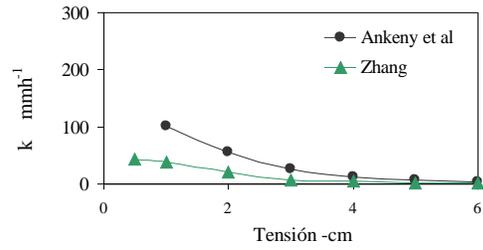
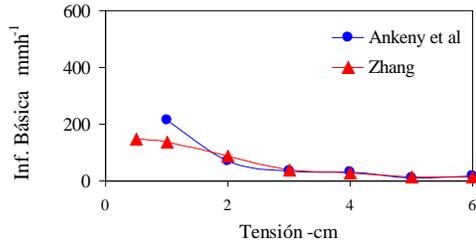


**53-80 cm**

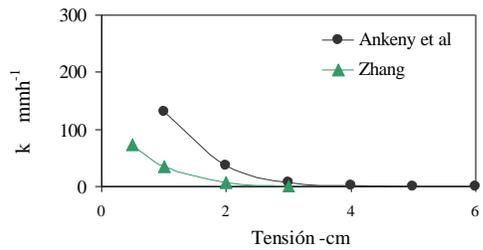
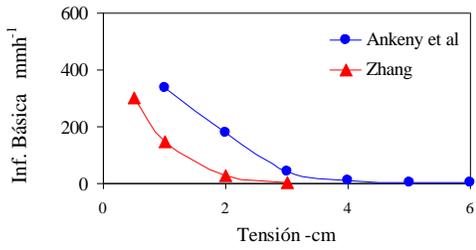


**Toposecuencia 2**

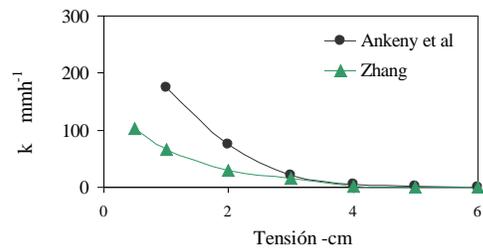
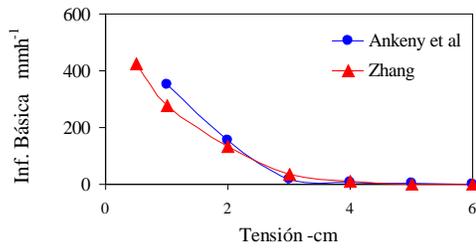
**Perfil 4  
80-106 cm**



**Perfil 5  
0-22 cm**

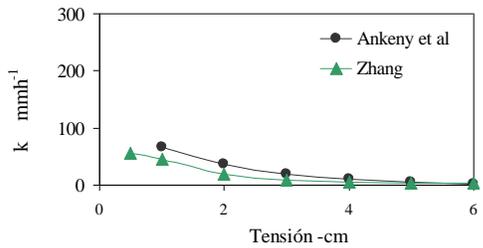
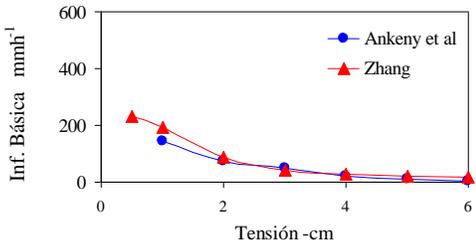


**Perfil 6  
0-50 cm**

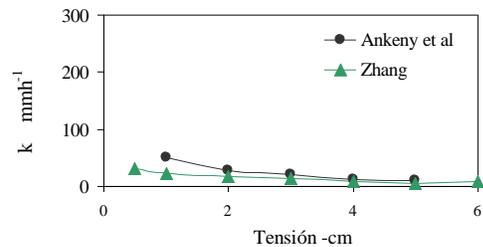
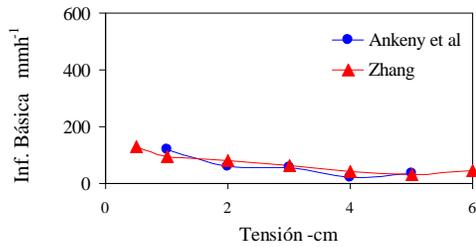


**Toposecuencia 5**

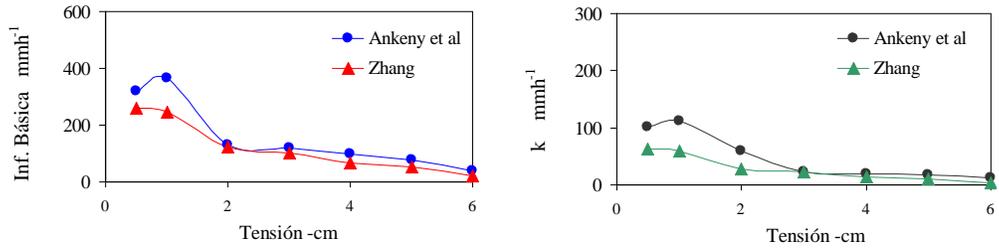
**Perfil 13  
0-22 cm**



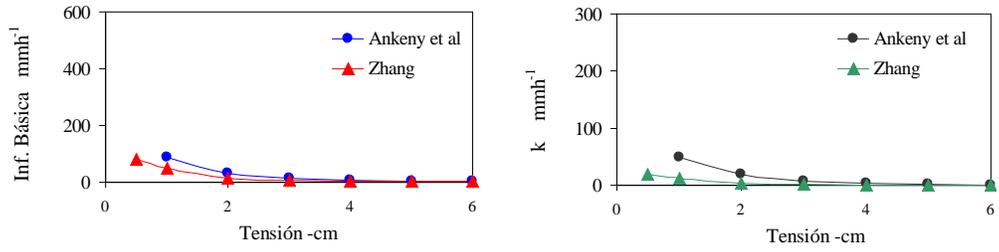
**22-98 cm**



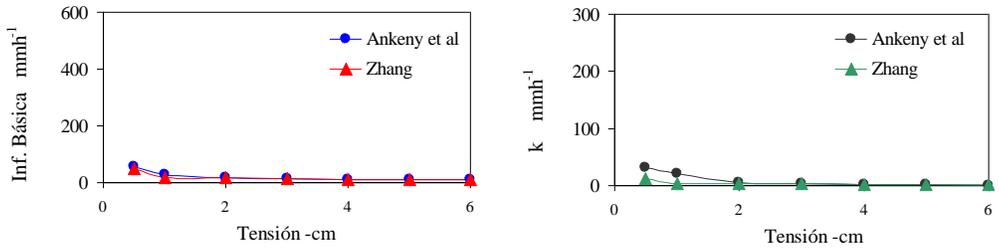
**Toposecuencia 5**  
**Perfil 14**  
**0-22 cm**



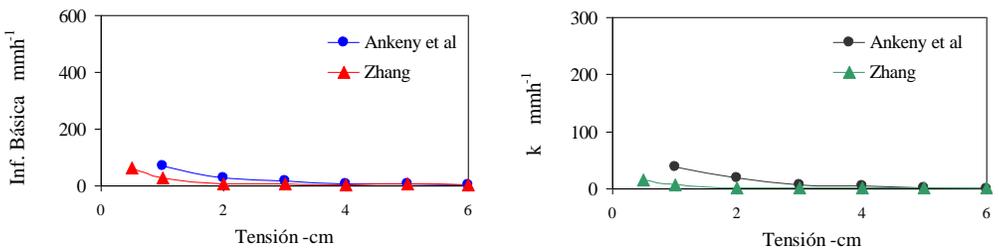
**22-43 cm**



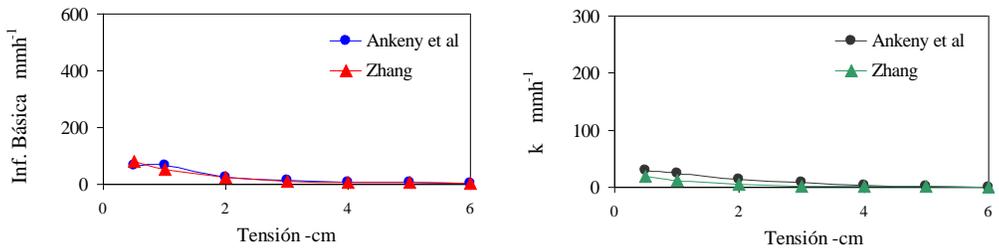
**43-58 cm**



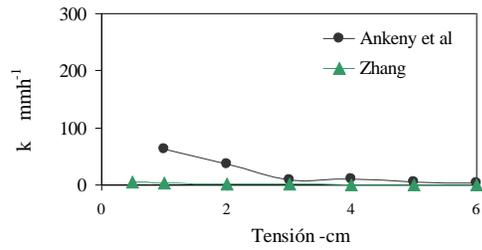
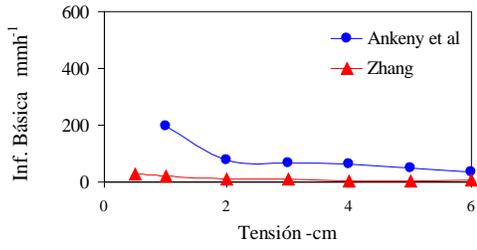
**58-79 cm**



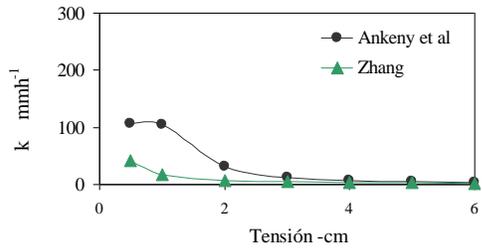
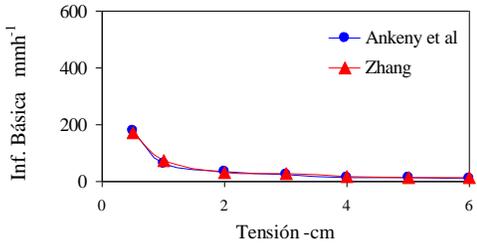
**79-112 cm**



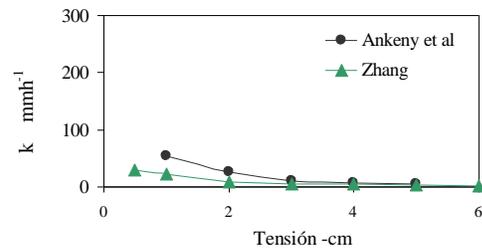
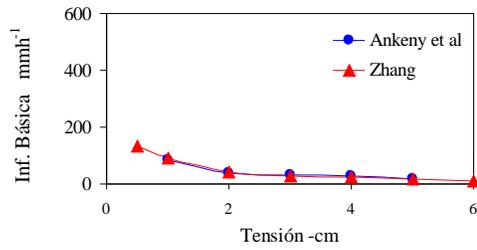
**Toposecuencia 5**  
**Perfil 15**  
**0-50 cm**



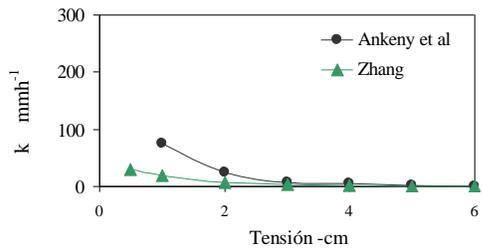
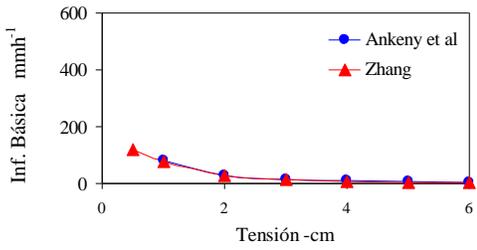
**50-87 cm**



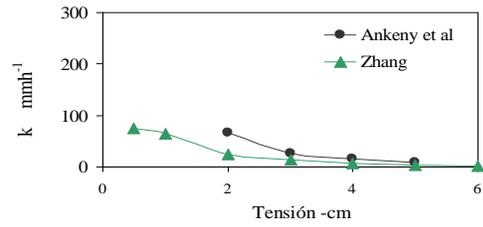
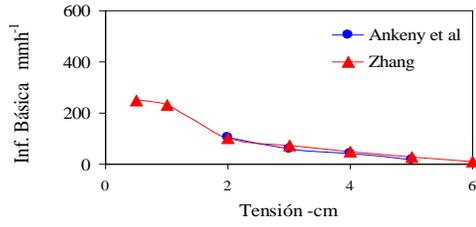
**87-107 cm**



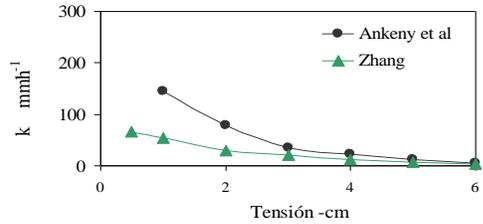
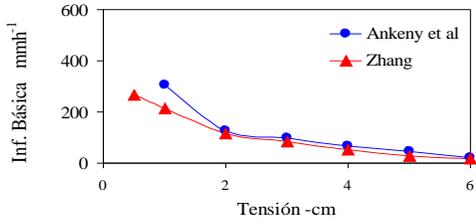
**107-121 cm**



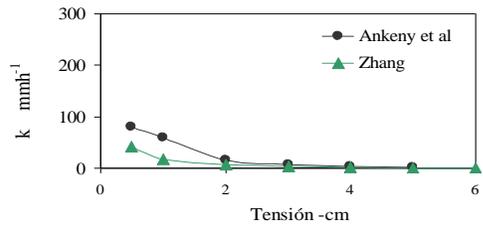
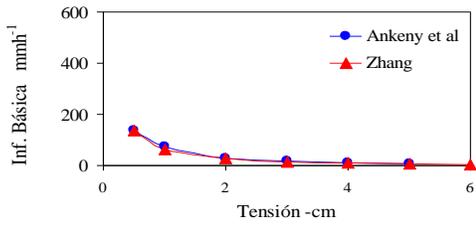
**Toposecuencia 6**  
**Perfil 16**  
**0-22 cm**



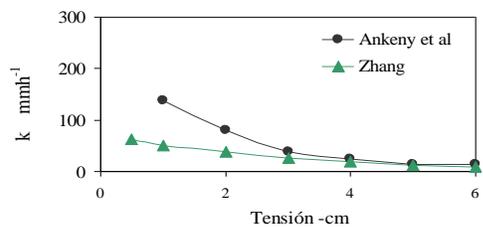
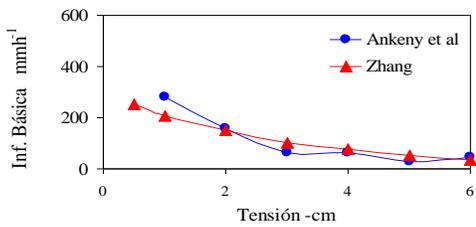
**22-102 cm**



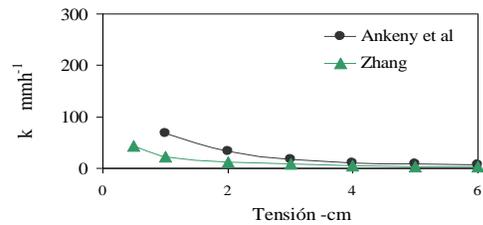
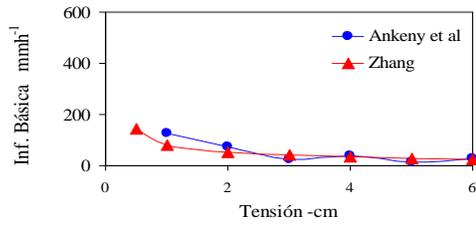
**Perfil 17**  
**0-22 cm**



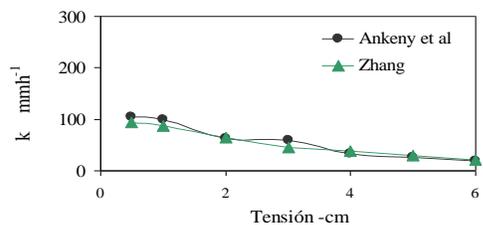
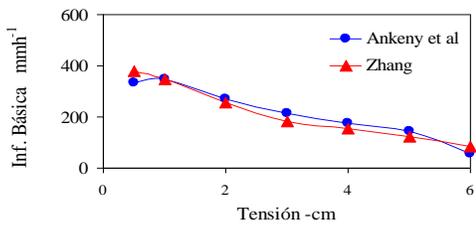
**22-102 cm**



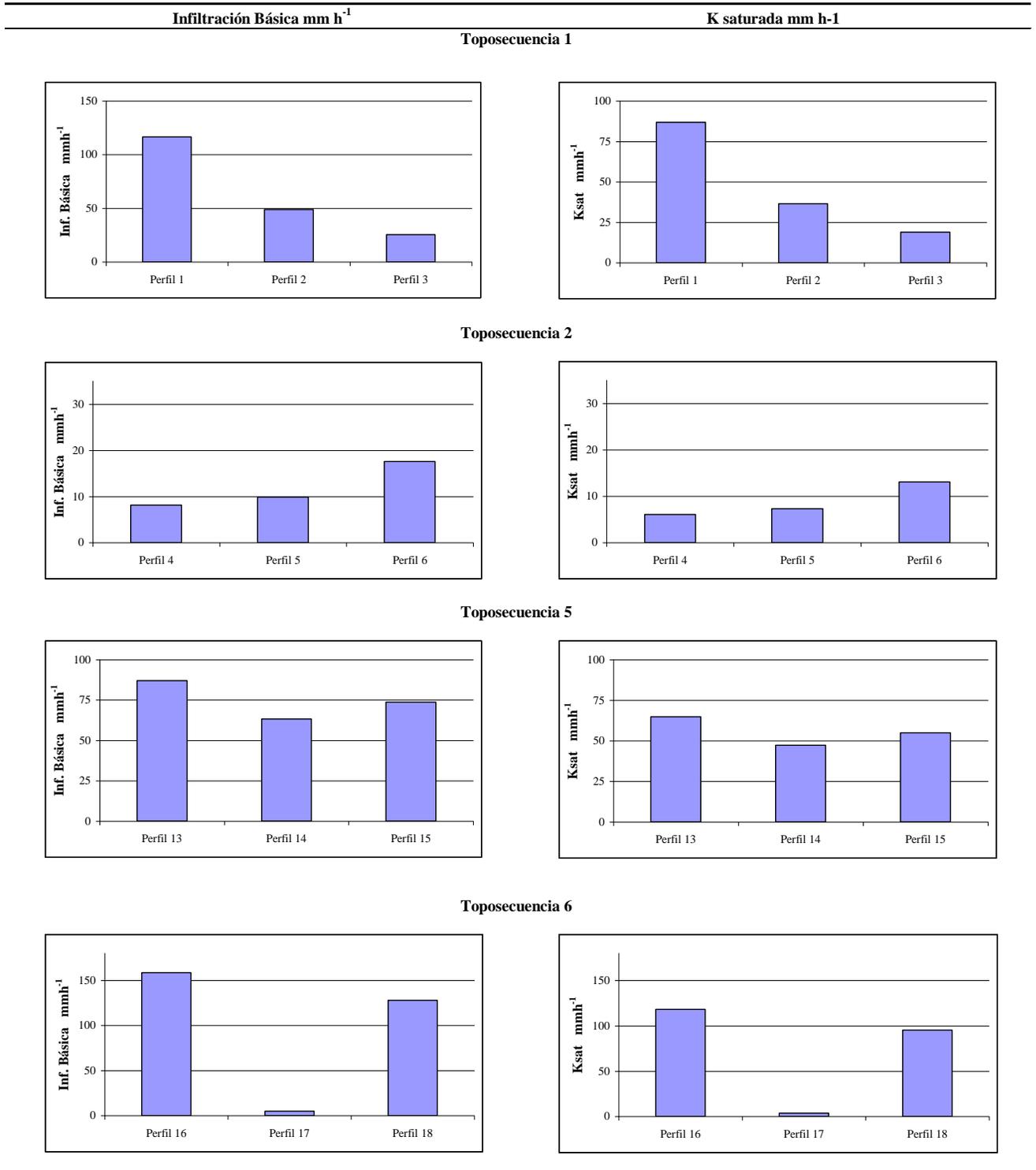
**Perfil 18**  
**0-22 cm**



**22-102 cm**



**Anexo 2. Infiltración básica (Inf. Básica mm/h) y conductividad hidráulica (Ksat mm/h) saturada por perfiles obtenida con doble cilindro**



**Anexo 3. Clases de conductividad saturada. Soil Survey Manual (1993)**

<b>CLASE</b>	<b>K<sub>sat</sub> mm/h</b>
Muy alta	> 360
Alta	36-360
Mod. Alta	3.6-36
Mod. Baja	0.36-3.6
Baja	0.036-0.36
Muy baja	<0.036

**Anexo 4. Formatos de campo para descripción de perfiles.**

Nombre del suelo:	Fecha:	<b>Perfil nº:</b>
Clasificación taxonómica:	Ubicación:	
Localización del perfil :	Zonas de vida:	Salinidad
Uso actual :	Zona climática:	Alcalinidad
Material madre:	Drenaje natural:	Pedregosidad
Fisiográfica :	Esc. Sup:	Coordenadas
Elevación(m.s.n.m):	Humedad:	
Relieve:		
Pendiente (%):		
Erosión :		
Permeabilidad:		
Observaciones		

**Anexo 4. Formatos de campo para descripción de perfiles.**

Horizonte	Prop. (c.m)	COLOR		Textura	Estruct.	CONSISTENCIA			Reacción ( Ph)	Limite	Poros	Raíces	N° Lab
		Seco	Húmedo			Seco	Húmedo	Mojado					

**Anexo 5. Parámetros texturales de van Genuchten para 12 clases de suelos**

Textura	a	n	$h_0$						
			-0.5	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0
			A						
arenosa	0.145	2.68	2.90	2.50	1.80	1.30	0.90	0.70	0.50
arenosa franca	0.124	2.68	3.00	2.80	2.50	2.20	1.90	1.60	1.40
franca arenosa	0.075	1.89	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.10	4.10
franca	0.036	1.56	5.60	5.80	6.40	7.00	7.70	8.40	9.20
limosa	0.016	1.37	8.10	8.30	8.90	9.50	10.10	10.80	11.50
franca limosa	0.020	1.41	7.20	7.50	8.10	8.70	9.40	10.10	10.90
franca arcillo arenosa	0.059	1.48	3.30	3.60	4.30	5.20	6.30	7.60	9.10
franca arcillosa	0.019	1.31	6.00	6.20	6.80	7.40	8.00	8.70	9.50
franca arcillo limosa	0.010	1.23	8.10	8.30	8.70	9.10	9.60	10.10	10.60
arcillo arenosa	0.027	1.23	3.40	3.60	4.20	4.80	5.50	6.30	7.20
arcillo limosa	0.005	1.09	6.20	6.30	6.50	6.70	6.90	7.10	7.30
arcillosa	0.008	1.09	4.10	4.20	4.40	4.60	4.80	5.10	5.30

### Anexo 6. Ejemplo de cálculo de conductividad hidráulica no saturada

- ✓ Conductividad Hidráulica no Saturada por el método de Infiltrómetro de Mini discos. Ecuación de Ankeny *et al* (1991) y Zhang (1997).

Toposecuencia 6  
 Perfil 17  
 Horizonte A (0-22 cm)  
 Tensión -2 cm

	$K = \frac{C_1}{A}$			$K_{i+1/2} = \frac{q_{i+1/2}}{\left(1 + \frac{4}{\pi \alpha_{i+1/2}}\right)}$		
Repetición	$C_1$ mm/h	A	$K_{no\ sat}$ mm/h	$q_{i+1/2}$ mm/h	$\alpha_{i+1/2}$	$K_{no\ sat}$ mm/h
1	23.4	4.3	5.44	17.11	2.30	16.52
2	34.92	4.3	8.12	18.56	5.43	18.28
3	25.2	4.3	5.86	13.34	3.07	12.99
<b>Promedio</b>			<b>6.47</b>			<b>15.93</b>

$C_1$ : Infiltración básica mm/h

A: parametro dependiente de la textura y la tensión aplicada (ver anexo 5)

$K_s$ : Cond. Hidráulica no saturada

$q_{i+1/2}$ : Infiltracion básica mm/h

$\alpha$ : relación infiltración básica y tensión aplicada.

$\pi r$ : área del disco

$K_{i+1/2}$ : Cond. Hidráulica no saturada

## Anexo 7. Ejemplo de cálculo de conductividad hidráulica saturada

- ✓ Conductividad Hidráulica Saturada por el método de Infiltrómetro de doble cilindro. Ecuación de Reynolds *et al* (2002)

Toposecuencia 6  
 Perfil 17  
 Horizonte A (0-22cm)

$K_s = \left[ \frac{H}{C_1 d + C_2 a_r} \right] + \left\{ \frac{q_s}{\alpha (C_1 d + C_2 a_r)} \right\} + 1$								
Repetición	$q_s$ mm/h	H mm	$C_1$	$C_2$	d mm	$a_r$ mm	$\alpha$	$K_s$ mm/h
1	9.34	100	0.99	0.58	150	350	0.05	6.96
2	0.1854	100	0.99	0.58	150	350	0.05	0.14
3	4.26	100	0.99	0.58	150	350	0.05	3.18
<b>Promedio</b>								<b>3.42</b>

$q_s$ : infiltración básica mm/h

H: altura de agua en cilindro interior mm

$C_1$ :  $0.316\pi$

$C_2$ :  $0.184\pi$

d: profundidad de inserción del cilindro mm

$a_r$ : radio cilindro interno mm

$\alpha$ : alpha de Gardner