



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Efecto Comparado del Microrrelieve Derivado de la Labranza en
el Flujo de Calor en el Suelo**

POR:

EDRODES VICENTE HERNANDEZ

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre del 2009**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Efecto Comparado del Microrrelieve Derivado de la Labranza en el Flujo
de Calor en el Suelo**

Por:

EDRODES VICENTE HERNÁNDEZ

TESIS

**Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito
Parcial para Obtener el Título de :**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor Principal



Dr. Martin Cadena Zapata

Asesor



Dr. Santos Gabriel Campos M.

Asesor



M.C. Tomas Gaytán Muñiz

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Coordinador de la División de Ingeniería



Dr. Raúl Rodríguez García

**Coordinación de
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre del 2009**

AGRADECIMIENTOS

Primero a dios nuestro señor por haberme permitido darme el regalo más preciado que él me ha otorgado, que es la vida; terminando así una etapa de mi preparación profesional e intelectualmente.

A mi alma terra mater por haberme brindado un lugar para desarrollarme como profesionista, facilitándome espacio en toda su infraestructura, la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

Del mismo modo les agradezco a todos los profesores que con sus enseñanzas otorgadas en las clases, contribuyeron en mi educación y formación profesional, así como en lo moral.

Al Dr. Martín Cadena zapata, Dr. Alejandro Zermeño González, M. C. Armando López Santos y al M. C José Alexander Gil Marín por haberme brindado su apoyo para la realización de la tesis; por que sin la ayuda de ellos no hubiese terminado.

A mis compañeros y amigos que me dieron su apoyo en los momentos mas difíciles y también en los momentos de alegría.

A mi novia Ethel Beanney y su familia, en los momentos difíciles brindándome, cariño y su comprensión, la cual fue esencial para recibir ánimo y motivación para terminar mi preparación.

A la familia Reyes García que en realidad les debo muchas cosas, momentos felices y tristes.

Agradezco a todas las personas conocidas, en general a todos que me conocen y no escribiré nombres ya que son muchas.

DEDICATORIA

Muy especialmente por su apoyo moral, sentimental que me otorgaron incondicionalmente para lograr concluir mis propósitos; por el grandioso sacrificio que realizaron con la mejor de las intenciones, pero sobre todo por darme una educación profesional se lo dedico a:

Mis padres:

Praxedis Vicente José

Y

Marcolina Hernández Morales

También a:

Mis queridísimos hermanos:

A los dos ángeles que no conocí, siempre me cuidan y velan por mí

Prof. Grisel Vicente Hernández

Prof. Bersaida Vicente Hernández

Ing. Jesús Alberto Vicente Hernández

Por haberme demostrado el cariño, amor y comprensión incondicional, y siempre estaremos juntos en las diferentes etapas de nuestras vidas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE CUADROS	X
RESUMEN	XI
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2 Hipótesis.....	2
II REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Definición y análisis teórico de flujo de calor en el suelo.....	3
2.1.1 Generalidades.....	3
2.1.2 Conceptos básicos sobre las formas de transferencia de calor.....	4
2.1.3 Análisis teóricos enfocados al suelo.....	5
2.2 Teoría sobre el flujo de calor en el suelo.....	7
2.2.1 Generalidades.....	7
2.2.2 Análisis de G.....	8
2.3 Factores que influyen en el flujo de calor en el suelo.....	10
2.3.1 Relacionadas con las propiedades del suelo.....	10
2.3.2 Relacionadas con la cobertura del suelo (vegetación y otros elementos).....	11
2.3.3 Relacionado con la ubicación del lugar y época del año.....	12
2.3.4 Color del suelo.....	12
2.4 Calor específico y textura del suelo.....	14
2.5 Estructura del suelo.....	16
2.6 Porosidad y densidad aparente.....	17
2.6.1 Porosidad.....	17
2.6.2 Densidad aparente.....	18

	Pag.
2.6.3 Métodos para determinar densidad.....	20
2.6.3.1 Método de excavación.....	20
2.6.3.2 Método del cilindro.....	20
2.2.3.3 Método de la parafina.....	21
2.2.3.4 Método nuclear.....	22
2.7 Aplicación de G en variables agronomicas.....	23
2.7.1 Temperatura del suelo para la germinación y emergencia de semillas....	24
2.8 Errores más comunes en la medición de G.....	25
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 localización geográfica general del sitio de estudio.....	27
3.2 Características generales del sitio.....	28
3.3 Mediciones preliminares.....	29
3.4 Descripción del sitio a medir.....	30
3.5 Instrumentación y técnica realizada.....	31
3.5.1 Instrumentacion.....	31
3.5.2 Técnica del microrrelieve.....	33
3.5.2.1 Medición del microrrelieve antes del labor.....	33
3.5.2.2 Medición del microrrelieve despues de la labranza.....	34
3.6 Análisis estadístico.....	36
3.7 Sistematización de la base de datos, para evaluar Da y el MR, como tratamiento.....	37
IV RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	38
4.1 Medición de microrrelieve.....	38
4.2 Resultados de los cambios de Da y del MR en el flujo de calor del suelo....	50
V CONCLUSIONES.....	47
VI LITERATURA CITADA.....	48
VII ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Representación del flujo energético atmosfera-litofera. La radiación a la atmosfera del limite superior =100. (Otorgado a mason,1976;citado por por Scheffer & Schachtschabel, 2002).....	4
Figura 2. Forma en que se produce el flujo de calor, q (W/m^2), en el suelo debido a los cambios de temperatura (ΔT).....	6
Figura 3. Representación esquemática de los componentes del balance de energia con énfasis en la variable G	8
Figura 4. Representación gráfica de las condiciones de frontera de G	9
Figura 5. Representación teórica de las 3 fases de suelo, a una profundidad D	17
Figura 6. Representación gráfica de cómo se tomara la muestra inalterada del suelo en el cilindro.....	20
Figura 7. Representación esquemática del funcionamiento de fuente de radiación. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires.....	22
Figura 8. Aplicación de la labranza vertical(arado), en la parcela de estudio, Rancho los angeles, Municipio de Saltillo Coahuila Mexico.....	30
Figura 9. Algunos instrumentos utilizados en las diferentes mediciones.....	32
Figura 10. Medición del microrrelieve, (A) antes del paso del implemento y (B) después del paso del implemento.....	33
Figura 11. Gráfica de los datos obtenidos en campo por el método de la técnica de microrrelieve.....	37
Figura 12. Gráfica con los datos obtenidos después del paso del implemento...38	38
Figura 13. Representación gráfica de R_n , flujo de calor en el suelo en la superficie G_{0cm} , a 8cm de profundidad G_{8cm} ; corresponde al día 150, testigo.....	40
Figura 14. Representación gráfica de R_n , flujo de calor en la superficie G_{0cm} , a 8cm de profundidad G_{8cm} , correspondiente al día 162 LV.....	41
Figura 15. Representación gráfica del índice de relación G/R_n correspondientes al testigo (día 150), y a LV (día162).....	42

Figura 16. Representación gráfica del índice de relación G/R_n , comportamiento en el transcurso del tiempo; testigo(día 152), y LV (día 163).....43

Figura 17. Representación gráfica del comportamiento en relación G/R_n , durante el periodo de un día; testigo(día 153), y LV (día 175).....44

Figura 18. Comportamiento de los índices de relación G/R_n , correspondiente a un día con un alta nubosidad, testigo (156) y LV 168.....45

ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Capacidad de calor específico (c) y conductividad térmica (λ), de diferentes componentes del suelo. ^{a)} Bolt et al., (1965) cited by Hartge and Horn (1999); ^{b)} Lang (1878) cited by Scheffer&Schachtschabel (2002).....	14
Cuadro 2. Clasificación de partículas del suelo. Universidad de la República, Dpto. De Suelos y agua Monte Video Uruguay, 2004.....	15
Cuadro 3. Temperaturas cardinales de algunas semillas. Departamento de Ciencias Vegetales Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Pontificia Universidad Católica de Chile.....	24
Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas del suelo del sitio experimental obtenidas en el laboratorio.....	39

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo fue realizado en el estado de Coahuila, municipio de Saltillo, en el rancho “Los Ángeles”, el trabajo experimental consistió de dos tratamientos: (i) una superficie no disturbada (testigo), (ii) superficie con labranza vertical (LV). Los datos recopilada fue con la estación eddy, la instrumentación fue instalada en cada superficie para medir los flujos de masa y energía.

En este trabajo se comparó un sistema de labranza contra un suelo sin disturbarlo (superficie 2.4 ha), su efecto que causa en relación en el flujo de calor en el suelo. De los componentes del balance de energía [$BE = (H + LE) / (Rn-G)$]: donde:

La variable que se expresa de cantidad de energía que puede ser liberada o almacenada en el suelo (G), radiación neta (Rn), la energía disponible en la superficie que es transportable en flujo de vapor de agua (LE) y el flujo de calor sensible (H).

El índice de rugosidad de 2.918, con una densidad igual a 1.03gr/cm^3 , para posteriormente del paso del implemento bajo el método de microrrelieve (MR), obteniendo un trabajo del implemento de 0.9301gr/cm^3 , dato que fue utilizado para la sistematización de datos y poder obtener el índice de relación G/Rn.

Para poder tener una comparación adecuada selecciono 4 periodos de muestreo, en el testigo, y la misma cantidad en donde se practico el tramiento del suelo LV.

Se pude observo le caso que en LV, es más dinámico en cuestión del flujo de energía y en general tiende a perder valores de -140 unidades. Mientras que el testigo su comportamiento es menos dinámico además que tiende a ganar energía con 74 unidades.

Palabras claves: estación Eddy, Método de microrrelieve, Índice de relación

I. INTRODUCCION

Uno de los temas más polémicos en nuestra actualidad es el cambio climático y la consecuencia que este atrae, para nuestro caso en el sector agrícola. Los diferentes métodos micrometeorológicos han venido a tener una mayor importancia para su estudio, por medio de mediciones del flujo de masa y energía que ocurre en la superficie del suelo que también afectan el cambio climático.

Las propiedades térmicas del suelo son de suma importancia para determinaciones físicas de los suelos, como los procesos químicos y biológicos; y el intercambio de energía en el suelo y la atmósfera.

La importancia del estudio del flujo de calor en el suelo (G), es debido que es un factor que regula la evaporación, aeración, los procesos biológicos como la absorción de nutrientes y agua por las raíces de las plantas; la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos; la germinación de semillas de los diferentes tipos de cultivos y la aparición de las plántulas como su desarrollo y crecimientos de estos.

El flujo de calor en el suelo adquiere valores muy dinámicos, con respecto al tiempo y la profundidad del suelo, propagándose por el perfil del suelo en función con la capacidad de calor, la difusividad térmica y conductividad térmica, que son afectadas por las diferentes propiedades del suelo.

El empleo de diferentes implementos para la preparación del suelo antes de la siembra (la cama de siembra), tiene una influencia en la temperatura del suelo, ya que se están reorganizando los agregados del suelo (cambio estructural), pero aun la mayor parte sigue siendo macroporos, pero los valores de G se ha modificado o cambiado.

Esto es debido que existen nuevos poros después del paso del implemento, con un mayor contenido de aire, produciendo también un cambio en las propiedades hidráulicas del suelo, que va en función de lo dicho anteriormente con la compactación y densidad del suelo.

Existen investigaciones recientes, que demuestran la compactación del suelo y las consecuencias que esta atrae, las emisiones de los diferentes gases que son los causantes del efecto invernadero han aumentado, las evaluaciones que constatan que oscilan alrededor de 1 y 50 Kg de N por hectárea al año. El contenido de oxígeno depende de las condiciones físicas del suelo, de igual forma los parámetros de temperatura (Hillel, 1998; Zawadzki et al., (1999).

1.1 Objetivo

El estudio de los cambios morfológicos del suelo, el efecto del microrrelieve producido por el sistema de labranza, la afectación de esta en el flujo de energía en el suelo; con los siguientes objetivos particulares:

1. Estudiar el cambio en la morfología del suelo en el perfil 0-30 cm. como resultado del movimiento mecánico bajo un sistema de labranza vertical(LV);
2. Medir la modificación del micro relieve promovido por la acción de LV (en surco y bordo respectivamente); y
3. Comparar el efecto del microrrelieve sobre el flujo de calor en el suelo, para LV.

1.2 Hipótesis

“Las variaciones en la densidad aparente del suelo tienen un efecto significativo en las estimación del flujo de calor en la superficie del suelo.”

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Definición y análisis teórico de flujo de calor en el suelo.

2.1.1. Generalidades

Los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo son influenciados por la temperatura del suelo. Los procesos biológicos, tales como la captura de nutrientes y agua por las raíces, la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos y la germinación de semillas están fuertemente afectadas por la temperatura. Por ejemplo, la velocidad de algunos procesos se incrementa a más del doble por cada 10 °C de temperatura (Hillel, 1998; Kowalik, 2004).

Las fuentes internas y resumideros de calor juegan un importante rol en el régimen térmico, pero, el sol es la fuente de radiación más importante. La circulación de calor constituye un circuito cerrado, pues, la radiación viene del sol y finalmente retorna a la atmósfera, como se muestra en la Figura 1, donde se observa que la energía proveniente del sol o radiación de onda corta y la remitida por la atmósfera o radiación de onda larga llega a la superficie del suelo desde un 7 hasta un 50 %, misma que puede ser transformada en vapor de agua (LE) y calor de circulación (H) ascendente (IPCC, 2001).

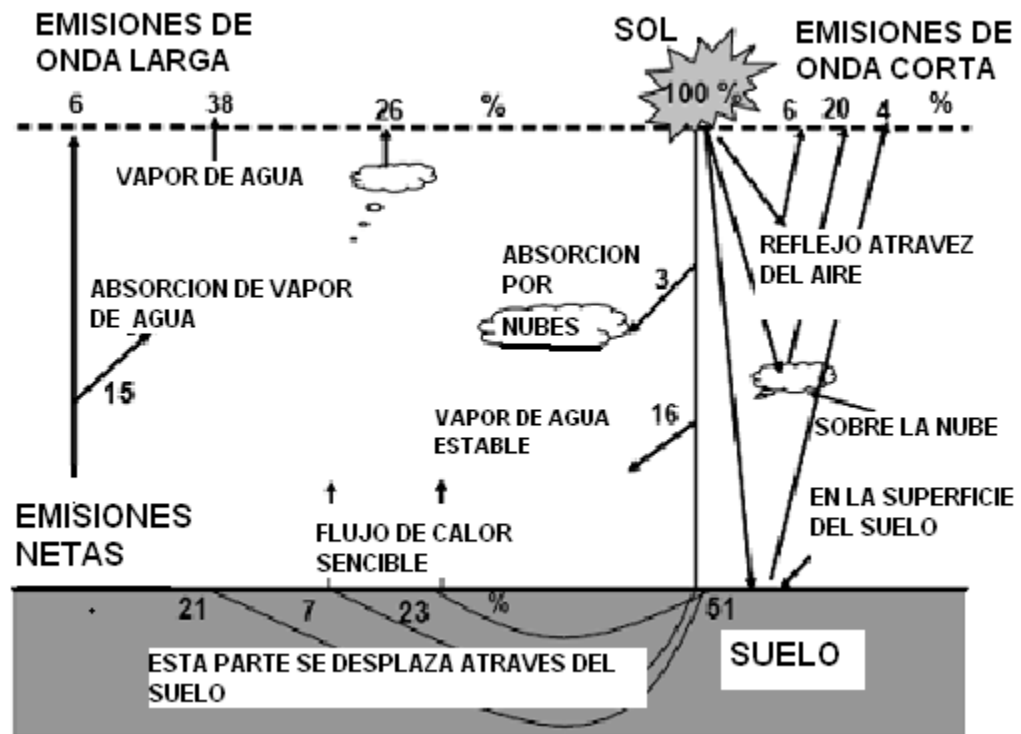


Figura 1. Representación del flujo energético atmosfera-litosfera. La radiación a la atmosfera del limite superior =100. (Otorgado a mason,1976;citado por Scheffer & Schachtschabel, 2002).

2.1.2. Conceptos básicos sobre las formas de transferencia de calor

Desde el punto de vista de la termodinámica, el calor es energía en tránsito que tiene lugar como resultado de las interacciones entre un sistema y sus alrededores debido a diferencias de temperatura, pero también se asocia con la energía interna cinética y potencial de la materia como un sistema molecular en movimiento, aunque aparentemente desorganizado.

Holman, J.P. (1998), dicen que hay tres formas mediante las cuales se transfiere el calor que son: conducción, convección y radiación, y lo explican de la siguiente manera:

Transferencia de calor por conducción.- la transferencia de calor por conducción a través de un material estacionario, tal como un sólido o un fluido en reposo o régimen laminar. Este tipo de transmisión no involucra un movimiento relativo de las partículas del cuerpo y por tanto se define como difusión de energía debida a un movimiento molecular aleatorio;

Transferencia de calor por convección.- la transferencia de calor por convección es el flujo de calor mediante corrientes dentro de un fluido (líquido o gaseoso). La convección es el desplazamiento de masas de algún líquido o gas. Cuando una masa de un fluido se calienta al estar en contacto con una superficie caliente, sus moléculas se separan y se dispersan, causando que la masa del fluido llegue a ser menos densa; y

Transferencia de calor por radiación.- La transferencia de calor por radiación es la que se transmite por medio de ondas electromagnéticas. No se requiere de un medio para su propagación. La energía irradiada se mueve a la velocidad de la luz. El calor irradiado por el Sol se puede intercambiar entre la superficie solar y la superficie de la Tierra sin calentar el espacio de transición.

2.1.3. Análisis teórico enfocado al suelo

Como consecuencia de la textura y estructura del suelo existe la porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o poros. Los poros en el suelo se distinguen en: macroscópicos y microscópicos. Los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares (González-Cervantes, *et al.*, 2004).

Los terrenos arenosos son ricos en macro poros, permitiendo un rápido pasaje del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retener el agua,

mientras que los suelos arcillosos son ricos en micro poros, y pueden manifestar una escasa aeración, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua (González- González-Cervantes, *et al.*, 2004).

En el suelo la transferencia de calor ocurre de diferentes formas, incluyendo la conducción a través de granos de suelo, líquido y gases; la transferencia de calor latente a través de los ciclos evaporación-condensación; transferencia de calor por medio de difusión líquida y convección, y radiación en los poros ocupados por gas. Las magnitudes relativas en términos de transferencia de calor dependen de la composición del suelo, estructura, temperatura y contenido de humedad. Un diagrama simplificado de las principales formas de transferencia de calor se muestra en la Figura 2 (Deru, 2003).

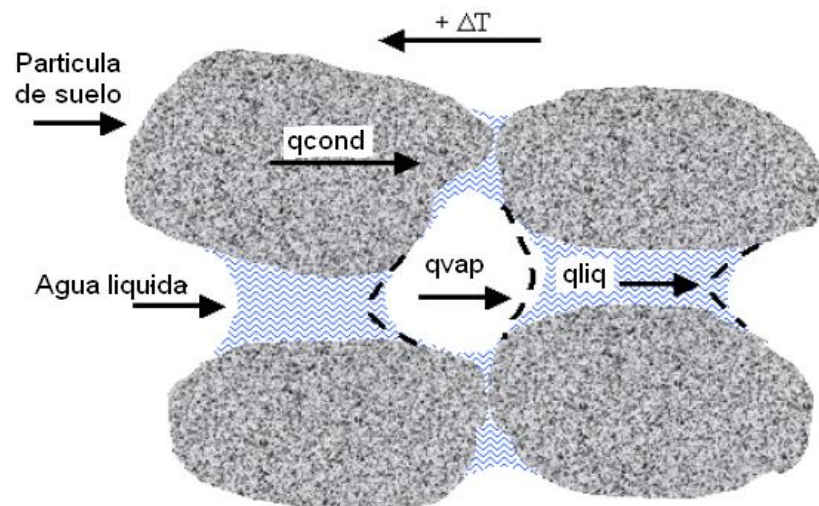


Figura 2. Formas en que se produce el flujo de calor, q (W/m^2), en el suelo debido a los cambios de temperatura (ΔT)

Para complementar lo anterior, Deru (2003), termina diciendo: "...la simple adición de los términos de transferencia no son estrictamente correctos, porque estos no están uniformemente distribuidos a lo largo del perfil del suelo."

De lo anterior, se deduce que el movimiento y el sentido del flujo de calor están determinados por las características de la matriz del suelo y de la fase predominante en un momento dado. Es decir, la presencia de aire en poros insaturados crea un importante camino para el intercambio de gas con la atmósfera. Este intercambio de gas, conocido como respiración, es crucial para el mantenimiento de raíces de plantas saludables y la actividad microbiana.

2.2. Teoría sobre flujo de calor en el suelo

2.2.1. Generalidades

G es una variable que expresa la cantidad de energía en $W m^{-2}$ que puede ser liberada durante la noche o almacenada durante el día. Esta variable de flujo algunas veces es ignorada porque su magnitud frecuentemente es pequeña y el promedio estacional casi es cero, aún cuando puede representar un consumo de 5 al 15% de la radiación neta (R_n). Los componentes de la ecuación del balance de energía están representados en la ecuación 1 y en la Figura 3.

$$R_n = H + LE + G + S + PH$$

(1)

Donde, R_n es la radiación neta incidente, que resulta de la suma algebraica de radiación de onda corta (R_{sw}) y de la radiación de onda larga (R_{lw}); H es el flujo de calor sensible; LE, es el flujo de calor latente o vapor de agua; S, es la energía existente entre la superficie del suelo y el follaje de las plantas (canopy); PH, es la energía requerida en el proceso de fotosíntesis; y finalmente G es la energía que fluye en el suelo, ecuación que se expresa en $W m^{-1}$ (Ochsner et al 2007).

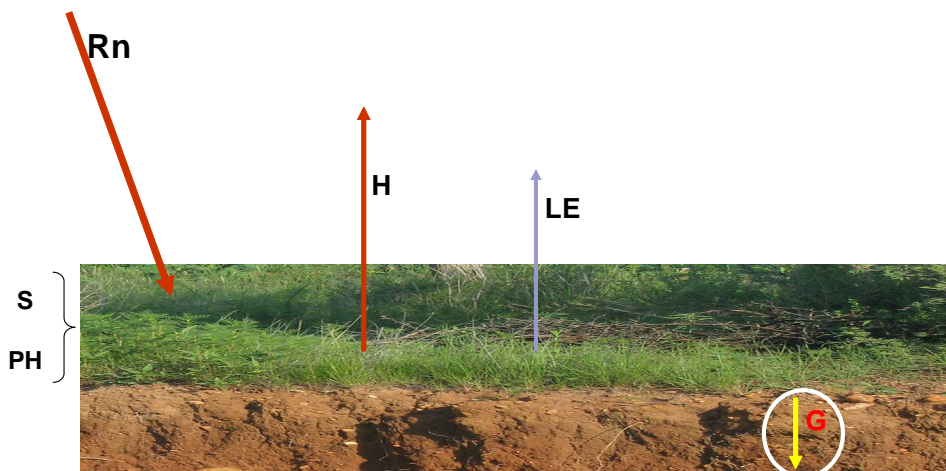


Figura 3: Representación esquemática de los componentes del balance de energía con énfasis en la variables G.

2.2.2. Análisis de G

En la ley de Fourier, establece que: “el calor transmitido es directamente proporcional al salto de temperatura a través de una masa (como una pared), e inversamente proporcional al espesor de la misma.”

Una interpretación de lo anterior, permite establecer que G es el calor transmitido a través de la superficie λ , definida como conductividad térmica en m^2s^{-1} , el cual se asume con un valor constante de acuerdo a las característica del suelo; y $\frac{\partial T}{\partial t}$ representa al gradiente vertical de temperatura, cuya ecuación se presenta a continuación (2):

$$G = \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

Para aplicar la ecuación anterior, es necesario establecer condiciones de frontera para la masa de suelo. Para ello, en la figura 4 se representa el comportamiento de G, que puede ser ascendente y descendente entre los límites $z=0$ y $z=D$. Cuando el valor de G es positivo significa que el suelo gana energía y por el contrario cuando presenta valores negativos se interpreta como pérdida de energía.

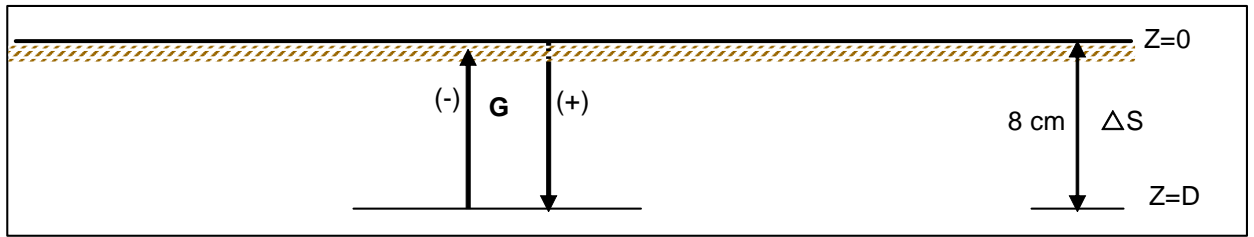


Figura 4. Representación grafica de las condiciones de frontera de G.

El almacenamiento de la energía en la capa de suelo a 8 cm de profundidad, definido en la figura 4 como ΔS , está dado por la diferencia entre el flujo de calor en la superficie (G_0) y el flujo de calor a 8 cm (G_D), cuya expresión algebraica se representa de la siguiente manera (3):

$$G_0 - G_D = \Delta S \quad (3)$$

G_D es una magnitud que se obtiene por medio de los sensores, sin embargo, para poder calcular G_0 es necesario determinar analíticamente ΔS . De acuerdo a lo propuesto por Ochsner (2007), esto significa que la energía que fluye, tanto en forma ascendente como descendente es igual a la integral en los límites $z=0$ hasta $z=D$, del gradiente vertical de energía que está afectado por el producto de la densidad aparente del suelo (D_a), las propiedades térmicas del suelo (C_s) y los cambios de temperatura (T), como una función del espesor de la capa de suelo (dz), mismo que está representado en la siguiente ecuación (4):

$$\Delta S = \int_{z=0}^{z=D} \frac{\partial}{\partial t} \left[D_a \cdot C_s \cdot T \right] dz \quad (4)$$

La solución analítica de la ecuación (4) se presenta a continuación en la y la ecuación (5):

$$\Delta S = \frac{Da \cdot Cs \cdot \Delta T \Delta z}{\Delta t} \quad (5)$$

Además de lo anterior, es importante hacer notar que C_s es una variable que está afectada por el contenido de agua en la capa de suelo; ΔT es la diferencia en la temperatura de un tiempo desde $t=0$ a $t=T$; Δz es la diferencia en profundidad del suelo desde $z=0$ hasta $z=D$ y Δt representa el tiempo que transcurre entre dos lecturas consecutivas de $t=0$ hasta $t=t$.

2.3. Factores que influyen en el flujo de calor en el suelo

2.3.1. Relacionadas con las propiedades del suelo

Las propiedades físicas de los suelos están íntimamente relacionadas con los procesos químicos y biológicos que ocurren constantemente en el sistema edáfico. La nutrición de las plantas por ejemplo, depende en gran parte de las condiciones de aireación y disponibilidad de agua que el suelo posea. Otro ejemplo lo constituye el desarrollo de las raíces en el suelo. Tal desarrollo es función de la existencia de poros, y de la resistencia que las partículas del suelo impongan al desarrollo de las raíces.

Los microorganismos que se desarrollan en el medio edáfico también se ven influenciados por las propiedades físicas del suelo. Por ejemplo, la capacidad del suelo de almacenar y transmitir calor (propiedades térmicas) tienen una influencia directa en sus tasas de crecimiento y desarrollo. Asimismo, las reacciones químicas y procesos enzimáticos que se llevan a cabo en el suelo, se ven influenciados por la temperatura del medio edáfico. De igual manera, la retención de humedad, y más específicamente los potenciales

de agua asociados a la cantidad de agua existente en el suelo, juegan un rol preponderante en el desarrollo y supervivencia de los organismos del suelo (Jenkinson, 1992).

2.3.2. Relacionadas con la cobertura del suelo (vegetación y otros elementos)

La vegetación y sus residuos son los principales obstáculos que se interponen entre la variación solar y el suelo, influyendo directamente en la temperatura de este ya sea para ganar o perder. La vegetación forma un revestimiento más o menos denso, mas la sombra que estos ejercen, la que tenemos o da el nombre de “umbría”; es la que intercepta una parte de la radiación solar reduciendo la posibilidad del calentamiento del suelo por medio de la radiación solar (Wierenga, 1969; Abu-Hamdech et al., 2000).

Existen países tropicales y ecuatoriales donde su practica de cultivo principal es la producción de sombra, debido que la superficie del suelo alcanza una temperatura elevada llegando hasta el punto que la vida microbiana se paralice, se observa una diferencia entre el suelo desnudo y otro bajo la sombra de árboles en los bosques de hasta 20°C, de igual forma se observa en la vegetación y la variación de temperatura durante la noche (Rucks, L y et al. 2004).

En las superficies agrícolas se pueden observar los residuos de los diferentes cultivos, como paja, hojas y los diferentes desperdicios vegetales, los cuales son utilizados para proteger el suelo contra la insolación demasias fuerte y para disminuir la evaporación en la práctica llamada “mulching”. En los cultivos de hortalizas, se utiliza para la obtención de los mismos resultados, en la utilización de papeles especiales (Sauer T. J. and Pinter P. J. 2007).

La vegetación forma un tipo de pantalla, la que refleja la radiación solar, de la misma forma que la nieve, por lo que existe una relación entre la energía reflejada y la energía de incidente, esta relación se le llama albedo, es del orden de 10 a 20% en los suelos cultivados y en los que se encuentran con cubierta de vegetación es mas elevado, como bosques, pradera, entre otros pueden, en los cuales se sobrepasar el 50% (Rucks, et al 2004)

2.3.3. Relacionado con la ubicación del lugar y época del año.

La observación ha demostrado, que cuanto mas se acerque el ángulo de incidencia de los rayos solares a la perpendicularidad, mayor será la absorción. Un suelo de unos 20°C de inclinación al sur, otro horizontalmente y uno con 20°C de inclinación al norte, recibe energía solar el día 1 de junio y en el paralelo 42° norte, en la proporción de 106, 100, y 81 respectivamente. La temperatura en las inclinaciones al sur varía con la época del año. En el hemisferio norte la inclinación al sureste, en general, mas caliente en primavera, al sur en el verano, y en el sureste al otoño (Hemi, 1999; Kumar *et al.*, 1997).

2.3.4. Color del suelo

El color del suelo es una de las propiedades físicas que modifica directamente el efecto de la radiación incidente, y por tanto, el flujo de calor en el suelo. Algunos, desde mediados del siglo pasado (Baver, 1956; Gaucher, 1968; Baver y Garner, 1973) ya advertían que, además de esto, puede proporcionar información clave sobre otras propiedades del medio edáfico. Por ejemplo, suelos de colores grisáceos y con presencia de “moteados o manchas” son síntomas de malas condiciones de aireación. Los suelos oscuros absorben mas energía que los suelos claros, esto es debido que los suelos oscuros tienen un contenido de materia orgánica mayor que los suelos claros,

por lo que retienen mayor cantidad de agua que debe ser calentada. También se ha observado que los suelos rojos y amarillos muestran un aumento más rápido que los suelos claros.

La cantidad de calor absorbido o reflejado por el suelo depende, en gran parte, de su color, ya que juega el mismo papel cual quiera que sean los cuerpos considerados. Se sabe que los cuerpos blancos son los que reflejan más las radiaciones caloríficas que reciben, mientras que al contrario, los cuerpos negros las absorben al máximo. Lo mismo pasa con los suelos, se admite que los suelos oscuros pueden absorber hasta el 80% de la radiación solar, mientras que esta absorción desciende hasta 30% en los suelos claros (Baver y Garner, 1973; Wilson y Gallant, 2000).

En los países cálidos y en períodos de fuerte insolación, se pueden observar accidentes de quemaduras en los vegetales situados en suelos blancos o blancuzcos y ciertas frutas situadas en la proximidad de la tierra pueden presentar quemaduras; este hecho se produce a veces en los racimos de uvas. Se podría deducir erróneamente que esos suelos se han recalentado, cuando en realidad los accidentes de quemaduras han sido producidos por el calor reflejado. Los suelos rojos tienen un poder absorbente bastante elevado y superior al de los suelos amarillos.

Existen registros de investigaciones pasadas que las diferencias de temperatura registradas, por los experimentadores, entre un suelo negro y uno blanco, varían entre dos y tres grados centígrados para profundidades ya apreciables: 15 cm. (Gaucher, 1968; Elias. *et al.*, 2004).

2.4. Calor específico y textura del suelo

El suelo se calentará más rápidamente cuanto más débil sea su calor específico; pero como esto no es el mismo para cada uno de sus elementos constitutivos, la rapidez de calentamiento del suelo depende de su textura.

Se da a continuación, el calor específico de los elementos del suelo llevados a la unidad de peso (J/g^oK).

Cuadro 1. Capacidad de calor específico (c) y conductividad térmica (λ), de diferentes componentes del suelo. ^{a)} Bolt et al., (1965) citada por Hartge and Horn (1999); ^{b)} Lang (1878) citada por Scheffer&Schachtschabel (2002).

Componentes del suelo	capacidad de calor específico c [J/gK]	Conductividad térmica λ [J/gK]
Aire	$1.3 \cdot 10^{-3}$ ^{a)}	$2.5 \cdot 10^{-4}$ ^{a)}
Agua	4.19 ^{b)}	$5.7 \cdot 10^{-3}$ ^{a)}
Hielo	$1.88(^{\circ}\text{C})$ ^{b)}	$2.2 \cdot 10^{-2}$ ^{a)}
Cuarzo	2.13 ^{b)}	$8.8 \cdot 10^{-2}$ ^{a)}
Arcilla	2.1 ^{a)}	$2.9 \cdot 10^{-2}$ ^{a)}
Humus	2.34 ^{b)}	$2.5 \cdot 10^{-3}$ ^{a)}

Los suelos se calientan rápidamente en primavera, y se enfrían igualmente rápido en otoño. Por otra parte si se tuviera en cuenta la porosidad de los constituyentes del suelo, como el calor específico del aire es muy bajo, las cifras referidas al volumen se reducirían sensiblemente del tercio a la mitad (de 35 a 50%). Es así que al aumentar la porosidad del suelo los trabajos de labranza disminuyen el calor específico «aparente» por analogía con la densidad aparente (Hillel, 1998).

La proporción relativa de los variados tamaños de partículas en el suelo conocida como la distribución del tamaño de partículas o más comúnmente,

textura del suelo. La textura es considerada una de las más importantes propiedades físicas del suelo y afecta a casi todas las otras propiedades físicas, químicas y biológicas (Hillel, 1998; Kowalik, 2004).

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 de granos 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 (Bachmann et al., 1997).

Se han propuesto varias y diferentes clasificaciones de las fracciones. El Departamento de Agricultura de U.S.A. y la propuesta últimamente por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.

Cuadro 2. Clasificación de partículas del suelo. Universidad de la republica, Dpto. De Suelos y agua Monte Video Uruguay, 2004.

fracción del suelo	Sist.dpto.de Agr. De USA. Diam. lim. En mm.	Sistema internacional. Diam.lim. En mm.
Arena muy gruesa	2.00-1.00	
Arena gruesa.	1.00-0.50	0.2-0.20
Arena media	0.50-0.25	
Arena fina	0.25-.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

La dominancia de fracciones finas en un suelo, le determina una textura que tiende a retardar el movimiento del agua y aire. Un suelo así será altamente

plástico y fuertemente adhesivo cuando esté demasiado mojado, y será pesado y convertido en terrones al secarse, a menos que se trabaje adecuadamente. La expansión y contracción suele ser grande, al mojarse y secarse alternativamente, y la capacidad de retener agua de los suelos de textura fina es alta en general. Como acaba de decirse tales suelos se llaman pesados por sus cualidades de difícil laboreo, en contraste marcado con los livianos, de fácil laboreo, los suelos arenosos (Marshall y Holmes, 1979).

2.5. Estructura del suelo

La unión de las partículas individuales del suelo formando “agregados” es conocida como estructura. La estructura de un suelo afecta procesos tales como el intercambio gaseoso, desarrollo de raíces, movimiento de agua y erosión del suelo. Se le define como el arreglo de las partículas del suelo. Se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. Por lo tanto, «partícula» designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria (agregado o unidad estructural).

El arreglo entre las partículas del suelo, la estructura, determina el espacio entre las mismas, que son predominantemente macroporosas. Según el nivel de observación, se puede hablar de macroestructura o microestructura. La macroestructura, es el arreglo de las partículas secundarias y primarias visibles a simple vista. La microestructura es el arreglo de las partículas primarias para formar las secundarias; de ellas depende en alto grado la macroestructura. Al atender a la microestructura, se observa que los componentes coloidales del suelo (plasma) actúan como cemento de los granos más gruesos (esqueleto), (Baver1974).

2.6. Porosidad y densidad aparente

2.6.1. Porosidad

Gravande (1992), Gavande (1972) y Forsythe (1975), entre otros, definen a la porosidad como la suma de porcentajes de poros o espacios vacíos de diferente tamaño existentes en una masa de suelo. Esta propiedad, es el resultado o en consecuencia de la textura y estructura del suelo, de la manera en que están acomodadas y empaçados las partículas y agregados del suelo.

Es decir, el espacio poroso está constituido por todo el volumen aparente no ocupado por sólidos. Este concepto, teóricamente se representan en la figura 5, en la que se definen las tres fases del suelo: sólido (V_s), líquido (V_w) y gaseoso (V_a).

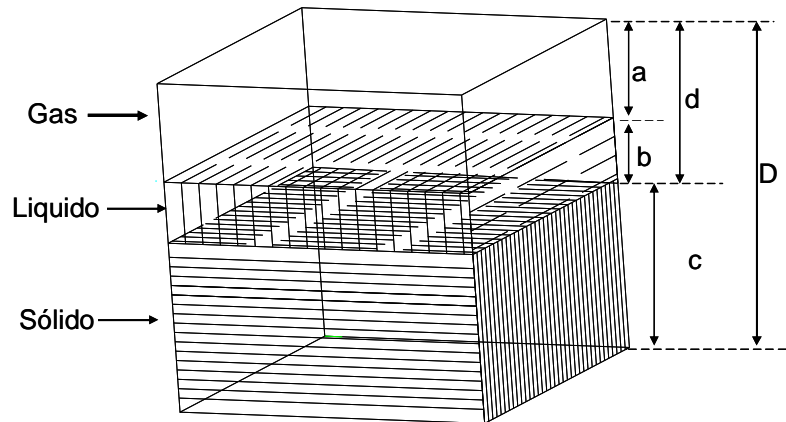


Figura 5. Representación teórica de las 3 fases del suelo, a una profundidad D.

Por lo tanto, la porosidad del suelo (e) podría expresarse en términos de masa, pero, debido al peso insignificante del aire contenido en los poros, comúnmente se expresa en términos del porcentaje. De manera que el valor de e está dado por el cociente de volumen poroso total con respecto al volumen aparente del suelo, o sea (1):

$$e = \frac{\text{Volumen poroso total}}{\text{Volumen aparente del suelo}} \quad (1)$$

Es decir, el volumen poroso total está representado por el espacio que comparten las fases líquida y gaseosa ($D^2 \times d$) y el volumen aparente del suelo

está conformado por todo el cubo (D^3), por lo que la ecuación (1) puede expresarse igualmente como (2):

(2)

$$e = \frac{dD^2}{D^3} = \frac{d}{D} = (1-d/D)$$

Ahora, si se considera a d como la densidad aparente del suelo (D_a) y D como la densidad real (D_r), en la que el valor de referencia en la literatura (Gavande, 1982) es de 2.6 g cm^{-3} , entonces la ecuación final queda como (3):

$$e = (1-D_a/D_r)$$

(3)

2.6.2. Densidad aparente

La definición de densidad es una relación de masa a volumen. La densidad aparente de un suelo es la relación que existe entre la masa o peso seco del suelo y la unidad de volumen aparente del mismo. El volumen aparente incluye a las partículas sólidas y el espacio poroso (Montenegro y Malagón, 1990).

La densidad es un término que expresa la masa por unidad de volumen de una sustancia. Cuando se aplica a los suelos se le denomina densidad aparente, por que se incluye el espacio poroso. Los cambios en la porosidad reflejan valores de densidad aparente variable. Como regla general, la densidad aparente (D_a) tiene un valor máximo en suelos de textura gruesa tienden a la menor porosidad, aun cuando el tamaño de sus poros es grande. Inversamente, el espacio poroso total de un suelo con textura fina tiende a ser mayor y por tanto, su densidad aparente baja (Gravande, W. 1992). El uso de estos valores son los siguientes:

- a) Calcula el contenido de humedad volumétrica del suelo, partiendo de los porcentajes de humedad gravimétrica.

- b) Calcula la lámina de agua en el suelo.
- c) Estima la porosidad total del suelo.
- d) Calcula la masa de la capa arable del suelo.
- e) Con la porosidad, estima el grado de compactación del suelo.

Los valores de densidad aparente no permiten comparaciones de un suelo con respecto al otro.

La densidad aparente es afectada por el contenido de materia orgánica, los valores más bajos (menores de 1 g/cm³), se obtienen en suelos orgánicos (Porta, J; López Acevedo, (1999).

2.6.3 métodos para determinar densidades

2.6.3.1 Método de excavación

Este método se considera como el más impreciso y se da de una forma convencional, pero tiene la ventaja de ser el más rápido. Para su realización se requiere de una pala, balanza, una probeta, bolsa de plástico (balón) y agua.

Se realiza un aro en el campo y se determina el volumen de éste, esta de terminación se puede realizar por el método de balón de agua, son proporcionales al tamaño máximo del agregado según se describe bajo la norma ASTM D5030-89

Algunos factores a considerar al utilizar este método es la precisión, la representatividad, la determinación del hoyo después de la relajación de la tensión de los laterales, la capacidad del balón de tomar la forma del hoyo y la variación del peso unitario que varia con la profundidad del hoyo.

2.6.3.2 Método del cilindro

Partiendo de un cilindro de volumen conocido, se entierra en el suelo y se quita el exceso de material quedando al ras del cilindro, para que el volumen sea exacto. El material obtenido en el cilindro se seca y se pesa con la relación peso/volumen de donde se obtiene la densidad aparente.

Éste método es especialmente indicado para arenas.

El peso unitario seco del material densificado es obtenido por medio de un cilindro delgado excavado a una cierta profundidad de la superficie que se desea verificar. El cilindro tiene las siguientes características: 15,24 cm (6-in) de diámetro, 15.24 cm (6-in) de largo, calibrado mediante un tubo de acero. El fondo del cilindro es biselado para formar un borde de corte. Utilizando una pequeña presión, el cilindro es empujado dentro del material.

En el caso de que el material contenga grava, el uso de cilindros de 15.24 cm no es correcto a causa de la influencia de la grava, este inconveniente puede solucionarse utilizándose cilindros de gran altura y pequeño perímetro.

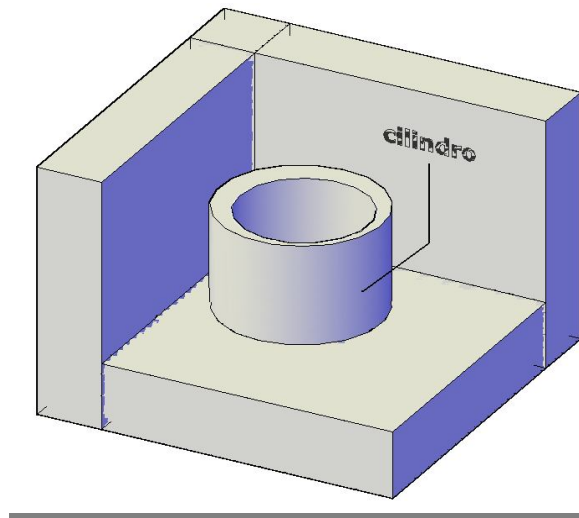


Figura 6. Representación grafica de cómo se tomará la muestra inalterada del suelo en el cilindro.

2.2.3.3 Método de la parafina

Se escogen algunos terrones que se secan en la estufa a 110 C° de temperatura durante toda la noche (12hrs. aproximadamente) para obtener peso real sin contenido de agua. Los terrones secos se amarran a un hilo y se sumergen en la parafina (con una densidad 0.9 g/c³) hasta cubrirlos completamente. Los terrones con parafina se pesan, y esta nos proporciona el peso de la parafina. El terrón con parafina se pesa sumergido en agua, por el principio de Arquímedes esta se transforma en el volumen del terrón con parafina, a la que se denomina (Va) el volumen del terrón que es el dato que nos interesa se obtiene de la siguiente manera.

Vol. desplazado (cm³)=Vol. final - Vol. Inicial

Peso de la parafina (grs.)= peso total – peso del terrón

Vol.parafin = $\frac{\text{Peso de la parafina(grs.)}}{\text{Densidad de la parafina (grs/cm}^3\text{)}}$

Da= $\frac{\text{peso del terrón (gr.)}}{\text{Vol. Parafina (cm}^3\text{)}}$

Al dividir P/V terrón se obtiene el dato de la densidad aparente, este método es considerado el más exacto.

2.2.3.4 Método nuclear

El procedimiento para éste método se encuentra descrito en la ASTM D2922-71 y se utiliza en conjunto con la determinación del contenido de agua utilizando métodos nucleares descrito en la ASTM D3017-72 El aparato, en general, consiste en una pequeña fuente blindada de radiación y un detector.

El método tiene la desventaja que el análisis solamente afecta a un pequeño volumen de arena (0.0014 m³) y los resultados se encuentran influenciados por las variaciones en la composición química, la heterogeneidad del material y la superficie irregular en la zona de ensayo.

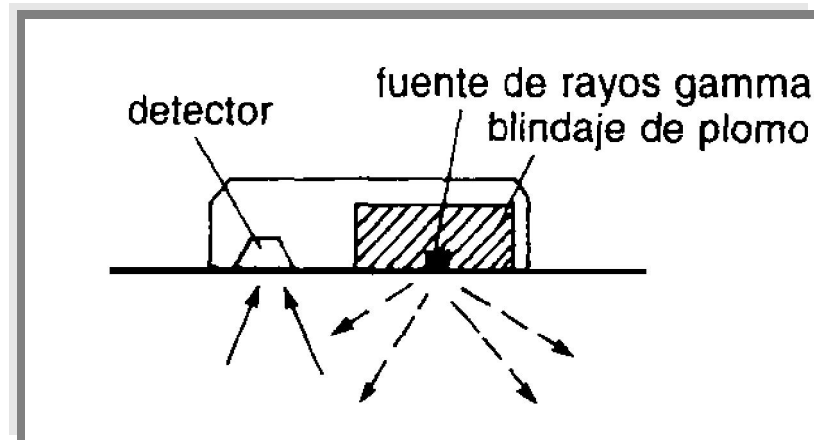


Figura 7. Representación esquemática del funcionamiento de fuente de radiación. Universidad tecnológica nacional, Buenos Aires.

2.7. Aplicaciones de G en variables agronómicas

En el suelo es donde se desarrolla la parte radicular de los diferentes tipos de cultivos, con la óptima tempera del suelo, las plantas se pueden desarrollar adecuadamente y obtener los rendimientos de producción que el agricultor quiere, por lo que es de suma importancia su estudio y manejo (Gaucher, 1968).

Una de las formas de poder aprovechar la temperatura adecuada para los diferente tipos de cultivos, es la selección de la fecha de siembra, de acuerdo con las condiciones climatológicas de la estación del año, pero se presentan nuevas situaciones de la problemática en los cultivos perennes, debido que la fecha de siembra esta determinada por otros factores (Black, 1975).

Se modifica la temperatura del suelo cuando esta constituye un papel muy importante para la obtención de buenos rendimientos, por lo que en general tienen que ser a un costo bajo y a la vez que no sea riesgoso, algunos ejemplos son: el uso de acolchado, labranza (modificación la configuración de la superficie), manejo de agua, arreglos topológicos, otros (Narro Farías, 1994).

2.7.1. Temperaturas del suelo para la germinación y emergencia de semilla.

Como sabemos las diferentes labores culturales tiene como fin la preparación de la cama de suelo, eliminando la maleza, cambiando la densidad y aprovechado de la mejor forma la humedad del suelo que juega un papel muy importante, para proporcionar a la semilla la energía calorífica necesaria para la germinación, cuando se calienta el agua con el suelo a consecuencia de la radiación solar que se encuentra en contacto con la semilla, parte de esta energía suministrada se invierte en un aumento de la difusión del agua, por lo tanto aumenta la tasa de absorción del agua dentro de ciertos límites.

En investigaciones se ha encontrado experimentalmente que el aumento de 10°C en la temperatura duplica la tasa de absorción al inicio del proceso de la misma (Besnier Romero, 1990).

La germinación, es un proceso fisiológico que es afectado por la temperatura, para cada tipo de semilla existe una temperatura mínima y una máxima en la que ocurre la germinación, dentro de estos dos existe un rango que llamamos óptima, que se conoce como temperaturas cardinales de germinación (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1975; Delouche, 1984; Popinigis, 1985).

Debido a la diferencia de semillas que dependen de temperaturas diferentes, no se puede hacer un bosquejo general a que temperatura inicia la germinación, por lo que diría que la temperatura mínima, es el nivel más bajo

que una semilla la temperatura máxima se encuentra arriba de ésta, la semilla no germina y le puede producir daños (Hartmann et al 1997).

Existe una tercera temperatura, entre la temperatura máxima y mínima a la que llamaremos optima, es donde se puede encontrar la máxima germinación de semillas en un mínimo de tiempo (Besnier, 1990).

A continuación se presenta un cuadro de las diferentes temperaturas; minia, optima y máxima, en donde se observa que cada cultivo tiene su temperatura y no es la misma para otro cultivo.(Chorbadjian R y Kogan M, 1996)

Cuadro 3. Temperaturas cardinales de algunas semillas. Departamento de Ciencias Vegetales Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Pontificia Universidad Católica de Chile.

Cultivo	Temp. Min. °C	Temp. Opt. °C	Temp. Max. °C
Arroz	10 – 12	30 – 37	40 – 42
Maíz	8 – 10	32 – 35	40 – 44
Trigo	3 – 5	15 – 31	30 -43
Tomate	20	20 – 35	35 – 40
Soya	8	32	40

2.8 Errores más comunes en la medición de G.

Como ya sabemos el flujo de calor en el suelo(G), es un componente del balance energético superficial, el cual, varia con las características físicas del suelo (textura, densidad, contenido de agua, color y mineralogía), también cabe mencionar la cobertura de la superficie y la radiación solar, que es la principal fuente energético. Se han realizado estudios de diferentes índole, en los mas recientes se utilizan sensores integrados por una termo pila encapsulados en un

disco fino, llamado placa, para medir el flujo de calor o transductor de flujo de calor, a la que se utiliza para medir G (Sauer Thomas, 2007).

Existen varios tipos de errores en este tipo de método, que potencialmente significativos, la cual es la distorsión y la resistencia termal del contacto del flujo de calor G (Philip 1961; Fuchs and Hadas, 1973; Mayocchi and Bristow, 1995)

La distorsión de G ocurre cerca de la placa por lo que la conductibilidad termal (λ) del suelo, varia con las características estadísticas (tamaño de partículas y mineralogía) y dinámica del suelo (densidad y contenido de agua), mientras que las placas están constituidas de materiales con una conductibilidad termal λ , que se considera constante de las diferentes temperaturas ambientales típicas.

En 1961 Philip, desarrollo un método para corregir la placa G (G_m), para la distorsión del flujo de calor en el suelo basado en las dimensiones de la placa (λ) y la conductibilidad térmica de la placa (λ_m). Mogenesen (1970), presenta una formula generalizada de Philip, la que describe el cociente entre el calor que atraviesa la placa al G circulante:

$$\frac{G_m}{G} = \frac{1}{\left[1 - \alpha r \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_m} \right) \right]}$$

Donde esta un factor empírico relacionado con la forma de la placa y r es un factor sin dimensión igual al grueso de la placa dividido entre la raíz cuadrada del área del flujo de calor del revestimiento de la placa.

Sauer et al., (2003), encontraron en experimento de laboratorio y de campo, mejora a menudo las estimaciones de la placa de G cuando $\lambda > \lambda_m$. Concluyeron que (λ_m) , juntos con otras fuentes de error no considerada en la corrección de Philip, incluyendo la resistencia termal del contacto, pudo interferir la eficiencia de corrección.

La resistencia termal del contacto “es la resistencia al traspaso térmico de un interfaz debido al contacto físico pobre entre los objetos colindantes de forma que diferencian”.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización geográfica general del sitio de estudio

El trabajo experimental se realizó durante el ciclo de verano del 2007 en el rancho Experimental “Los Ángeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizado en el municipio de Saltillo, Coahuila, aproximadamente a 34 km. al sur de la capital del Estado. Las coordenadas geográficas del sitio donde se realizó la investigación son: 25° 10' N, 101° 20' W, a una altitud de 2100 m.

3.2 Característica generales del sitio

Clima

El clima del lugar de acuerdo con García, E. (1975) es seco árido, semicálido, con invierno fresco, con temperatura media anual que fluctúa entre 18 y 22 °C, con lluvias en promedio anual de 450 a 550 mm distribuidas primordialmente en verano e invierno. [BWhw (x') (e)]

Vegetación

Vásquez (1973) clasifica la vegetación del rancho Los Ángeles en función de la forma de vida, cobertura, tamaño, forma y textura de las hojas, encontrando siete tipos de vegetación como sigue:

Pastizal Mediano Abierto, localizado en los valles con suelos profundos de origen aluvial.

Pastizal amacollado, ubicado en las faldas de las sierras con suelos pocos profundos y pedregosos.

Matorral Rosetófilo, encontrándose en laderas con Exposición Sur y cimas de cerros.

Izotal, localizado en laderas con pendientes moderadas, suelos arenosos y pedregosos.

Matorral Esclerófilo, se encuentra en sierras altas con pendiente considerable y exposición norte.

Bosque Aciculifolio, se ubica en laderas y cimas de cerranías altas.

Matorral Dasyliirion con pastos amacollados, localizados en la parte sur del rancho cubriendo la mayoría de los lomeríos y cerros de escasa altura.

3.3 Mediciones preliminares

Suelo

Se realizó un estudio de digitalización para en el rancho los Ángeles para identificar los suelos dominantes del área, y se encontró que de los grupos definidos por la FAO et al (1994), los Fluvisoles se localizan en las planicies y corresponden al 40% de la superficie total, se caracterizan por ser profundos, con un horizonte superficial de color oscuro y rico en materia orgánica y, los Leptosoles en el 60% de la superficie restante, los cuales, se encuentran en las serranía compuesta por laderas y mesetas, con presencia de afloramiento rocoso y una capa delgada de suelo, siendo éstos los más susceptibles a la erosión, además, en la parte alta de la sierra, son suelos forestales de formación insitu, ricos en materia orgánica y humus.

En uno de los potreros de 39 hectáreas, con características edafológicas homogéneas, se definieron 2 parcelas de 2.4 hectárea, donde se determinaron

las características físicas y químicas del suelo de los estratos 0-30 y 30-60 cm., los resultados se muestran en el Cuadro 3.1, con los datos de este cuadro, el suelo se clasificó como Feozem lúvico (HI) (INEGI, 2001).

Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas del suelo del sitio experimental obtenidas en el laboratorio.

Variable	Estrato		Método de evaluación
	0 - 30	0 - 30	
PH	8.28	8.31	Potenciómetro
CE(ds/m)	2.1	0.509	Puente de Wheatstone
Arcilla (%)	44	58	hidrómetro de Bouyoucos
Limo (%)	24	28	" "
Arena (%)	32	14	" "
Clase textural	Arcilla	Arcilla	Triangulo de textura
N (%)	0.21	0.14	
MO (%)	4.24	2.8	Walkley y Black
color	10YR 5/2	10YR 3/2	Uso de tablas de colores
Da(kg/m ³)	930		Barrena de núcleos
Carbonatos totales (%)	37.28	37.77	Volumetria de neutralización. Prueba cualitativa rápida
Reacción al HCl(10% en H ₂ O)	Media	Media	(INIFAP- ORSTOM, 1997)

3.4 Descripción del sitio a medir.

Para evaluar el efecto de la labranza vertical en la tasa de asimilación y liberación de flujo de calor en el suelo, se estableció una parcela experimental de 200 m en la dirección este-oeste y 120 m en la dirección norte-sur (Figura 8). Esta parcela se le practico LV. Se realizó el 08 de junio 2007 (día del año 159)



Figura 8. Aplicación de la labranza vertical (arado), en la parcela de estudio, Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

3.5 Instrumentación y técnicas realizadas

3.6.1 Instrumentación

La parcela se definió previamente, se instaló un sistema eddy y todos los componentes para determinar el flujo de calor sensible (H), calor latente (λE), calor en la superficie del suelo (G), radiación neta (R_n), y el flujo de bióxido de carbono en la superficie y en la atmósfera circundante (FCO_2).

Los componentes de la estación eddy fueron: un anemómetro sónico tridimensional (modelo CSAT3, Campbell, Sci., Inc.), un analizador de bióxido

de carbono y vapor de agua en el aire de sendero abierto (modelo LI-7500, LICOR), un sensor para medir temperatura del aire y vapor de agua (modelo HMP45C, Vaisala, Inc.), en la figura 9. Se muestra: (A) un radiómetro neto (modelo NR-LITE, Keep and Zonen Inc.), (B) dos platos para medir el flujo de calor en el suelo (modelo HFT3, REBS Inc.), (C) un sensor para medir velocidad y dirección del viento (modelo 03001-5, R.M Young Inc.), (D) un pluviógrafo electrónico para registrar y medir los eventos de lluvias de lluvia (modelo TE525, Texas Instruments, Inc.), (E) dos registradores electrónicos de datos (modelo 23X y CR7, Campbell, Sci., Inc), (E) dos paneles solares de 64 W y uno de 20 W, suministraron la energía requerida para el funcionamiento del sistema, dos termopares para medir temperatura del suelo de cuatro puntas (modelo TCAV, Campbell, Sci., Inc),

El sistema eddy se instaló en la parcela como testigo el 22 de mayo del 2007 (día 142), trasladándola donde se practico LV el 8 de junio de 2007 (día 159), teniendo un periodo de 16 días.

El 8 de junio del 2007 (día 159) se movió la estación Eddy registrando datos hasta el 26 de junio del 2007 (día 177), que correspondió a un periodo de 17 días.

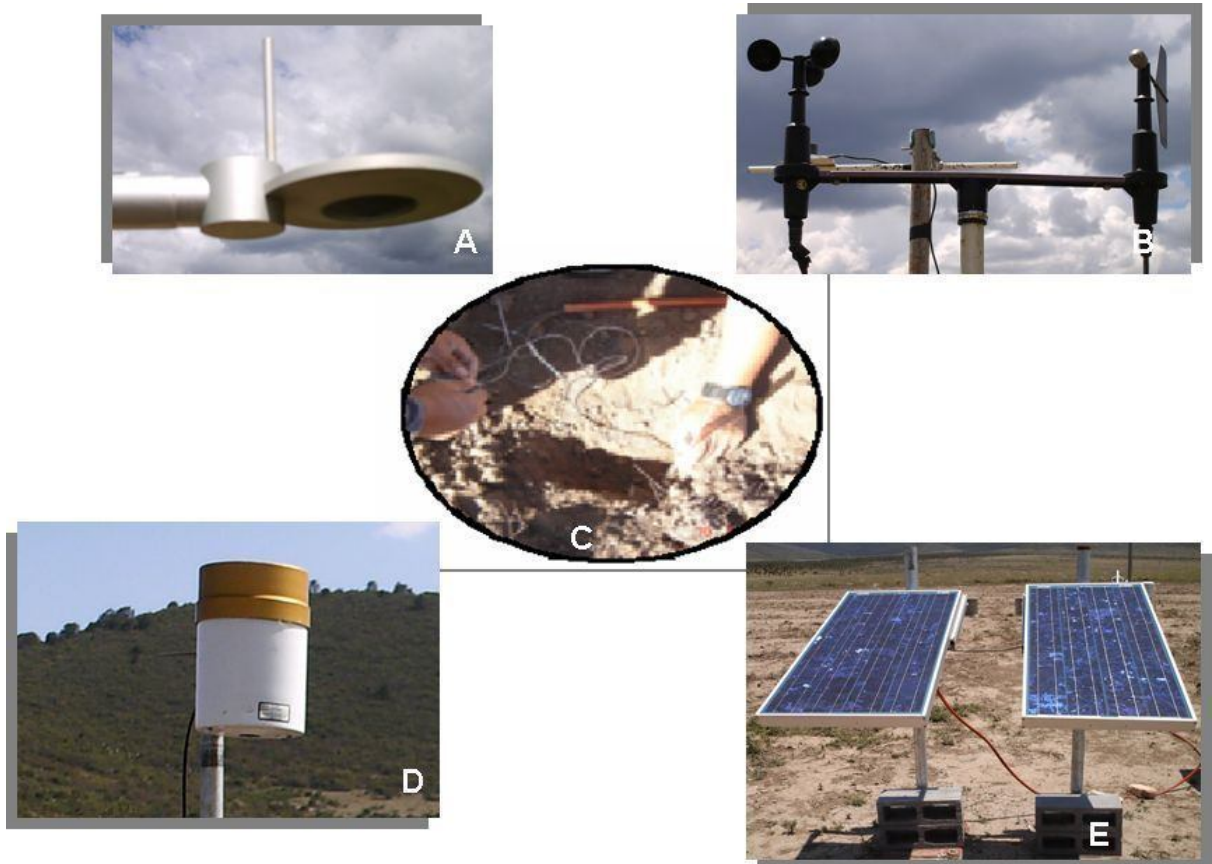


Figura 9. Algunos instrumentos, utilizados en las diferentes mediciones.

La radiación neta, temperatura del aire, flujo de calor en el suelo, velocidad y dirección del viento se registraron a una frecuencia de 1 segundo y se generaron promedios de 20 min.

3.5.2 Técnica del microrrelieve

3.5.2.1 Medición del microrrelieve antes del labor

Para realizar esta prueba primeramente se instaló el medidor de micro relieve en el terreno (fig 10), nivelándose a una altura promedio de 30-35 cm

del suelo. Posteriormente se nivelaron las seis barras que lo conforman por medio de un nivel. El siguiente paso era colocar en cada uno de los diez puntos localizados a lo largo del bastidor de la barra con varilla graduadas localizadas en forma perpendicular a lo largo de la misma. Por cada uno de los puntos del medidor se obtuvieron 20 lecturas de la barra sumando un total de 400 lecturas.

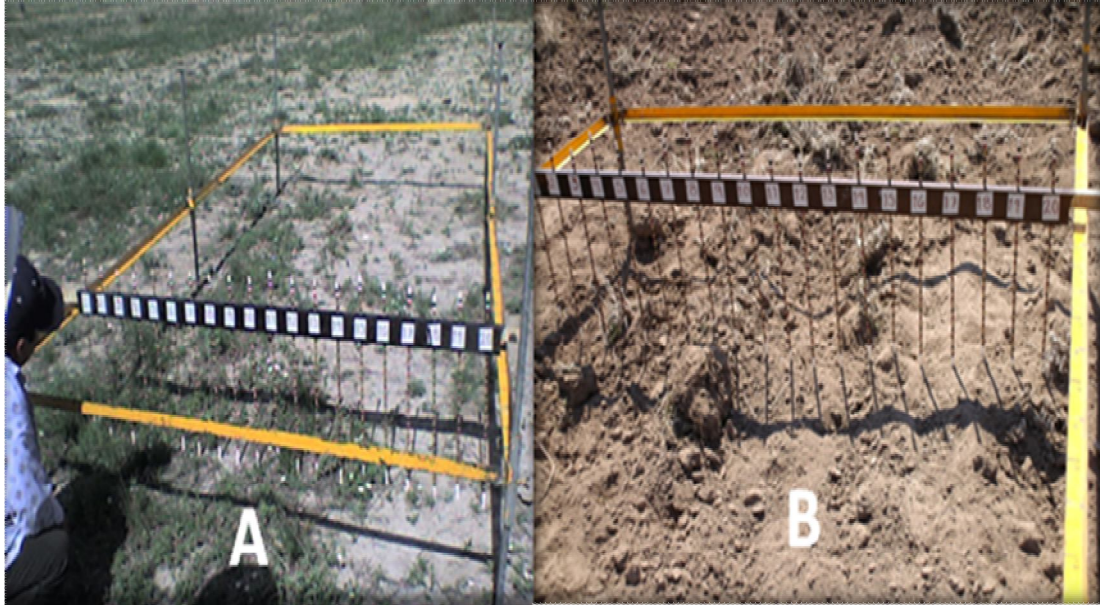


Figura 10. Medición del microrrelieve, (A) antes del paso del implemento y (B) después del paso del implemento.

Este tratamiento se realizó con dos repeticiones en cada parcela y con cada tipo de labranza, una vez obtenida la lectura del bastidor, los datos se introdujeron en una hoja de cálculo del programa “ Microsoft Excel “, para que fuera analizados por medio de una grafica y comparar los datos de la labor antes y después de haberse llevado a cabo.

3.5.2.2 Medición del microrrelieve después de la labranza.

Este procedimiento se menciona en la caracterización del sitio de evaluación en campo, el cual se realizó antes del paso de implemento, y con la

finalidad de registrar en ella la altura que estuviera el medidor de micro relieve, así como la distancia de esta al medidor, para que una vez que pasara el implemento, se volviera a medir el microrrelieve en el mismo lugar y a la misma altura.

La interpretación de estos resultados es igual a la que se indica en la medición del microrrelieve antes de la labor.

Con los datos de la medición del microrrelieve después de la labor se calcula el índice de rugosidad, por medio de la desviación estándar, y la densidad aparente después de la labor por medio de la siguiente ecuación; propuesta por Kuipers (1957):

$$Dr = \left(\frac{Ws}{(Up + hi) * ai} \right) * 100$$

Donde:

Dr = densidad después de la labor (gr/cm³).

Ws = peso del suelo (ton).

Up = diferencia entre los puntos de microrrelieve tomados antes y después de realizar el labor (m) .

hi = altura de referencia (m).

ai = área de referencia (m²).

La altura de referencia se toma, siempre como un metro al igual que el área de referencia. A este dato de la densidad se le resta a la densidad inicial, para determinar la manera en que cada implemento altera la densidad del suelo al trabajar en campo.

El índice de rugosidad del suelo según, Steichen, (1984), se calcula por medio de la desviación estándar, efectuada por los datos de microrrelieve tomados después del paso del implemento.

3.6 Análisis estadístico

Como se trabajó bajo el método de covarianza eddy, esto implica en una selección de los valores puntuales que produce el rango de vientos aceptables (dentro del rango), para este caso fue de 0° a 113°NE y de 290° a 0° NW.

A continuación se procede a determinar los flujos energéticos W/m^2 , sin tomar en cuenta R_n , esto es debido que los valores se toman directamente de la base de datos registrada en campo, por lo que para esta variable no hubo modificación.

Las ecuaciones que describen el flujo de calor sensible (H), latente (λE). (Ham y Heilman, 2003), del método de la covarianza eddy sus ecuaciones son:

$$H = \rho_a C_p \overline{w'T_s'} - 0.51Ta \frac{\rho_a C_p}{\lambda} \lambda E \quad (1)$$

$$\lambda E = \lambda \overline{w'\rho_{wv}'} \quad (2)$$

Donde: ρ_a es la densidad del aire ($kg\ m^{-3}$), C_p es la capacidad calorífica del aire ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$), T_s es la temperatura sónica (K), T_a es la temperatura del aire (K), w es la velocidad vertical del viento (m/s), λ es el calor de vaporización del agua ($J\ kg^{-1}$), ρ_{wv} es la densidad del vapor de agua ($kg\ m^{-3}$). Los datos obtenidos fueron en promedio de un intervalo de tiempo, que se estableció de 20 minutos

La radiación neta, temperatura del aire, flujo de calor en el suelo, velocidad y dirección del viento se registraron a una frecuencia de 1 segundo y se generaron promedios de 20 min.

Para disminuir la variabilidad de los datos relativos a R_n y G , se optó por seleccionar días típicos de la época de Verano, que corresponden a cielos despejados, De tal manera que de los 33 días que comprendió la medición, se dejaron sólo 8 de los 22 que presentaron las condiciones mas viables para su estudio. En ese sentido, los días del año (DOY) seleccionados para cada tratamiento fue de 4 días, cuya distribución quedó de la siguiente manera: 1) Testigo: 150, 152, 153 y 156; 2) LV: 162, 163, 175 y 168; esto es debido que por ser temporada de lluvias el cielo presentaba nubosidad por lo que R_n tiene muchas variaciones.

Ya definida la longitud de los análisis estadísticos se realizo una evaluación de normalidad con los valores absolutos de las variables ya indicadas (G_{vbo} G_{bbo} , G_{vup} y G_{bup}) y los valores positivos de R_n .

3.7 Sistematización de la base de datos, para evaluar a D_a y el M.R como tratamiento.

Para poder evaluar D_a , con los datos obtenidos de la medición del microrrelieve, D_a se estimo por medio de laboratorio el índice de rugosidad obtenida de MR; es la que se utilizo para la sistematización y poder realizar los cálculos correspondientes.

Los datos registrados de G , por método covarianza edy fue sintetizada y analizada, pasando por un filtro de selección de datos, para posteriormente tener un incide de relación entre G/R_n . Uno de los datos importantes fue la de estar monitoreando el contenido de humedad del suelo ya que este es uno de los factores que influyen en el flujo de energía en el suelo.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Medición de microrrelieve

Sitio 1 labranza vertical

El microrrelieve de la superficie medido antes del paso de los implementos se representa en la Figura 11; correspondiente al sitio la máxima de diferencia entre la parte más alta y la parte mas baja fue de 5.5cm. en general la desviación estándar (rugosidad) de la altura fue de 1.158 el microrrelieve se encontraba un poco plano.

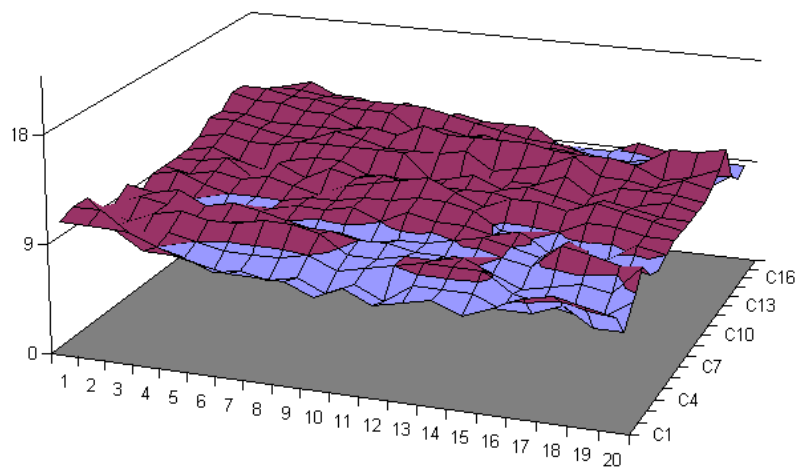


Figura 11. Grafica de los datos obtenidos en campo por el método de la técnica de microrrelieve antes de la labor.

En la figura 12 se observa una gran variedad en la grafica esto se debe que es después del paso del implemento, se puede observar una gran variación en las diferentes condiciones.

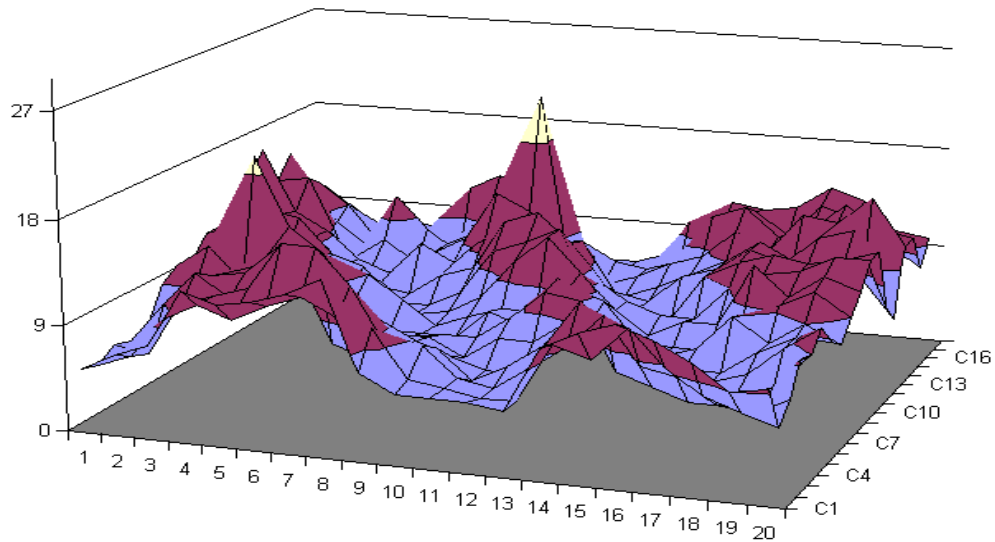


Figura 12. Grafica con los datos obtenidos después del paso del implemento.

La figura 12 muestra la diferencia entre los puntos más altos y los puntos mas bajos siendo 17 cm. En general la desviación estándar (rugosidad) fue de 2.918, lo que significa un aumento de porosidad y la aeración.

$$Dr = \left(\frac{0.1007}{(0.00891667 + 1) * 1} \right)$$

$$Dr = 0.09981 \text{ kg/cm}^3$$

Por lo que

$$\text{Trab.implemento} = Da - Dr$$

$$\text{Alteración del implemento} = 1.03 - 0.09981 = 0.93019 \text{ gr/cm}^3$$

Desde el punto de vista agrícola los valores bajos de la densidad aparente se asocian con una condición general más apropiada para los cultivos y las características, del suelo también toman valores más favorables para las plantas cultivadas y el manejo de los cultivos.

Una disminución en el valor de la densidad aparente se refleja en un aumento del espacio poroso y en un incremento de la conductividad térmica en la compactación y en la resistencia del suelo. Esta disminución en la densidad aparente puede ser causada por reestructuración del contenido de la materia orgánica, mineral o agregados del suelo, por la aplicación de una fuerza que aumenta el espacio poroso, la cual permite el flujo de calor más abundante.

4.2 Resultados de los cambios la D_a y del M.R. en el flujo de calor del suelo

Al comparar los valores instantáneos a 8 cm de profundidad (G_{8cm}) y los estimados para la superficie (G_{0cm}) para la condiciones de suelo, testigo, se distinguen modificaciones en las magnitudes y tiempos de ocurrencia de G , cuya descripción (según se puede ver en las figura 13; tiene características fundamentales, al disminuyendo o incrementando su sensibilidad al efecto de la radiación neta (R_n) sobre la superficie.

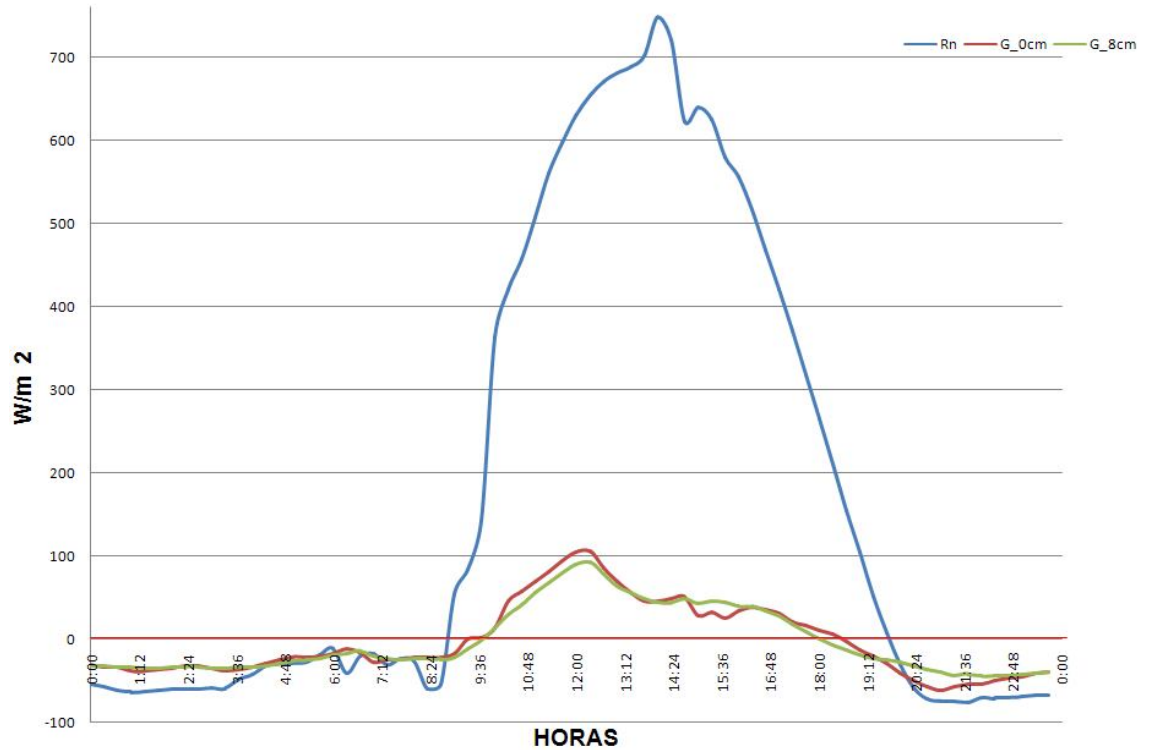


Figura 13. Representación grafica de Rn, flujo de calor en el suelo en la superficie G_0cm, a 8cm de profundidad G_8cm; corresponde al día 150, testigo.

Por su parte, para el tratamiento LV con un promedio de radiación neta de 162 Wm^{-2} , con una máxima de 563 y una mínima de -78 Wm^{-2} , tiene un efecto contrario a lo que ocurre con el testigo sobre el flujo de calor, con rangos muy estrechos tanto en la superficie como a la profundidad establecida. A diferencia del testigo, en la labranza vertical G_0cm adelanta su tiempo de ocurrencia máxima de las 12:40 h que la que se observó para el testigo que fue alrededor de las 12:00 h, mientras que para el caso de G_8cm se anticipa a alrededor de las 14:20 h.

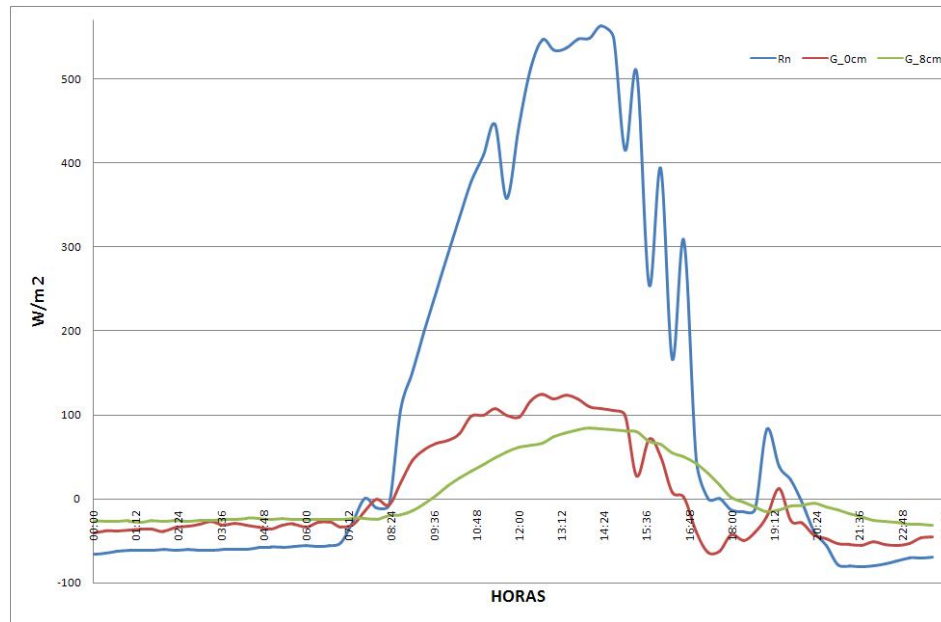


Figura 14. Representación grafica de Rn, flujo de calor en la superficie G_0cm, a 8cm de profundidad G_8cm, correspondiente al día 162 LV.

Al analizar el comportamiento de los índices de relación G/Rn, se puede observar que, en el testigo(día 150) almacena energía, mientras que existe una perdida de energía para LV (día 162), pero en cuestión de movimiento, LV es mayor que la del testigo, para hacer esta comparación se selecciono días similares. Obteniendo en promedio para testigo de 0.354u, mientras que para LV es -2.895u; en esta segunda existe una perdida.

Se presentan dos periodos de máxima de perdida para LV, la primera a las 7:40h con -140.239u mientras que en el testigo tiene 1.050 unidades(u); la segunda a las 17:40h con -55.912u y el testigo 0.039u, con una ganancia de energía en mayor proporción que LV. Este comportamiento es debido que estos días forman parte de la temporada de lluvias, y el cielo presentaba nubosidad, en termino general LV pierde energía y el testigo gana.

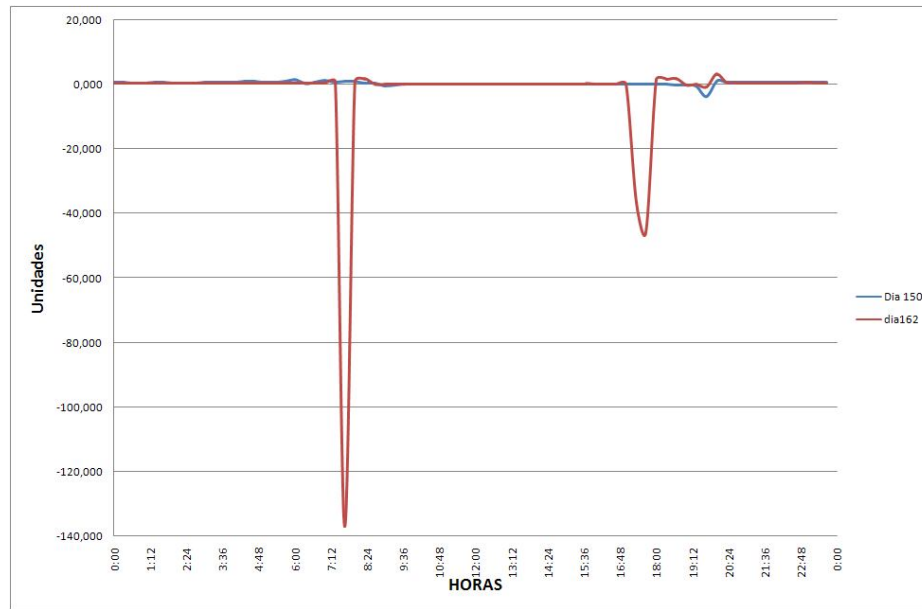


Figura 15. Representación grafica del índice de relación G/Rn correspondientes al testigo (día 150), y a LV (día162)

Durante el transcurso de los días el comportamiento de del índice de relación ha cambiado para LV, en la figura 16, se aprecia que durante las primeras horas, pero a partir de las 17:00h tiene un comportamiento diferente que la del testigo. Teniendo un registro negativo, haciendo un cambio brusco las 19:40, ya que comienza a ganar mas energía que la del testigo, con 74u a las 20h mi entra que el testigo tiene 0.575u muy baja, mas estable.

LV tiene un comportamiento mas variable que la del testigo, el promedio en este día fue de 1.460u para LV y 0.0416u para el testigo, por el almacenamiento de energía fue mayor en LV.

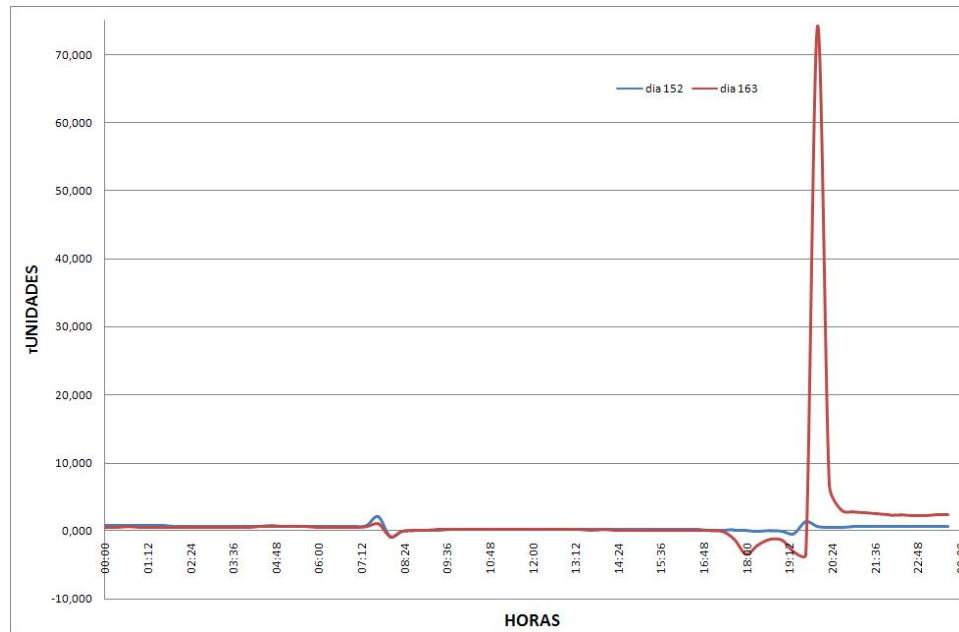


Figura 16. Representación grafica del índice de relación G/Rn, comportamiento en el transcurso del tiempo; testigo (día 152), y LV (día 163).

Al paso de los días para LV, su comportamiento en la perdida de calor es un poco menos variables, se comporta o trata de tener la misma tendencia a seguir el mismo patrón, pero aun sigue ganando o perdiendo energía en periodos cortos que la del testigo, en la figura 17; se observa dos periodos donde ambas gana y pierde energía.

El primer periodo se puede ver un comportamiento drástico de perdida y ganancia de energía es cuando a las 6:40hrs. LV tiene 3.83u y para las 7:40hrs. pasa a perder energía con un registro de -7.7559u; mientras que el testigo sucede con un periodo de tiempo diferente ya que a las 7:40hrs.tiene un valor de 1.325u y a las 8:00hrs. Se registra con -1.175u; ambas pierden energía pero LV es mayor que la del testigo.

En el segundo periodo que se puede observar a las 19: 40hrs LV registra un valor de -0454u, a las 10:20hrs tiene un valor de 5.086u y a las 20:40hrs

con 0.714u, al paso de las horas podría decir que no existe variables muy drásticas.

Mientras que el testigo a las 19:20hrs. Tiene un registro de -1.206u, para las 19:40hrs tiene un valor de 1.48u y a las 20:40 con un valor de 0.519u, como se puede observar que en la grafica del índice de relación, el comportamiento del flujo de calor, en la cuestión de perdida y ganancia en LV es mucho mas dinámico que para el testigo. Esto simplemente nos permite observar las variaciones entre ambos tratamientos según los registros obtenidos, en promedio LV tiene 0.568u mientras que el testigo es de 0.353u; ambas ganan energía.

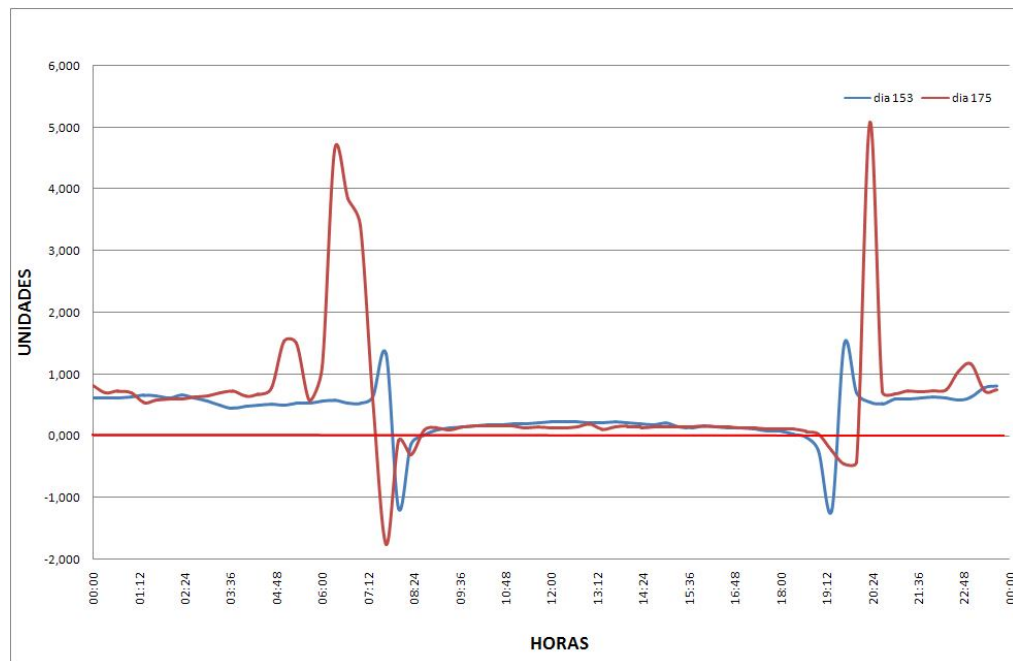


Figura 17. Representacion grafica del comportamiento en relacion G/Rn, durante el periodo de un dia; testigo(dia 153), y LV (dia 175).

En la figura 18. Se pude ver que existe muchos cambios de valor tanto para LV y el testigo esto es principalmente que los dias escogido Rn es muy variada, debido que se presento chubascos y nublamiento en cortos periodos

del transcurso del día. El testigo tenemos un promedio de 0.434u mientras que LV con 0.449u. De una forma general el comportamiento de LV y testigo es muy variada e incluso el testigo gana y pierde mas energia que LV en el periodo de tiempo de las 4:20hrs hasta las 10:20hrs. Despues de este periodo se comporta usualmente como los demas dias.

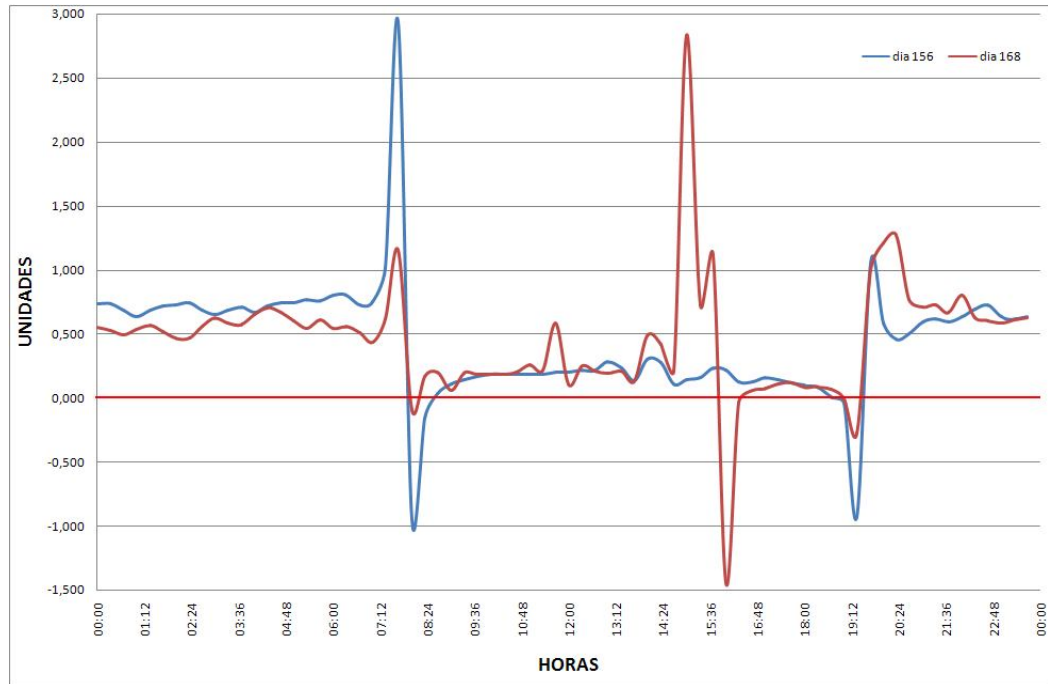


Figura 18. Comporatamiento de los indices de relacion G/Rn, correspondiente a un dia con un alta nubosidad, testigo (156) y LV 168.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a las mediciones de microrrelieve en el suelo antes y después de la labor, los resultados observados fueron diferentes, ya que existen variaciones en cuestión de rugosidad para LV es de 2.0918, mayor que la del testigo sin labrar con un valor de 1.158, correspondiente al surco y borde.

En los índices de calor observados, existen cambios bruscos correspondientes a LV, mientras que el testigo es más prolongado y uniforme, permitiendo comparar y ver que para determinada R_n/G es más dinámico en LV que en un suelo sin prácticas de labranza.

Las variaciones existentes correspondientes a la densidad del suelo, antes y después del labor, tienen un efecto en relación a la estimación del flujo de calor ya que esta es alterada. Ya que esta es de suma importancia para el comportamiento de G en el suelo.

VI LITERATURA CITADA

- Abu-Hamdeh, N. A. and R. C. Redder. (2000): Soil thermal conductivity: Effects of density, moisture, salt concentration and organic matter. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 64: 1285-1290.
- Acevedo H. E. y Silva P. C. 2006. Sistema de labranza y sustentabilidad agrícola en cultivos anuales. Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- Álvarez, C. y Velozo, C. Contribución a la caracterización de suelos del área basáltica alrededores de Laureles, Depto. de Salto; primera aproximación. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1974. 30 p.
- Andersen, S.I., K.S. Birdi, W. Kleinitz, and W. Littmann. 1995. Heat of wetting (hydration) of xanthan as determined by calorimetry. *Carbohydrate Polymers* 26:299–301.
- Anderson, D.M., and A. Linville. 1962. Temperature fluctuations at a wetting front: I. Characteristic temperature-time curves. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:14–18.
- Anderson, D.M., G. Sposito, and A. Linville. 1963b. Temperature fluctuations at a wetting front: II. The effect of initial water content of the medium on the magnitude of the temperature fluctuations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27:367–369.
- Bachmann et al., J. (1997): Thermisches Verhalten der Böden. In: Blume, H.P., Felix Henningsen, W. R. Fisher, H.-G. Frede, R. Horn and K. Stahr (Hrsg.): *Handbuch der Bodenkunde*, 2, Ecomed, Landsberg/Lech, 1-40.

- Baskin cc & JM Baskin (1998) Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, California.666 pp.
- Baver, L.D. 1928. The relation of exchangeable cations to the physical properties of soils. J. Am. Soc. Agron. 20:921–941.
- Baver, L.D., W.H. Gardner, and W.R. Gardner. 1972. Soil Physics. 4th ed. John Wiley & Sons, New York.
- Baver, L.D. Soil physics. 2ed. New York, Wiley, 1956. 398 p.
- Baver, Gardner, W.H y Gardner, W. R. Física de suelos. México, CRAT, 1973. 52p p.
- Besnier Romero, 1990. Semillas, biología y tecnología, ediciones Mundi-España.
- Benech. A, Fenner. R.L. y Edwards (1992) Changes in dormancy level in Sorghum halepense seeds induced by water stress during seed development. Functional Ecology 6: 596-605.
- Benjamin, J.G., M.R. Gaffarzadeh, and R.M. Cruse. 1990. Coupled water and heat transport in ridged soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:963–969.
- Biblioteca de la agricultura. 1997. Impresion: Emerge, Industrias Grafica, Impreso en España.
- Boersma, L. L.,J.W. Cary, D.D. Evans, A.H. Ferguson, W.H. Gardner, R.J, Hanks, R.D. Jackson, W.D. Kemper, D.E Miller. D.R., Niel-sen, and G. Uehara. 1972. Soil Water. 1st ed. ASA and SSA, Madison, WL, de Vries, D.A. 1958.
- Bradford, K. J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Sci. 50: 248-260.
- Bristow, K. L., Gaylon. S. Campbell and Kees Callissendorf. (1993): Test of a heat-pulse probe for measuring changes in soil water content. Soil Sci. Soc. Amer. J. 57:930-934.

- Bristow, K. L., G.L. Kluitenberg and R. Horton (1994): Measurement of soil thermal properties with a dual –probe heat pulse technique. Soil Sci. Soc. Amer. J. 58: 1288-1294.
- Bristow, K.L. 1998. Measurement of thermal properties and wáter content of unsaturated sandy soil using dual-probe heat-pulse probes. Agric. For. Meteorol. 89:75–84.
- Black, C.A. Relaciones duelo-planta. Mexico, CRAT, 1975.v.1.
- Carrillo Medina F. Certificacion de semillas (Revista). Programa de pasto y ganadería. U.N.S.C.H.-Ayacucho, 1987.
- Chorbadjian R y Kogan M. Estudios de Dormancia y Germinación de Malva
Departamento de Ciencias Vegetales Facultad de Agronomía e
Ingeniería Forestal Pontificia Universidad Católica de Chile Casilla 306-
22, Santiago, Chile.
- Deru, M. Ph.D. 2003. A model for Ground-Coupled Heat and Moisture Transfer from Buildings. National Renewable Energy laboratory. pp14.
- Delouche, J., 1984. Germinacion de semillas. 8^o curso intensivo en tecnología de semillas. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Colombia.
- Dimo, V.N., and V.F. Utkayeva. 1984. Heat of wetting as one of the energy properties of soil. Soviet Soil Sci. 16:83–93.
- Dominguez, J.E. y Lazbal, E. Evaluación del efecto del manejo anterior del suelo sobre macroporosidad, densidad aparente y rendimiento del cultivo de papa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1965. 67 p.
- Duran, A y Kaplan, A. Determinación de la densidad aparente, macroporosidad y microporosidad en algunos suelos del Uruguay. Montevideo, Facultad de Agronomía, 1965 (Mimeografiado).
- Elias Elimoel A., Chichota Rogerio, Torriani Hugo H., De Jong van Lier Quirijn. 2004. Analytical Soil Temperatura Model: Correction for Temporal

Variation of Daily Amplitude. Published in Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 784-788

FAO-ISRIC-ISSS-AISS-IBG, 1994. World Reference Base for Soil Resources. Wagening, Rome. P 56

Forsythe, W. 1975. Física de Suelos. Manual de laboratorio Inst. Int. C. Agrícolas.

San José.C.R.

Fuchs, M., and A. Hadas. 1973. Analysis of the performance of an improved soil heat flux transducer. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37:173–175.

García E. 1975. Climas Coahuila y Nuevo León, precipitación y probabilidad de lluvia en la República Mexicana y su evolución. CETENAL, México, D.F.

Gaucher, T. Traité de pédologie agricole; le sol et ses caractéristiques agronomiques. Paris, Dunod, 1968. 578 p.

Gavande, S.A., físicas de suelos. Principios y aplicaciones, Editorial Limusa, México, 1972.

Gavande,A. 1982. Física de de suelos, principios y aplicaciones. Editoral Limusa, cuarta reimpression 1982 S.A. Mexico D.F.

González-Cervantes, G., I. Sánchez-Cohen y D. García-Arellano. 2004a. Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. Terra Latinoamericana 22: 279-287.

González-Cervantes, G., I. Sánchez-Cohen y J. P. Rossignol. 2004b. Morfología de poros de circulación preferencial del agua en el suelo mediante técnicas de análisis de imagen. Caso de una cuenca del norte de México. Ingeniería Hidráulica en México 19: 15-23.

- Gutián F. y Carballas, T. 1976. Técnicas de análisis de suelos. Editorial Pico Sacro. Santiago de Compostela. 288 pp.
- Gravande, W. 1992. Física de suelos Manual de laboratorio Inst. Int. C. Agrícolas. San José.
- López, S. A. 2006. Relación entre el Cambio Climático y la Erosión del Suelo. Ensayo. (Inédito) .
- Rucks. L, F. Farias, A. Kaplan, J. Ponce de Leon y M. Hill. 2004. Propiedades físicas del suelo. Monte video Uruguay.
- Hamil Uribe H. C. y Rouanet M. J. L., 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. Agricultura Técnica (Chile). 62, (4), 555-564.
- Hartmann, D.E. Kester, F.T. DAVIES, Jr. And R.L. Genere, 1997. Plant Propagation Principles and Practices
- Hemi. (1999). TopoView, ayuda del programa, HEMI Institute, EUA.
- Hillel, D. (1998): Environmental Soil Physics. Academic Press, London, 771 P.
- Horn, R. (1993): Mechanical properties of structured unsaturated soils. Soil Technology, 6, 47-75.
- Horn, R. (1994): Effect of aggregation of soils on water, gas, and heat transport, in Schulze, E.D. (ed.): Flux control in biological systems. Academic Press, San Diego, CA, USA, pp. 335-364.
- Horn. R., H. Taubner., M. Wuttke., and T. Baumgartl. (1994): Soil physical properties related to soil structure. Soil & Till. Research. 30: 187-216.
- Horn. R., and T. Baumgartl. (1999): Dynamic properties n structured soils.

- p. A19-A51. *In* M. Sumner (ed.) Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Holman, J. P. 1998. Transferencia de calor. Octava edición, España, editorial McGRAW-HILL/Interamericana, S.A.U.
- INEGI, 2001. Base de Datos Geográficos, Diccionario de Datos Edafológicos (Alfanumérico). Revisado (04/24/07) en http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/diccio/edaf_alf.pdf
- Jenkinson, 1992 D.S. La materia orgánica del suelo: evolución. En: WILD, A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Madrid : Mundi-Prensa.
- Kowalik, P. (1999): Ochrona Środowiska Glebowego. Wydanie Politechniki Gdańskiej. 72 P. ISBN 83-88007-07-6.
- Kowalik, S. (2004): Zagadnienie z gleboznawstwa dla studentów inżynierii środowiska. Uczelniane wydawnictwa naukowo-dydaktyczne, Kraków.120 P. ISSN 0239-6114.
- Kumar, L., Skidmore, A.K., and Knowles, E. (1997). Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment, *International Journal of Geographic Information Science*. 11, pp. 475-497.
- Kuipers H. 1957. A reliefmeter for cultivation studies. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 5: 255 – 262
- Kuipers H. 1957. A reliefmeter for cultivation studies. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 5: 255 – 262
- Malagon, D.1976. Física de suelos. Bogotá, Cali, Col. IGAC. 622 p.

- Marshall, T.J. y Holmes, J.W. Soil physics Cambridge University Press 1979. 345 p.
- Massman W. J. and Lee X., 2002. Eddy covariance corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges. Agric. For. Meteorol. 113:121–144.
- Maunder, W. J. 1992. Dictionary of Global Climate Change, UCL Press Ltd.
- Mayocchi, C.L., and K.L. Bristow. 1995. Soil surface heat flux: Some general questions and comments on measurements. Agric. For. Meteorol. 75:43–50.
- Mayer, A.M y A. Pojakoff-Mayber, 1975. The Germination of Seeds. In: Wareing P.F and A.Y. Galston (General Editors), second Edition. Vol5. Cap.3:20-45.
- Mogensen, V.O. 1970. The calibration factor of heat flux meters in relation to the thermal conductivity of the surrounding medium. Agric. For. Meteorol. 7:401–410.
- Montenegro, H. y Malagon, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá, Col. IGAC. 813 p.
- Montgomery, D.C. 1991. Diseño y Analisis de Experimentos. Gr. De. Iberoamérica p 85-154.
- Narro Farias, Eduardo. 1994. Fisica de suelos con enfoque agrícola. Primera edición, enero 1994, Mexico, editorial trilla: UAAAN.
- Ochsner, T.E., R. Horton, and T. Ren. 2003. Use of the dual-probe heat-pulse technique to monitor soil water content in the vadose zone. Vadose Zone J. 2:572–579.
- Ochsner, T.E., T.J. Sauer, and R. Horton. 2006. Field tests of the soil heat flux plate method and some alternatives. Agron. J. 98: 1005–1014.

- Ochsner T. E., Sauer Thomas J. and Horton R. 2007. Soil Heat Storage Measurements in Energy Balance Studies. Published in Agron. J. 99: 311-319
- Ortega-Farias, S., R. Cuenca, and M. Ek. 1996. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. Agric. For. Meteorol. 81:131-143.
- Ortega-Farias, S., W. Mediavilla, S. Fuentes, y R. Cuenca. 1998. Validación de un modelo para estimar la radiación neta de una cubierta vegetal en condiciones de referencia. Ciencia e Investigación Agraria 25:103-107.
- Perez A.J.C. 2003. Evaluación del desempeño y resultado tecnológico de multiriego en dos tipos de suelos de zonas semiáridas. Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Coahuila, Mexico.
- Pla Sentis, I. 1994. Curso sobre efecto de la labranza en las propiedades físicas de los suelos. Instituto de suelos. C.I.R.N. INTA. Castelar. Capítulo II, Labranza Y propiedades Físicas de los Suelos. pp. 20.
- Popinigis, F., 1985 Fisiología de semente. 20 edición, Brasilia D:F. pp. 289.
- Porta, J., Lopez Acevedo, M., Roquero, C. (1999) Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente. 2ª Edición. Mundi-Prensa.
- Philips, J.R. 1961. The theory of heat flux meters. J. Geophys. Res. 66:571-579.
- Philips, R.E., Kirkham, D., (1962). Soil compaction in the field and corn growth. Agronom. Journal. 54: 29-34.
- Prueger, J.H., Sauer T.J. y Hatfield, J.L. 1998. Turbulence flux estimates of sensible and latent heat near Shelterbelts during low condition. Transactions of ASEA 4(6): 1643-1650.
- Rincón del vago, 2008 mecánica del suelo. Revisado (10/03/08) de html.rincondelvago.com/mecanica-del-suelo.html (mecánica del suelo)
- Sauer Thomas J. and Pinter Paul J. 2007. Introduction to the Symposium in Radiation and Energy Balance Measurements Systems. Published in Agron. J. 99: 238-239

- Simultaneous transfer of heat and moisture in porous media. *Trans. Amer. Geophys. Union* 39:909–916.
- Scheffer/Schachtschabel (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*. Blume, H-P., G. W. Brümmer, U. Schwertmann, R. Horn, I. Kögel-Knabner, K. Stahr, K. Auerswald, L. Beyer, A. Hartmann, N. Litz, A. Scheinost, H. Stanjek, G. Welp and B.-M. Wilke. 15.Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, 593 P.
- Steichen J. M. 1984. Infiltration and random roughness of a tilled and untilled claypan soil. *Soil & tillage research*. 4: 251 – 262.
- Roderick, M.L. 2005. Oscurecimiento global. <http://blogs.larioja.com/index.php/oscurecimientoglobal/2007/05/30/>
- Twine, T.E., W.P. Kustas, J.m. Norman, D.R. Cook, P.R. Houser, T.P. Meyers, J.H. Prueger, P.J. Starks and M. Welely, 2000. Correcting Eddy-Covariance flux underestimate over a graaland. *Agric. Meteorol.* 102: 279-300.
- UACH-CONAZA-SEDESOL-SAGARPA, 2004. Escenarios Climatológicos de la República Mexicana ante el Cambio Climático. Universidad Autónoma Chapingo; CONAZA, Dirección de Vinculación y Transferencia de Tecnología; SEDESOL; SAGARPA.
- Van Genuchten, M.T. and Wierenga, P.J., 1977 Mass transfer studies in sorbing porous media: II. Experimental evaluation with tritium ($^3\text{H}_2\text{O}$). *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:272-277.
- Wierenga, P. J., D.R. Nielsen and R.M. Hagan (1969): Thermal properties of a soil based upon field and laboratory measurements. *Soil. Sci. Soc. A. Proc.*, Vol. 33.
- Wilson, J.P & Gallant, J.C. (2000). Secondary topographic attributes. In **Terrain Analysis: Principles and Applications**, Ed. J.P. Wilson & J.C. Gallant. John Wiley & Sons.

Zawadzki, S., B. Dobrzański., S. Kowaliński., T. Skawina., F. Kuźnicki., (1999):
Gleboznawstwo. Podrecznik dla studentow. Wydanie IV poprawone i
uzupelnione. Panstwowe Wydawnictwo Rolnicze i Lesne. Warszawa, 559
P. ISBN 830901703-0.

Zermeño G, A. 2001. Métodos Micrometeorológicos para medir flujos de calor y
vapor de agua entre los cultivos y la atmósfera. XIII Semana
Internacional de Agronomía. 5-7 de septiembre. Gómez Palacio Durango,
México. (p 53-57)

Zermeño G. A., 2007. Apuntes de Instrumentación en Micrometeorología.
Departamento de Riego y Drenaje. UAAAN. Buenavista, Saltillo,
Coahuila, México.

VII. ANEXOS

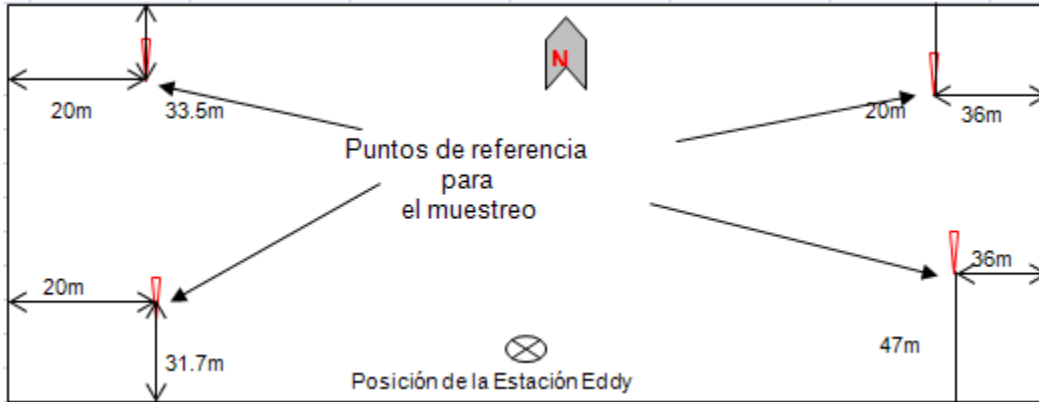


Figura 1. Representación esquemática de cómo quedo instalada la estación eddy y los puntos de referencia para el muestreo de suelo.

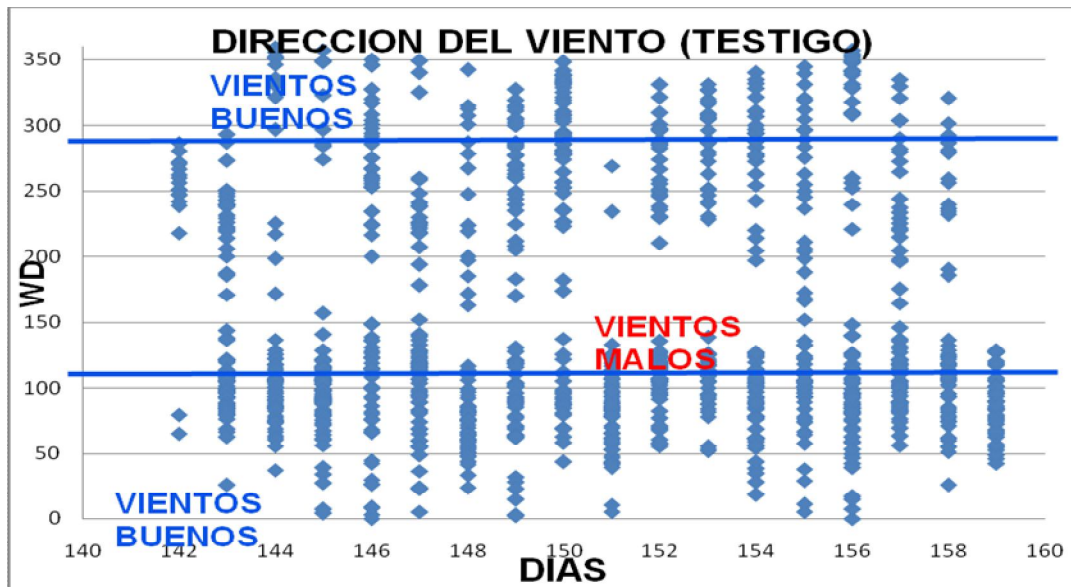


Figura 2. Grafica de direccion de vientos dominantes correspondientes a los días del testigo

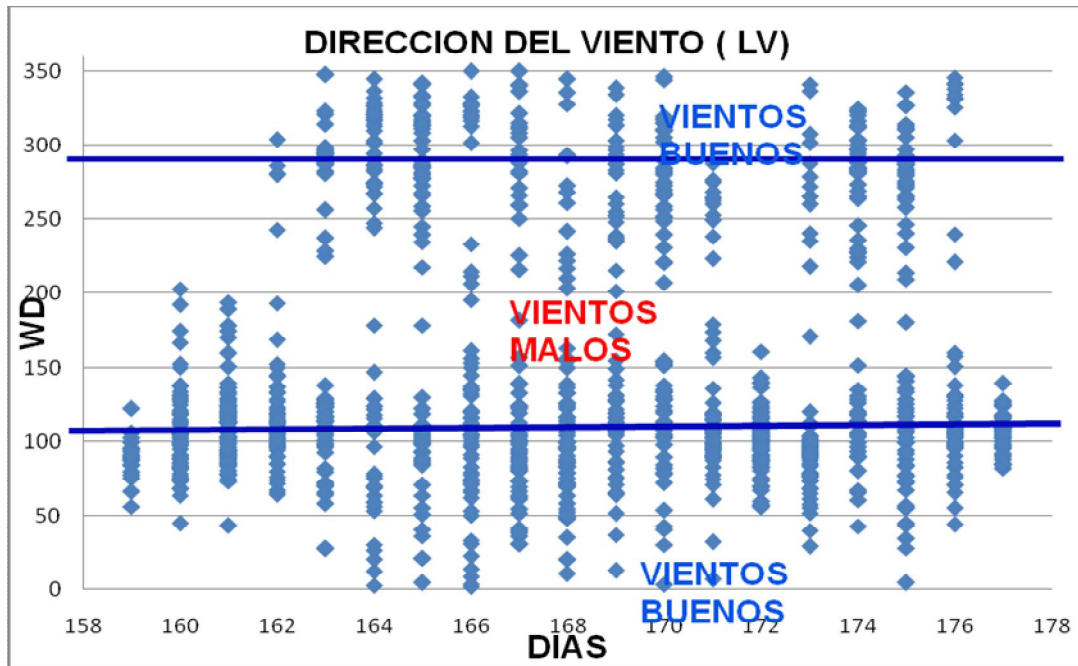


Figura 3. Grafica de direccion de vientos dominantes corespondiente a los días de LV.

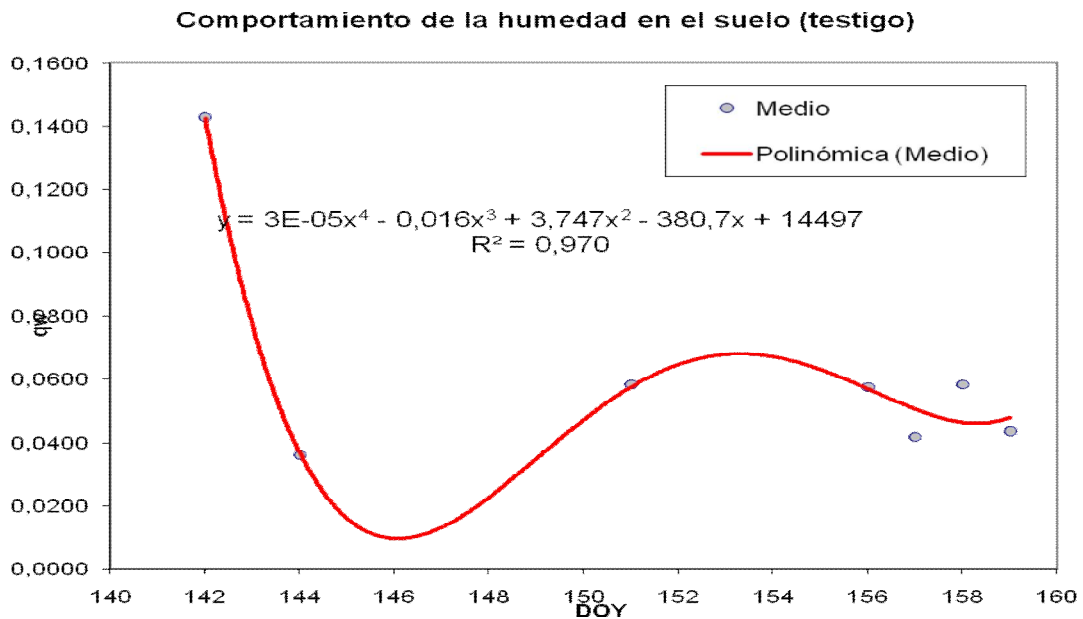


Figura 4. Grafica del comportamiento de humedad del suelo sin tratamiento(testigo)

Cuadro 1. Resumen de los días que se tomaron las muestras de humedad en el suelo correspondiente al testigo.

Fecha de muestreo	DOY	θ_w (valor medio)	θ_w (stdev)	θ_w Mínimo (-)	θ_w Máximo (+)
05/22/07	142	0,1428	0,0133	0,1294	0,1561
05/24/07	144	0,0363	0,0185	0,0177	0,0548
05/31/07	151	0,0585	0,0126	0,0459	0,0711
05/06/07	156	0,0578	0,0111	0,0466	0,0689
06/06/07	157	0,0420	0,0223	0,0197	0,0643
07/06/07	158	0,0585	0,0148	0,0437	0,0733
08/06/07	159	0,0438	0,0042	0,0395	0,0480

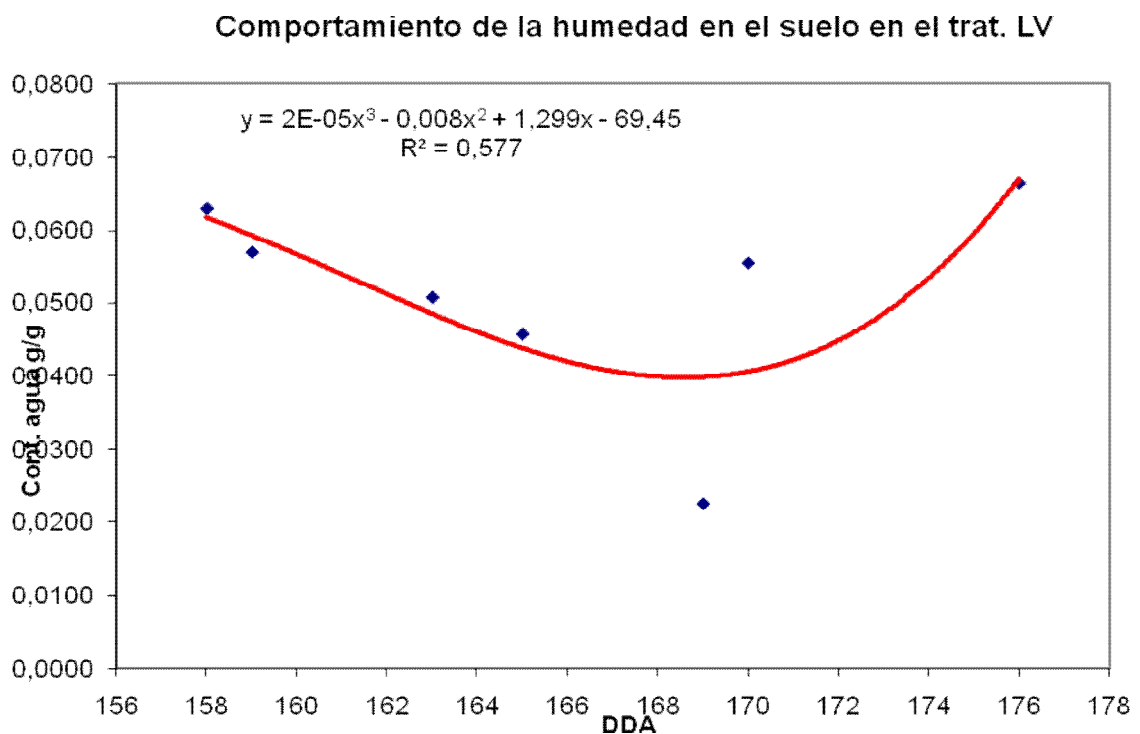


Figura 5. Grafica del comportamiento de humedad del suelo sin tratamiento(LV)

Cuadro 2. Resumen de los días que se tomaron las muestras de humedad en el suelo correspondiente al LV.

Fecha de muestreo	DOY	θ_w (valor medio)	θ_w (stdev)	θ_w Mínimo (-)	θ_w Máximo (+)
07/06/2007	158	0,0630	0,0014	0,0620	0,0640
08/06/2007	159	0,0570	0,0052	0,0510	0,0630
12/06/07	163	0,0508	0,0169	0,0410	0,0760
14/06/07	165	0,0458	0,0038	0,0430	0,0510
18/06/07	169	0,0225	0,0017	0,0200	0,0240
19/06/07	170	0,0555	0,0177	0,0400	0,0810
25/06/07	176	0,0665	0,0098	0,0600	0,0810

Cuadro 3. Sistematización de los datos obtenidos directamente de la estación eddy para el cálculo de G/Rn.

DIA	YW	Cs	DATOS:		
150	0,0475	1039,025	Cds=	840	J·Kg ⁻¹ K ⁻¹
152	0,0645	1110,255	Cw=	4190	J·Kg ⁻¹ K ⁻¹
153	0,0680	1124,920	I _d =	1028	Kg m ⁻³
156	0,05780	1082,182			

Cuadro 4. Proceso de corrección de G, para poder obtener la relación G/Rn correspondiente al testigo.

DAY	Proceso de corrección de G						Corrección de G				Relación G/Rn
	Suelo protegido con vegetación			Suelo sin protección, desnudo			Rn	G_veg	G_soil	G_average	
	ΔT_{veg}	$r_d Cs \Delta T \Delta z$	$(r_d Cs \Delta T \Delta z) / \Delta t$	ΔT_{soil}	$r_d Cs \Delta T \Delta z$	$(r_d Cs \Delta T \Delta z) / \Delta t$	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	
150	-0,26	-22216,84816	-18,51404013	-0,22	-18798,87152	-15,66572627	-55	-32,724	-30,666	-31,695	0,58
150	-0,26	-22216,84816	-18,51404013	-0,26	-22216,84816	-18,51404013	-57	-32,674	-33,514	-33,094	0,58
150	-0,28	-23925,83648	-19,93819707	-0,27	-23071,34232	-19,2261186	-62	-34,088	-34,276	-34,182	0,55
150	-0,28	-23925,83648	-19,93819707	-0,33	-28198,30728	-23,4985894	-64	-34,188	-38,709	-36,448	0,57
150	-0,3	-25634,8248	-21,362354	-0,33	-28198,30728	-23,4985894	-63	-35,862	-39,009	-37,435	0,59
150	-0,28	-23925,83648	-19,93819707	-0,3	-25634,8248	-21,362354	-62	-34,798	-37,282	-36,040	0,58
150	-0,26	-22216,84816	-18,51404013	-0,26	-22216,84816	-18,51404013	-61	-33,724	-34,824	-34,274	0,56
150	-0,25	-21362,354	-17,80196167	-0,23	-19653,36568	-16,37780473	-60	-33,272	-32,988	-33,130	0,55
150	-0,25	-21362,354	-17,80196167	-0,23	-19653,36568	-16,37780473	-60	-33,432	-33,168	-33,300	0,56
150	-0,28	-23925,83648	-19,93819707	-0,26	-22216,84816	-18,51404013	-58	-35,678	-35,444	-35,561	0,61
150	-0,27	-23071,34232	-19,2261186	-0,29	-24780,33064	-20,65027553	-59	-35,126	-37,750	-36,438	0,61
150	-0,26	-22216,84816	-18,51404013	-0,27	-23071,34232	-19,2261186	-48	-34,674	-36,586	-35,630	0,74
150	-0,25	-21362,354	-17,80196167	-0,22	-18798,87152	-15,66572627	-43	-34,252	-33,306	-33,779	0,78
150	-0,23	-19653,36568	-16,37780473	-0,17	-14526,40072	-12,10533393	-32	-33,038	-29,915	-31,477	0,99
150	-0,17	-14526,40072	-12,10533393	-0,11	-9399,43576	-7,832863133	-30	-28,835	-25,683	-27,259	0,91
150	-0,13	-11108,42408	-9,257020067	-0,06	-5126,96496	-4,2724708	-29	-25,877	-21,962	-23,920	0,82
150	-0,13	-11108,42408	-9,257020067	-0,07	-5981,45912	-4,984549267	-28	-25,587	-22,335	-23,961	0,85
150	-0,1	-8544,9416	-7,120784667	-0,06	-5126,96496	-4,2724708	-19	-23,091	-21,212	-22,152	1,15
150	-0,06	-5126,96496	-4,2724708	-0,01	-854,49416	-0,712078467	-12	-19,872	-17,242	-18,557	1,61
150	-0,04	-3417,97664	-2,848313867	0,06	5126,96496	4,2724708	-41	-17,988	-11,768	-14,878	0,36
150	0	0	0	-0,01	-854,49416	-0,712078467	-21	-14,490	-16,072	-15,281	0,73
150	-0,1	-8544,9416	-7,120784667	-0,19	-16235,38904	-13,52949087	-17	-20,961	-28,259	-24,610	1,43

150	-0,14	-11962,91824	-9,969098533	-0,15	-12817,4124	-10,681177	-31	-23,509	-25,181	-24,345	0,79
150	-0,16	-13671,90656	-11,39325547	-0,15	-12817,4124	-10,681177	-24	-24,873	-25,151	-25,012	1,05
150	-0,15	-12817,4124	-10,681177	-0,11	-9399,43576	-7,832863133	-27	-24,211	-22,303	-23,257	0,87
150	-0,15	-12817,4124	-10,681177	-0,11	-9399,43576	-7,832863133	-60	-24,301	-22,303	-23,302	0,39
150	-0,15	-12817,4124	-10,681177	-0,11	-9399,43576	-7,832863133	-54	-24,411	-22,313	-23,362	0,43
150	-0,12	-10253,92992	-8,5449416	-0,04	-3417,97664	-2,848313867	55	-22,425	-17,378	-19,902	-0,36
150	0,03	2563,48248	2,1362354	0,2	17089,8832	14,24156933	84	-11,734	-0,208	-5,971	-0,07
150	0,16	13671,90656	11,39325547	0,22	18798,87152	15,66572627	142	-1,917	1,836	-0,041	0,00
150	0,36	30761,78976	25,6348248	0,36	30761,78976	25,6348248	363	13,355	12,865	13,110	0,04
150	0,57	48706,16712	40,5884726	0,8	68359,5328	56,96627733	421	29,958	45,796	37,877	0,09
150	0,68	58105,60288	48,42133573	0,92	78613,46272	65,51121893	458	40,741	57,251	48,996	0,11
150	0,84	71777,50944	59,8145912	1,04	88867,39264	74,05616053	508	55,940	69,666	62,803	0,12
150	0,95	81176,9452	67,64745433	1,13	96557,84008	80,46486673	560	67,778	80,486	74,132	0,13
150	1,05	89721,8868	74,768239	1,25	106811,77	89,00980833	597	78,968	93,837	86,403	0,14