



Mon
624.15136
M385
2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Carrera de Ingeniería Agrícola

Determinación de Parámetros Hidrofísicos en los suelos del Centro de
Desarrollo Tecnológico CDT – INTA Mirafior_ Las Segovias, Estelí.

Para Optar al Título de
INGENIERO AGRÍCOLA

Elaborado por:

Br. Giovanni Andrés Martínez Jarquín

Br. Carlos Adrián Cortez Arguello

Tutor:

Dr. Ing. Álvaro Aguilar Velásquez

Managua, Nicaragua

11 Junio de 2012

DEDICATORIA

Dedico esta monografía especialmente a Dios y a mis padres; como a cada una de las personas que de una u otra manera estuvieron presentes apoyándome para alcanzar mis metas y ser hoy un profesional.

En especial a mi madre Corina Jarquín Talavera y padre Andrés Martínez Jaime, por sus esfuerzos y apoyo incondicional durante mis estudios, los cuales fueron mis ejemplos e inspiración para seguir adelante y culminar mis estudios Universitarios.

A mi novia Erika María Cárdenas Úbeda por estar a mi lado dándome ánimo para seguir adelante y acompañarme en los momentos que más lo he necesitado.

Giovanny Andrés Martínez Jarquín

AGRADECIMIENTO

Le doy las gracias primeramente a Dios por darme la oportunidad de poder llegar a este momento tan anhelados en mi vida y lograr ser un profesional.

Al INTA, por su apoyo en todo el proceso que conlleva un trabajo monográfico y dar respuesta a una necesidad tan importante para la institución.

Al Dr. Álvaro Aguilar Velásquez por ser tutor de esta monografía, ya que fue un guía en cada uno de los procesos que se llevaron a cabo para hoy tener finalizado el estudio.

Giovanny Andrés Martínez Jarquín

DEDICATORIA

Dedico esta monografía a cada de las personas que me apoyaron durante todo el camino transcurrido para llegar el día de hoy a la culminación final de esta meta.

En especial a mi mama Teresa de Jesús Arguello Gutiérrez, quien siempre estuvo presente para darme su apoyo incondicional para poder culminar con mi carrera.

A mi papa Carlos Cortez López quien siempre confió en mí y quien siempre me estará apoyando y cuidando todos mis pasos desde el cielo gracias por todo tu apoyo.

Carlos Adrián Cortez Arguello

AGRADECIMIENTO

A Giovanni Martínez mi compañero de tesis por haber confiado en mí y permitirme ser parte de la culminación de etapa la cual marca el inicio de nuevos retos a vencer.

Le agradezco al Dr. Álvaro Aguilar por su guía en la tutoría de tesis parte fundamental para la finalización de este estudio y más aún por su amistad lo cual trascenderá después de culminar esta etapa.

A mi amigo y compañero Alexander Meléndez por su apoyo quien me apoyo sin pensarlo siempre y cuando lo necesite.

Carlos Adrián Cortez Arguello

INDICE

CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Localización del Centro de Desarrollo Tecnológico Mirafior Las Segovias, Estelí...	6
1.5.1 Delimitación Geográfica.....	6
1.5.2 Ubicación de las parcelas experimentales y áreas de interés.....	6
1.5.3 Macro localización.....	7
1.5.4 Micro localización.....	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Propiedades físicas de los suelos.....	10
2.1.1 La textura del suelo.....	10
2.1.1.1 Clasificación y propiedades de las partículas del suelo.....	11
2.1.1.2 Clases texturales.....	13
2.1.2 Estructura.....	14
2.1.2.1 Grados de estructuras del suelo.....	14
2.1.2.2 Clases y tipos de estructura del suelo.....	15
2.1.2.2.1 Estructuras granulares y migajosas:.....	16
2.1.2.2.2 Estructuras en bloques o bloques subangulares:.....	16
2.1.2.2.3 Estructuras prismáticas y columnares:.....	17
2.1.2.2.4 Estructura laminar:.....	17
2.2 Relaciones volumétricas y gravimétricas.....	18
2.2.1 Densidad aparente.....	18
2.2.1.1 Evaluación.....	19
2.2.2 Densidad real.....	19

2.2.2.1	Evaluación.....	20
2.2.3	Porosidad.....	20
2.2.3.1	Evaluación.....	22
2.2.4	Infiltración.....	22
2.2.4.1	Método de infiltrómetro de doble cilindro.....	24
2.3	Propiedades hídricas de los suelos.....	25
2.3.1	Agua del suelo.....	25
2.3.2	Fuerzas de retención del agua.....	25
2.3.3	Clasificación de humedad en el suelo.....	26
2.3.4	Constantes de humedad.....	27
2.3.4.1	Capacidad de campo.....	27
2.3.4.1.1	Evaluación.....	28
2.3.4.2	Punto de marchitamiento permanente.....	28
2.3.4.2.1	Evaluación.....	29
2.3.4.3	Limite productivo.....	29
2.3.4.4	Humedad disponible o agua aprovechable.....	30
2.4	Necesidades de agua en los cultivos.....	31
2.4.1	Proceso de evapotranspiración.....	31
2.4.1.1	Evaporación.....	31
2.4.1.2	Transpiración.....	32
2.4.1.3	Evapotranspiración (ET).....	32
2.4.2	Unidad de medida.....	33
2.4.3	Evapotranspiración calculada con datos meteorológicos.....	33
2.4.4	Ecuación FAO Penman – Monteith.....	34
2.4.5	Procedimientos de cálculo.....	35
	CAPÍTULO III	36
	METODOLOGÍA	36
3.1	Descripción de las parcelas experimentales del CDT Mirafior Las Segovias, Estelí.....	38
3.1.1	Parcela experimental 1. (PE – 1).....	38
3.1.2	Parcela experimental 2. (PE – 2).....	38
3.2	Levantamiento topográfico.....	38

3.2.1	Sistema de posicionamiento global (GPS).....	38
3.2.2	Procedimiento de campo.	39
3.2.3	Procedimiento de los puntos levantados en MapSource.....	40
3.3	Velocidad de infiltración.	40
3.3.1	Instrumentos.	40
3.3.2	Procedimiento.	41
3.4	Descripción de calicatas.....	41
3.5	Análisis de suelo.....	44
3.5.1	Textura.	44
3.5.1.1	Método de la pipeta de Robinson.	44
3.5.1.2	Materiales y aparatos utilizados.....	45
3.5.2	Densidad real.....	45
3.5.2.1	Método del picnómetro.....	45
3.5.2.2	Equipos.....	45
3.5.3	Densidad aparente.....	46
3.5.3.1	Método del cilindro.....	46
3.5.3.2	Equipos.....	46
3.5.4	Capacidad de campo.....	47
3.5.4.1	Olla extractora.....	47
3.5.4.2	Equipos.....	48
3.5.5	Punto de marchitez permanente.....	48
3.5.5.1	Determinación por formula.....	48
3.5.6	Humedad disponible o agua aprovechable.....	48
3.5.7	Evapotranspiración.	48
3.5.7.1	Ingreso de datos al CROPWAT.....	49
3.5.7.2	Unidades de los datos meteorológicos.....	51
3.5.7.2.1	Humedad.....	51
3.5.7.2.2	Radiación solar.....	52
3.5.7.2.3	Evapotranspiración de referencia (ETo).....	53
3.5.7.2.4	Insolación directa.....	53
3.5.7.2.5	Temperatura.....	54
3.5.7.2.6	Velocidad del viento.....	55

CAPÍTULO IV	57
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	57
4.1 Análisis de los resultados de la textura del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.....	58
4.2 Análisis de los resultados de la densidad aparente del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.....	60
4.3 Análisis de los resultados de la densidad real del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.....	62
4.4 Análisis de los resultados de la porosidad del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.....	64
4.5 Análisis de los resultados de la capacidad de campo del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.....	66
4.6 Análisis de los resultados del punto de marchitez permanente del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.....	68
4.7 Análisis de los resultados del límite productivo del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.....	70
4.8 Análisis de los resultados de la evapotranspiración.....	72
4.9 Descripción morfológica de los perfiles del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.....	77
4.10 Análisis de los resultados de la velocidad de infiltración del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Las Segovias.....	81
CAPÍTULO V	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1 Conclusiones.....	83
5.2 Recomendaciones.....	85
5.3 Bibliografías.....	86

INDECE DE ANEXOS

ANEXOS 1.0. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LOS DE SUELOS DEL CDT MIRAFLOR, LAS SEGOVIAS.

ANEXOS 2.0. GRÁFICOS DE LOS SUELOS DEL CDT MIRAFLOR, LAS SEGOVIAS.

Anexos 2.1. Análisis de rutina, bases y especiales. En el CDT Mirafior, Las Segovias.

Anexos 2.2. Análisis de la textura. En el CDT Mirafior, Las Segovias.

Anexos 2.3. Propiedades volumétricas. En el CDT Mirafior, Las Segovias.

Anexos 2.4. Constantes de humedad. En el CDT Mirafior, Las Segovias.

Anexos 2.5. Velocidades de infiltración. En el CDT Mirafior, Las Segovias.

Anexos 2.6. Evapotranspiración mensual & anual.

ANEXOS 3.0. TABLAS DE INFILTRACIÓN DE CAMPO Y CALCULADA DEL CDT MIRAFLOR, LAS SEGOVIAS.

Anexos 3.1. Datos en campo de la velocidad de infiltración. En el CDT Mirafior, Las Segovias.

Anexos 3.2. Datos de la velocidad de infiltración de campo corregida. En el CDT Mirafior, Las Segovias.

ANEXOS 4.0. DATOS METEOROLÓGICOS ANUAL DE LA ESTACIÓN CONDEGA/CONDEGA.

ANEXOS 5.0. MAPAS DEL CDT MIRAFLOR, LAS SEGOVIAS.

ANEXOS 6.0. FOTOS.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló a través de análisis de suelo en el Centro de Desarrollo Tecnológico INTA Mirafior Las Segovias, con una descripción morfológica y ensayos de campo; de los resultados hidrofísicos del laboratorio se interpretaron las muestras extraídas para cada una de las profundidades de las calitas, con el objetivo de determinar las principales características de estos suelos.

El trabajo en estudio se realizó en el CDT INTA Mirafior Las Segovias, ubicado en la localidad La Perla, municipio de Estelí; contando con una extensión total de 9.593 Ha. En donde se seleccionaron dos parcelas experimentales (PE – 1, PE – 2) en condiciones naturales de estos suelos.

Se realizó el levantamiento topográfico con la utilización del GPS, con el objetivo de conocer la extensión total del CDT INTA Mirafior Las Segovias, ubicación de las parcelas experimentales, la ubicación en la toma de las muestras y la realización de la velocidad de infiltración.

La metodología empleada para la velocidad de infiltración fue por el método de doble cilindros infiltrómetros, contando con un juego de tres cilindros y ubicándolos en forma triangular a 10 mts de distancia entre de cada uno de ellos. Por medio de la ecuación de Kostiakov, se determinó las ecuaciones características para cada una de las parcelas experimentales.

En cuanto a la descripción de los suelos se utilizó la metodología recomendada por la FAO (1990), determinando las principales características físicas. Teniendo presentes estas propiedades se clasificó el ordeno de suelo perteneciendo a los Inceptisoles. Para conocer la evapotranspiración potencial se utilizó la ecuación de la FAO Penman Monteith, a través de la hoja de cálculo de CROPWAT 8.0, que utiliza registros meteorológicos de la estación más cercana al estudio en un rango de tiempo delimitado.

De los resultados obtenidos en laboratorio se tienen que los suelos del CDT INTA Mirafior Las Segovias posee una textura *franco arcilloso a arcilloso*, suelos de textura fina predominante. Para las propiedades volumétricas se determinaron valores de densidad aparente evaluados de *muy baja a medios* y para la densidad real evaluados de *medios a altos*; de ellos se deriva un valor de la porosidad evaluado de *media a muy alta*, ya que esta depende directamente de las densidades de los suelos.

Para las propiedades hidrofísicas que se obtuvieron en el laboratorio la capacidad de campo está en el rango de *mediana a alta* y para el punto de marchitez permanente se evaluó como *media*, encontrándose dentro del rango característico en relación con la clase textural arcillosa de los suelos del CDT INTA Mirafior Las Segovias.

De la velocidad de infiltración se obtuvieron valores de *moderadamente rápida a muy rápida*, determinándose su ecuación característica y estos resultados no corresponden con la clase textural arcillosa de los suelos del CDT Mirafior Las Segovias.

Los resultados de este estudio serán utilizados en la evaluación e instalación de los sistemas de riego en el CDT INTA Mirafior Las Segovias, como parte elemental en el diseño de un sistema acorde a cada una de las características existentes en el centro experimental, ya que el riego forma un elemento importante en la implementación y producción de semillas del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción.

El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), dispone de nueve Centros de Desarrollos Tecnológicos (CDT), donde se desarrollan innovaciones tecnológicas en generación y multiplicación de semillas. De manera que se viene avanzando en el establecimiento de sistemas de riego que permitan suplir estas necesidades en tiempo y forma como también hacer uso racional del líquido vital agua ante los efectos del cambio climático.

Actualmente de los nueve centros, cinco de estos cuentan con una evaluación de las propiedades hidrofísicas y edafoclimáticas, a través de estudios monográficos; para conocer el manejo adecuado de estos suelos y con ello lograr un uso adecuado de su potencial de riego.

Actualmente, en el Centro Experimental Mirafior, la aplicación del riego es en base a la experiencia del personal que efectúa el mantenimiento del Centro Experimental, dentro del marco agronómico sin considerar aspectos técnicos – económicos de riego, donde se provocan grandes pérdidas de aguas.

Por lo antes mencionado, es necesario realizar estudios de las propiedades hidrofísicas del suelo en el Centro de Desarrollo Tecnológico INTA Mirafior Las Segovias, con la finalidad de obtener datos de las características hidrofísicas y sus parámetros edafoclimáticos del suelo que permitan elaborar diseños de sistemas de riego adecuados con las necesidades hídricas del cultivo y de esta manera desarrollar una explotación óptima de los recursos agua – suelo, al aplicar una lámina de riego idónea para el cultivo.

1.2 Antecedentes.

En el Centro de Desarrollo Tecnológico Mirafior, para la aplicación de agua de los cultivos, no cuenta con normas de riego, hidromódulos. En el año 2010 el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) realizó un estudio que consistió en realizar un levantamiento topográfico del área que posee el centro, con el propósito de conocer las áreas experimentales, pendientes de las mismas y la ubicación del ojo de agua utilizada en el riego de las parcelas experimentales.

También el estudio consistió en la propuesta de un diseño de una laguna de tierra, con la finalidad de usar la tecnología de cosechar agua durante el tiempo lluvioso y así tener disponibilidad en los periodos secos, ya que de esta manera se podrá instalar sin ningún problema el sistema de riego para cada una de las parcelas experimentales.

Desde el año 2008, en diferentes zonas de nuestro país como en el ingenio Monte Rosa, ubicado en el departamento de Chinandega, en el Centro Nacional de Investigación Agropecuario y Biotecnología del INTA, ubicado en el departamento de Managua y en el Centro de Desarrollo Tecnológico Santa Rosa, ubicado en la localidad de Sabana Grande del departamento de Managua; se han venido realizando estudios para determinar las principales características hidrofísicas de los suelos. En estos estudios se determinaron cada una de sus propiedades edafoclimáticas como hidrofísicas, también se desarrollaron pruebas de infiltración por el método de los cilindros de doble anillo.

Por lo anterior podemos decir que ya se han venido realizando estudios de suelos en diferentes áreas de interés. Estos estudios serán objeto de futuras investigaciones orientadas a facilitar datos que puedan brindar un mejor manejo, uso, explotación y conservación del recurso suelo.

1.3 Justificación.

Actualmente en el Centro de Desarrollo Tecnológico Miraflor Las Segovias, el riego de los cultivos en las parcelas se hace a través del sistema de riego por goteo hasta ahora establecido, donde irrigan basándose en la experiencia del personal que interviene en los distintos rubros.

Por lo antes descrito se hace necesario determinar los parámetros hídricos en el Centro de Desarrollo Tecnológico Miraflor Las Segovias, tomando en cuenta las condiciones locales tanto climáticas y edáficas, que permitirán actualizar y servir de información básica para establecer normas de riego que contribuyan en la aplicación del agua necesaria que demanda cada uno de los cultivos en su fase fenológica y por ende reducir la cantidad de energía al aprovechar los recursos hídricos de forma adecuada.

Con esta investigación se logrará dar respuesta y facilitar el cálculo de las necesidades hídricas, normas de riego, programa de riego, como también a futuras investigaciones.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

- ✚ Determinar los parámetros hidrofísicos de los suelos en el Centro de Desarrollo Tecnológico INTA Miraflor Las Segovias, Estelí.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ✚ Establecer las características edáficas del suelo: textura, estructura, densidad aparente, densidad real y porosidad.
- ✚ Determinar las propiedades hidrofísicas del suelo: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y velocidad de infiltración (VI).
- ✚ Calcular la evapotranspiración potencial por el método FAO PENMAN – MONTIETH, en base a datos meteorológicos históricos.

1.5 Localización del Centro de Desarrollo Tecnológico Miraflores Las Segovias, Estelí.

El campo experimental Miraflores, está ubicado en la localidad La Perla a 35 km en dirección nor-oeste del municipio de Estelí, departamento de Estelí, cuenta con una extensión de 9.593 Ha.

1.5.1 Delimitación Geográfica.

El Centro Experimental Miraflores se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 13° 15'33.30" latitud norte y 86°16'18.63" longitud oeste.

Tabla N° 1. Linderos del centro experimental.

N°	Coordenada Geográfica	Propiedad
1	Norte:	Propiedad Sr. Ruiz
2	Sur:	Propiedad Sra. Maribel González y Carretera
3	Este:	Propiedad Sra. Rosa Fuentes
4	Oeste:	Propiedad Sr. Wanerge Mairena

FUENTE. Propia.

1.5.2 Ubicación de las parcelas experimentales y áreas de interés.

Las áreas de interés del campo experimental del Centro de Desarrollo Miraflores se encuentran ubicadas entre las siguientes coordenadas.

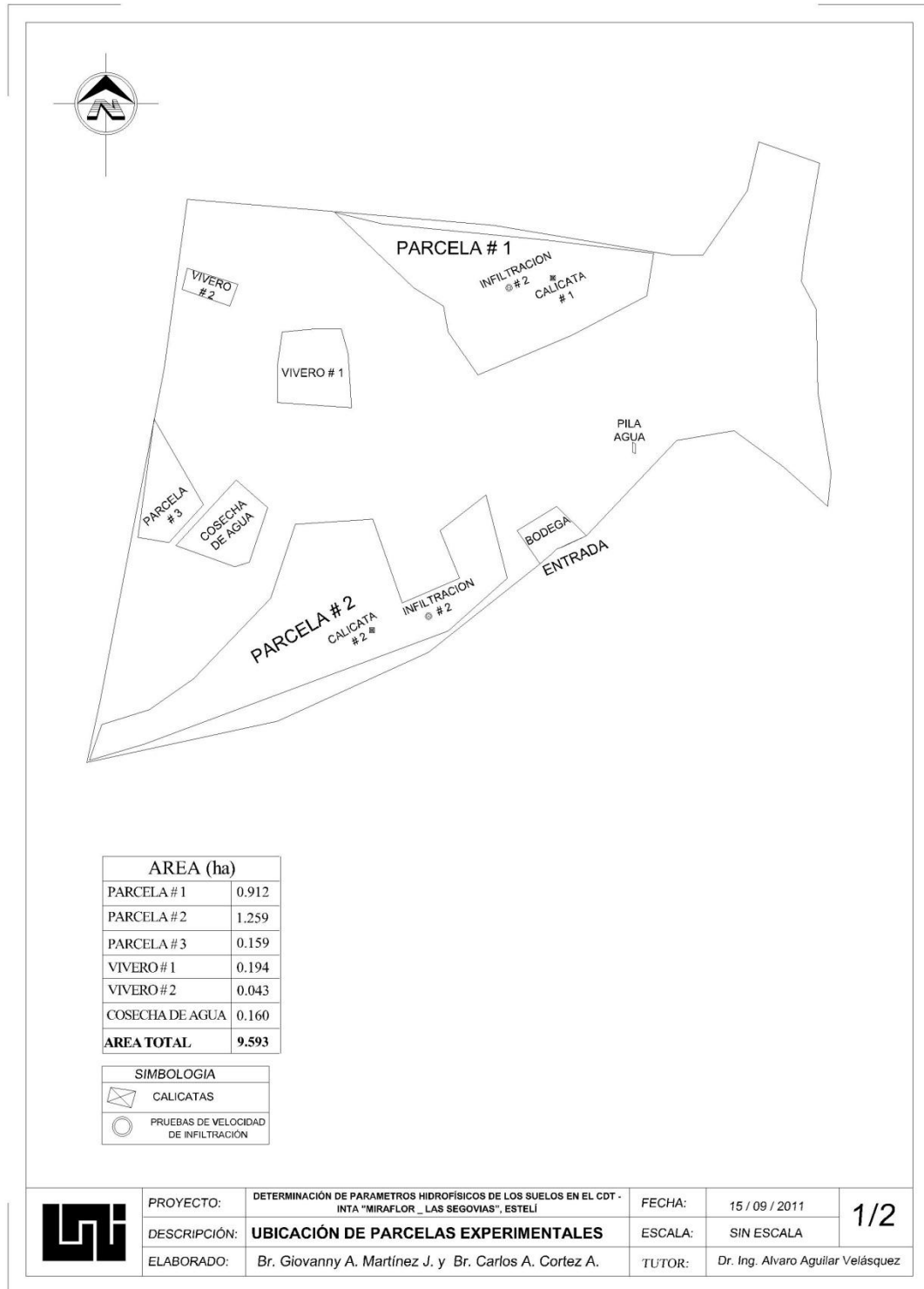
Tabla N° 2. Localización de las parcelas experimentales.

N°	Nombre	Área (ha)	Posición	Altura
1	Parcela N° 1	0.912	N13 °15'44.22" W86 °16'28.92"	1396 m
2	Parcela N° 2	1.259	N13°15'35.94" W86 °16'26.64"	1399 m
3	Área Total	9.593	N13°15'34.14 W86 °16'30.06"	1399 m

FUENTE. Propia.

1.5.4 Micro localización.

Figura 2. Micro localización del CDT Miraflores.



FUENTE. Propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Propiedades físicas de los suelos.

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y retención de nutrientes.

El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva.

2.1.1 La textura del suelo.

Es precisamente esta proporción, de cada elemento del suelo, lo que se llama la textura, o dicho de otra manera, la textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de fortalecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición.

Hay que considerar en primer término la roca madre; el suelo tendrá indiscutiblemente una tendencia congénita a ser arcilloso, limoso, arenoso, según que la roca sea arcillosa, limosa, o arenosa, en el caso de rocas sedimentarias y sedimentos, o bien que sea capaz de producir esos elementos en el curso de su alteración, si se presenta al estado de roca consolidada y coherente.

2.1.1.1 Clasificación y propiedades de las partículas del suelo.

La composición por tamaño de las partículas (granulométricas) de un suelo, es el porcentaje de materia mineral en peso de cada fracción, obtenida por separación de las partículas minerales en dos o más clases por tamaño mutuamente excluyentes.

Las propiedades de las partículas gruesas y finas del suelo difieren considerablemente, pero no hay una división natural marcada de ninguna clase de tamaño de partícula. Sin embargo, para propósitos prácticos se han establecido algunos límites. Comúnmente en los suelos se separan por lo menos tres clases por tamaño usualmente denominados arena, limo y arcilla. El procedimiento usado para medir la composición granulométrica es el análisis granulométrico o mecánico. Los numerosos métodos de análisis están basados en el hecho de que la velocidad de caída de las partículas del suelo a través del agua aumenta con el diámetro de las mismas, o en una combinación de esta propiedad con el uso de tamices para separar las partículas gruesas.

Se han propuesto varias y diferentes clasificaciones de las fracciones. Citaremos dos de las más importantes, la establecida por el Departamento de Agricultura (U.S.D.A) y la propuesta últimamente por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo. (Se exponen ambas en la **Tabla Nº 3**)

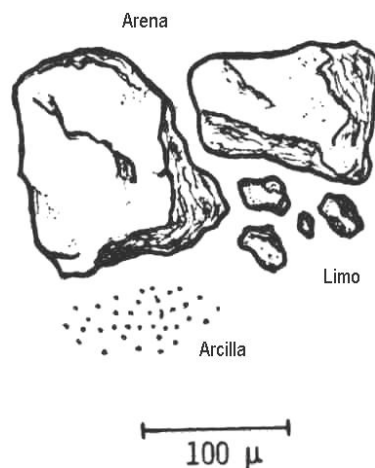
Tabla Nº 3. Clasificación de las partículas del suelo.

Fracción del suelo	Sistema del Depto. de Agricultura de EE.UU.	Sistema Internacional
	Diámetros límites en mm.	Diámetros límites en mm.
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00	
Arena gruesa	1.00 - 0.50	2.00 - 0.20
Arena media	0.50 - 0.25	
Arena fina	0.25 - 0.10	0.20 - 0.002
Arena muy fina	0.10 - 0.05	
Limos	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Arcilla	Menos de 0.002	Menos de 0.002

FUENTE. Propiedades físicas de los suelos. L. Rucks. Montevideo-Uruguay, 2004.

Todas las clasificaciones por tamaño, tienen en común el límite de dos micras (0.002 mm) para la fracción arcilla y difieren fundamentalmente en la subdivisión de la fracción arena.

Figura 3. Relación en tamaño de partículas de arena, limo y arcilla.

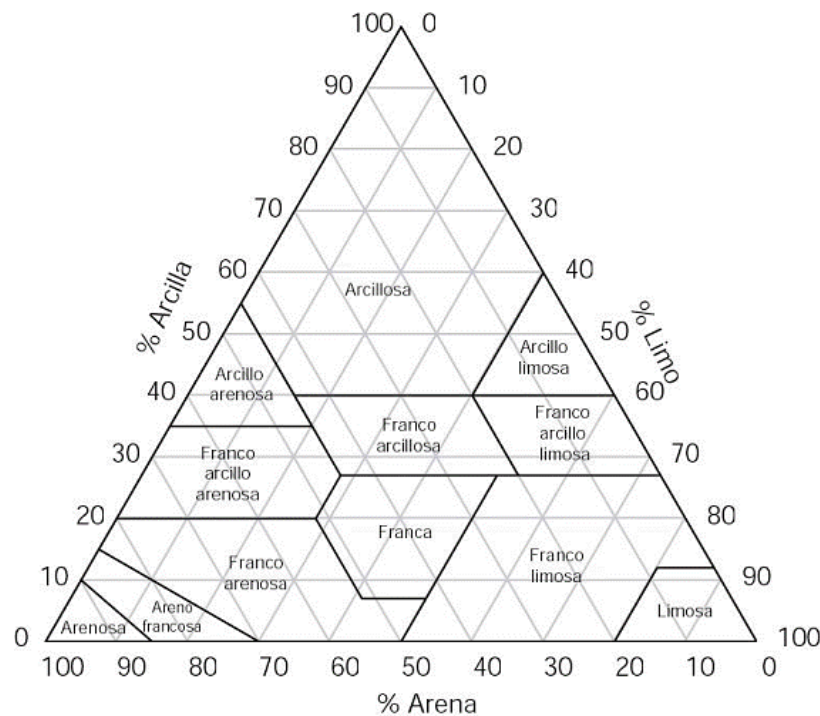


FUENTE. Propiedades físicas de los suelos. L. Rucks. Montevideo-Uruguay, 2004.

2.1.1.2 Clases texturales.

Los nombres de las clases de textura se utilizan para identificar grupos de suelos con mezclas parecidas de partículas minerales. Los suelos minerales pueden agruparse de manera general en tres clases texturales que son: las arenas, las margas y las arcillas, y se utiliza una combinación de estos nombres para indicar los grados intermedios. Por ejemplo, los suelos arenosos contienen un 70 % o más de partículas de arena, los areno-margosos contiene de 15 a 30 % de limo y arcilla. Los suelos arcillosos contienen más del 40 % de partículas de arcilla y pueden contener hasta 45 % de arena y hasta 40 % de limo, y se clasifican como arcillo-arenosos o arcillo-limosos. Los suelos que contienen suficiente material coloidal para clasificarse como arcillosos, son por lo general compactos cuando están secos, pegajosos y plásticos cuando están húmedos. Las texturas margas constan de diversos grupos de partículas de arena, limo y arcilla y varían desde margo-arenoso hasta los margo-arcillosos. Sin embargo, aparentan tener proporciones aproximadamente iguales de cada fracción.

Figura 4. Triangulo textural según clasificación del USDA.



FUENTE. Propiedades físicas de los suelos. L. Rucks. Montevideo-Uruguay, 2004.

2.1.2 Estructura.

La estructura es la forma en que las partículas del suelo se reúnen para formar agregados. De acuerdo a esta característica se distinguen suelos de estructura esferoidal (agregados redondeados), laminar (agregados en láminas), prismática (en forma de prisma), blocosa (en bloques), y granular (en granos).

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

Figura 5. Partículas de agregado y estructura del suelo.



FUENTE. <http://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo2.shtml>

2.1.2.1 Grados de estructuras del suelo.

El grado de estructura es la intensidad de agregación y expresa la diferencia entre la cohesión dentro de los agregados y la adhesividad entre ellos. Debido a que estas propiedades varían según el contenido de humedad del suelo, el grado de estructura debe determinarse cuando el suelo no esté exageradamente húmedo o seco. Existen cuatro grados fundamentales de estructura que se califican entre 0 y 3, de la manera siguiente:

1. **Sin estructura:** condición en la que no existen agregados visibles o bien no hay un ordenamiento natural de líneas de debilidad, tales como:
 - ✚ **Estructura de aglomerado** (coherente) donde todo el horizonte del suelo aparece cementado en una gran masa.
 - ✚ **Estructura de grano simple** (sin coherencia) donde las partículas individuales del suelo no muestran tendencia a agruparse, como la arena pura.
2. **Estructura débil:** está deficientemente formada por agregados indistintos apenas visibles. Cuando se extrae del perfil, los materiales se rompen dando lugar a una mezcla de escasos agregados intactos, muchos quebrados y mucho material no agregado.
3. **Estructura moderada:** se caracteriza por agregados bien formados y diferenciados de duración moderada, y evidentes aunque indistintos en suelos no alterados. Cuando se extrae del perfil, el material edáfico se rompe en una mezcla de varios agregados enteros distintos, algunos rotos y poco material no agregado.
4. **Estructura fuerte:** se caracteriza por agregados bien formados y diferenciados que son duraderos y evidentes en suelos no alterados. Cuando se extrae del perfil, el material edáfico está integrado principalmente por agregados enteros e incluye algunos quebrados y poco o ningún material no agregado.

2.1.2.2 Clases y tipos de estructura del suelo.

La clase de estructura describe el tamaño medio de los agregados individuales. En relación con el tipo de estructura de suelo de donde proceden los agregados, se pueden reconocer, en general, cinco clases distintas que son las siguientes:

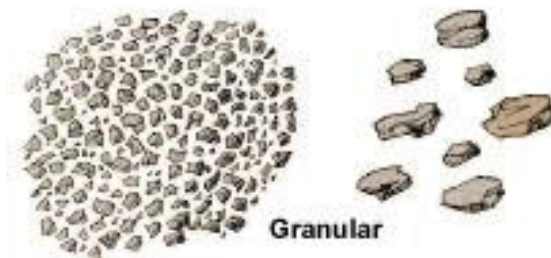
- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| ✚ Muy fina o muy delgada. | ✚ Gruesa o espesa. |
| ✚ Fina o delgada. | ✚ Muy gruesa o muy espesa. |
| ✚ Mediana. | |

2.1.2.2.1 Estructuras granulares y migajosas:

Son partículas individuales de arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños casi esféricos.

El agua circula muy fácilmente a través de esos suelos. Por lo general, se encuentran en el horizonte A de los perfiles de suelos.

Figura 6. Estructura granular.



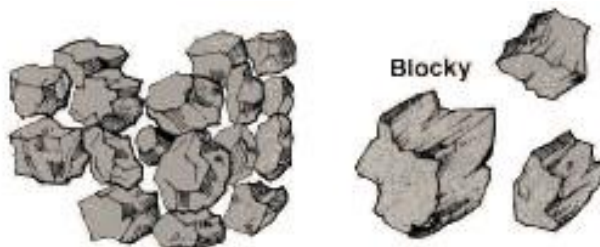
FUENTE. <http://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo2.shtml>

2.1.2.2.2 Estructuras en bloques o bloques subangulares:

Son partículas de suelo que se agrupan en bloques casi cuadrados o angulares con los bordes más o menos pronunciados.

Los bloques relativamente grandes indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento del agua. Suelen encontrarse en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla.

Figura 7. Estructura en bloques o bloques subangulares.



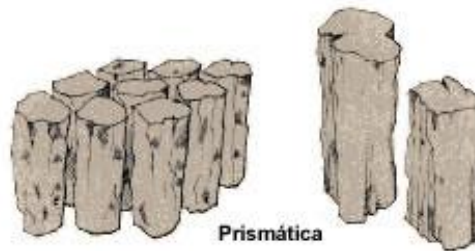
FUENTE. <http://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo2.shtml>

2.1.2.2.3 Estructuras prismáticas y columnares:

Son partículas de suelo que han formado columnas o pilares verticales separados por fisuras verticales diminutas, pero definidas.

El agua circula con mayor dificultad y el drenaje es deficiente. Normalmente se encuentran en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla.

Figura 8. Estructura prismática y columnar.



FUENTE. <http://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo2.shtml>

2.1.2.2.4 Estructura laminar:

Se compone de partículas de suelo agregadas en láminas o capas finas que se acumulan horizontalmente una sobre otra. A menudo las láminas se traslapan, lo que dificulta notablemente la circulación del agua.

Esta estructura se encuentra casi siempre en los suelos boscosos, en parte del horizonte A y en los suelos formados por capas de arcilla.

Figura 9. Estructura laminar.



FUENTE. <http://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo2.shtml>

2.2 Relaciones volumétricas y gravimétricas.

El suelo es un material constituido por el esqueleto de partículas sólidas rodeado por espacios libres (vacíos), en general ocupados por agua y aire. Para poder describir completamente las características de un depósito de suelo es necesario expresar las distintas composiciones de sólido, líquido y aire, en términos de algunas propiedades físicas.

Entre estas fases es preciso definir un conjunto de relaciones que se refieren a sus pesos y volúmenes, las cuales sirven para establecer la necesaria nomenclatura y para contar con conceptos mensurables, a través de cuya variación puedan seguirse los procesos ingenieriles que afectan a los suelos.

En los laboratorios de suelos pueden determinarse fácilmente el peso de las muestras húmedas, el peso de las muestras secadas al horno, y el peso específico de los suelos.

2.2.1 Densidad aparente.

La densidad aparente de un suelo, se define como el cociente que resulta de dividir el peso de suelo seco entre el volumen total, incluyendo los poros. Usualmente se expresa en gr/cm^3 . Para fines prácticos, conceptualmente esto es lo mismo que peso volumétrico.

$$D_a = \frac{P_{ss}}{V_t} \quad \text{Ecuación 1.0}$$

donde:

- ✚ Da = Densidad aparente (gr/cm^3)
- ✚ Pss = Peso del suelo seco (gr)
- ✚ Vt = Volumen total (cm^3)

2.2.1.1 Evaluación.

Tabla N° 4. Densidad aparente.

Evaluación	gr/cm ³
Muy Bajo	<1.00
Bajo	1.00 – 1.20
Mediana	1.20 – 1.45
Alta	1.45 – 1.60
Muy Alta	> 1.60

FUENTE. Laboratorio de Edafología UNI.

2.2.2 Densidad real.

La densidad real de un suelo, es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (P_{ss}) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (V_p). Usualmente se expresa en gr/cm^3 .

$$D_r = \frac{P_{ss}}{V_p} \quad \text{Ecuación 2.0}$$

donde:

- D_r = densidad real (gr/cm^3)
- P_{ss} = peso del suelo seco (gr)
- V_p = volumen de las partículas (cm^3)

2.2.2.1 Evaluación.

Tabla Nº 5. Densidad real.

Evaluación	gr/cm ³
Bajo	<2.40
Medio	2.40 – 2.60
Alto	2.60 – 2.80
Muy Alto	>2.80




FUENTE. Laboratorio de Edafología UNI.

2.2.3 Porosidad.

La porosidad se define como el porcentaje del volumen total de suelo que está ocupado por los poros:

$$Pt = \frac{V}{V_t} \times 100 \quad \text{Ecuación 3.0}$$

donde:

-  Pt = porosidad, %
-  V = volumen de vacíos, cm³
-  Vt = volumen total, cm³

El espacio poroso es la porción de suelo no ocupado por partículas sólidas (minerales u orgánicas). Los espacios porosos están ocupados por aire y agua. El arreglo de las partículas sólidas del suelo determina la cantidad de espacio poroso. La relación de la textura con la porosidad es alta; en suelos arenosos, se tienen poros grandes y continuos, en suelos arcillosos, se tienen poros muy

pequeños pero más abundantes, por lo mismo, los suelos arcillosos tienen una mayor porosidad total.

En suelos arcillosos el escaso intercambio de aire puede ser inadecuado para las raíces de las plantas. El movimiento más rápido de agua y de aire está en las arenas y suelos de agregados fuertes, cuyos agregados actúan como granos y paquetes para formar poros grandes.

Los poros pueden dividirse en cuatro grupos de acuerdo al tamaño: macro poros (0.2 mm), poros medios (0.2 a 0.02 mm), poros finos (0.02 a 0.002 mm), poros muy finos (menores a 2 micrones).

Para el crecimiento adecuado de las plantas es más importante el tamaño de los poros que el espacio poroso total, esto es, debido al tamaño de raíces (8 a 12 micrones) las cuales en poros grandes se desarrollarán mejor.

Los valores de la porosidad fluctúan alrededor de los porcentajes siguientes:

- ✚ 30% para las arenas.
- ✚ 50% para las texturas francas.
- ✚ 65% para las arcillas.

Los datos obtenidos en las determinaciones de densidad aparente y densidad real se pueden utilizar para obtener el valor de la porosidad total del suelo, la cual se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$Pt = \frac{Dr - Da}{Dr} \times 100 = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100 \quad \textbf{Ecuación 4.0}$$

donde:

- ✚ Pt = porosidad total (%)
- ✚ Dr = densidad real (gr/cm³) (generalmente igual a 2.65 gr/cm³)
- ✚ Da = densidad aparente (gr/cm³)

2.2.3.1 Evaluación

Tabla Nº 6. Porosidad.

Evaluación	%
Muy Alta	> 65
Alta	55 - 65
Mediana	45 – 55
Baja	40 – 45
Muy Baja	< 40

FUENTE. Laboratorio de Edafología UNI.

2.2.4 Infiltración.

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos. Se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/hr o cm/min.

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él.

Ortiz y Ortiz (1980), mencionan que los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son:

- ✚ Textura. Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.

- ✚ Estructura. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
- ✚ Cantidad de materia orgánica. Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
- ✚ Profundidad del suelo a una capa endurecida “hardpan”, lecho rocoso u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- ✚ Cantidad de agua en el suelo. En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.
- ✚ Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los suelos fríos.
- ✚ Cantidad de organismos vivos. A mayor actividad microbológica en los suelos habrá una mayor infiltración. Un caso típico es la elaboración de pequeños túneles por las lombrices, los cuales favorecen la infiltración y la penetración de las raíces así como la aireación.

Tabla Nº 7. Clasificación de la magnitud de infiltración.

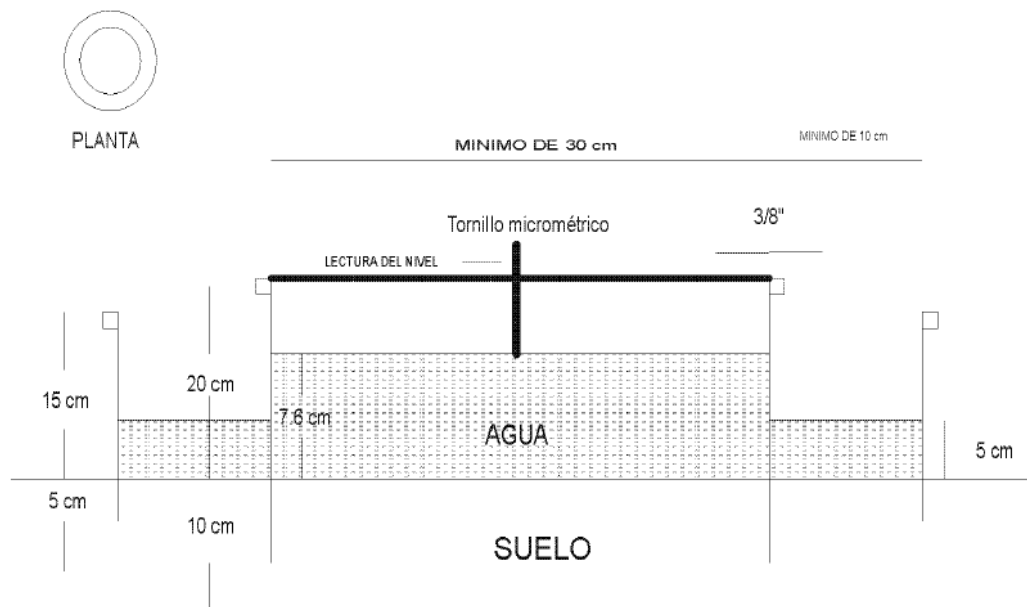
Infiltración <i>mm/hr</i>	Interpretación
< 1	Adecuado para cultivo de Arroz. Con el fangueo se debe conseguir una capa impermeable con una infiltración menor a 0.2 mm h ⁻¹
1 a 5	Lenta. Riesgo de erosión importante. Se pierde una parte considerable del agua de riego. Puede haber falta de aireación para las raíces en condiciones de exceso de humedad.
5 a 20	Moderadamente Lenta. Óptima para riego de superficie.
20 a 60	Moderada. Adecuada para Riego de Superficie.
60 a 125	Moderadamente Rápida. Demasiado rápida para riego de superficie, provoca pérdida de nutrientes por lavado. Baja eficiencia del riego de superficie. Se requiere riego localizado o riego por aspersión.
125 a 250	Rápida. Marginal para riego de superficie. Se requiere de riego localizado o riego por aspersión.
> 250	Muy Rápida. Excesiva para riego de superficie. Se requiere riego localizado o riego por aspersión.

FUENTE. Edafología para la agricultura y el medio ambiente (Landon, 1984).

2.2.4.1 Método de infiltrómetro de doble cilindro.

El método consiste en instalar en el terreno que se requiere determinar su infiltración, en un sitio característico y previamente limpiado de hierbas, desechos y piedras, dos cilindros concéntricos de acero, huecos en el centro, con medidas aproximadas de 40 cm de alto, de 30 y 45 cm de diámetro respectivamente, según se muestra en la figura siguiente:

Figura 10. Infiltrómetro de doble cilindro.



FUENTE. Apuntes de la materia de riego y drenaje. R Cisnero. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

2.3 Propiedades hídricas de los suelos.

2.3.1 Agua del suelo.

El contenido de agua en el suelo tiene un efecto principal sobre la disponibilidad de agua para el crecimiento vegetal. El agua tiene cuatro funciones fundamentales en las plantas: es el mayor constituyente del protoplasma (85 a 95%), es esencial para la fotosíntesis y la conversión de almidones en azúcar, es el solvente en el cual los nutrientes se mueven en y a través de las partes de la planta y provee de turgidez a la planta para mantenerla en la forma y posición apropiada.

La mayor parte del agua absorbida por las plantas se da a nivel de raíces aunque puede también hacerlo a través de los estomas en mínima proporción.

Para un uso óptimo del agua es necesario conocer cómo se encuentra en y a través del suelo, cómo el suelo almacena agua, cómo la planta lo absorbe, cómo se pierden los nutrientes del suelo por percolación y cómo medir el contenido de humedad y pérdidas de agua.

También se menciona, que el agua y la atmósfera forman respectivamente a la fase líquida y la fase gaseosa. La fase líquida está constituida por agua y la solución del suelo.

2.3.2 Fuerzas de retención del agua.

El estudio del agua del suelo, bajo el punto de vista agrícola, es muy importante ya que está estrechamente relacionada con la nutrición vegetal. Es por tanto necesario conocer cómo se encuentra retenida en el suelo y como se mueve a través del mismo.

Existen fuerzas de atracción entre los átomos de hidrógeno del agua y los átomos de oxígeno de las superficies minerales del suelo o de otras moléculas de agua, mantienen agua en el suelo en contra de la fuerza de gravedad. Esta atracción de los átomos de hidrógeno del agua por los átomos de oxígeno de minerales se

conoce como adhesión; la fuerza de atracción de los átomos de hidrógeno del agua por los átomos de oxígeno de otras moléculas de agua se le llama cohesión. Estas fuerzas combinadas se presentan en gran cantidad, provocando que películas de agua de considerable espesor sean mantenidas en la superficie de las partículas del suelo.

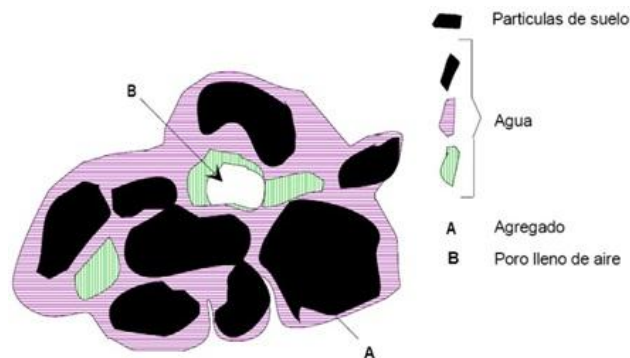
Como las fuerzas que retienen el agua en el suelo son fuerzas de atracción superficial, entre más superficie (más arcilla y materia orgánica) tenga un suelo, mayor es la cantidad retenida de agua.

La fuerza con la que el agua es retenida en el suelo se mide como la fuerza requerida para empujar el agua fuera del suelo. Esta fuerza se le llama tensión o succión del suelo o potencial húmedo. Las fuerzas de retención son comúnmente medidas en bares o en atmósferas.

2.3.3 Clasificación de humedad en el suelo.

Los espacios entre las partículas del suelo forman una red de cavidades conectadas entre sí, de una variedad infinita de formas y dimensiones. Al suministrar agua en un suelo seco, ya sea por lluvia o por riego, ésta se distribuye alrededor de las partículas y es retenida por las fuerzas de adhesión y de cohesión; desplaza el aire de las cavidades y finalmente, llena los poros (ver figura siguiente).

Figura 11. Formas presentes del agua y el aire en el suelo.



FUENTE. Apuntes de la materia de riego y drenaje. R Cisnero. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Cuando los poros quedan llenos de agua se dice que el terreno está saturado y a su máxima capacidad de retención, debido a esto la película de agua alrededor de las partículas aumenta de espesor hasta que, las fuerzas de cohesión, que sostienen las películas de agua son menores que la fuerza de gravedad, provocando así su filtración. Esta agua que se filtra por acción de la gravedad y que drena libremente se conoce como **agua gravitacional o libre**.

Si se suspende el suministro de agua en la superficie, ésta continúa colocándose entre dichos poros durante varios días hasta que el agua libre logra filtrarse. Los poros se vuelven a llenar de aire y el agua contenida en los pequeños poros sigue moviéndose por capilaridad, a este tipo de agua se le conoce como **agua capilar**.

La evaporación en la superficie y la absorción de humedad por las plantas en crecimiento, reducen la cantidad de agua en el suelo hasta el punto que no se observa movimiento de capilaridad. El agua queda aprisionada herméticamente en forma de capas muy delgadas alrededor de las partículas del suelo; no puede ser aprovechada por la planta y empieza a marchitarse. Finalmente, el suelo queda tan seco que causa la muerte de la planta si se demora el suministro de agua al terreno. La parte restante del agua queda retenida entre las partículas superficiales, especialmente en los coloides del suelo, en forma tal que pierde su estado líquido y se desplaza en forma de vapor. A esta agua se le denomina **agua higroscópica**.

2.3.4 Constantes de humedad.

2.3.4.1 Capacidad de campo.

La capacidad de campo (CC) de un suelo representa la cantidad máxima de agua que puede ser retenida en un suelo en contra de la fuerza de la gravedad, después de un riego o lluvia que ha humedecido todo el suelo. En este punto el drenaje interno es insignificante. Al igual que el punto de saturación, también se ve afectado por el tipo y contenido de arcillas y materia orgánica. En términos de

tensión, el valor de capacidad de campo se obtiene, generalmente, cuando se aplica al suelo una tensión de 1/3 de atmósfera (-33 KPa).

Los suelos arenosos presentan CC de 5 - 16%; los migajones de 15 - 30%; los migajones arcillosos de 25 - 35% y los arcillosos de 30 - 70%, dependiendo del contenido y tipo de arcilla.

2.3.4.1.1 Evaluación

Tabla Nº 8. Capacidad de campo.

Evaluación	% de volumen
Baja	< 20
Media	20 – 40
Alta	40 – 55
Muy Alta	> 55

FUENTE. Laboratorio de Edafología UNI.

2.3.4.2 Punto de marchitamiento permanente.

El punto de marchitamiento permanente (PMP) se define como la cantidad de agua del suelo en el que las hojas de las plantas que en él crecen se marchitan y no son capaces de recuperarse cuando se colocan en una atmósfera casi saturada de agua durante una noche.

El punto de marchitez depende de la textura y la porosidad, y, por lo tanto, es diferente para cada tipo de suelo.

2.3.4.2.1 Evaluación

Tabla Nº 9. Punto de marchitez permanente.

Evaluación	% Hbss
Baja	< 9.2
Media	9.2 – 24.5
Alta	24.5 – 45.8
Muy Alta	> 45

FUENTE. Laboratorio de Edafología UNI.

2.3.4.3 Limite productivo.

Es un nivel superior al mínimo de absorción o punto marchitez permanente, que determina un rango óptimo de humedad para que un cultivo asegure los máximos rendimientos.

El límite productivo puede ser variable para diferentes especies vegetales y del tipo de suelo, es el nivel mínimo permisible para efectuar el riego. Aunque no es la cantidad de agua existente, sino el estado energético, lo que se toma como criterio concluyente para fijar el momento del riego, para su uso práctico es común expresar el límite productivo como un nivel de humedad, como tanto por ciento de la capacidad de campo.

De acuerdo a las propiedades hidrofísicas que se presentan en estas parcelas se consideró como el 70% de la capacidad de campo, presentando una textura que va de franco arcilloso a arcillosa y una C.C. evaluada de media a alta indicándonos buen porcentaje de retención de humedad, el cual es mayor que en un suelo arenoso, permitiéndonos una menor frecuencia entre riego.




2.3.4.4 Humedad disponible o agua aprovechable.

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, determinada por la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, es conocida como “agua disponible”. Se expresa como porcentaje de peso del suelo seco. Se considera que a capacidad de campo el agua es 100% disponible y a punto de marchitez es de 0%. El valor puede oscilar entre 3 a 5% para suelos arenosos hasta 15% o más para suelos arcilloso.

$$\%H = CC - PMP$$

Ecuación 5.0

donde:

-  %H : porcentaje de humedad disponible
-  CC : capacidad de campo, en %
-  PMP : punto de marchitez permanente, en %

El agua disponible no es completamente aprovechable por las plantas. A medida que disminuye el contenido de humedad por efecto de la evapotranspiración, es mayor el esfuerzo que tienen que ejercer las raíces de las plantas para absorber el agua. Investigaciones recientes han encontrado que la disponibilidad depende de las propiedades de la planta (profundidad, extensión y densidad de raíces), las propiedades del suelo (almacenamiento, potencial matriz) y también de las condiciones microclimáticas prevaletientes, que determinan la tasa de transpiración.

2.4 Necesidades de agua en los cultivos.

2.4.1 Proceso de evapotranspiración.

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

2.4.1.1 Evaporación.

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

Cuando la superficie evaporante es la superficie del suelo, el grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y la cantidad de agua disponibles en la superficie evaporante son otros factores que afectan el proceso de la evaporación. Lluvias frecuentes, el riego y el ascenso capilar en un suelo con manto freático poco profundo, mantienen mojada la superficie del suelo. En zonas en las que el suelo es capaz de proveer agua con velocidad suficiente para satisfacer la demanda de la evaporación del suelo, este proceso está determinado solamente por las condiciones meteorológicas. Sin embargo, en casos en que el intervalo entre la lluvia y el riego es grande y la capacidad del suelo de conducir la humedad cerca de la superficie es reducida, el contenido en agua en los horizontes superiores disminuye y la superficie del suelo se seca. Bajo estas circunstancias, la disponibilidad limitada del agua ejerce un control sobre la evaporación del suelo. En ausencia de cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la superficie del suelo, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar casi totalmente en un corto lapso de tiempo.

2.4.1.2 Transpiración.

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo.

2.4.1.3 Evapotranspiración (ET).

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

La evapotranspiración de un cultivo o la pérdida combinada resultante de los procesos de evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas, tiene

especial importancia, ya que es la base de cálculo de los principales parámetros del régimen de riego de un cultivo o de un grupo de cultivos.

2.4.2 Unidad de medida.

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes o incluso un completo período de cultivo o un año.

Como una hectárea tiene una superficie de 10,000 m² y 1 milímetro es igual a 0,001 m, una pérdida de 1 mm de agua corresponde a una pérdida de 10 m³ de agua por hectárea. Es decir 1 mm día⁻¹ es equivalente 10 m³ ha⁻¹ día⁻¹.

2.4.3 Evapotranspiración calculada con datos meteorológicos.

Debido a la dificultad de obtener mediciones de campo precisas, ET se calcula comúnmente con datos meteorológicos. Una gran cantidad de ecuaciones empíricas o semi-empíricas se han desarrollado para determinar la evapotranspiración del cultivo o de referencia utilizando datos meteorológicos. Algunos de los métodos son solamente válidos para condiciones climáticas y agronómicas específicas y no se pueden aplicar bajo condiciones diferentes de las que fueron desarrolladas originalmente.

Numerosos investigadores han analizado el funcionamiento de los varios métodos del cálculo para diversas localidades. Como resultado de una consulta de expertos llevada a cabo en mayo de 1990, el método FAO Penman – Monteith se recomienda actualmente como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, ETo. La ET del cultivo bajo condiciones estándar se determina utilizando los coeficientes de cultivo (Kc) que relacionan la ETc con la ETo. La ET de superficies cultivadas bajo condiciones no estándar se ajusta mediante un coeficiente de estrés hídrico (Ks) o modificando el coeficiente de cultivo.

2.4.4 Ecuación FAO Penman – Monteith.

Un panel de expertos e investigadores en riego fue organizado por la FAO en mayo de 1990, en colaboración con la comisión internacional para el riego y drenaje y con la organización meteorológica mundial, con el fin de revisar las metodologías previamente propuestas por la FAO para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y para elaborar recomendaciones sobre la revisión y la actualización de procedimientos a este respecto.

El panel de expertos recomendó la adopción del método combinado de Penman-Monteith como nuevo método estandarizado para el cálculo de la evapotranspiración de la referencia y aconsejó sobre los procedimientos para el cálculo de los varios parámetros que la fórmula incluye. El método FAO Penman – Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m^{-1} y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. El método reduce las imprecisiones del método anterior de FAO Penman y produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos.

El método de FAO Penman – Monteith para estimar ET_0 , puede ser derivado de la ecuación original de Penman – Monteith y las ecuaciones de la resistencia aerodinámica y superficial:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{Ecuación 6.0}$$

donde:

- ✚ ETo = Evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}).
- ✚ R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).
- ✚ R_a = Radiación extraterrestre (mm día^{-1}).
- ✚ G = Flujo del calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).
- ✚ T = Temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$).
- ✚ u₂ = Velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1}).
- ✚ e_s = Presión de vapor de saturación (kPa).
- ✚ e_a = Presión real de vapor (kPa).
- ✚ Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).
- ✚ γ = Constante psicométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

2.4.5 Procedimientos de cálculo.

Los procedimientos de cálculo de todos los datos requeridos para el cálculo de la ETo por medio de la ecuación FAO Penman – Monteith pueden ser ejecutada en el programa CROPWAT 8.0, creado por la División de Desarrollo de Suelos y Aguas de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO), desarrollado para la programación de riego.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En el presente estudio monográfico, la metodología empleada consistió en:

- ✚ Realización de pruebas de infiltración por el método del infiltrómetro de doble cilindro, uno de los métodos más ampliamente utilizados para el cálculo de la infiltración y se calculó por el método desarrollado por Kostiakov-Lewis.
- ✚ Realización de calicatas para cada uno de las áreas experimentales en estudio, a las cuales se les determinó sus propiedades físicas y se extrajeron muestras en cada uno de los horizontes para su debido estudio en el laboratorio.
- ✚ Determinación de las propiedades hidrofísicas del suelo (textura, densidad aparente y real, porosidad, capacidad de campo y punto de marchitez permanente), a través de análisis físicos (que se le realizaron a las muestras de suelos) en los laboratorio de MAEL Con ECO NATURAL y el laboratorio de Edafología, UNI; la textura se determinó por el método de la pipeta de Robinson, la densidad aparente por el método del cilindro de volumen conocido, la densidad real por el método del picnómetro, la porosidad en base a las densidades.

La capacidad de campo (CC) por el método de la olla de presión y el punto de marchitez permanente (PMP) a través de formula empírica, la humedad disponible o agua aprovechable en base al CC y PMP, estos estudios se realizaron en el laboratorio de Edafología de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- ✚ Se realizó el cálculo de la evapotranspiración potencial (Eto) por el software CROPWAT 8.0 de la FAO.

3.1 Descripción de las parcelas experimentales del CDT Mirafior Las Segovias, Estelí.

3.1.1 Parcela experimental 1. (PE – 1)

La parcela experimental 1 localizada al noroeste del CDT “Mirafior Las Segovias”, posee una extensión de 0.912 ha., con suelos arcilloso; es utilizado para la producción de semillas de gramíneas mejoradas, como parte del programa de papa que maneja el Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA – CDT Mirafior Las Segovias).

3.1.2 Parcela experimental 2. (PE – 2)

La parcela experimental 2 localizada al noreste del CDT “Mirafior Las Segovias”, posee una extensión de 1.259 ha., con suelos arcilloso; es utilizado para la producción de semillas de gramíneas mejoradas, como parte del programa de papa que maneja el Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA – CDT Mirafior Las Segovias).

3.2 Levantamiento topográfico.

3.2.1 Sistema de posicionamiento global (GPS).

Para el levantamiento topográfico del área total, así como de las parcelas experimentales (PE – 1 y PE – 2) del CDT Mirafior Las Segovias se hizo a través del GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

A partir del principio matemático de la triangulación. El sistema GPS de posicionamiento global dispone de 24 satélites en órbita alrededor de la tierra. Los satélites circulan 2 veces al día alrededor del planeta y cada uno envía continuamente una señal que indica su posición en el espacio y el momento preciso en el que se envía la señal. El GPS necesita al menos 3 satélites para completar el proceso de triangulación y calcular una posición 2D (latitud, longitud).

Con 4 ó más satélites registrados, se puede determinar posiciones en 3D (latitud, longitud y elevaciones).

Debido a sus numerosas ventajas en materia de precisión, rapidez, polivalencia y productividad, el sistema GPS se está empleando cada vez más en topografía. No obstante, debe tenerse en cuenta que las técnicas empleadas son muy diferentes a los de métodos clásicos. Por otra parte la precisión con la que se cuenta varía en dependencia con el modelo y las condiciones climáticas a la hora de hacer el levantamiento.

3.2.2 Procedimiento de campo.

Para el levantamiento topográfico se utilizó un GPS marca GARMIN GPSmap 60CSx, tecnología de rápido procesamiento de datos, no requiere de más de una persona para su manejo ya que es fácil y rápido de usar.

Para el levantamiento de los puntos del CDT se realizó:

- ✚ Encender el GPS una vez posicionados en el primer punto a marcar para la delimitación del área y las parcelas experimentales, esperando unos minutos que requiere el GPS para recolectar información de los satélites y su ubicación actual, al menos deben encontrarse 4 satélites para obtener las coordenadas y comenzar a trabajar.
- ✚ Una vez ubicados en la página donde está el mapa y en la cual se guardan los puntos y rutas. Procedemos a guardar el primer punto dándole el nombre y el símbolo a utilizar.
- ✚ Caminamos sobre el perímetro del área y vamos guardando diferentes puntos describiendo de una manera homogénea la poligonal del CDT y cada una de las parcelas experimentales.

3.2.3 Procedimiento de los puntos levantados en MapSource.

Cuando se han levantado todos los puntos en campo, es necesario bajarlos del equipo para su debido procesamiento.

- ✚ Conectar el GPS a la computadora a través del cable USB y encenderlo.
- ✚ Entramos al programa MapSource y le damos “*Recibir de Dispositivo*”.
- ✚ Si el GPS no aparece automáticamente, seleccionamos la opción “*Buscar Dispositivo*”. Cuando aparezca el nombre del GPS pulsamos “*Recibir*”.
- ✚ Los datos se descargan automáticamente, una vez que los datos están en el programa, estos pueden ser editados y procesados para luego guardarse con la extensión DXF, verificar que los datos se guarden en coordenadas UTM, la cual permite que cualquier versión de AutoCad la pueda leer.
- ✚ Así mismo se pueden copiar todos los puntos en un archivo de Excel para ser procesados y los pueda reconocer el AutoCad Land o el AutoCad Civil 3D, para dibujar las curvas de nivel.
- ✚ También podemos visualizar la imagen de los puntos levantados mediante el Google Earth, de esta manera verificamos la precisión de los puntos levantados.

3.3 Velocidad de infiltración.

3.3.1 Instrumentos.

- ✚ 3 Juegos infiltrómetros de doble anillo.
- ✚ 1 Taco de madera.
- ✚ 1 Mazo.
- ✚ 3 Cronómetros.
- ✚ Hojas de campo.
- ✚ 3 Baldes.
- ✚ 1 Cinta métrica (50 mt.)

3.3.2 Procedimiento.

Se selecciona un sitio representativo dentro de las áreas experimentales, se limpia con una pala la vegetación de la superficie, en el lugar donde se instalará los infiltrómetros, teniendo la precaución de no alterar la estructura del suelo. A continuación, con golpes suaves sobre el trozo de madera, puesto sobre el cilindro, se introduce el cilindro hasta una profundidad aproximada de 10 a 15 cm.

Colocando los juegos de 3 cilindros infiltrómetros, en forma triangular cada uno a una distancia de 10 m. De esta forma se garantiza que los resultados obtenidos en el lote de estudio mantengan un mismo comportamiento, descartando el infiltrómetros con resultados erróneos.

Una vez instalados, se llena de agua el anillo exterior, se cubre el anillo interior con un plástico lo más adherido a las paredes posible y se vierte agua. Entonces empieza la prueba quitando el plástico rápidamente midiendo el tirante y tomando el tiempo. Las lecturas se hacen a diferentes intervalos dejando que baje el nivel del agua y volviendo agregar agua cuando se requiera. Después de una a tres horas, cuando el nivel del agua varíe muy poco o nada, la prueba habrá terminado.

3.4 Descripción de calicatas.

Para la descripción de un suelo, es necesaria la apertura de una calicata, que es una excavación. Esta se realizó con dimensiones de 1 x 1.50 m con 1.20 m de profundidad, con el objetivo de recopilar la información necesaria que permita conocer las características morfológicas del perfil examinado in situ, en este caso no se logró excavar hasta la roca madre o material de formación, ya que este se sitúa a mayor profundidad.

La calicata se orienta de este a oeste, de forma tal que el perfil quede uniformemente iluminado dejando escalones para una mejor accesibilidad en la descripción de los horizontes del suelo.

Las herramientas que se utilizaron en la excavación del perfil fueron:

- ✚ Coba.
- ✚ Palin.
- ✚ Pala.
- ✚ Cinta métrica (5 mts.).

Al momento de realizar el perfil dividimos su descripción en dos aspectos:

- ✚ Información acerca del sitio de la muestra.
- ✚ Descripción de los horizontes del suelo.

En la información del sitio se tomaron en cuenta las características siguientes:

- | | |
|--|-------------------------|
| ✚ Número del perfil. | ✚ Serie. |
| ✚ Fecha de la observación. | ✚ Uso de la tierra. |
| ✚ Clasificación taxonómica
(SSS, 1999). | ✚ Pendiente del perfil. |
| ✚ Ubicación del perfil. | ✚ Clima. |
| ✚ Ubicación geográfica. | ✚ Vegetación |

La descripción del perfil se inició con la demarcación de los límites de los horizontes del suelo y en cada horizonte se describieron cuidadosamente sus características:

- ✚ Profundidad y espesor de la parte superior e inferior del horizonte (cm).
- ✚ Símbolo del horizonte
- ✚ Color. (Tabla de colores de suelos Munsell)
- ✚ Manchas de color
- ✚ Textura.
- ✚ Estructura (grado, clase y tipo)
- ✚ Porosidad.
- ✚ Contenido de raíces
- ✚ Límite
- ✚ Capas endurecidas
- ✚ Consistencia
- ✚ Drenaje
- ✚ Presencia de grava.

Para la descripción de perfiles se utilizó el formato de descripción de perfiles y la guía de descripción de perfiles (FAO 1977).

Además de la descripción de cada horizonte, también se recolectó una muestra de suelo por cada horizonte para su análisis hidrofísico en el laboratorio de *MAEL Con ECO NATURAL*, efectuando el siguiente procedimiento:

- ✚ Se extrajo una muestra de suelo de la parte inferior de cada horizonte definido.
- ✚ Se colocó la muestra de suelo de aproximadamente 2 Libras en una bolsa plástica rotulada, (número de perfil, símbolo del horizonte y profundidad).
- ✚ Para calcular las densidades (densidad aparente y densidad real), se introdujo un cilindro de 100 cc. en el primer horizonte y con una espátula se enraza la parte inferior de la muestra de suelo, sin alterar la misma.
- ✚ Una vez delimitado cada horizonte del perfil con sus respectivas descripciones, se procedió a tomar fotografías de cada perfil representativo.

3.5 Análisis de suelo.

3.5.1 Textura.

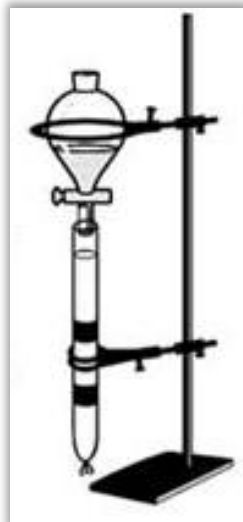
3.5.1.1 Método de la pipeta de Robinson.

Este método trata sobre la separación de la parte mineral del suelo en varias fracciones y la determinación de las proporciones de estas fracciones. El procedimiento es aplicado a una muestra de suelo con partícula < 2 mm.

De mucha importancia en este análisis es el pre tratamiento de la muestra ayudado de una completa dispersión de las partículas primarias. Por lo tanto los materiales cementantes (tales como la materia orgánica) deben ser removidos.

Después de agitar con el agente dispersante, la arena es separada de la arcilla y del limo con un tamiz de 50 μm . La arena se fracciona por tamizado seco. Las fracciones de arcilla y limo son determinados por el método de la pipeta de Robinson.

Figura 12. Esquema pipeta de Robinson.



FUENTE. <http://www.google.com> – pipeta Robinson.

3.5.1.2 Materiales y aparatos utilizados.

- ✚ Balanza electrónica
- ✚ Beaker de 1000 ml.
- ✚ Probeta de 1000 ml.
- ✚ Frascos de plásticos con su tapón
- ✚ Latas de secados previamente taradas
- ✚ Vidrios de reloj
- ✚ Planchas de calentamiento
- ✚ Agitador recíproco
- ✚ Horno
- ✚ Juego de tamices (1000 μm , 500 μm , 250 μm , 100 μm , 50 μm , receptor)
- ✚ Pipeta especial para toma de muestra (Robinson)
- ✚ Batidora

3.5.2 Densidad real.

3.5.2.1 Método del picnómetro.

La densidad real o densidad de la fase sólida del suelo es la relación entre la masa del suelo seco, y la masa de igual volumen de agua. El valor de la densidad real depende de la naturaleza de los minerales integrantes y de la cantidad de sustancias orgánicas.

Para la mayoría de los suelos el valor medio de la densidad de su fase sólida es 2,65 gr/cm^3 variando en función de las causas indicadas. Cuanto más humus contiene el suelo, tanto menor es la densidad real.

3.5.2.2 Equipos.

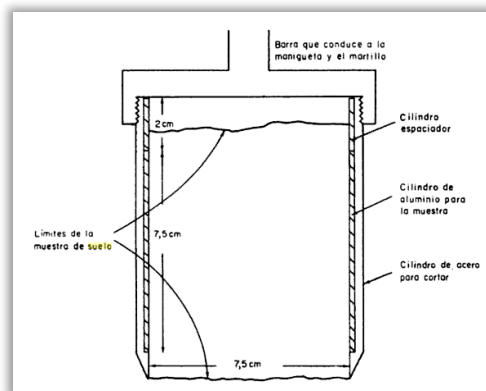
- ✚ Beaker
- ✚ Picnómetros.
- ✚ Plancha para hervir.
- ✚ Horno, ± 105 °C.
- ✚ Balanza, 0.01 grs. sensibilidad.
- ✚ Pipeta.

3.5.3 Densidad aparente.

3.5.3.1 Método del cilindro.

Es el método más generalmente empleado, consta de un cilindro de metal con paredes delgadas y rígidas, con bordes biselados hacia el exterior, este se presiona dentro del suelo u horizonte a estudiar, se remueve extrayendo una muestra de suelo de volumen conocido, se anota el peso de la muestra húmeda. Esta muestra luego es llevada al laboratorio, secada en un horno y, se determina el peso de la muestra.

Figura 13. Esquema de la cabeza del equipo utilizado tipo Uhland para sacar muestras de volumen conocido.



FUENTE. Apuntes de la materia de riego y drenaje. R Cisnero. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

3.5.3.2 Equipos.

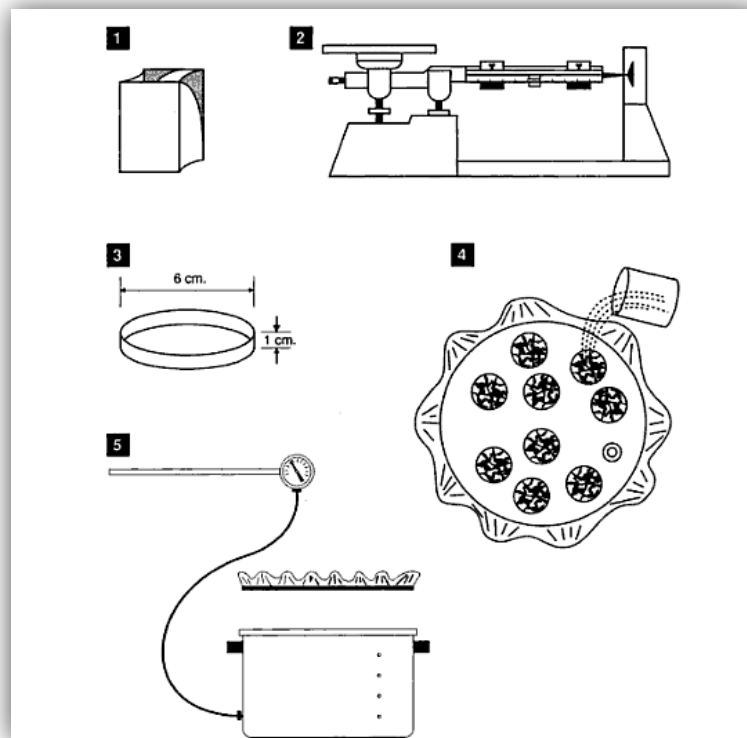
- ✚ Latas contenedores con sus tapas
- ✚ Balanza electrónica, ± 0.01 grs. de sensibilidad
- ✚ Horno, $\pm 105^{\circ}\text{C}$
- ✚ Tamiz (2 mm. de abertura)

3.5.4 Capacidad de campo.

3.5.4.1 Olla extractora.

El método por desorción por presión es usado (U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Una muestra tamizada a 2 mm de suelo seco al aire es colocada en un anillo retenedor puesto sobre un plato de cerámica poroso en una olla extractora a presión. El plato se cubre con agua para humedecer las muestras por capilaridad. La muestra es equilibrada a la presión específica de 0.06, 0.1, 1/3 ó 2 bar (6, 10, 33, 100 ó 200 KPa). La presión se mantiene constante hasta que se obtiene el equilibrio (Klute, 1986). El contenido de humedad se determina por gravimetría.

Figura 14. Esquema del equipo usado en el método de la olla de presión.



FUENTE. Riego y drenaje. 1998

3.5.4.2 Equipos.

- ✚ Plato de cerámica.
- ✚ Balanza electrónica, ± 0.01 grs de sensibilidad.
- ✚ Horno, ± 105 °C.
- ✚ Fuente de presión, regulador y medidor de presión.
- ✚ Anillos retenedores. (10 mm de alto y 50 mm de diámetro).
- ✚ Latas de metal con su tapa para pesar.

3.5.5 Punto de marchitez permanente.

3.5.5.1 Determinación por formula.

El método utilizado en el presente estudio es por un método casi no utilizado para determinar el punto de marchitez permanente el cual consiste en la determinación por formula, debido a la falta de condiciones de los equipamiento en los diferentes laboratorios del país que ofrecen este análisis. El PMP se puede calcular mediante el uso de formula empírica muy sencilla, la cual se deriva de conocer el valor de la capacidad de campo (CC):

$$PMP = \frac{CC}{1.84} \quad \text{o bien} \quad PMP = \frac{CC}{2.00} \quad \text{Ecuación 7.0}$$

3.5.6 Humedad disponible o agua aprovechable.

Cabe señalar que la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente es lo que se define como humedad disponible por las plantas.

3.5.7 Evapotranspiración.

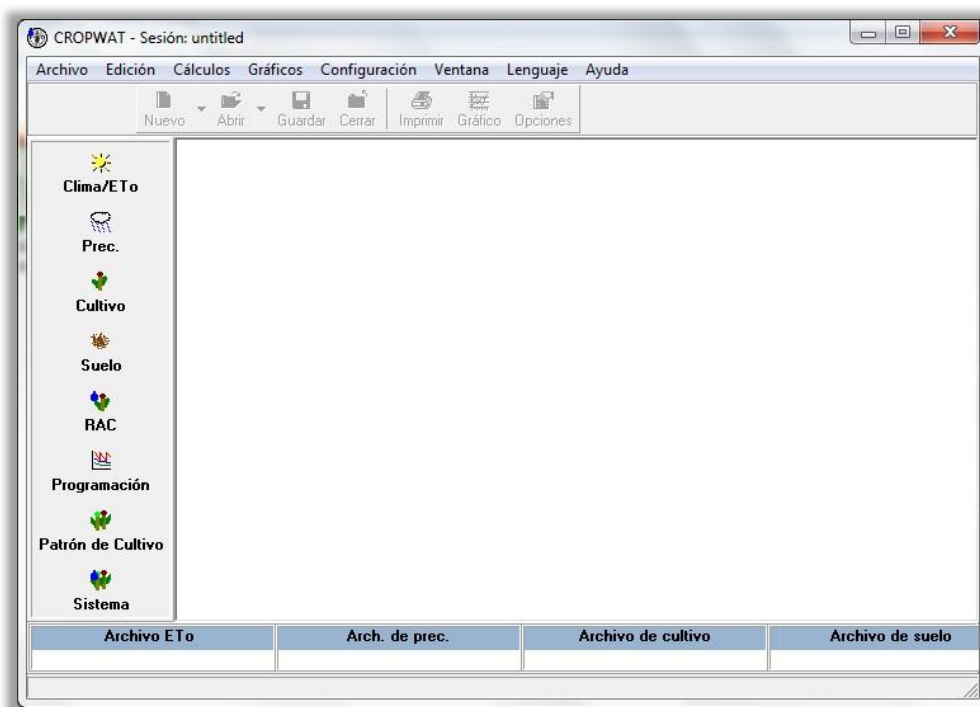
Para determinar la Eto mediante datos meteorológicos se hizo uso del software CROPWAT 8.0 de la FAO desarrollado para calcular la programación de riego, el cual se basa en la ecuación de FAO PENMAN-MONTEITH.

El método FAO PENMAN-MONTEITH es el más recomendado por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United National) para la determinación de la evapotranspiración de referencia.

3.5.7.1 Ingreso de datos al CROPWAT.

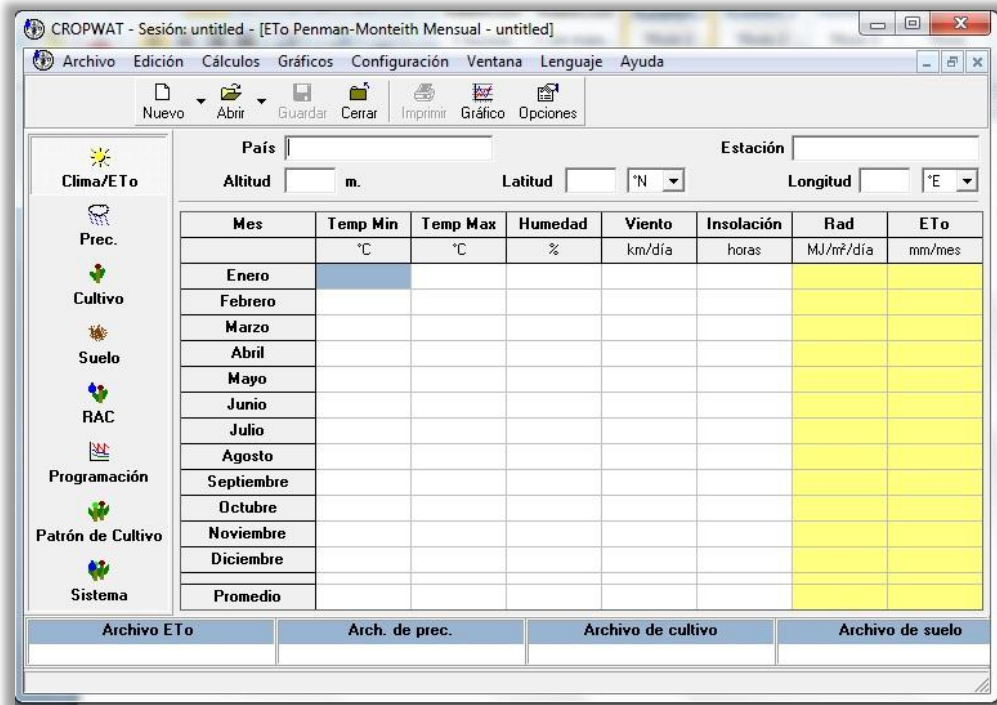
Seleccionamos el módulo Clima/ETo en la barra de módulos. Se abrirá una ventana de datos a la derecha para el actual tipo de datos por defecto para Clima/ETo.

Figura 15. Ventana principal del CROPWAT.



FUENTE. Programa CROWAT 8.0.

Figura 16. Ventana de la hoja de cálculo.



FUENTE. Programa CROWAT 8.0.

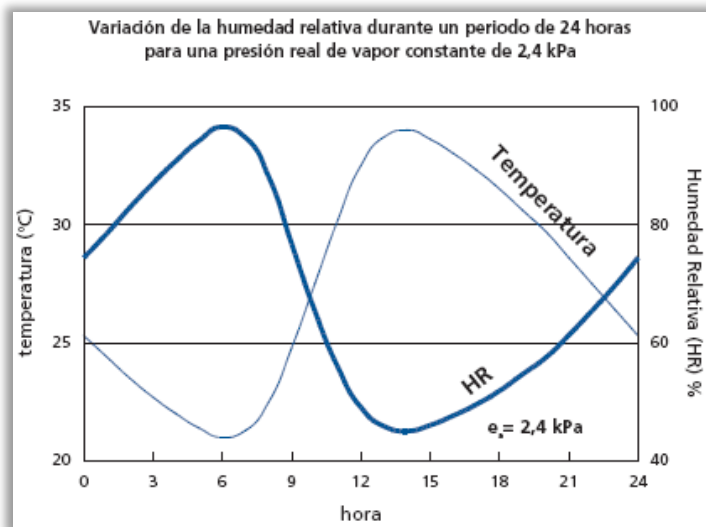
En módulo de Clima/ETo es primario para la introducción de datos y requiere información sobre la estación meteorológica (país, nombre, altitud, latitud y longitud), junto con los datos climáticos, que pueden ser ingresados en base mensual, decadiaria o diaria. En relación a los parámetros climáticos, CROWAT requiere temperatura mínima y máxima, humedad, velocidad del viento e insolación.

3.5.7.2 Unidades de los datos meteorológicos.

3.5.7.2.1 Humedad.

La humedad del aire puede expresarse como humedad relativa o presión real de vapor. La humedad relativa fluctúa entre un máximo cerca de la salida del sol y un mínimo en torno a las primeras horas de la tarde, de acuerdo con las variaciones de temperatura. La humedad relativa se expresa como porcentaje (%). La presión real de vapor representa a la presión de vapor ejercida por el vapor de agua en el aire y es expresada en kPa.

Figura 17. Variación de la humedad relativa durante 24 horas para un valor constante de presión real de vapor.

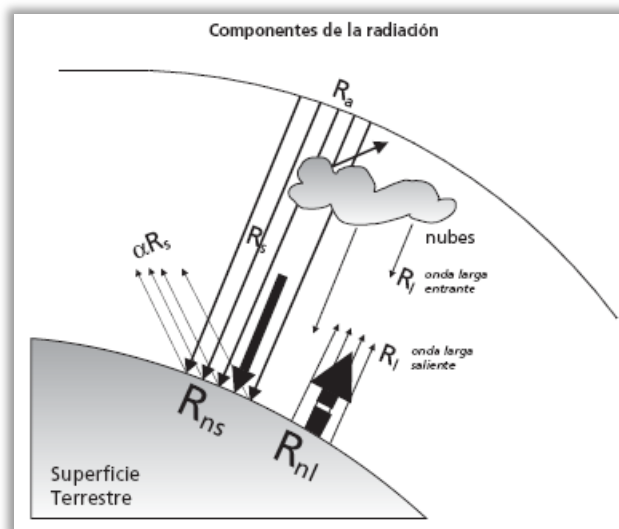


FUENTE. Manual CROWAT 8.0.

3.5.7.2.2 Radiación solar.

CROPWAT estima la radiación solar que llega a la superficie del suelo, en base a los datos climáticos disponibles.

Figura 18. Componentes de la radiación.



FUENTE. Manual CROWAT 8.0.

La radiación extraterrestre (R_a) representa a la radiación recibida en la parte externa de la atmósfera terrestre sobre una superficie horizontal, en función de la latitud, fecha y hora del día. La radiación solar (R_s), calculada en CROPWAT, representa la cantidad de radiación extraterrestre que llega a un plano horizontal sobre la superficie del suelo, que se calcula incluyendo la parte de la radiación extraterrestre que es dispersada, reflejada o absorbida por los gases atmosféricos, las nubes y el polvo. Parte de la radiación solar se refleja desde la superficie del suelo (αR_s) y otra parte es absorbida (R_{ns}). La radiación se expresa en MJ/m²/día.

3.5.7.2.3 Evapotranspiración de referencia (ET_o).

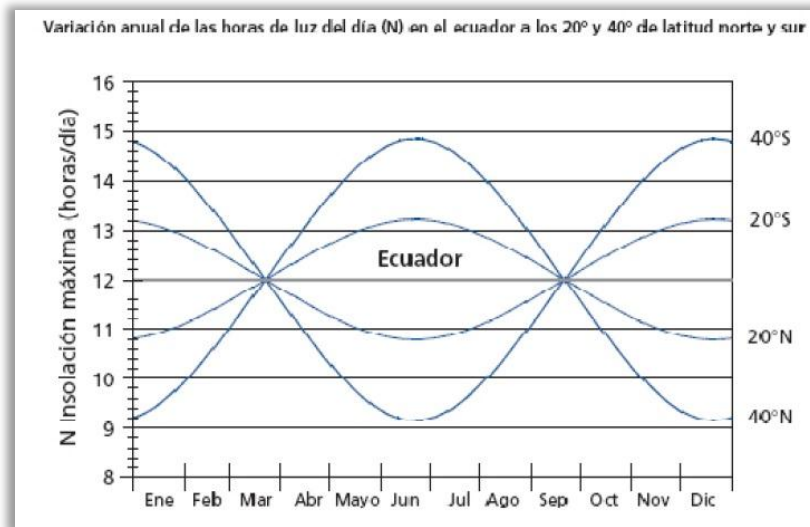
La tasa de evapotranspiración de un cultivo de referencia que no enfrenta déficit hídrico se llama evapotranspiración de referencia (ET_o). El concepto de ET_o fue introducido para estudiar la demanda evaporativa de la atmósfera independientemente del tipo de cultivo, su desarrollo o su manejo.

Los únicos factores que afectan a ET_o son los parámetros climáticos. En consecuencia, la ET_o es un parámetro climático y puede calcularse a partir de datos meteorológicos. La ET_o expresa el poder evaporativo de la atmósfera en un determinado lugar y momento del año y no tiene en cuenta las características del cultivo ni del suelo. El método FAO Penman – Monteith es recomendado como el único método para determinar la ET_o. Se expresa en mm por día o mm por periodo, el periodo corresponde al tipo de datos: datos mensuales, decadiarios o diarios.

3.5.7.2.4 Insolación directa.

La insolación directa representa la duración de la recepción de radiación solar sin interferencia de las nubes. Además de la nubosidad, depende de la posición del sol y por lo tanto es una función de la latitud y del día del año. Se expresa como horas de insolación (horas), como un porcentaje de insolación directa (%) o como fracción de insolación directa (fracción).

Figura 19. Variación de la recepción de insolación directa en un día despejado durante el año de acuerdo a la latitud.



FUENTE. Manual CROWAT 8.0.

CROPWAT 8.0 utiliza insolación directa para la estimación de la radiación, que a su vez es necesaria para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) utilizando la ecuación FAO Penman – Monteith.

3.5.7.2.5 Temperatura.

CROPWAT 8.0 puede trabajar con temperaturas mínimas y máximas (por defecto), o con temperaturas medias si las temperaturas mínimas/máximas no están disponibles. La temperatura máxima diaria del aire y la temperatura mínima diaria del aire son, respectivamente, la máxima y la mínima temperatura del aire observadas durante un periodo de 24 horas, a partir de la medianoche. Para periodos más largos, como 10 días o meses, los valores de temperaturas máximas y mínimas se obtienen dividiendo la suma de los respectivos valores diarios entre el número de días del período.

3.5.7.2.6 Velocidad del viento.

En consonancia con las normas agrometeorológicas, CROPWAT 8.0 se refiere a la velocidad del viento, medida a 2 metros sobre el nivel del suelo. La velocidad del viento es más lenta en la superficie y aumenta con la altura. Para ajustar la velocidad del viento obtenida de instrumentos en alturas distintas de la altura estándar de 2m, se pueden utilizar un perfil logarítmico de la velocidad del viento:

$$U_2 = U_z \frac{4.87}{\ln(67.8 Z - 5.42)} \quad \text{Ecuación 8.0}$$

donde:

- ✚ U_2 = velocidad del viento a 2 m sobre la superficie [m/s],
- ✚ U_z = velocidad del viento medida a z m sobre la superficie [m/s],
- ✚ Z = altura de medición sobre la superficie [m].

CROPWAT utiliza velocidad del viento en la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) utilizando la ecuación FAO Penman – Monteith, la velocidad del viento se presenta en kilómetros por día (km/día) o en metros por segundo (m/s).

Figura 20. Hoja de cálculo con los datos de la estación CONDEGA.

CROPWAT - Sesión: untitled - [ETo Penman-Monteith Mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\ESTELI Mi...]

Archivo Edición Cálculos Gráficos Configuración Ventana Lenguaje Ayuda

Nuevo Abrir Guardar Cerrar Imprimir Gráfico Opciones

Pais: Nicaragua Estación: Condega

Altitud: 560 m. Latitud: 13.34 °N Longitud: 86.38 °W

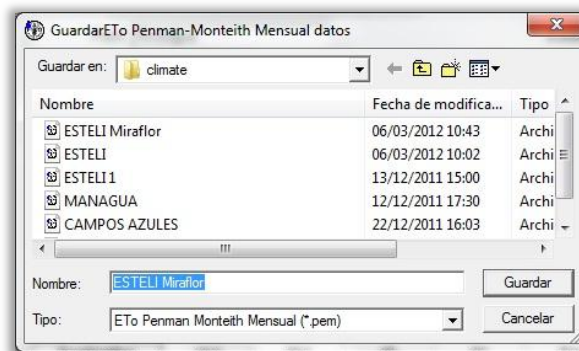
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/mes
Enero	12.5	31.9	76	73	5.9	15.5	98.18
Febrero	13.8	33.9	72	70	7.2	18.7	108.22
Marzo	14.2	35.5	67	70	7.9	21.1	139.74
Abril	17.0	36.3	65	68	7.4	20.9	140.35
Mayo	18.4	35.5	72	60	5.7	18.2	129.10
Junio	18.6	33.5	82	52	4.9	16.8	111.47
Julio	18.0	32.3	83	57	4.7	16.5	110.75
Agosto	17.9	33.2	82	60	5.7	18.1	120.81
Septiembre	18.0	33.1	85	52	5.4	17.4	111.52
Octubre	16.4	32.2	85	52	5.5	16.5	106.54
Noviembre	13.9	31.5	83	57	5.3	14.9	90.84
Diciembre	13.4	31.3	79	68	5.4	14.4	90.82
Promedio	16.0	33.4	78	62	5.9	17.4	1358.34

Archivo ETo: esteli miraflores.pem Arch. de prec. Archivo de cultivo Archivo de suelo

FUENTE. Programa CROWAT 8.0.

Como puede observarse en la figura 16, se llenan cada una las celdas en las columnas con los datos meteorológicos de la estación y al finalizar de ingresar los datos, el programa automáticamente calcula la radiación y la evapotranspiración (ETo).

Figura 21. Ventana para guardar los cálculos.



FUENTE. Programa CROWAT 8.0.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados de la textura del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Miraflor Las Segovias, Estelí.

4.1.1 Parcela experimental 1. (PE – 1)

Las muestras que se extrajeron de esta parcela experimental nos reflejan porcentajes predominantes de arcilla y arena, de acuerdo al triangulo textural corresponde a suelos de textura arcillosa, teniendo estos suelos una mayor capacidad de retención nutrientes. (*Ver Tabla N° 10*).

4.1.2 Parcela experimental 2. (PE – 2)

En cambio para esta parcela experimental los porcentajes predominantes obtenidos son de arcilla y limo, de acuerdo al triangulo textural corresponde a suelos de textura que van de franco arcilloso a arcilloso, de igual manera estos suelos poseen buena capacidad de retención de nutrientes. (*Ver Tabla N° 10*).

Esta clase textural es caracterizada por partículas minerales muy finas con propiedades expansivas en condiciones de humedad y de agrietamiento en condiciones secas, elementos a considerarse al establecer un sistema de producción agrícola.

Tabla N° 10. Resultados obtenidos de la textura en el Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

Nombre: INTA Las Segovias

Dpto./Municipio: Estelí/Mirafior

Fecha: 18 de agosto de 2011

Parcela	Items	Profundidad (cm)	Código	Partículas (%)			Clase Textural
				Arcilla	Limo	Arena	
PE – 1	1	0 - 31	2501	57.2	23.2	19.6	Arcilla
	2	31 - 61	2502	55.2	17.2	27.6	Arcilla
	3	61 - 100	2503	49.2	21.2	29.6	Arcilla
PE – 2	1	0 - 35	2512	35.2	35.2	29.6	Franco Arcilloso
	2	35 - 65	2513	51.2	25.2	23.6	Arcilla
	3	65 - 100	2514	59.2	19.2	21.6	Arcilla

FUENTE. MAEL Con ECO NATURAL.

4.2 Análisis de los resultados de la densidad aparente del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Miraflor Las Segovias, Estelí.

4.2.1 Parcela experimental 1. (PE – 1)

Las muestras que se extrajeron para esta parcela experimental nos indican valores de densidades evaluados como media, reflejándonos que posee pocas alteraciones físicas del suelo por prácticas de laboreo mecanizado realizados en el centro experimental, esto permite un buen desarrollo radicular para los cultivos, también este valor disminuye a medida que se profundiza en el suelo. (*Ver Tabla N° 11*).

4.2.2 Parcela experimental 2. (PE – 2)

Para esta parcela experimental, nos muestra valores de densidades evaluados como muy baja a baja, teniendo poco grado de compactación debido a prácticas de laboreo, por lo tanto facilita la exploración radicular del cultivo e igual que la parcela anterior disminuye a medida que se profundiza en el suelo. (*Ver Tabla N° 11*).

Por lo tanto estas parcelas experimentales (PE – 1 y PE – 2) presentan una buena evaluación de media a muy baja, indicándonos que estos suelos poseen una porosidad alta facilitando la penetración del agua en el suelo y el desarrollo radicular de los cultivos.

Tabla Nº 11. Resultados obtenidos de la densidad aparente en el Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Miraflores Las Segovias, Estelí.

Nombre: INTA Las Segovias

Dpto./Municipio: Estelí/Miraflores

Fecha: 18 de agosto de 2011

Parcela	Items	Profundidad (cm)	Código	Da (gr/cm ³)	Evaluación
PE – 1	1	0 - 31	2504	1.33	Media
	2	31 - 61	2505	1.23	Media
	3	61 - 100	2506	1.22	Media
PE – 2	1	0 - 35	2508	1.16	Bajo
	2	35 - 65	2509	0.99	Muy bajo
	3	65 - 100	2510	0.76	Muy bajo

FUENTE. MAEL Con ECO NATURAL.

4.3 Análisis de los resultados de la densidad real del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

4.3.1 Parcela experimental 1. (PE – 1)

En esta parcela experimental nos dieron valores de densidad real evaluados como altos, teniendo presencia de minerales pesados y materia orgánica, característica particular de la zona en estudio. *(Ver Tabla N° 12).*

4.3.2 Parcela experimental 2. (PE – 2)

Los resultados obtenidos en esta parcela experimental de densidad real evaluados van de medios a altos, indicativo de presencia de minerales pesados y materia orgánica, los cuales son característicos en correspondencia a su orden Inceptisol. *(Ver Tabla N° 12).*

Tabla Nº 12. Resultados obtenidos de la densidad real en el Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

Nombre: INTA Las Segovias

Dpto./Municipio: Estelí/Mirafior

Fecha: 18 de agosto de 2011

Parcela	Items	Profundidad (cm)	Código	Dr (gr/cm ³)	Evaluación
PE – 1	1	0 - 31	2504	2.74	Alto
	2	31 - 61	2505	2.64	Alto
	3	61 - 100	2506	2.64	Alto
PE – 2	1	0 - 35	2508	2.52	Medio
	2	35 - 65	2509	2.60	Alto
	3	65 - 100	2510	2.62	Alto

FUENTE. MAEL Con ECO NATURAL.

4.4 Análisis de los resultados de la porosidad del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

4.4.1 Parcela experimental 1. (PE – 1)

Para la determinación de la porosidad se hizo a través de los datos obtenidos de la densidad aparente y la densidad real, teniendo para esta parcela experimental una porosidad media, en todo el perfil. Indicando las buenas características de aireación y movimiento del agua a través de los macro y micro poros. (Ver Tabla N° 13).

4.4.2 Parcela experimental 2. (PE – 2)

Para esta parcela experimental, la porosidad tiene una particularidad con respecto a la anterior ya que va de una porosidad media a muy alta, teniendo un aumento de un 17% en la parte más baja del perfil, lo cual proporciona una ventaja significativa tanto como del movimiento del agua a través de los macro poros y micro poros así como de aireación a través de los mismos. (Ver Tabla N° 13).

Tabla N° 13. Resultados obtenidos de la porosidad del suelo en el Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

Nombre: INTA Las Segovias

Dpto./Municipio: Estelí/Mirafior

Fecha: 18 de agosto de 2011

Parcela	Items	Profundidad (cm)	Da (gr/cm ³)	Dr (gr/cm ³)	Porosidad (%)	Evaluación
PE – 1	1	0 - 31	1.33	2.74	51.46	Media
	2	31 - 61	1.23	2.64	53.41	Media
	3	61 - 100	1.22	2.64	53.79	Media
PE – 2	1	0 - 35	1.16	2.52	53.97	Media
	2	35 - 65	0.99	2.60	61.92	Alta
	3	65 - 100	0.76	2.62	70.99	Muy Alta

FUENTE. Propia.

4.5 Análisis de los resultados de la capacidad de campo del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

4.5.1 Parcela experimental 1. (PE – 1)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de las muestras para esta parcela experimental la capacidad de campo nos refleja que va de mediana a alta de la parte superior a la inferior, teniendo un aumento de más de un 5% para el segundo horizonte y disminuyendo 0.45% en el tercer horizonte. (*Ver Tabla N° 14*).

4.5.2 Parcela experimental 2. (PE – 2)

De igual manera se hizo para esta parcela, teniendo una similitud en cuanto a la evaluación ya que va de una capacidad media a alta, de igual forma desarrolló un aumento de más del 5% en la transición del primer horizonte al segundo y disminuyendo casi un 3% para el tercer horizonte dentro del perfil del suelo. (*Ver Tabla N° 14*).

Haciendo una comparación de los porcentajes obtenidos para cada una de las parcelas experimentales, se puede resaltar un rango que va de 34.89 a 42.07 porcientos respectivamente, teniendo una variación del 7% de humedad de manera general.

Tabla N° 14. Resultados obtenidos de la capacidad de campo del suelo en el Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Miraflores Las Segovias, Estelí.

Nombre: INTA Las Segovias

Dpto./Municipio: Estelí/Miraflores

Fecha: 09 de febrero de 2012

Parcela	Items	Profundidad (cm)	P. Tara	P. Sht	P. Sst	C.C. %	Evaluación
PC – 1	1	0 - 31	49.46	71.07	65.48	34.89	Media
	2	31 - 61	49.48	73.40	66.41	41.28	Alta
	3	61 - 100	50.80	73.46	66.89	40.83	Alta
PC – 2	1	0 - 35	49.37	70.91	65.17	36.33	Media
	2	35 - 65	49.59	72.20	65.50	42.07	Alta
	3	65 - 100	49.39	71.60	65.35	39.17	Media

FUENTE. Laboratorio de Edafología (UNI).

4.6 Análisis de los resultados del punto de marchitez permanente del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

4.6.1 Parcela experimental 1. (PE – 1)

Para la determinación del punto de marchitez permanente se realizó en función de la capacidad de campo, a través de fórmula empírica utilizando la ecuación 7.0, la evaluación de los resultados nos refleja como media en todo el perfil, teniendo un aumento de más de un 3% para el segundo horizonte y disminuyendo 0.24% en el tercer horizonte. *(Ver Tabla N° 15).*

4.6.2 Parcela experimental 2. (PE – 2)

De igual manera se hizo para esta parcela, teniendo una similitud en cuanto a la evaluación ya que nos refleja como media, de igual forma desarrolló un aumento de más del 3% en la transición del primer horizonte al segundo y disminuyendo menos de un 2% para el tercer horizonte dentro del perfil del suelo. *(Ver Tabla N° 15).*

Haciendo una comparación de los porcentajes obtenidos para cada una de las parcelas experimentales, se puede resaltar un rango que va de 22.86 a 18.96 porcientos respectivamente, teniendo una variación de casi el 4% de humedad de manera general.

Tabla N° 15. Resultados obtenidos de la punto de marchitez permanente del suelo en el Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

Nombre: INTA Las Segovias

Dpto./Municipio: Estelí/Mirafior

Fecha: 09 de febrero de 2012

Parcela	Items	Profundidad (cm)	Código	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchitez (%)	Evaluación
PE – 1	1	0 – 31	2501	34.89	18.96	Media
	2	31 - 61	2502	41.28	22.43	Media
	3	61 - 100	2503	40.83	22.19	Media
PE – 2	1	0 - 35	2512	36.33	19.74	Media
	2	35 - 65	2513	42.07	22.86	Media
	3	65 - 100	2514	39.17	21.29	Media

FUENTE. Laboratorio de Edafología (UNI).

4.7 Análisis de los resultados del límite productivo del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

De los resultados obtenidos de la capacidad de campo se calculó el límite productivo para los cultivos en las parcelas experimentales (PE – 1 y PE – 2) del CDT INTA Mirafior Las Segovias.

La determinación de estos valores expresan la capacidad de retención y almacenamiento de agua disponible para los cultivos, valor que puede ser ajustado a las necesidades hídricas de un cultivo a establecer en el CDT INTA Mirafior, Las Segovias.

Estas parcelas experimentales nos reflejan una buena capacidad de retención de agua contando con valores similares en cada una de las profundidades de los perfiles analizados, teniendo un valor máximo de 29.45%. Esto es debido a la existencia de rastrojos en la superficie y raíces de cultivos ya cosechados este factor mejora la capacidad de retención de agua en el suelo.

Tabla N° 16. Resultados obtenidos del límite productivo del suelo en el Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Mirafior Las Segovias, Estelí.

Nombre: INTA Las Segovias

Dpto./Municipio: Estelí/Mirafior

Fecha: 09 de febrero de 2012

Parcela	Profundidad	Código	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchitez (%)	Límite Productivo (%)
PC - 1	0 - 31	2501	34.89	18.96	24.43
	31 - 61	2502	41.28	22.43	28.89
	61 - 100	2503	40.83	22.19	28.58
PC - 2	0 - 35	2512	36.33	19.74	25.43
	35 - 65	2513	42.07	22.86	29.45
	65 - 100	2514	39.17	21.29	27.42

FUENTE. Laboratorio de Edafología (UNI).

4.8 Análisis de los resultados de la evapotranspiración.

4.8.1 Análisis de la evapotranspiración de referencia promedio mensual.

Para la evapotranspiración mensual se puede definir el mes crítico de abril con una ETo de **140.35** mm y diciembre el mes del valor mínimo de la ETo con **90.82** mm. La ETo mensual se mantendrá en un rango entre **90 – 140** mm por mes. Teniéndose como valor promedio de **113.20** mm por mes. (*Ver Tabla N° 18*).

De la evapotranspiración de referencia diaria, mensual y anual nos reflejan valores de mayores que la precipitación efectiva, indicándonos que es necesario la implementación de un sistema de riego por casi todo el año, solo los meses de septiembre y octubre serán los únicos que no requieran del riego para cubrir el déficit de agua en el suelo. (*Ver Tabla N° 19*).

4.8.2 Análisis de la evapotranspiración de referencia promedio anual.

La evapotranspiración de referencia anual mantendrá un valor promedio de **1,392.68** mm por año, sus variaciones estarán afectadas principalmente por cambios climáticos persistentes en la temporada. (*Ver Tabla N° 20*).

De estos resultados podemos decir que la evapotranspiración de referencia anual es mayor que la precipitación, indicándonos la necesidad en la implementación de un sistema de riego para poder cubrir el déficit de agua en el suelo.

Estos valores son correspondientes al registro meteorológico histórico anual de la estación 45 050, de los años 1994 – 2009, estación tipo AG instalada en Condega departamento de Estelí, estos datos son representativos para el área de influencia de dicha estación. (*Ver Tabla N° 18*).

4.8.1.1 Evapotranspiración de referencia diría.

4.8.1.1.1 Datos generales de la estación.

País	: Nicaragua	Estación	: Condega/Estelí
Código	: 45050	Tipo HMP	: AG
Elevación	: 560 msnm	Latitud	: 13°20'22"
Longitud	: 86°23'07"		

4.8.1.1.2 Metodología de cálculo.

Método: Penman – Monteith **Hoja de cálculo:** CROWAT versión 8.0 (FAO).

Tabla N° 17. Resultados obtenidos de la evapotranspiración de referencia promedio diaria.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	12.5	31.9	76	73	5.9	15.5	3.17
Febrero	13.8	33.9	72	70	7.2	18.7	3.86
Marzo	14.2	35.5	67	70	7.9	21.1	4.51
Abril	17	36.3	65	68	7.4	20.9	4.68
Mayo	18.4	35.5	72	60	5.7	18.2	4.16
Junio	18.6	33.5	82	52	4.9	16.8	3.72
Julio	18	32.3	83	57	4.7	16.5	3.57
Agosto	17.9	33.2	82	60	5.7	18.1	3.9
Septiembre	18	33.1	85	52	5.4	17.4	3.72
Octubre	16.4	32.2	85	52	5.5	16.5	3.44
Noviembre	13.9	31.5	83	57	5.3	14.9	3.03
Diciembre	13.4	31.3	79	68	5.4	14.4	2.93
Promedio	16	33.4	78	62	5.9	17.4	3.72

FUENTE. Propia.

4.8.1.2 Evapotranspiración de referencia mensual.

4.8.1.2.1 Datos generales de la estación.

País	: Nicaragua	Estación	: Condega/Estelí
Código	: 45050	Tipo HMP	: AG
Elevación	: 560 msnm	Latitud	: 13°20'22"
Longitud	: 86°23'07"		

4.8.1.2.2 Metodología de cálculo.

Método: Penman – Monteith **Hoja de cálculo:** CROWAT versión 8.0 (FAO).

Tabla Nº 18. Resultados obtenidos de la evapotranspiración de referencia promedio mensual.

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/mes
Enero	12.5	31.9	76	73	5.9	15.5	98.18
Febrero	13.8	33.9	72	70	7.2	18.7	108.22
Marzo	14.2	35.5	67	70	7.9	21.1	139.74
Abril	17	36.3	65	68	7.4	20.9	140.35
Mayo	18.4	35.5	72	60	5.7	18.2	129.10
Junio	18.6	33.5	82	52	4.9	16.8	111.47
Julio	18	32.3	83	57	4.7	16.5	110.75
Agosto	17.9	33.2	82	60	5.7	18.1	120.81
Septiembre	18	33.1	85	52	5.4	17.4	111.52
Octubre	16.4	32.2	85	52	5.5	16.5	106.54
Noviembre	13.9	31.5	83	57	5.3	14.9	90.84
Diciembre	13.4	31.3	79	68	5.4	14.4	90.82
Promedio	16	33.4	78	62	5.9	17.4	113.20

FUENTE. Propia.

4.8.1.3 Evapotranspiración de referencia, precipitación y precipitación efectiva mensual.

4.8.1.3.1 Datos generales de la estación.

País	: Nicaragua	Estación	: Condega/Estelí
Código	: 45050	Tipo HMP	: AG
Elevación	: 560 msnm	Latitud	: 13°20'22"
Longitud	: 86°23'07"		

4.8.1.3.2 Metodología de cálculo.

Método : Penman – Monteith

Hoja de cálculo : CROWAT versión 8.0 (FAO).

Tabla N° 19. Resultados obtenidos de la evapotranspiración de referencia, precipitación y precipitación efectiva promedio mensual.

Mes	ETo	Precipit.	Prec. Efec
	mm/mes	mm	mm
Enero	98.18	10.1	9.9
Febrero	108.22	9.7	9.5
Marzo	139.74	17.2	16.7
Abril	140.35	26.4	25.3
Mayo	129.1	113.9	93.1
Junio	111.47	126.5	100.9
Julio	110.75	82.8	71.8
Agosto	120.81	95	80.6
Septiembre	111.52	145.8	111.8
Octubre	106.54	157	117.6
Noviembre	90.84	39.3	36.8
Diciembre	90.82	13.9	13.6
Promedio	113.195	69.8	57.3

FUENTE. Propia.

4.8.2.1 Evapotranspiración de referencia, precipitación y precipitación efectiva anual.

4.8.2.1.1 Datos generales de la estación.

País	: Nicaragua	Estación	: Condega/Estelí
Código	: 45050	Tipo HMP	: AG
Elevación	: 560 msnm	Latitud	: 13°20'22"
Longitud	: 86°23'07"		

4.8.2.1.2 Metodología de cálculo.

Método	: Penman – Monteith
Hoja de cálculo	: CROWAT versión 8.0 (FAO).

Tabla Nº 20. Resultados obtenidos de la evapotranspiración de referencia, precipitación y precipitación efectiva promedio anual.

Años	ETo	Precipit.	Prec. Efec.
	mm/anual	mm	mm
1994	1,325.90	600.10	517.70
1995	1,351.92	1159.40	856.70
1996	1,346.08	1098.10	800.00
1997	1,430.54	739.40	575.90
1999	1,412.30	942.40	699.10
2000	1,456.86	667.30	534.30
2001	1,458.54	712.70	558.80
2002	1,428.49	937.50	720.70
2003	1,415.10	785.80	589.20
2004	1,427.15	617.50	494.50
2005	1,390.93	1139.00	804.70
2006	1,387.65	771.10	584.50
2007	1,354.64	971.80	708.50
2008	1,323.05	934.60	689.70
2009	1,381.02	778.20	590.70
Promedio	1,392.68	856.99	648.33

FUENTE. Propia.

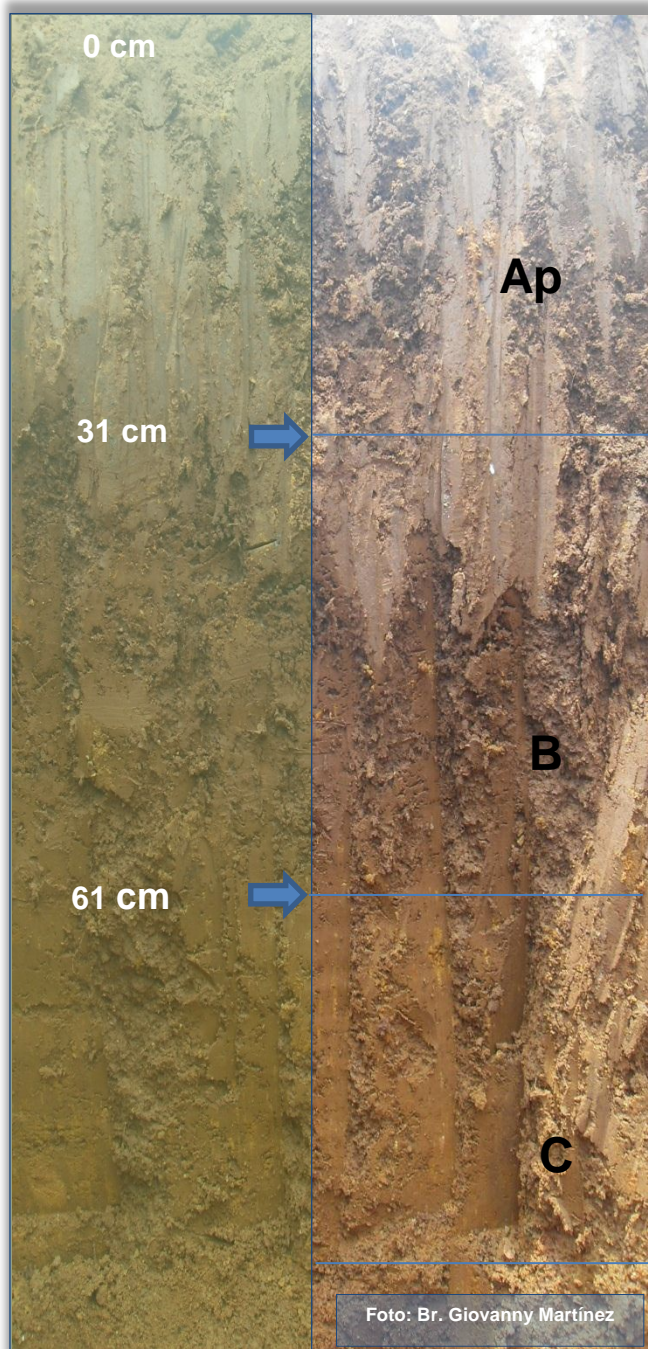
4.9 Descripción morfológica de los perfiles del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Miraflor Las Segovias, Estelí.

4.9.1 Información del sitio de la muestra del perfil 1.

Fecha de la observación	:	18 Mayo 2011
Observación realizada por	:	Br. Giovanny Martínez Jarquín. Br. Carlos Cortez Arguello.
Clasificación taxonómica	:	
USDA	:	Litic Haplustolls
FAO	:	Andosol Litico
Ubicación del perfil	:	CDT INTA Las Segovias, Estelí.
Elevación	:	1393 msnm
Ubicación geográfica	:	16 P 578595 UTM - 1466000
Uso de la tierra	:	Tubérculos
Pendiente del perfil	:	0.5 – 5.0 %
Clima	:	Sabana tropical de altura
Tiempo	:	Soleado despejado

4.9.1.1 Información general del suelo

Material de partida	:	Deposiciones aluviales
Drenaje	:	Bien drenado
Condición del perfil	:	Húmedo



Color café oscuro (7.5YR 3/3) textura arcillosa, estructura granular, poros comunes y finos, presencia raíces finas. Presencia de materiales calizos.

Color café (7.5YR 4/4), textura arcillosa, estructura granular; poros medios a muy finos; presencia de pocas raíces.

Color café amarillento (10YR 5/6), textura arcillosa, estructura granular, fracción de mezo poros a muy finos, sin presencia de raíces. Fragmentos difusos de toba.

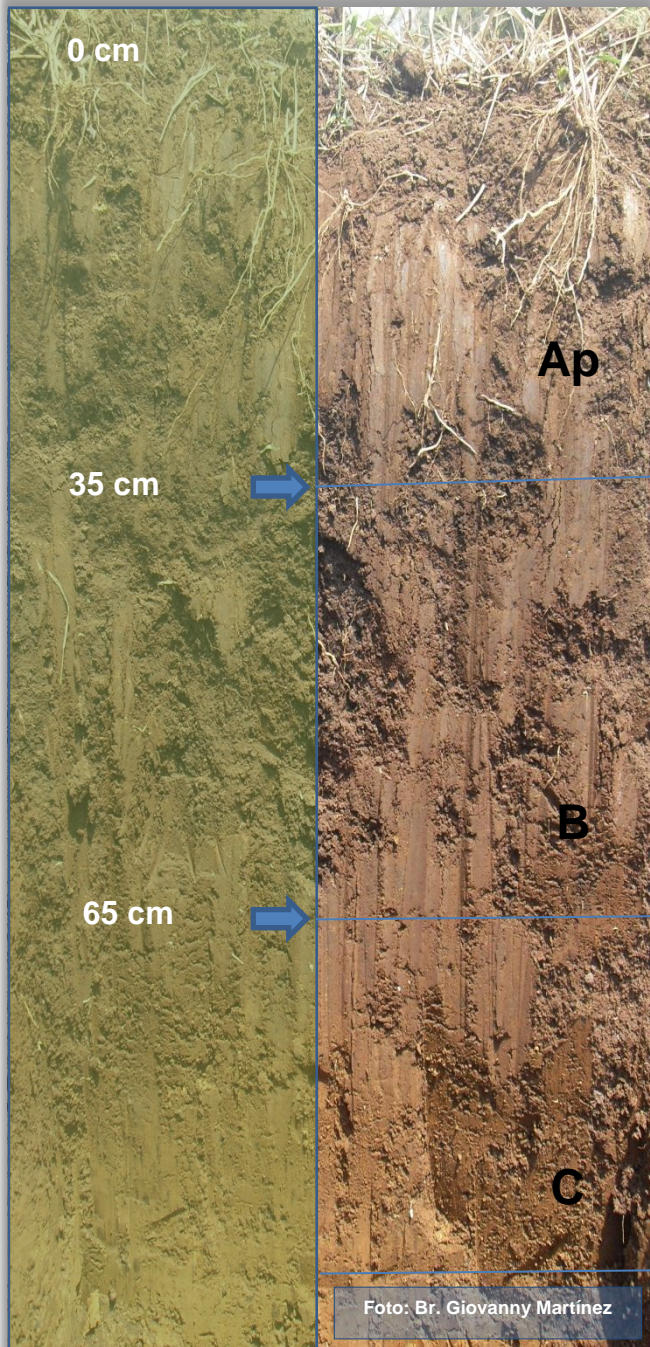
FUENTE. Propia.

4.9.2 Información del sitio de la muestra del perfil 2.

Fecha de la observación	:	19 Mayo 2011
Observación realizada por	:	Br. Giovanny Martínez Jarquín. Br. Carlos Cortez Arguello.
Clasificación taxonómica	:	
USDA	:	Litic Haplustolls
FAO	:	Andosol Litico
Ubicación del perfil	:	CDT INTA Las Segovias, Estelí.
Elevación	:	1389 msnm
Ubicación geográfica	:	16 P 578716 UTM - 1466180
Uso de la tierra	:	Tubérculos
Pendiente del perfil	:	0.5 – 5.0 %
Clima	:	Sabana tropical de altura
Tiempo	:	Soleado despejado

4.9.2.1 Información general del suelo

Material de partida	:	Deposiciones aluviales
Drenaje	:	Bien drenado
Condición del perfil	:	Húmedo



Color café (7.5YR 4/4), textura franco arcillosa, estructura granular, poros comunes y finos, abundante raíces gruesas.

Color rojo oscuro (2.5YR 3/6), textura arcillosa, estructura granular; fracción de mezo poros a muy finos; contiene poca presencia de raíces. Presencia de materiales calizos.

Color café intenso (7.5YR 4/6), textura arcillosa, estructura granular, fracción de mezo poros a muy finos, poca presencia de raíces. Presencia de fragmentos de toba.

FUENTE. Propia.

4.10 Análisis de los resultados de la velocidad de infiltración del suelo del Centro de Desarrollo Tecnológico CDT INTA Las Segovias.

Tabla Nº 21. Resultados obtenidos de la velocidad de infiltración.

Parcela	Cilindro	Ecuación Característica	Infiltración (cm/hr)	Evaluación
PE – 1	C – A	$y = 188.010 t^{-0.566}$	9.359	Moderadamente rápida
	C – B	$y = 189.328 t^{-0.516}$	12.296	Moderadamente rápida
	C – C	$y = 261.244 t^{-0.581}$	12.032	Moderadamente rápida
PE – 2	C – B	$y = 771.816 t^{-0.667}$	31.670	Muy rápida
	C – C	$y = 876.818 t^{-0.761}$	22.912	Muy rápida

De acuerdo a los resultados obtenidos con los cilindros infiltrómetros, los suelos del CDT INTA Las Segovias, son evaluados como infiltración *moderadamente rápida a muy rápida*.

Por otro lado los suelos arcilloso, sus posibilidades de infiltración son caracterizadas de un valor mínimo, pero en esta ocasión debido a la estructura del suelo y su porosidad, además del alto contenido de materia orgánica, no corresponde a la clase textural predominante en el CDT INTA Las Segovias. (Ver *Tabla Nº 19*).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- ✚ De los resultados obtenidos de las características edáficas se tienen que los suelos del CDT INTA Miraflor Las Segovias posee una textura *franco arcilloso a arcilloso*, suelos de textura fina predominante. Para las propiedades volumétricas se determinaron valores de densidad aparente evaluados de *muy baja a medios* y para la densidad real evaluados de *medios a altos*; de ellos se deriva la porosidad evaluado de *media a muy alta*, ya que esta depende directamente de las densidades de los suelos. Analizando estos resultados obtenidos nos permiten concluir que estos suelos presentan buenas características para la producción agrícola, permitiendo un buen desarrollo radicular, presentando buena capacidad de retención de nutrientes y buena fertilidad debido a la presencia de materia orgánica siendo este un factor muy importante para el desarrollo de los cultivos.

- ✚ Para las propiedades hidrofísicas que se obtuvieron en el laboratorio, la capacidad de campo se evaluó como *mediana a alta* y para el punto de marchitez permanente se evaluó como *media*. De la velocidad de infiltración se obtuvieron valores evaluados de *moderadamente rápida a muy rápida*, determinándose su ecuación característica. Analizando estos resultados obtenidos nos permiten concluir que estos suelos contienen buena capacidad de retención de agua lo cual permitirá asegurar el suministro hídrico del cultivo, evitando problemas en su desarrollo tales como el estrés hídrico y punto de marchitez permanente. De acuerdo a estas características el sistema de riego localizado o riego por aspersión, son los que más se adecuan a las propiedades hidrofísicas para el CDT Miraflor Las Segovias, Estelí.

- ✚ Se calculó la evapotranspiración de referencia a través de la plantilla de cálculo CROPWAT 8.0. Determinándose para la evapotranspiración mensual como mes crítico abril con una Eto de *140.35 mm* y diciembre el mes de valor mínimo de la Eto con *90.82 mm*, comprendidos en un rango entre *90 – 140 mm* por mes. Teniéndose como valor promedio de ETo *113.20 mm* por mes y para la evapotranspiración de referencia anual promedio con un valor de *1,392.68 mm* por año. Indicándonos que es necesario la implementación del riego en el CDT para poder cubrir el déficit de agua en el suelo.

5.2 Recomendaciones.

- ✚ Con la finalidad de obtener datos precisos para las próximas áreas cultivables, se recomienda realizar estudios como esté, que les permitan evaluar el área total del CDT Mirafior, ya que en nuestro estudio solo se evaluaron dos de las cuatro áreas cultivables.
- ✚ Diseñar el sistema de riego para el CDT INTA Mirafior Las Segovias, que más se adecue a los parámetros edafológicos e hidrofísicos obtenidos en el presente estudio, como es el riego localizado o riego por aspersión.
- ✚ Realizar un estudio completo sobre los cultivos que se pueden adaptar en base a los resultados obtenidos en el presente estudio. Ya que de esta manera se alcanzará rendimientos óptimos de producción.
- ✚ Desarrollar una divulgación completa del presente estudio entre los técnicos y profesionales, para que estos resultados se tomen en cuenta a la hora de desarrollar las próximas actividades agrícolas del CDT INTA Mirafior Las Segovias.

5.3 Bibliografías.

ANTONIO JORDÁN LÓPEZ. Manual de Edafología. Universidad de Sevilla. 2005.

ALEXANDER JAVIER MELENDEZ Y CARLOS MEDINA QUINTANA. Determinación de los Parámetros Edafoclimáticos e Hidrofísicos de los Suelos en Centro de Desarrollo Tecnológico “Santa Rosa” INTA. UNI, NICARAGUA, 2011.

DANIEL CORRALES PÉREZ. Estudio Hidrogeológico del Funcionamiento del Acuífero de Estelí, Managua, Junio, 2005.

DIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA. Catálogo de Estaciones Meteorológicas. INETER. Nicaragua. 1998.

ESTUDIO FAO. RIEGO y DRENAGE 56. Evapotranspiración del Cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

FAO. Guía para la descripción de suelos. Cuarta Edición, Roma 2009.

FRANCISCO ÁLVAREZ MOLINA Y GERARDO GONZÁLEZ GARCÍA. Determinación de Parámetros Edafoclimáticos e Hidrofísicos de los Suelos en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria y Biotecnología (CNIAB). UNI, NICARAGUA, 2010.

GUIA DE PRACTICAS DE CAMPO Y LABORATORIO DE FUNDAMENTOS DE SUELO. Laboratorio de Edafología, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua; Nicaragua, Noviembre, 2011.

J.DOORENBOS, W.O.PRUITT. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO. Roma 1984.

L. RUCKS. F. GRACIA. Propiedades Físicas del Suelo. Montevideo-Uruguay, 2004.

LOURDES FLORES DELGADILLO, JORGE RENÉ ALCALÁ MARTÍNEZ. Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de los Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México.

MANUEL CASANOVA PINTO. Edafología. Guía de clases práctica. Universidad de Chile. 2004.

P.J. SCHOENEBERGER, D.A. WYSOCKI, E.C. BENHAM Y W.D. BRODERSON. Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos. Versión 1.1. Centro Nacional de Relevamiento de Suelos Servicio de Conservación de Recursos Naturales Departamento de Agricultura de los EE.UU. Lincoln, Nebraska. 2000.

RICARDO DUEÑAS GARCÍA. El Riego. Ministerio de Educación Superior. CUBA. Editorial el Pueblo. 1981.

RODOLFO CISNEROS ALMAZAN. Apuntes de la Materia Riego y Drenaje. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2003.

SCHWAB-FREVET-EDMISTER-BARNES. Ingeniería de Conservación de Suelos y Aguas. Editorial LIMUSA, S.A. 1990.


USDA, NRCS. Clave para la Taxonomía de los Suelos. Onceava Edición, 2010.

SICS, ISRIC, FAO. Base referencia mundial del recurso suelo. Roma, Italia. 1999.

USDA. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Second Edition, 1999.

SITIOS WEB VISITADOS.

 http://www.siar.cl/docs/protocolos/Det_textura_suelo.pdf 12/12/2011.

 <http://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo.shtml> 20/12/2011.